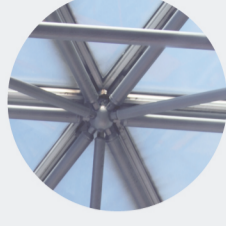
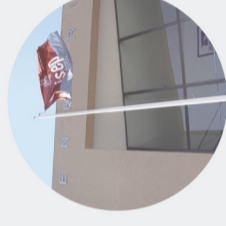




ANÁLISE DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DE UM EDIFÍCIO NOVO NO PORTO

SÉRGIO ANDRÉ DA CUNHA OLIVEIRA

novembro de 2018



ANÁLISE DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DE UM EDIFÍCIO NO PORTO



ANÁLISE DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DE UM EDIFÍCIO NO PORTO

SÉRGIO ANDRÉ DA CUNHA OLIVEIRA

Relatório de Estágio submetido para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL – RAMO DE CONSTRUÇÕES

Orientador: Duarte Barroso Lopes

Supervisora: Sónia Gomes (ASL & Associados)

OUTUBRO DE 2018

ÍNDICE GERAL

Resumo.....	v
Abstract	vii
Agradecimentos	ix
Índice de Texto	xi
Índice de Figuras.....	xv
Índice de Tabelas.....	xvii
Índice de Equações.....	xxi
Glossário.....	xxv
Abreviaturas	xxix
CAPÍTULO 1 Introdução.....	1
CAPÍTULO 2 Enquadramento legislativo	7
CAPÍTULO 3 Caso de Estudo.....	29
CAPÍTULO 4 Ferramentas informáticas: análise do caso de estudo	77
CAPÍTULO 5 Considerações finais	89
Referências Bibliográficas	91
Anexo I – Plantas e Cortes da Habitação.....	95
Anexo II – Folhas de Cálculo	103
Anexo III – Folhas de Cálculo LNEC – Ventilação.....	131
Anexo IV – Folha de Cálculo DGEG – Sistema Solar	135
ANEXO V – Relatório do cálculo de carga (load calculation summary report).....	141

RESUMO

O estágio curricular foi desenvolvido num contexto empresarial, na empresa ASL & Associados, no âmbito da certificação energética de edifícios de habitação (REH) e de serviços (RECS).

Após a introdução ao tema, da estrutura do relatório, das atividades desenvolvidas e ainda da apresentação da empresa onde se realizou o estágio, procede-se à descrição dos documentos regulamentares (decretos-lei, portarias e despachos) e respetivas atualizações referente ao comportamento térmico dos edifícios em Portugal. A responsabilidade pela gestão deste sistema nacional de certificação energética é da responsabilidade da ADENE.

É depois abordado um caso de estudo aplicável. Este consiste na análise de uma habitação unifamiliar de tipologia T2 (com uma área útil de 94,76 m², apenas com piso térreo), situada na Avenida da Boavista, no Porto. Procede-se à apresentação das soluções construtivas e a verificação térmica das mesmas, recorrendo sempre aos valores regulamentares para verificar os requisitos mínimos impostos.

Com recurso a uma ferramenta informática, mais especificamente o *software* REVIT, é possível determinar os custos energéticos anuais por metro quadrado, de uma habitação. Inicialmente apresenta-se o cálculo térmico para a habitação em análise, sendo que o REVIT permite a simulação de diferentes cenários com melhorias pré-definidas no software de uma forma mais célere, assim como verificar o seu custo. No final, é efetuada a comparação económica entre o valor inicial dos custos energéticos da habitação e o custo após alterações.

Palavras-chave: Comportamento térmico, SCE, ADENE, desempenho energético, REH, DL 118/2013, Revit

ABSTRACT

The curriculum internship was developed in a business context, at company ASL & Associados, about energy certification of residential buildings (REH) and services (RECS).

After introduction of the topic, the structure of the report, the activities carried out and also the presentation of the company where the internship took place, a description is given of the regulatory documents (decrees, ordinances and orders) and respective updates regarding thermal behavior of buildings in Portugal. The responsibility for the management of this national energy certification system is the responsibility of ADENE.

An applicable case study is then addressed. This consists of the analysis of a single-family dwelling of type T2 (with a floor area of 94,76 square meters, with only ground floor), located in Boavista's Avenue, in Oporto city. The constructive solutions and the thermal verification of the same are presented, always using the regulatory values to verify the minimum requirements imposed.

Using a computer tool, more specifically the REVIT software, it is possible to determine the annual energy costs per square meter of a dwelling. Initially, the thermal calculation for the dwelling in analysis is presented, and REVIT allows the simulation of different scenarios with predefined improvements in the software in a faster way, as well as to verify their cost. In the end, the economic comparison between the initial value of the energy costs of the house and the cost after changes is made.

Keywords: Thermal behavior, SCE, ADENE, energy performance, REH, DL 118/2013, REVIT

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, apresento o meu agradecimento ao Eng.º Duarte Lopes, que permitiu o desenvolvimento deste tema e me acompanhou durante este percurso.

Queria também agradecer à equipa ASL & Associados, em especial ao Eng.º António Lessa e à Eng.ª Sónia Gomes pela oportunidade dada para a concretização do estágio curricular e ainda ao Eng.º Daniel Carvalho, ao Eng.º João Gomes e restantes colegas pelo apoio, orientação e troca de conhecimentos durante este percurso.

Obrigado a toda a minha família, em especial à minha mãe e à minha irmã, pelo apoio e incentivo durante todo o meu percurso como estudante e formação como pessoa. Foram quem mais me encorajou a ultrapassar os obstáculos, que me aplaudiu nas vitórias, e permitiu que me dedicasse a 100% ao percurso académico, nunca me faltando nada.

Para além destes entes queridos, gostaria ainda de agradecer à minha namorada Patrícia, que me acompanha desde o 11.º ano, me encorajou a combater as dificuldades, me apoiou nas alturas mais difíceis e termina comigo este percurso académico.

A todos, o meu MUITO OBRIGADO!

ÍNDICE DE TEXTO

CAPÍTULO 1	Introdução.....	1
1.1	Enquadramento.....	1
1.2	Estrutura do relatório de estágio.....	1
1.3	Apresentação da empresa.....	2
1.4	Atividades desenvolvidas durante o estágio.....	4
1.4.1	Trabalhos acompanhados.....	5
CAPÍTULO 2	Enquadramento legislativo.....	7
2.1	Legislação aplicada.....	10
2.1.1	Decreto-lei n.º 118/2013, de 20 de agosto.....	10
2.1.2	Decreto-Lei 68-A/2015, de 30 de abril.....	12
2.1.3	Decreto-Lei n.º 194/2015, de 14 de setembro.....	12
2.1.4	Decreto-Lei n.º 251/2015, de 25 de novembro.....	12
2.1.5	Decreto-Lei 28/2016, de 23 de junho.....	13
2.1.6	Despacho (extrato) n.º 15793-C/2013, de 3 de dezembro.....	14
2.1.7	Despacho n.º 15793-E/2013, de 3 de dezembro.....	14
2.1.8	Despacho 15793-F/2013, de 3 de dezembro.....	20
2.1.9	Despacho 15793-G/2013, de 3 de dezembro.....	20
2.1.10	Despacho 15793-H/2013, de 3 de dezembro.....	20
2.1.11	Despacho 15793-I/2013, de 3 de dezembro.....	21
2.1.12	Despacho 15793-J/2013, de 3 de dezembro.....	21
2.1.13	Despacho 15793-K/2013, de 3 de dezembro.....	22
2.1.14	Despacho 15793-L/2013, de 3 de dezembro.....	22

2.1.15	Portaria 349-B/2013, de 29 de novembro.....	23
2.1.16	Portaria 379-A/2015, de 22 de outubro	23
2.1.17	Portaria 319/2016, de 15 de dezembro	23
2.1.18	Portaria n. 349-C/2013, de 2 de dezembro	23
2.1.19	Declaração de Retificação n.º 4/2014, de 1 de janeiro	23
2.1.20	Portaria n.º 353-A/2013, de 4 de dezembro	23
2.1.21	Portaria n.º 405/2015, de 20 de novembro	24
2.2	Folhas de cálculo utilizadas em certificação energética	24
2.2.1	Folhas de auxílio ao cálculo	26
CAPÍTULO 3	Caso de Estudo	29
3.1	Apresentação do edifício	29
3.2	Dados climáticos	30
3.2.1	Estação de aquecimento.....	31
3.2.2	Estação de arrefecimento.....	31
3.3	Marcação de envolventes.....	32
3.4	Verificação de requisitos mínimos de qualidade das envolventes	35
3.4.1	Envolvente opaca – Coeficiente de transmissão térmica (U).....	35
3.4.2	Envolvente envidraçada – Coeficiente de transmissão térmica (U).....	39
3.4.3	Cálculo da inércia térmica.....	40
3.5	Renovação de ar.....	44
3.6	Preparação de águas quentes sanitárias	46
3.7	Sistema técnico de aquecimento	47
3.8	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento.....	47
3.8.1	Transferência de calor por transmissão	48
3.8.2	Perdas de calor por renovação de ar	50
3.8.3	Ganhos térmicos úteis	50
3.9	Necessidades nominais anuais de energia útil de referência para aquecimento	53

3.9.1	Caso de Estudo	55
3.9.2	Cálculo da “Casa de Referência”	59
3.9.3	Verificação do Caso de Estudo	61
3.10	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento	61
3.10.1	Transferência de calor por transmissão	62
3.10.2	Transferência de calor por renovação do ar	63
3.10.3	Ganhos térmicos úteis	63
3.11	Necessidades nominais anuais de energia útil de referência para arrefecimento	64
3.11.1	Caso de Estudo	65
3.11.2	“Casa de Referência”	68
3.11.3	Verificação do Caso de Estudo	69
3.12	Necessidades nominais de energia primária	69
3.12.1	Ventilação mecânica	70
3.12.2	Preparação de AQS	70
3.12.3	Energia renovável	71
3.13	Cálculo das necessidades nominais de energia primária	71
3.13.1	Caso de Estudo	71
3.13.2	“Casa de Referência”	73
3.14	Determinação da classe energética	74
CAPÍTULO 4	Ferramentas informáticas: análise do caso de estudo	77
4.1	Ferramentas informáticas	77
4.2	Simulação energética com o Revit	78
4.2.1	Análise do Caso de Estudo	81
4.2.2	Contribuição do <i>Insight 360</i>	84
4.2.3	Simulação	85
CAPÍTULO 5	Considerações finais	89
5.1	Conclusões	89

ÍNDICE DE TEXTO

5.2 Desenvolvimentos futuros	90
Referências Bibliográficas.....	91
Anexo I – Plantas e Cortes da Habitação	95
Anexo II – Folhas de Cálculo	103
Anexo III – Folhas de Cálculo LNEC – Ventilação	131

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.3.1 - Localização de empresa ASL & Associados	3
Figura 1.3.2 - Sistema de gestão de uma empresa baseado no ciclo PDCA (fonte: ISO 9001:2015)	4
Figura 1.4.1 - Resumo dos trabalhos acompanhados no estágio curricular	6
Figura 1.4.2 - Resumo dos certificados energéticos de edifícios de habitação, de acordo com a sua tipologia	6
Figura 1.4.1 - Classe energética dos edifícios certificados em 2017	8
Figura 1.4.2 - Evolução dos decretos – lei ao longo dos últimos anos.....	9
Figura 1.4.3 - Evolução das portarias ao longo dos últimos anos	9
Figura 1.4.4 - Evolução dos despachos ao longo dos últimos anos.....	10
Figura 2.2.1 - Separador “Energia Útil” da folha de cálculo	24
Figura 2.2.2 - Separador “Energia Final, Energia Primária e Certificação Energética” da folha de cálculo	24
Figura 2.2.3 - Folha de cálculo de habitação	25
Figura 2.2.4 - Folha de cálculo de serviços	26
Figura 3.1.1 - Localização do edifício em análise	29
Figura 3.1.2 - Esquema representativo do edifício	30
Figura 3.3.1 - Legenda da marcação das envolventes.....	32
Figura 3.3.2 - Marcação das envolventes.....	35
Figura 3.4.1 - Pormenor construtivo da parede exterior	36
Figura 3.4.2 - Pormenor construtivo da viga e do pilar	37
Figura 3.4.3 - Pormenor construtivo da cobertura interior	38
Figura 3.4.4 - Pormenor de pavimento em contacto com o solo.....	39

Figura 3.4.5 - Identificação dos elementos construtivos para o cálculo da inércia térmica interior (fonte: Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013)	41
Figura 3.5.1 - Grelha de admissão de ar	45
Figura 3.6.1 - Elementos do sistema de águas quentes sanitárias (fonte: www.vulcano.pt)	46
Figura 3.7.1 - Exemplo de utilização de um sistema de biomassa em habitação (fonte: www.macolis.pt)	47
Figura 4.1.1 - Caso de Estudo (retirado do <i>software</i> Revit)	78
Figura 4.2.1 - Localização da habitação (retirado do <i>software</i> Revit)	79
Figura 4.2.2 - Exemplo de constituição de parede	80
Figura 4.2.3 - Cargas consideradas no aquecimento/arrefecimento	81
Figura 4.2.4 - Comandos do <i>Insight 360</i> para criação do modelo energético.....	81
Figura 4.2.5 - Incidência dos raios solares nos elementos construtivos com especial destaque dos envidraçados e respetiva legenda.....	82
Figura 4.2.6 - Ganhos solares incidentes na cobertura	83
Figura 4.2.7 – Caso de estudo utilizando o <i>Insight 360</i>	84
Figura 4.2.8 - Alteração da orientação do edifício	85
Figura 4.1.9 - Análise da melhor opção para o comprimento da pala orientada a Oeste	86
Figura 4.1.10 - Comparação dos benchmark.....	88

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.4.1 - Evolução da legislação relativamente ao comportamento térmico	8
Tabela 2.1.1 - Regras de simplificação aplicáveis ao levantamento dimensional.....	14
Tabela 2.1.2 - Coeficientes de transmissão térmica de paredes simples de cantaria	15
Tabela 2.1.3 - Coeficientes de transmissão térmica de paredes simples rebocadas (anteriores a 1960) .	15
Tabela 2.1.4 - Coeficientes de transmissão térmica de parede simples ou dupla rebocada (posterior a 1960)	15
Tabela 2.1.5 - Coeficientes de transmissão térmica de pavimentos e coberturas	16
Tabela 2.1.6 - Coeficiente de transmissão térmica para elementos em contacto com o solo	16
Tabela 2.1.7 - Valores por defeito para os coeficientes de transmissão térmica lineares	17
Tabela 2.1.8 - Regras de simplificação aplicáveis à quantificação da inércia térmica interior	18
Tabela 2.1.9 - Valor do produto $F_s.F_g$, para o cálculo das necessidades de aquecimento em edifícios existentes	19
Tabela 2.1.10 - Valor do produto $F_s.F_g$, para o cálculo das necessidades de arrefecimento em edifícios existentes	19
Tabela 2.1.11 - Valor base de eficiência para equipamentos convencionais de climatização e de produção de AQS em edifícios existentes	20
Tabela 2.1.12 - Classificação energética.....	21
Tabela 2.1.13 - Coeficiente global de transferência de calor por transmissão	22
Tabela 3.2.1 - Valores de referência e declives para ajustes em altitude para a zona do Grande Porto ..	31
Tabela 3.2.2 - Critérios para determinação da zona climática de Inverno	31
Tabela 3.2.3 - Valores de referência e declives para ajustes em altitude para a zona do Grande Porto ..	32
Tabela 3.2.4 - Critérios para determinação da zona climática de Verão	32
Tabela 3.3.1 - Quantificação do b_{tr} para ENU's	33

Tabela 3.4.1 - Cálculo detalhado da inércia térmica	41
Tabela 3.4.2 - Classes de inércia térmica interior, I_t (fonte: Despacho (extrato) n.º 1539-K/2013)	42
Tabela 3.4.3 - Fatores solares máximos admissíveis de vãos envidraçados (fonte: Portaria n.º 349-B/2013).....	42
Tabela 3.4.4 - Resumo dos fatores de sombreamento	43
Tabela 3.4.5 - Verificação dos requisitos relativos ao fator solar para os vãos envidraçados	44
Tabela 3.4.6 - Verificação dos requisitos para elementos opacos	44
Tabela 3.8.1 - Fator de orientação para diferentes exposições, X_j	53
Tabela 3.9.1- Cálculo do coeficiente global de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com o exterior	55
Tabela 3.9.2 - Cálculo do coeficiente global de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com espaços não úteis.....	56
Tabela 3.9.3 - Coeficiente de transmissão térmica de pavimentos em contacto com o terreno com isolamento contínuo ou sem isolamento térmico U_{bf} , [W/m ² .ºC] (Fonte: Despacho n.º 15793-K/2013).....	57
Tabela 3.9.4 - Cálculo do coeficiente global de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com o solo	57
Tabela 3.9.5 - Ganhos solares pelos elementos da envolvente envidraçada.....	58
Tabela 3.9.6 - Cálculo do coeficiente global de transferência de calor através de elementos da envolvente de referência em contacto com o exterior	60
Tabela 3.9.7 - Cálculo do coeficiente global de transferência de calor através de elementos da envolvente de referência em contacto com espaços não úteis.....	60
Tabela 3.9.8 - Cálculo do coeficiente global de transferência de calor através de elementos da envolvente de referência em contacto com o solo.....	61
Tabela 3.11.1 - Ganhos térmicos solares pelos vãos envidraçados exteriores	66
Tabela 3.11.2 - Ganhos térmicos solares pela envolvente exterior opaca: PTP	67
Tabela 3.11.3 - Ganhos térmicos solares pela envolvente exterior opaca: Parede exterior e porta.....	67
Tabela 3.11.4 - Ganhos térmicos solares pela envolvente interior opaca: cobertura sob desvão	67
Tabela 3.13.1 - Cálculo das necessidades nominais de energia primária (sistema de aquecimento)	72

Tabela 3.13.2 - Cálculo das necessidades nominais de energia primária (sistema de arrefecimento)	72
Tabela 3.13.3 - Cálculo das necessidades nominais de energia primária (sistema de AQS).....	73
Tabela 3.13.4 - Cálculo das necessidades nominais de energia primária (energias renováveis).....	73
Tabela 3.13.5 - Cálculo das necessidades nominais de energia primária (sistema de aquecimento)	73
Tabela 3.13.6 - Cálculo das necessidades nominais de energia primária (sistema de arrefecimento)	74
Tabela 3.13.7 - Cálculo das necessidades nominais de energia primária (sistema de AQS).....	74
Tabela 3.14.1 – Resumo do valor das necessidades nominais anuais e respetiva verificação	74
Tabela 3.14.2 - Intervalos de valor de RNT para a determinação da classe energética em pré-certificados e certificados SCE de modelo tipo habitação (fonte: Despacho n.º 15793-J/2013).....	75
Tabela 3.14.3 - Medidas de melhoria e respetivo rácio	76
Tabela 4.2.1 - Análise da diminuição da área de envidraçados	86
Tabela 4.1.2 - Análise do comprimento das palas.....	86
Tabela 4.1.3 - Resumo das alterações efetuadas.....	87

ÍNDICE DE EQUAÇÕES

Equação 3.2.1 - Expressão que permite definir determinados parâmetros climáticos	30
Equação 3.4.1 - Cálculo do coeficiente de transmissão termica superficial	35
Equação 3.4.2 - Cálculo da Resistência térmica	36
Equação 3.4.3 – Quantificação da inércia térmica	40
Equação 3.4.4 – Cálculo de verificação do fator solar, quando a área do envidraçado é inferior ou a igual a 15% a área do pavimento.....	43
Equação 3.4.5 – Cálculo de verificação do fator solar, quando a área do envidraçado é superior a 15% a área do pavimento	43
Equação 3.8.1 - Quantificação das necessidades nominais anuais de energia útil para a estação de aquecimento	48
Equação 3.8.2 - Cálculo da transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento.....	48
Equação 3.8.3 - Cálculo do coeficiente global de transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento	48
Equação 3.8.4 - Cálculo do coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contato com o exterior	49
Equação 3.8.5- Cálculo do coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contato com espaços não úteis e edifícios adjacentes, respetivamente.....	49
Equação 3.8.6- Cálculo do coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contato com o solo.....	49
Equação 3.8.7 - Cálculo das perdas de calor por renovação de ar.....	50
Equação 3.8.8 - Cálculo do coeficiente de transferência de calor por renovação do ar.....	50
Equação 3.8.9 - Cálculo dos ganhos térmicos úteis	51
Equação 3.8.10 - Cálculo de rendimento quando $\gamma \neq 1$ e $\gamma > 0$	51
Equação 3.8.11 - Cálculo de rendimento quando $\gamma = 1$	51

Equação 3.8.12 - - Cálculo de rendimento quando $\gamma < 0$	51
Equação 3.8.13 - Cálculo de parâmetro que permite a obtenção do valor do fator de utilização de ganhos térmicos.....	51
Equação 3.8.14 – Cálculo dos ganhos térmicos brutos na estação de aquecimento	52
Equação 3.8.15 - Cálculo dos ganhos térmicos associados a fontes internas de calor	52
Equação 3.8.16 - Cálculo dos ganhos térmicos associados à radiação solar incidente pelos vãos envidraçados	52
Equação 3.8.17 - Cálculo da área efetiva coletora de radiação solar do vão envidraçado na superfície n com a orientação j	53
Equação 3.8.18 - Cálculo do fator solar de inverno.....	53
Equação 3.9.1 - Quantificação das necessidades nominais anuais de energia útil de referência para a estação de aquecimento	54
Equação 3.9.2 - Cálculo dos ganhos térmicos de referência associados à radiação solar incidente pelos vãos envidraçados.....	54
Equação 3.9.3 - Cálculo da dimensão característica do pavimento.....	56
Equação 3.10.1 - Quantificação das necessidades nominais anuais de energia útil para a estação de arrefecimento.....	62
Equação 3.10.2 - Cálculo da transferência de calor por transmissão na estação de arrefecimento	62
Equação 3.10.3 - Cálculo do coeficiente global de transferência de calor por transmissão na estação de arrefecimento.....	63
Equação 3.10.4- Cálculo da transferência de calor por renovação de ar.....	63
Equação 3.10.5 - Cálculo do coeficiente de transferência de calor por renovação do ar.....	63
Equação 3.10.6– Cálculo dos ganhos térmicos brutos na estação de arrefecimento.....	63
Equação 3.10.7 – Cálculo dos ganhos térmicos associados a fontes internas de calor	64
Equação 3.10.8 – Cálculo dos ganhos térmicos associados à radiação solar incidente à envolvente exterior opaca e envidraçada.....	64
Equação 3.11.1 - Quantificação das necessidades nominais anuais de energia útil de referência para a estação de arrefecimento	64
Equação 3.11.2 - Cálculo do fator de utilização de ganhos de referência	65

Equação 3.11.3 - Cálculo dos ganhos térmicos de referência.....	65
Equação 3.12.1 - Quantificação das necessidades nominais de energia primária.....	69
Equação 3.12.2 - Quantificação da energia útil necessária para a preparação de AQS.....	70
Equação 3.12.3 - Cálculo do consumo médio diário de referência em edifícios de habitação	70
Equação 3.14.1 - Cálculo da classe energética	75

GLOSSÁRIO

A_i – Somatório das áreas dos elementos que separam o espaço interior útil do espaço não útil [m²]

A_p – Área interior útil de pavimento [m²]

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

A_u – Somatório das áreas dos elementos que separam o espaço não útil do ambiente exterior [m²]

A_W – Área total do vão envidraçado, incluindo o vidro e caixilho [m²]

b_{tr} – Coeficiente de redução de perdas

$E_{ren,p}$ – Energia produzida a partir de fontes de energia renovável [kWh/ano]

f – Espaço não útil que apresenta todas as ligações bem vedadas, sem aberturas de ventilação permanentemente abertas

F – Espaço não útil permeável ao ar devido à existência de ligações e aberturas de ventilação permanentemente abertas

$f_{a,k}$ – Parcela das necessidades de energia útil para produção de AQS

f_{eh} – Fator de eficiência hídrica, aplicável aos chuveiros

F_f – Fator de sombreamento por elementos verticais adjacentes ao envidraçado

F_g – Fração envidraçada

$f_{i,k}$ – Parcela das necessidades de energia útil para aquecimento

F_o – Fator de sombreamento por elementos horizontais

$F_{pu,j}$ e $F_{pu,p}$ – Fator de conversão de energia útil para energia primária [kWh_{EP}/kWh]

F_s – Fator de obstrução dos vãos envidraçados

$f_{v,k}$ – Parcela das necessidades de energia útil para arrefecimento

g_i – Fator solar de inverno

G_{sul} – Valor médio mensal de energia solar média incidente numa superfície vertical orientada a Sul, por unidade de superfície [kWh/m².mês]

ABREVIATURAS

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

$g_{v,ref}$ – Fator solar de referência, no valor de 0,43

H_{adj} – Coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com edifícios adjacentes [W/ °C]

H_{ecs} – Coeficiente de transferência de calor através de elementos em contacto com o solo [W/ °C]

H_{enu} – Coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com espaços não úteis [W/ °C]

H_{ext} – Coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com o exterior [W/ °C]

$H_{tr,i}$ – Coeficiente global de transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento [W/°C]

$H_{ve,i}$ – Coeficiente global de transferência de calor por ventilação na estação de aquecimento [W/ °C]

$I_{sol,ref}$ – Radiação solar média de referência, correspondente à radiação incidente numa superfície orientada a Oeste [kWh/(m².ano)]

L_v – Duração da estação de arrefecimento, no valor de 2928 horas

M – Duração média da estação convencional de aquecimento [mês]

M_{si} – Massa superficial útil do elemento i [kg/m²]

nd – Número anual de dias de consumo de AQS de edifícios residenciais, que se considera de 365 dias

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

N_{tc} – Necessidades nominais globais de energia primária [kWh_{EP}/(m².ano)]

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

Pd – Pé direito médio do edifício [m]

Q – Caudal médio [m³/s]

Q_a – Necessidades de energia útil para preparação de AQS [kWh/ano]

$Q_{gu,i}$ – Ganhos térmicos úteis na estação de aquecimento resultantes dos ganhos solares através dos vãos envidraçados, da iluminação, dos equipamentos e dos ocupantes [kWh]

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

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

$Q_{int,i}$ – Ganhos térmicos associados a fontes internas de calor [kWh]

q_{int} - Ganhos internos médios, no valor de 4 W/m^2

$Q_{sol,i}$ – Ganhos térmicos associados ao aproveitamento da radiação solar pelos vãos envidraçados [kWh]

$Q_{tr,i}$ – Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento através da envolvente dos edifícios [kWh]

$Q_{ve,i}$ – Transferência (perdas) de calor por ventilação correspondente à renovação do ar interior durante a estação de aquecimento [kWh]

r – Fator de redução da massa superficial útil

R_j – Resistência térmica da camada j [$\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{W}$]

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

R_{se} – Resistência térmica exterior [$\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{W}$]

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

R_t – Resistência térmica [$\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{W}$]

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

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

V_{enu} - Volume do espaço não útil [m^3]

W_{vm} – Energia elétrica necessária ao funcionamento dos ventiladores [kWh/ano]

X_j – Fator de orientação para as diferentes exposições

V_{eva} – Caudal total de ar extraído [m^3/h]

Ψ - Coeficientes de transmissão térmica lineares [$\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$]

η - N^o convencional de ocupantes de cada fração autónoma, de acordo com a tipologia

η_i – Fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de aquecimento

η_v – Fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de arrefecimento

η_k – Eficiência do sistema k

θ_{int} - Temperatura interior [$^\circ\text{C}$]

θ_{ext} - Temperatura ambiente exterior [$^\circ\text{C}$]

θ_{enu} - Temperatura do local não útil [$^\circ\text{C}$]

$\theta_{ref,v}$ - Temperatura interior de referência, contabilizada em $25 \text{ }^\circ\text{C}$

ABREVIATURAS

ΔT – Aumento de temperatura necessário para a preparação das AQS, que toma o valor de referência de 35°C

ABREVIATURAS

ADENE – Agência para a Energia

AQS – Águas quentes sanitárias

DGEG – Direção Geral de Energia e Geologia

DIPRE – Dissertação/ Projeto/ Estágio

DL – Decreto-lei

ENU – Espaço não útil

EPS – Poliestireno expandido

FA – Fração autónoma

GD – Número de graus-dia de aquecimento específico de acordo com a região NUTS III [°C.dia]

GEE – Gases de efeito de estufa

GES – Grande edifício de comércio e serviços

ISEP – Instituto Superior de Engenharia do Porto

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia

NUTS III – Nomenclatura de Unidades Territoriais para Fins Estatísticos (constituído por 25 unidades, das quais 23 no continente e 2 correspondentes às Regiões Autónomas dos Açores e da Madeira)

PQ – Peritos qualificados

PTL – Ponte térmica linear

PTP – Ponte térmica plana

RCCTE – Regulamento das características do comportamento térmico de edifícios

RECS – Regulamento de desempenho energético dos edifícios de comércio e serviços

REH – Regulamento de desempenho energético dos edifícios de habitação

SCE – Sistema nacional de certificação energética e da qualidade do ar interior nos edifícios

ABREVIATURAS

TIM – Técnico de instalação e manutenção

UC – Unidade Curricular

UE – União Europeia

XPS - Poliestireno extrudido

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 ENQUADRAMENTO

Este relatório de estágio desenvolvido no âmbito da Unidade Curricular de Dissertação/ Projeto/ Estágio (DIPRE), integra o plano de estudos do 2º semestre do 2º ano do Mestrado em Engenharia Civil do Instituto Superior de Engenharia do Porto, sendo este realizado ao longo de um semestre na empresa ASL & Associados.

O tema escolhido está inserido na área da certificação energética com título *“Análise do Comportamento Térmico de um Edifício no Porto”*, sob a orientação do Eng.º Duarte Lopes, docente do ISEP, e sob a orientação da Eng.º Sónia Gomes em parceria com o Eng.º Daniel Carvalho e João Gomes, a nível empresarial.

O presente relatório tem como principal objetivo o desenvolvimento dos temas estudados ao longo do estágio, a importância deste tema na atualidade do setor e ainda a apresentação de um caso de estudo. É de salientar que este caso de estudo não é um projeto concretizado, tendo sido proposto pelo Prof. Duarte Lopes.

1.2 ESTRUTURA DO RELATÓRIO DE ESTÁGIO

O relatório de estágio está dividido em cinco capítulos, sendo eles a introdução, o enquadramento legislativo, a aplicação a um caso de estudo, com respetivas medidas de melhoria, e as considerações finais.

O presente capítulo engloba o enquadramento e objetivos do relatório de estágio, uma breve apresentação da empresa, as várias atividades desenvolvidas no estágio curricular e uma enumeração dos vários tipos de software que foram utilizados ao longo do estágio.

No segundo capítulo apresenta-se o enquadramento legislativo, onde se expõe de forma sucinta toda a documentação legal consultada durante o estágio e utilizada na resolução do caso de estudo.

CAPÍTULO 1

O terceiro capítulo abrange a habitação em estudo, com todos os elementos necessários à sua análise térmica. Inicialmente obtém-se os dados para a localização climática do edifício assim como as características dos elementos construtivos a ele associados. Com as características enunciadas e todos os equipamentos utilizados conhecidos, através da utilização do DL n.º 118/2013 e respetivas atualizações, verifica-se o cumprimento de toda a regulamentação técnica.

No quarto capítulo procede-se à apresentação do *software* REVIT assim como a sua aplicação ao caso de estudo, tendo em que conta que será analisado o conforto térmico da habitação. Pretende-se abordar as características térmicas, tendo como base o software apresentado que pode ser integrado no BIM (Modelação de Informação de Construção). No final do mesmo, é feita uma análise comparativa económica, relativo aos custos energéticos anuais por metro quadrado associados às soluções construtivas.

No quinto e capítulo final, apresentam-se as conclusões finais (conclusão e desenvolvimentos futuros) do caso de estudo apresentado, analisando os resultados obtidos com o intuito de responder aos objetivos apresentados.

Em anexo encontram-se algumas das fichas utilizadas no estudo do comportamento térmico do edifício assim como plantas e cortes do mesmo.

1.3 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

Fundada em 2006 pelo Eng.º António Lessa, a empresa ASL & Associados¹ é vocacionada para a área de projeto e consultoria em Engenharia Civil. Atualmente encontra-se sediada na Rua Gonçalves Zarco, n.º 1 129E, em Leça da Palmeira (Figura 1.3.1), tendo já emitido mais de 6000 certificados energéticos, assim como realizado ensaios acústicos, serviços de check-up de edifícios e ainda serviços de gestão e fiscalização de obras.

¹ Fonte: www.aslassociados.com



Figura 1.3.1 - Localização de empresa ASL & Associados

A ASL & Associados é uma sociedade por quotas e os seus principais quadros são compostos por técnicos superiores, médios e serviços de apoio. É de salientar que foi a primeira empresa em Portugal a certificar-se pela norma ISO 9001:2015.



Figura 1.3.2 - Logotipo da empresa ASL & ASSOCIADOS

Apresentando uma equipa bastante experiente e responsável, com cerca de 25 colaboradores, e tendo o Eng.º António Lessa e a Eng.ª Sónia Gomes como responsáveis pela gestão da mesma, a ASL & Associados torna-se uma empresa com uma metodologia de trabalho baseada na complementaridade, imparcialidade e interação dos técnicos. Com o objetivo principal sempre presente, que é a completa satisfação do cliente dentro dos prazos e a custos acordados, a ASL & Associados permite sempre assegurar a elevada qualidade técnica do trabalho não descuidando nem desvalorizando nenhum pormenor. Por um lado mais humanístico, é um grupo com visão futurista pois apresenta sempre um respeito primordial pelas questões ambientais e pelos impactos urbanísticos projetando sempre de forma sustentável.

A gestão da empresa encontra-se baseada no ciclo de Plan-Do-Check-Act (PDCA), garantindo que os processos sejam desenvolvidos por recursos (humanos, equipamentos, ...) com capacidades técnicas

especializadas. Na eminência de desvios nos resultados apresentados, são colocadas em prática medidas de prevenção com o intuito de minimizar ou eliminar os efeitos negativos, aproveitando as oportunidades apresentadas.

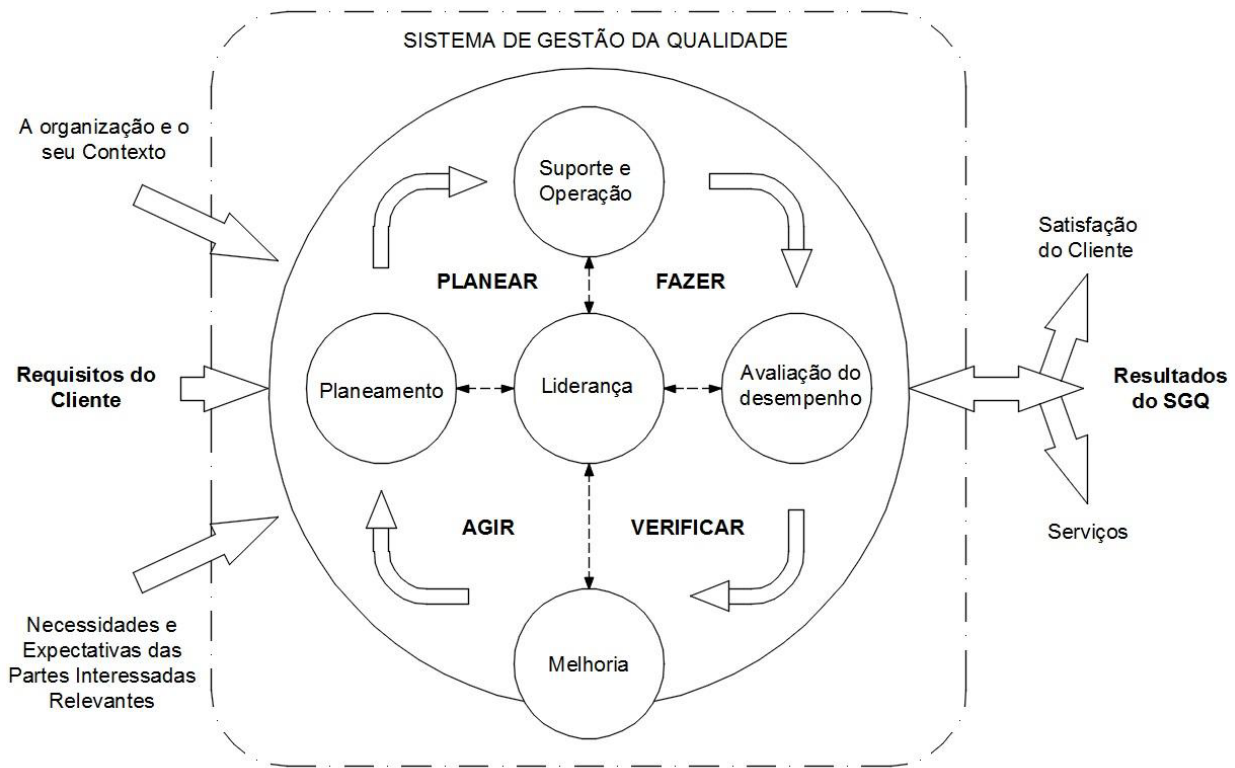


Figura 1.3.3 - Sistema de gestão de uma empresa baseado no ciclo PDCA (fonte: ISO 9001:2015)

De acordo com esta metodologia são definidos os seguintes conceitos:

- Plan (Planear) – Permite o estabelecimento de objetivos e identificação dos recursos necessários para obter resultados, cumprindo os requisitos do cliente e as políticas da ASL.
- Do (Fazer) – Implementação do que está planeado.
- Check (Verificar) – Monitorizar/acompanhar e medir.
- Act (Agir) – Devem ser levadas a cabo as medidas necessárias que permitam o melhoramento do desempenho.

1.4 ATIVIDADES DESENVOLVIDAS DURANTE O ESTÁGIO

O objetivo principal neste estágio passou por aplicar os conhecimentos e competências adquiridos durante o percurso académico. Para além de ser dada a oportunidade de poder evoluir profissionalmente, houve por parte da empresa uma preocupação constante no acompanhamento do

estagiário, auxiliando-o em matérias que não pertencem concretamente ao ramo da Engenharia Civil, mas que se tornaram indispensáveis para ajudar na realização de diversos projetos.

Ao longo deste estágio foram desenvolvidas várias tarefas, entre as quais:

- Estudo da legislação em vigor associada ao REH e consequente introdução às metodologias utilizadas na empresa;
- Familiarização com as ferramentas de cálculo associadas à classificação energética de edifícios de habitação e consequente aplicação em casos de estudo;
- Auxílio na elaboração de certificados energéticos de habitações, desde a visita ao edifício e ao cálculo da classificação energética, até à elaboração de relatório;
- Estudo da legislação associada ao RECS, acompanhado de uma breve introdução às ferramentas de cálculo da classificação energética e breve aplicação num caso de estudo;
- Auxílio na elaboração de certificados energéticos de serviços, desde o cálculo da classificação energética até à elaboração do relatório.

1.4.1 Trabalhos acompanhados

Entre as tarefas apresentadas no capítulo 1.4, foram acompanhados 143 trabalhos. Estes dividiram-se em certificados energéticos de edifícios de habitação, assim como de pequenos edifícios de comércio e serviços e ainda pré-certificados. Na fase final do estágio, houve ainda a possibilidade de acompanhar a elaboração de um projeto de térmica.

Resumidamente apresentam-se dois gráficos (Figura 1.4.1 e Figura 1.4.2), com os trabalhos acompanhados.

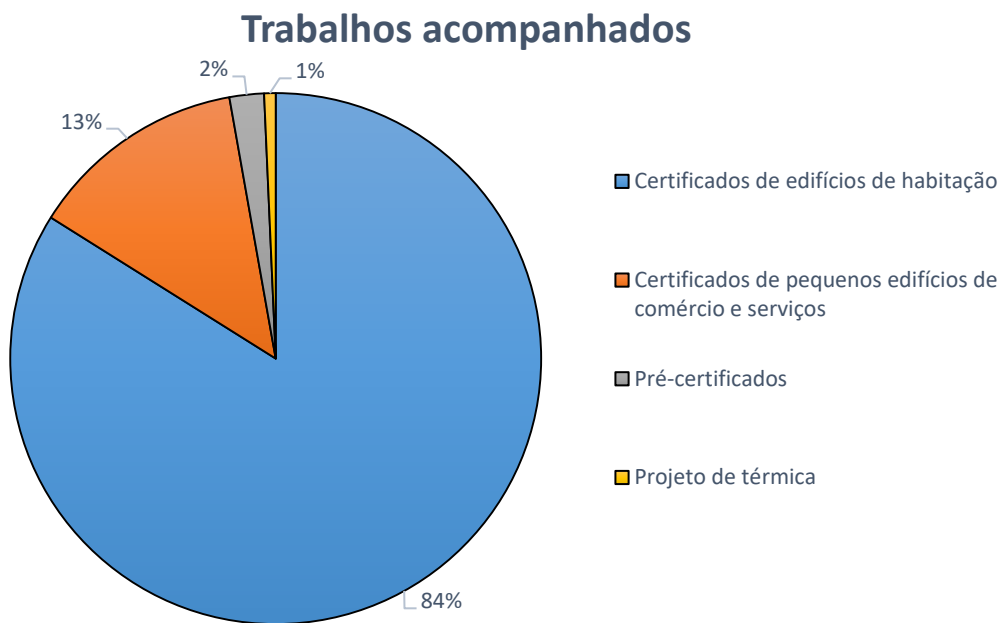


Figura 1.4.1 - Resumo dos trabalhos acompanhados no estágio curricular

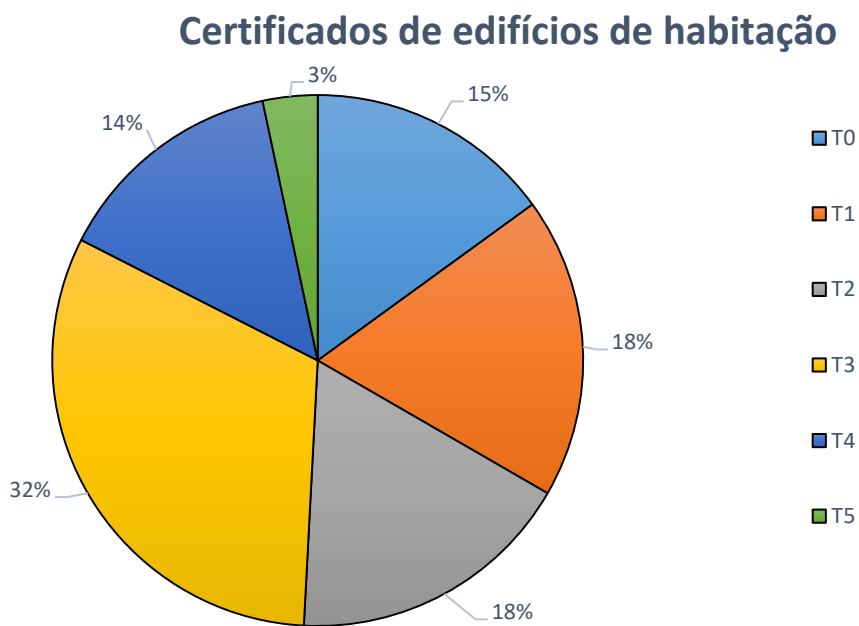


Figura 1.4.2 - Resumo dos certificados energéticos de edifícios de habitação, de acordo com a sua tipologia

CAPÍTULO 2

ENQUADRAMENTO LEGISLATIVO

O primeiro instrumento legal que veio impor requisitos ao projeto de novos edifícios de habitação, assim como a edifícios sujeito a intervenções, foi o Regulamento das Características de Comportamento Térmicos dos Edifícios (RCCTE) aprovado pelo Decreto-Lei nº40/90, de 6 de fevereiro.

No entanto, a primeira versão do RCCTE pretendia apenas limitar a utilização dos recursos, isto é, era pouco exigente nos seus objetivos, tendo em conta as questões de viabilidade económica existentes à época. Esta versão apenas foi revogada em 2006, com a publicação do novo RCCTE que aumentou as exigências da qualidade térmica da envolvente dos edifícios. Este aumento ocorreu devido ao pressuposto de que uma parte significativa dos edifícios, dispor de meios de promoção de condições ambientais nos espaços interiores, para ambas estações (Inverno e Verão) e haver a necessidade de controlar os consumos energéticos da utilização dos equipamentos que promovem tais condições.

A 4 de Janeiro de 2003, é emitida pela União Europeia, a Diretiva n.º 2002/91/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de dezembro, que impõe que todos os estados membros da UE atualizem periodicamente os regulamentos, para melhorar o comportamento térmico dos edifícios novos e dos que sejam sujeitos a reabilitações, implementando todas as medidas que tenham viabilidade técnica e económica. Esta diretiva europeia obriga à contabilização das necessidades energéticas para a preparação de águas quentes sanitárias, com um objetivo específico de favorecimento utilização dos sistemas de coletores solares ou outras alternativas renováveis, o que contribui para a diminuição da libertação de CO₂ e da dependência energética dos países.

O novo RCCTE, aprovado pelo Decreto – Lei n.º 80/2006, de 4 de abril, alarga as exigências ao definir claramente as taxas de renovação do ar que os projetistas devem satisfazer.

Internacionalmente, e com a subscrição do tratado de Quioto, surge a necessidade de reduzir os consumos energéticos, assim como as correspondentes emissões de gases que contribuem para o aumento do efeito de estufa (GEE) ou aquecimento global.

A 19 de Maio de 2010, a UE publica uma nova diretiva, Diretiva n.º 2010/31/UE, do Parlamento Europeu e do Conselho, que vem reforçar o desempenho energético dos edifícios, de acordo com as metas estabelecidas para 2020, entrando então em vigor o REH.

Tabela 1.4.1 - Evolução da legislação relativamente ao comportamento térmico



Em 2017, segundo o site da SCE, foram certificadas cerca de 177 482 habitações como se pode examinar no Figura 2.2.1, cerca de 25,1% foram classificados com D, o que demonstra que grande parte dos edifícios ainda carecem em termos de eficiência energética.

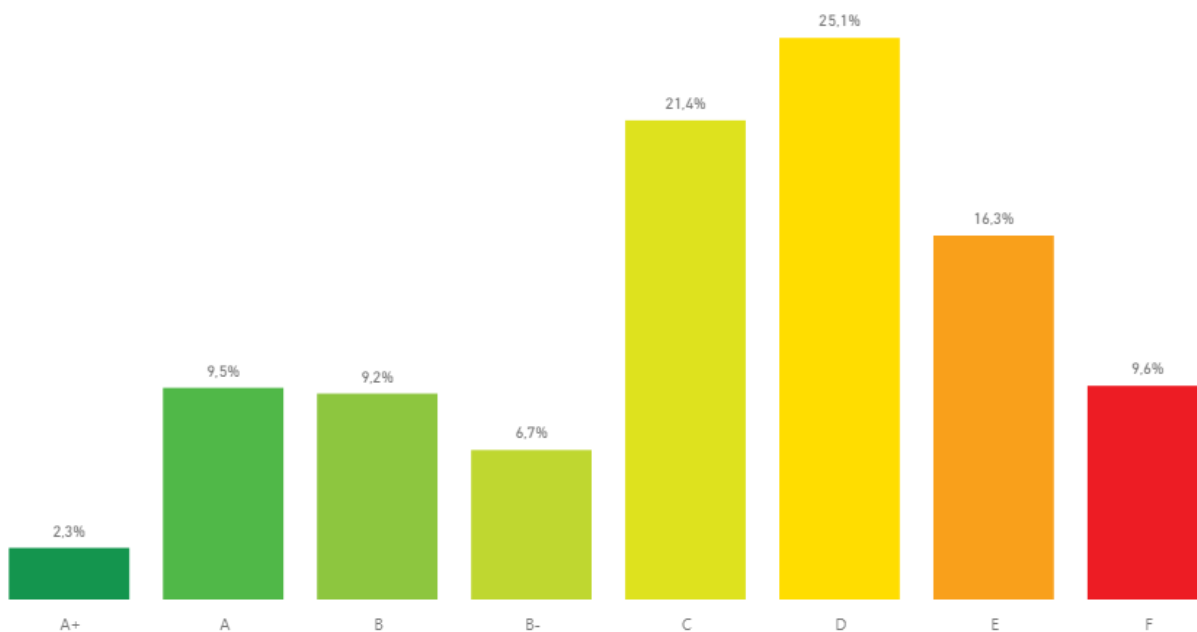


Figura 1.4.1 - Classe energética dos edifícios certificados em 2017

A União Europeia impôs aos países que a constituem metas energéticas e climáticas que devem ser cumpridas até ao ano 2030 e 2050, nomeadamente, para 2030²:

- Redução das emissões dos gases efeito de estufa, GEE, para 40%;
- Aumento do fornecimento de energias através de fontes renováveis para, no mínimo, 27%;
- Aumento da eficiência energética em cerca de 27%;

² Fonte: <https://www.quercus.pt/comunicados/2014/outubro/3957-metas-de-energia-e-clima-para-2030-lideres-europeus-estabelecem-objetivos-pouco-ambiciosos>

- Aumentar a interligação elétrica entre os países da UE.

Até ao ano de 2050, o objetivo torna-se mais ambicioso, pois a UE pretende uma redução na emissão dos gases efeito de estufa, em cerca de 80 a 95% em relação aos níveis de 1990.³

Durante o estágio foi necessário o estudo de toda a legislação acerca do assunto, recorrendo sempre que necessário à mesma. Nos seguintes gráficos (Figura 1.4.2, Figura 1.4.3 e Figura 1.4.4) apresenta-se as legislações aplicáveis assim como as respetivas alterações. Posteriormente apresentar-se-á uma breve descrição dos mesmos.



Figura 1.4.2 - Evolução dos decretos – lei ao longo dos últimos anos

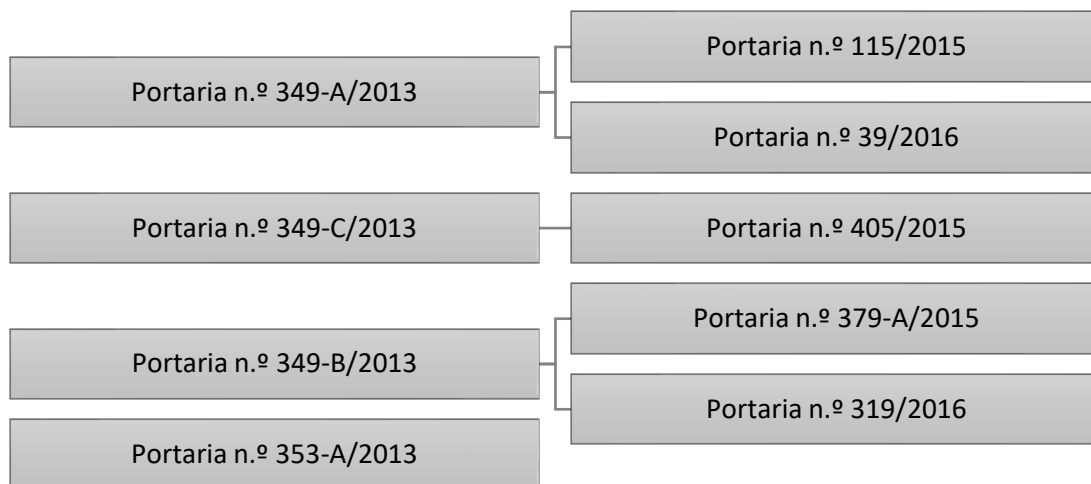


Figura 1.4.3 - Evolução das portarias ao longo dos últimos anos

³ Fonte: https://ec.europa.eu/clima/citizens/eu_pt

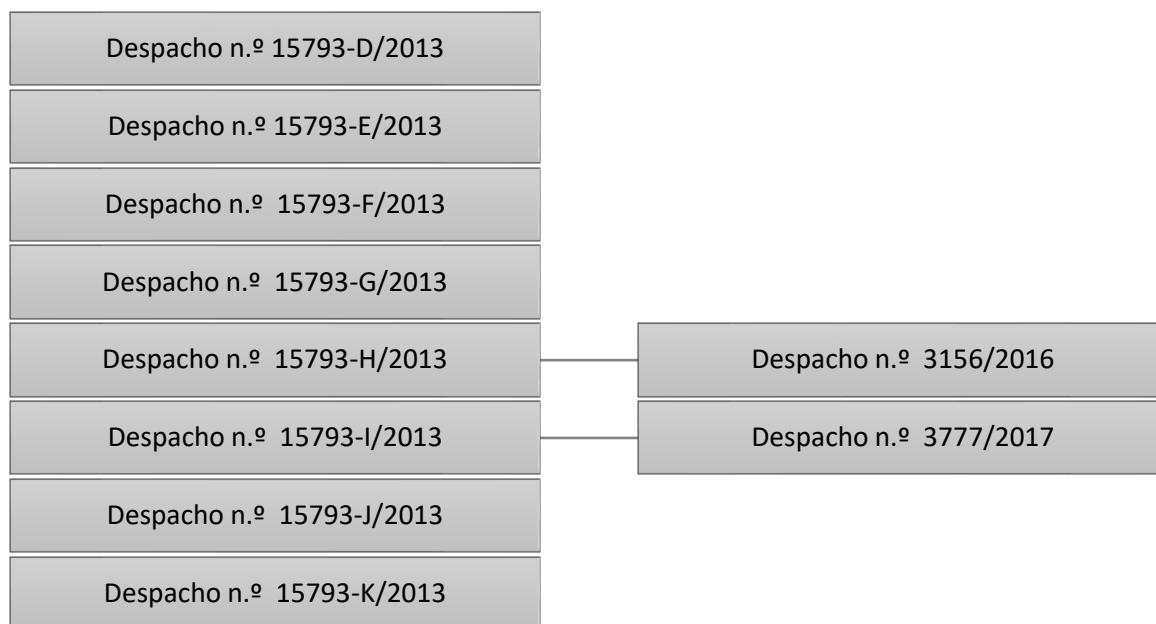


Figura 1.4.4 - Evolução dos despachos ao longo dos últimos anos

2.1 LEGISLAÇÃO APLICADA

De seguida, enuncia-se toda a legislação que foi necessário aplicar no decorrer do estágio, expondo apenas uma breve explicação acerca de cada um deles. Ao longo do estágio, ocorreu uma vertente relacionada com os edifícios de comércio e serviços; irá ser mencionado ao longo do relatório de estágio algumas notas acerca destes, contudo, no desenvolver deste relatório será dada apenas relevância aos edifícios de habitação (REH) visto se tratar do tema que mais se enquadra com o ramo de construções e com o assunto abordado neste trabalho.

2.1.1 Decreto-lei n.º 118/2013, de 20 de agosto

Este decreto aprova o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios, o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços. Estando dividido nos seguintes capítulos:

- Cap. I – artigos 1º e 2º – Disposições gerais;
- Cap. II – artigos 3º a 21º – Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE);
- Cap. III – artigos 22º a 31º – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH);
- Cap. IV – artigos 32º a 50º – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios do Comércio e Serviços (RECS);

- Cap. V – artigos 51º a 55º – Disposições finais e transitórias. Regulamento de desempenho energético de edifícios de habitação.

O decreto-lei n.º 118/2013 é responsável pela definição dos requisitos a cumprir, a avaliação do desempenho energético dos edifícios e baseia-se nos seguintes pontos:

- Quando se trata de edifícios de habitação, é de destacar o comportamento térmico e a eficiência dos sistemas;
- Caso sejam edifícios de comércio e serviços, é de acrescentar a instalação, a condução e a manutenção de sistemas técnicos.
- Para cada um dos pontos anteriormente referidos, existem ainda princípios gerais, concretizados em requisitos específicos, quer se trate de edifícios novos, edifícios sujeitos a intervenção (2ª alteração – DL 194/2015) e edifícios existentes.

De forma a promover e complementar a eficiência energética, continua a sensibilização para a utilização de fontes de energia renovável, de forma a permitir um bom aproveitamento do recurso solar que se encontra abundantemente disponível em Portugal. Dentro deste tema da eficiência energética, foi desenvolvido um conceito de edifício com necessidades quase nulas de energia, que se espera ser o novo padrão de construção a partir de 2020, caso se trate de edifícios novos de entidades públicas, e servir também de referência para as grandes reabilitações. Este conceito resume-se na redução máxima que é possível exercer nas necessidades energéticas dos edifícios, promovendo o abastecimento energético obtido a partir do recurso as energias de origem renovável. Os edifícios que vão apresentar necessidades quase nulas de energia terão de apresentar as seguintes características:

- Captação no local, de energias renováveis que satisfaçam grande parte das necessidades energéticas previstas, que podem ser utilizadas no próprio edifício ou no lote de terreno onde o imóvel se encontra construído, ou em complemento, em infraestruturas de uso comum próximas do local onde a habitação se encontra;
- Necessitam de apresentar uma componente eficiente, compatível com o limite mais exigente dos níveis de viabilidade económica.
- É de realçar que vão ocorrer incentivos financeiros e medidas adequadas a facultar os financiamentos, de forma a potenciar o desempenho energético dos edifícios e a transição dos edifícios existentes para edifícios com necessidades quase nulas de energia.
- No que diz respeito a qualidade de ar interior dos edifícios, deve-se privilegiar a ventilação natural em detrimento da ventilação mecânica, de forma a promover a eficiência energética e permitir a redução de custos.

Desta forma, este decreto-lei serve para apoiar a melhoria da eficiência energética do edificado nacional, desenvolvendo metodologias de apoio ao desenvolvimento de estratégias e planos de incentivo à eficiência.

2.1.2 Decreto-Lei 68-A/2015, de 30 de abril

Este artigo contempla várias alterações a diferentes decretos de lei, nomeadamente:

- Segunda alteração ao Decreto-Lei n.º 71/2008, de 15 de abril, primeiramente alterado pela Lei n.º 7/2013, de 22 de janeiro;
- Segunda alteração ao Decreto-Lei n.º 23/2010, de 25 de março, que fora alterado pela Lei n.º 19/2010, de 23 de agosto;
- Segunda alteração ao Decreto-Lei n.º 141/2010, de 31 de dezembro, alterado pelo Decreto-Lei n.º 39/2013, de 13 de março;
- Primeira alteração ao Decreto-Lei n.º 39/2013, de 18 de março;
- Primeira alteração ao Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto – transpõe a Diretiva n.º 2010/31/UE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de maio de 2010, relativa ao desempenho energético dos edifícios.

2.1.3 Decreto-Lei n.º 194/2015, de 14 de setembro

O DL 194/2015 procede à segunda alteração do Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto, contendo também a primeira alteração ao Decreto-Lei n.º 53/2014, de 8 de abril.

Esta alteração veio estabelecer um regime excecional e temporário que se aplica à reabilitação de edifícios ou de frações, cuja construção tenha sido concluída pelo menos há 30 anos, ou localizados em áreas de reabilitação urbana, tendo em conta que estes se destinem ao uso habitacional. A presente alteração veio responder a questões que surgiram aquando a transposição da Diretiva n.º 2010/31/UE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de maio de 2010.

2.1.4 Decreto-Lei n.º 251/2015, de 25 de novembro

Este decreto-lei é a terceira alteração ao DL n.º 118/2013, de 20 de agosto, alterado previamente pelo Decreto-Lei n.º 68-A/2015, de 30 de abril e Decreto-Lei n.º 194/2014, de 14 de setembro.

Esta alteração essencialmente muda o âmbito de aplicação do DL n.º 118/2013 (art.º 23.º), que até à data englobava projeto e construção de edifícios novos, avaliação energética dos edifícios novos, sujeitos a grande intervenção e existentes e grande intervenção na envolvente ou nos sistemas técnicos

de edifícios existentes. Após esta 3ª alteração, deixou de englobar as grandes intervenções na envolvente ou nos sistemas técnicos de edifícios existentes, sendo substituídas por intervenção na envolvente ou qualquer intervenção nos sistemas técnicos de edifícios existentes.

2.1.5 Decreto-Lei 28/2016, de 23 de junho

Procede à quarta alteração ao Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto, relativo à melhoria do desempenho energético dos edifícios.

De acordo com o art.º 4, os edifícios ou frações que são exclusivamente destinados a estacionamento não climatizados e oficinas em detrimento da alínea c) do DL 118/2013 que remetia para os edifícios ou frações exclusivamente destinados a armazéns, estacionamento, oficinas e similares e ainda os armazéns onde a presença humana não seja significativa, não ocorrendo por mais de 2 horas/dia ou não representando uma ocupação superior a 0,025 pessoas/m², ficam excluídos do SCE.

Os prazos de validade dos certificados, art.º 15, também sofreram alterações:

- Os certificados SCE têm um prazo de validade de 10 anos, sendo possível a partir desta 4ª alteração regulamentar, dentro desse prazo serem atualizados sem ocorrer alargamento do prazo de validade;
- Os certificados SCE para o GES que se encontram sujeitos a avaliação periódica, tem um prazo de validade de oito anos, que também podem ser objeto de atualização, sem ocorrer o alargamento do prazo de validade.

No âmbito das taxas de registo, apresentadas no art.º 18.º do DL 118/2013, o registo dos pré certificados e dos certificados no SCE é feito mediante o pagamento de uma taxa à ADENE, contudo após a entrada em vigor do DL 28/2016 o registo dos pré-certificados e dos certificados no SCE por parte do perito qualificado (PQ) é feito mediante o pagamento de uma taxa, cuja receita é repartida, até 10 %, por um fundo destinado a apoiar projetos de eficiência energética.

O DL 28/2016 vem completar o art.º 22.º referente ao objetivo do regulamento de desempenho energético dos edifícios de habitação, caracterizando que os requisitos mínimos a cumprir (estabelecidos pelo REH) são estabelecidos de forma a alcançar níveis ótimos de rentabilidade e revistos periodicamente em função dos resultados da análise de custo ótimo realizada para os edifícios de habitação, com intervalos de tempo inferiores a 5 anos.

2.1.6 Despacho (extrato) n.º 15793-C/2013, de 3 de dezembro

Procede à publicação dos modelos associados aos diferentes tipos de pré-certificado e certificado do sistema de certificação energética (SCE) a emitir para os edifícios novos, sujeitos a grande intervenção e existentes.

2.1.7 Despacho n.º 15793-E/2013, de 3 de dezembro

Estabelece as regras de simplificação a utilizar nos edifícios sujeitos a grandes intervenções, bem como existentes.

2.1.7.1 Levantamento dimensional

O levantamento dimensional traduz-se na realização de medições no local em análise, com o intuito da criação ou de verificação de peças desenhadas, com os valores de áreas e dos diferentes elementos construtivos, recorrendo, quando necessário, às regras de simplificação aplicadas na Tabela 2.1.1.

Tabela 2.1.1 - Regras de simplificação aplicáveis ao levantamento dimensional

Parâmetro	Regras de simplificação
Área interior útil de pavimento	Ignorar áreas de parede/ pavimento/ cobertura associadas a reentrâncias com profundidade inferior a 1,0m.
Área de parede (interior e exterior)	Ignorar áreas de parede/ pavimento/ cobertura associadas a recuados e avanços com profundidade inferior a 1,0 m.
Área de pavimento (interior e exterior)	Reduzir o valor da área útil de pavimento total em 10% caso a medição da área seja feita de forma global, incluindo a área de contacto das paredes divisórias com pavimentos, isto é, sem compartimentação dos espaços.
Área de cobertura (interior e exterior)	A área das coberturas inclinadas (inclinação superior a 10°) pode ser medida no plano horizontal agravando o valor medido em 25 %.
Pé-direito médio	Em caso de pé direito variável deverá ser adotado um valor médio e estimado em função das áreas de pavimento associadas (média ponderada).
Área de portas (interior e exterior)	As portas de envolvente com uma área envidraçada inferior a 25% poderão considerar-se incluídas na secção corrente da envolvente opaca contígua, sendo que no caso contrário poderão ser tratadas globalmente como um vão envidraçado.

2.1.7.2 Coeficiente de redução de perdas

Para efetuar um cálculo da transferência de calor por transmissão através da envolvente interior, quer seja em elementos em contacto com espaços não úteis, ou em elementos em contacto com edifícios adjacentes, é necessário calcular o b_{tr} que nos casos de edifícios/frações existentes ou sujeitos a grandes intervenções assume-se os valores:

- 0,8 para ENU;
- 0,6 para edifícios adjacentes.

2.1.7.3 Elementos opacos da envolvente

Nos casos de edifícios/frações existentes ou sujeitos a grandes intervenções, é possível não conseguir determinar as soluções construtivas, assim, de acordo com a ADENE⁴, é possível proceder às seguintes simplificações:

Para paredes simples de cantaria assume-se os valores presentes na Tabela 2.1.2.

Tabela 2.1.2 - Coeficientes de transmissão térmica de paredes simples de cantaria

Espessura da alvenaria (m)	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00
U (W/m ² .°C)	3,70	2,90	2,40	2,10	1,80

No caso de ser uma parede de alvenaria ordinária, paredes de alvenaria composta por tijolo maciço ou perfurado, ou paredes de taipa, deve-se usar os seguintes valores:

Tabela 2.1.3 - Coeficientes de transmissão térmica de paredes simples rebocadas (anteriores a 1960)

Espessura da alvenaria (m)	0,30	0,60	0,90	1,20
U (W/m ² .°C)	2,40	1,80	1,40	1,20

Em relação a paredes simples ou paredes duplas em que se desconheça o tipo de bloco utilizado, pode-se utilizar os valores da tabela.

Tabela 2.1.4 - Coeficientes de transmissão térmica de parede simples ou dupla rebocada (posterior a 1960)

Espessura da alvenaria (m)	0,18 a 0,20	0,23 a 0,29	0,30	0,35
U (W/m ² .°C)	1,70	1,30	1,10	0,96

Para o cálculo dos valores dos coeficientes de transmissão térmica de pavimentos e coberturas, deve-se usar os valores da seguinte tabela:

⁴ Fonte: <https://gestao.academiaadene.pt/download/pt/valores-por-defeito-para-edificios-existent.pdf>

Tabela 2.1.5 - Coeficientes de transmissão térmica de pavimentos e coberturas

Solução	Exterior	Interior
Pavimentos (fluxo descendente), U (W/m².°C)		
Pavimento leve (pavimento de madeira do tipo barrotes e soalho sem teto interior)	2,20	1,71
Pavimento pesado (betão)	3,10	2,21
Coberturas (fluxo ascendente), U (W/m².°C)		
Cobertura leve inclinada (cobertura de madeira fortemente ventilada)	3,80	3,09
Cobertura pesada inclinada (betão)	3,40	-
Cobertura pesada horizontal (betão)	2,60	2,25

2.1.7.4 Elementos da envolvente em contacto com o solo

Para determinar as perdas de calor por elementos em contacto com o solo, é necessário calcular o valor do coeficiente de transmissão térmica de paredes em contacto com o solo (U_{bw}) e o valor do coeficiente de transmissão térmica de pavimentos em contacto com o solo (U_{bf}), em função de um valor médio da profundidade enterrada ao longo do perímetro exposto (z) e das resistências térmicas dos pavimentos em contacto com o solo (R_f) e as paredes em contacto com o solo (R_w) com a exclusão das resistências superficiais interiores e exteriores, como se pode observar na seguinte tabela:

Tabela 2.1.6 - Coeficiente de transmissão térmica para elementos em contacto com o solo

z (m)	Pavimento enterrado U_{bf}		Parede enterrada U_{bw}	
	(W/m ² .°C)			
	$R_f < 0,75$	$R_f \geq 0,75$	$R_w < 0,75$	$R_w \geq 0,75$
<1	1,0	0,6	2,0	0,8
$1 \leq z < 3$	0,8	0,6	1,5	0,7
≥ 3	0,6	0,4	0,8	0,5

2.1.7.5 Pontes Térmicas Lineares

Para o cálculo das perdas de calor através de zonas de ponte térmica linear, poderão considerar-se os seguintes valores:

Tabela 2.1.7 - Valores por defeito para os coeficientes de transmissão térmica lineares

Tipos de ligação	Ψ (W/(m. °C))
Fachada com pavimentos térreos	
Fachada com pavimento sobre o exterior ou local não aquecido	
Fachada com cobertura	0,70
Fachada com pavimento de nível intermédio ⁽¹⁾	
Fachada com varanda ⁽¹⁾	

Duas paredes verticais em ângulo saliente	0,50

Fachada com caixilharia	
Zona da caixa de estore	0,30

⁽¹⁾ Os valores apresentados dizem respeito a metade da perda originada na ligação.

2.1.7.6 Classe de inércia térmica interior

Para inferir a classe de inercia térmica interior, deve-se efetuar o cálculo tendo em conta os revestimentos implementados e a massa superficial das soluções que foram adotadas. No entanto pode não ser possível determinar quais as soluções construtivas utilizadas; então pode-se utilizar algumas simplificações como:

Tabela 2.1.8 - Regras de simplificação aplicáveis à quantificação da inércia térmica interior

Classe de Inércia térmica interior	Requisitos
Fraca	<p>Caso se verifiquem cumulativamente as seguintes soluções:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Teto falso em todas as divisões ou pavimento de madeira ou esteira leve (cobertura); • Revestimento de piso do tipo flutuante ou pavimento de madeira; • Paredes de compartimentação interior em tabique ou gesso cartonado ou sem paredes de compartimentação;
Média	<p>Caso não se verifiquem os requisitos necessários para se classificar a classe de inércia térmica em Forte ou Fraca.</p>
Forte	<p>Caso se verifiquem cumulativamente as seguintes soluções, sem aplicação de isolamento térmico pelo interior:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pavimento e teto de betão armado ou pré-esforçado; • Revestimento de teto em estuque ou reboco; • Revestimento de piso cerâmico, pedra, parqué, alcatifa tipo industrial sem pelo, com exclusão de soluções de pavimentos flutuantes; • Paredes interiores de compartimentação em alvenaria com revestimentos de estuque ou reboco; • Paredes exteriores de alvenaria com revestimentos interiores de estuque ou reboco; • Paredes da envolvente interior (caixa de escadas, garagem, ...) em alvenaria com revestimentos interiores de estuque ou reboco;

2.1.7.7 Ganhos solares brutos

Relativamente aos ganhos solares através de envidraçados, poderão ser determinados de uma forma expedita, dispensando a avaliação rigorosa dos ângulos formados por cálculo do produto entre o fator de obstrução dos vãos envidraçados (F_s) e a fração envidraçada (F_g), tanto para a estação de aquecimento, como para a de arrefecimento, podendo ser feito através das tabelas seguintes.

Tabela 2.1.9 - Valor do produto $F_s.F_g$, para o cálculo das necessidades de aquecimento em edifícios existentes

Parâmetro	Regra de Simplificação	Regras de aplicação
Produto $F_s.F_g$	Sem sombreamento $F_s.F_g=0,63$ ($F_s=0,90$; $F_g=0,70$)	<ul style="list-style-type: none"> • Envidraçados orientados a Norte; • Envidraçados nas restantes orientações, sem obstruções do horizonte e sem palas.
	Sombreamento Normal/Standard $F_s.F_g=0,32$ ($F_s=0,45$; $F_g=0,70$)	<ul style="list-style-type: none"> • Envidraçados não orientados a Norte, com obstruções do horizonte ou palas que conduzam a um ângulo de obstrução inferior ou igual a 45°.
	Fortemente sombreado $F_s.F_g=0,19$ ($F_s=0,27$; $F_g=0,70$)	<ul style="list-style-type: none"> • Envidraçados não orientados a Norte, com obstruções do horizonte ou palas que conduzam a um ângulo de obstrução claramente superior a 45°.

Legenda:

F_s - Fator de obstrução dos vãos envidraçados;

F_g - Fração envidraçada;

Tabela 2.1.10 - Valor do produto $F_s.F_g$, para o cálculo das necessidades de arrefecimento em edifícios existentes

Parâmetro	Regra de Simplificação	Regras de aplicação
Produto $F_s.F_g$	Sem sombreamento $F_s.F_g=0,63$	<ul style="list-style-type: none"> • Envidraçados orientados a Norte; • Envidraçados nas restantes orientações, sem palas horizontais.
	Sombreamento Normal/Standard $F_s.F_g=0,56$	<ul style="list-style-type: none"> • Envidraçados não orientados a Norte, com palas horizontais que conduzam a um ângulo de obstrução inferior ou igual a 45°.
	Fortemente sombreado $F_s.F_g=0,50$	<ul style="list-style-type: none"> • Envidraçados não orientados a Norte, com palas horizontais conduzam a um ângulo de obstrução claramente superior a 45°.

2.1.7.8 Eficiência dos sistemas técnicos

A determinação da eficiência dos equipamentos de produção de AQS e dos sistemas técnicos, deverá ser feita através de uma inspeção realizada no último ano por uma entidade qualificada para tal, ou em alternativa poderá ser consultada informação técnica fornecida pelos fabricantes dos equipamentos. Se nenhuma das formas anteriores for possível, deve-se consultar a seguinte tabela, para obter a eficiência dos equipamentos instalados no edifício.

Tabela 2.1.11 - Valor base de eficiência para equipamentos convencionais de climatização e de produção de AQS em edifícios existentes

Tipo de sistema	Eficiência	Idade do sistema	Fator
Resistência elétrica para aquecimento ambiente	1	-	-
Termoacumulador elétrico para aquecimento ambiente e/ou preparação de AQS.	0,9	Entre 1 e 10 Anos	0,95
		> 10 Anos	0,90
		> 20 Anos	0,80
Esquentador ou caldeira a combustível gasoso ou líquido para aquecimento ambiente e/ou preparação de AQS.	0,75	Depois de 1995	0,90
		Até 1995	0,80
Caldeira a combustível sólido, recuperadores de calor ou salamandras para aquecimento ambiente e/ou preparação de AQS.	0,75	Entre 1 e 10 Anos	0,95
		> 10 Anos	0,90
		> 20 Anos	0,80
Sistema de ar condicionado para arrefecimento ambiente, aquecimento ambiente ou bombas de calor para preparação de AQS.	2,5	Entre 1 e 10 Anos	0,95
		> 10 Anos	0,90
		> 20 Anos	0,80

No caso de edifícios existentes nos quais não se encontrem instalados sistemas técnicos para aquecimento ambiente, arrefecimento ambiente ou preparação de AQS, devem ser consideradas as soluções por defeito aplicáveis e indicadas na Tabela I.03 da Portaria n.º 349-B/2013, de 29 de novembro, para os diferentes tipos de sistema.

2.1.8 Despacho 15793-F/2013, de 3 de dezembro

Procede à publicação dos parâmetros para o zonamento climático e respetivos dados.

2.1.9 Despacho 15793-G/2013, de 3 de dezembro

Procede à publicação dos elementos mínimos a incluir no procedimento de ensaio e receção das instalações e dos elementos mínimos a incluir no plano de manutenção (PM) e respetiva terminologia.

2.1.10 Despacho 15793-H/2013, de 3 de dezembro

Estabelece as regras de quantificação e contabilização do contributo de sistemas para aproveitamento de fontes de energia renováveis, de acordo com o tipo de sistema. Os números 1,2 e 3 do presente decreto, foram alterados pelo Despacho n.º 3156/2016. Passando a ser o programa SCE.ER para a determinação da energia produzida pelo sistema solar térmico e sistemas solares fotovoltaicos.

2.1.11 Despacho 15793-I/2013, de 3 de dezembro

Estabelece as metodologias de cálculo para determinar as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento e arrefecimento ambiente, as necessidades nominais de energia útil para a produção de águas quentes sanitárias (AQS) e as necessidades nominais anuais globais de energia primária. Este despacho sofreu alteração pelo despacho n.º 3777/2017, que veio quantificar a contribuição da energia renovável obtida a partir de bombas de calor, para a determinação das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento e arrefecimento ambiente, as necessidades nominais de energia útil para a produção de águas quentes sanitárias (AQS) e as necessidades nominais anuais globais de energia primária.

2.1.12 Despacho 15793-J/2013, de 3 de dezembro

Procede à publicação das regras de determinação da classe energética. No estudo de edifícios de habitação, é muito importante a classe energética associada a cada habitação, que é calculada para a realização de pré-certificados e certificados energéticos. A forma de obtenção desta classe, resulta do rácio entre o valor das necessidades nominais anuais de energia primária (N_{tc}) e o valor limite regulamentar para as necessidades nominais anuais de energia primária (N_t), sendo que ambas as metodologias de cálculo já foram apresentadas anteriormente. O rácio que permite a obtenção da classe energética, é dado pela expressão seguinte:

$$R_{Nt} = \frac{N_{tc}}{N_t} \quad (2.1.1)$$

Sendo que para cada intervalo de valores é associada uma determina letra que está associada a uma classe energética, sendo que quanto menor o valor do rácio, melhor classe se obtém.

Tabela 2.1.12 - Classificação energética

Classe Energética	Valor de R_{Nt}
A+	$R_{Nt} \leq 0,25$
A	$0,26 \leq R_{Nt} \leq 0,50$
B	$0,51 \leq R_{Nt} \leq 0,75$
B-	$0,76 \leq R_{Nt} \leq 1,00$
C	$1,01 \leq R_{Nt} \leq 1,50$
D	$1,51 \leq R_{Nt} \leq 2,00$
E	$2,01 \leq R_{Nt} \leq 2,50$
F	$R_{Nt} \geq 2,51$

2.1.13 Despacho 15793-K/2013, de 3 de dezembro

Publicação dos parâmetros térmicos para o cálculo dos valores que integram o presente despacho.

Coefficiente de transferência de calor:

$$H_t = H_{tr} + H_{ve}, [W/°C] \quad (2.1.2)$$

Tabela 2.1.13 - Coeficiente global de transferência de calor por transmissão

Para a estação de aquecimento	Para a estação de arrefecimento
$H_{tr,i} = H_{ext} + H_{enu} + H_{adj} + H_{ecs} [W/°C]$	$H_{tr,v} = H_{ext} + H_{enu} + H_{ecs} [W/°C]$

Transmissão através da envolvente exterior:

$$H_{ext} = b_{tr} \times \sum_i [U_i \cdot A_i] + \sum_j [\psi_j \cdot B_j] [W/°C] \quad (2.1.3)$$

Transmissão através da envolvente em contacto com espaços não úteis e em contacto com edifícios adjacentes:

$$H_{enu,adj} = (\sum_i [U_i \cdot A_i] + \sum_j [\psi_j \cdot B_j]), [W/°C] \quad (2.1.4)$$

Transmissão através de elementos em contacto com o solo:

$$H_{enu,adj} = \left(\sum_i [U_i \cdot A_i] + \sum_j [\psi_j \cdot B_j] \right), [W/°C] \quad (2.1.5)$$

Transferência de calor por ventilação:

$$H_{ve} = 0,34R_{ph} \cdot A_p \cdot P_d, [W/°C] \quad (2.1.6)$$

2.1.14 Despacho 15793-L/2013, de 3 de dezembro

Procede à publicação da metodologia de apuramento da viabilidade económica da utilização ou adoção de determinada medida de eficiência energética, prevista no âmbito de um plano de racionalização energética.

2.1.15 Portaria 349-B/2013, de 29 de novembro

Define a metodologia de determinação da classe de desempenho energético para a tipologia de pré-certificados e certificados SCE, bem como os requisitos de comportamento técnico e de eficiência dos sistemas técnicos dos edifícios novos e edifícios sujeitos a grande intervenção.

2.1.16 Portaria 379-A/2015, de 22 de outubro

Procede à primeira alteração da Portaria n.º 349 -B/2013, de 29 de novembro, que define a metodologia de determinação da classe de desempenho energético para a tipologia de pré -certificados e certificados SCE, bem como os requisitos de comportamento técnico e de eficiência de sistemas térmicos dos edifícios novos e sujeitos a intervenção.

2.1.17 Portaria 319/2016, de 15 de dezembro

Procede à segunda alteração da Portaria n.º 349-B/2013 que define a metodologia de determinação da classe de desempenho energético para a tipologia de pré-certificado e certificado SCE, bem como os requisitos de comportamento térmico e de eficiência dos sistemas técnicos de edifícios novos e sujeitos a intervenção.

2.1.18 Portaria n. 349-C/2013, de 2 de dezembro

Estabelece os elementos que deverão constar dos procedimentos de licenciamento ou de comunicação prévia de operações urbanísticas de edificação, bem como de autorização de utilização.

2.1.19 Declaração de Retificação n.º 4/2014, de 1 de janeiro

Retifica a Portaria n.º 349-C/2013, de 2 de dezembro, do Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia, que estabelece os elementos que deverão constar dos procedimentos de licenciamento ou de comunicação prévia de operações urbanísticas de edificação, bem como de autorização de utilização, publicada no Diário da República n.º 233, 1.ª série, 2.º suplemento, em 2 de dezembro de 2013.

2.1.20 Portaria n.º 353-A/2013, de 4 de dezembro

Estabelece os valores mínimos de caudal de ar novo por espaço, bem como os limiares de proteção e as condições de referência para os poluentes do ar interior dos edifícios de comércio e serviços novos, sujeitos a grande intervenção e existentes e a respetiva metodologia de avaliação

2.1.21 Portaria n.º 405/2015, de 20 de novembro

Procede à primeira alteração da Portaria n.º 349-C/2013, de 2 de dezembro, que estabelece os elementos que deverão constar dos procedimentos de licenciamento ou de comunicação prévia de operações urbanísticas de edificação, bem como de autorização de utilização.

2.2 FOLHAS DE CÁLCULO UTILIZADAS EM CERTIFICAÇÃO ENERGÉTICA

Ao longo do estágio foram utilizadas duas folhas de cálculo, a PT-nZEB e a IteCons, para o auxílio do estudo da classificação energética, tanto para habitações como para pequenos edifícios de serviços. As presentes folhas de cálculo encontram-se atualizadas, de acordo com a legislação em vigor, previamente apresentada.

Apresenta-se de seguida os dois separadores existentes na folha PT-nZEB⁵.

Para o primeiro separador, “Energia Útil” (Figura 2.2.1), é necessário inserir dados acerca do edifício em estudo, assim como elementos opacos, vãos envidraçados, áreas, pontes térmicas lineares, inércia térmica e a ventilação, sendo possível efetuar a verificação dos requisitos mínimos dos coeficientes de transmissão térmica, dos fatores solares máximos, assim como do valor mínimo da taxa de renovação de ar (R_{ph}).



Figura 2.2.1 - Separador “Energia Útil” da folha de cálculo

Neste segundo separador, “Energia Final, Energia Primária e Certificação Energética” (Figura 2.2.2), define-se e introduz-se os sistemas técnicos para as águas quentes sanitárias, aquecimento e arrefecimento assim como a afetação de cada equipamento.

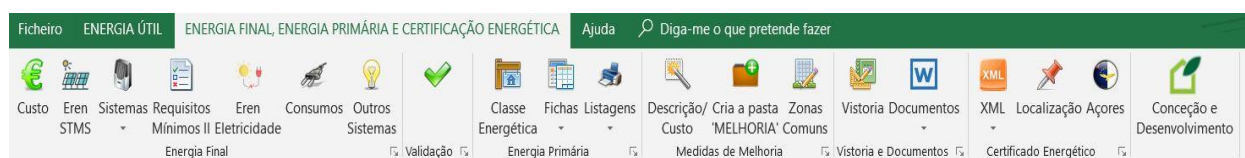


Figura 2.2.2 - Separador “Energia Final, Energia Primária e Certificação Energética” da folha de cálculo

⁵ Fonte: www.pt-nzeb.pt

No caso da ITeCons⁶ existem duas folhas de cálculo, sendo que uma delas é destinada ao cálculo da classificação energética de habitações e a outra é utilizada em pequenos edifícios de serviços/comércio. Essas folhas apresentam-se na Figura 2.2.3 e na Figura 2.2.4. A folha de cálculo encontra-se dividida sensivelmente em duas partes, uma primeira dita de informações relativas ao edifício e ao proprietário, e uma segunda fase dita de cálculo.

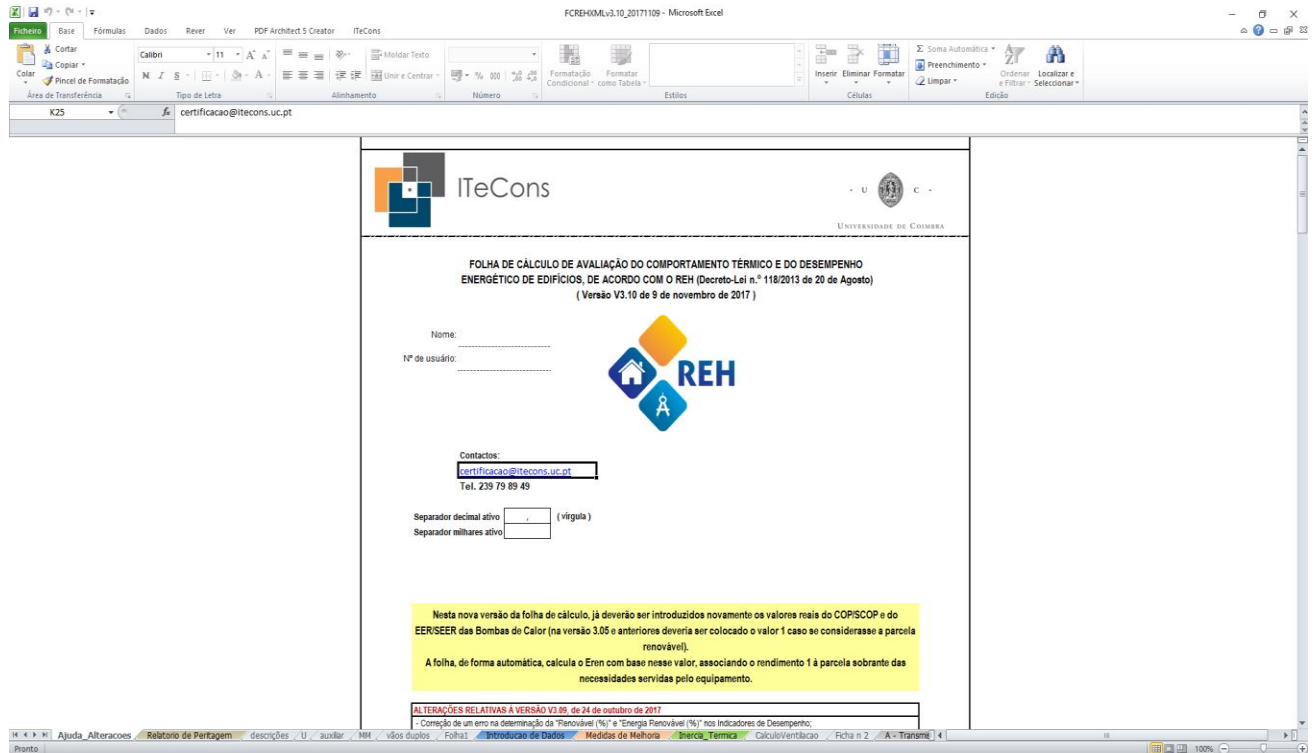


Figura 2.2.3 - Folha de cálculo de habitação

⁶ Fonte: www.itecons.uc.pt

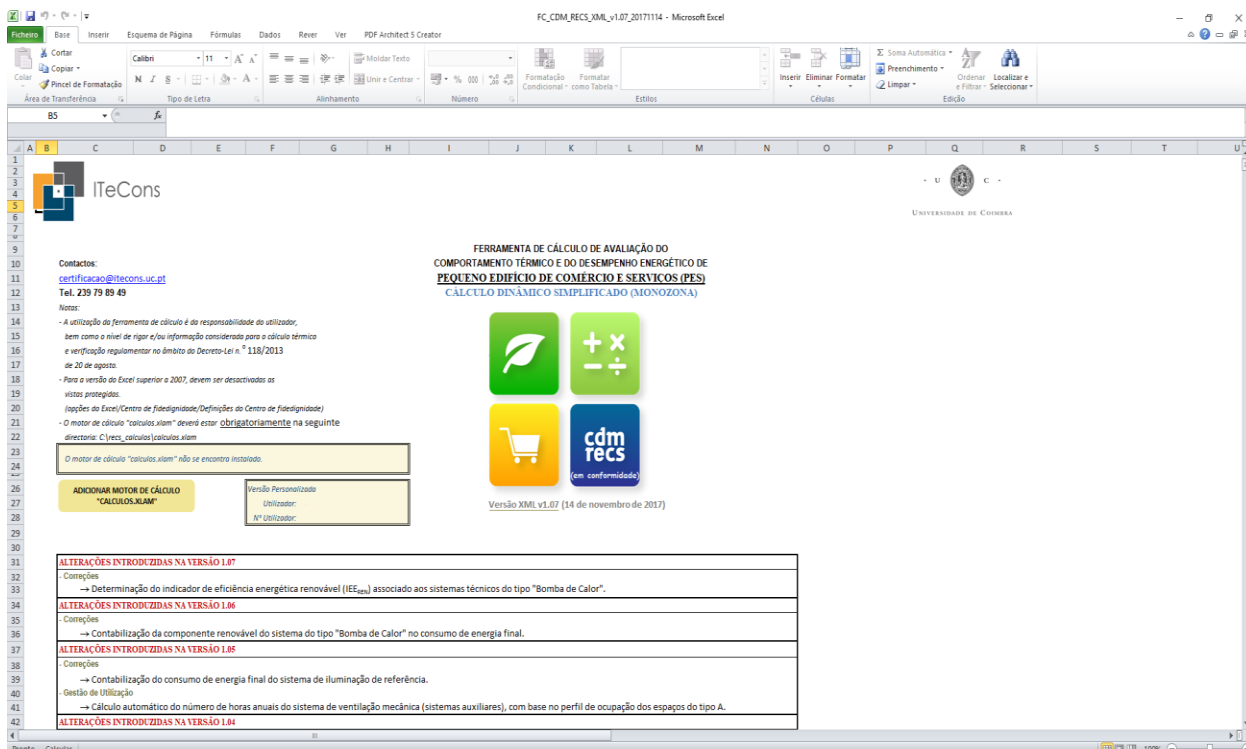


Figura 2.2.4 - Folha de cálculo de serviços

Ao longo do estágio, a folha de cálculo mais utilizada para apoio ao estudo do comportamento térmico e desempenho energético de edifícios, foi a PT-nZEB.

As folhas de cálculo referidas, possibilitaram o preenchimento de toda a informação necessária à emissão de pré-certificados e certificados energéticos. Depois de concluído o estudo e o preenchimento das mesmas, procede-se à criação de um ficheiro XML, que será posteriormente carregado para a plataforma da ADENE, para assim ser emitido o pré-certificado ou o certificado energético.

É de salientar que estas ferramentas permitem o preenchimento automático dos diversos tópicos na plataforma da ADENE, ao invés do rudimentar processo inicial, que implicava o preenchimento manual de todo os dados. Possibilitam ainda verificar se os valores regulamentares estão ou não a ser cumpridos, estando as células relativas aos pontos que não cumprem, pintadas de vermelho, facilitando e evitando erros relativos à verificação do regulamento.

2.2.1 Folhas de auxílio ao cálculo

Para se proceder ao cálculo da classe energética, é necessário a utilização de determinadas folhas de cálculo, tais como:

- Folha para o cálculo da ventilação – fornecida pelo LNEC;

- Folha para o cálculo de dados climáticos para edifícios de serviço e/ou comércio – fornecida pelo LNEG;
- Folhas de cálculo para o dimensionamento e verificação de painéis solares – fornecida pelo DGEG.

CAPÍTULO 3

CASO DE ESTUDO

3.1 APRESENTAÇÃO DO EDIFÍCIO

De forma a aplicar a legislação estudada, foi escolhida uma habitação unifamiliar, situada na Av. da Boavista, pertencente à união de freguesias de Aldoar, Foz do Douro e Nevogilde. O edifício será implantado num lote de terreno com 256,13 m², estando enquadrado numa construção nova.



Figura 3.1.1 - Localização do edifício em análise

O imóvel a construir tem apenas um piso, com uma área útil total de 94,76 m². Na Figura 3.1.1 está representado um desenho de duas fachadas do mesmo, criado pelo *software* REVIT 2018.

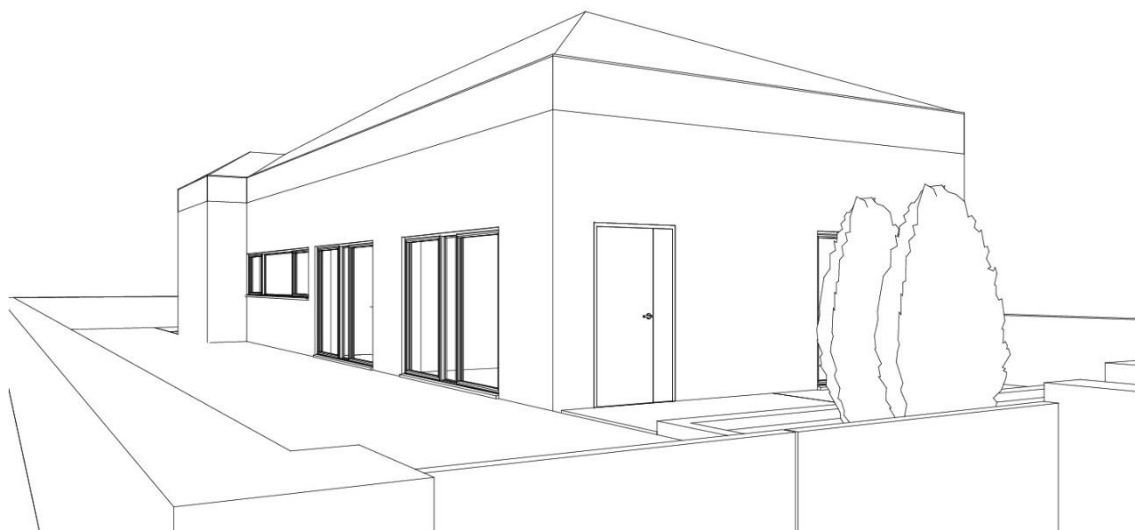


Figura 3.1.2 - Esquema representativo do edifício

Os cálculos apresentados nos subcapítulos seguintes, foram acompanhados pela folha de cálculo PT-nZEB, sendo que as fichas de cálculo geradas pela mesma, se encontram no Anexo II.

3.2 DADOS CLIMÁTICOS

Em Portugal existem seis zonas climáticas: três de inverno (I1, I2, I3) e três de Verão (V1, V2, V3), sendo estas importantes na aplicação de requisitos de qualidade térmica da envolvente dos edifícios. É possível consultar a representação das zonas no mapa de Portugal Continental no despacho n.º 15793-F/2013. Neste despacho, encontram-se definidos os dados climáticos para as diferentes localizações e respetivas altitudes. Os valores são apresentados por NUTS III e para uma altitude de referência.

O edifício em estudo localiza-se no distrito e concelho do Porto e, de acordo com o despacho, pertence à zona do “Grande Porto”. O edifício encontra-se perto da zona costeira (distância inferior a 5 km), numa zona urbana e à altitude de 19 metros.

A Equação 3.2.1 permite determinar o número de graus-dias (GD) e a temperatura exterior média ($\theta_{ext,v}$), dados necessários para determinar as zonas climáticas e é expressa por:

Equação 3.2.1 - Expressão que permite definir determinados parâmetros climáticos

$$X = X_{REF} + a(z - z_{REF}) \text{ [meses ou } ^\circ\text{C]} \quad (3.2.1)$$

Em que:

X parâmetro climático a definir;

X_{ref} parâmetro climático de referência a definir;

a declive;

z altitude do local em estudo (m);

z_{ref} altitude de referência para a NUTS III, em que o município da habitação se inclui, (m).

3.2.1 Estação de aquecimento

Para obter a classificação da estação de aquecimento, inicialmente deve ser consultado o despacho acima referido, assim como os valores de referência e respetivos declives. A Tabela 3.2.1 apresenta os parâmetros climáticos pertinentes que permitem o cálculo dos GD.

Tabela 3.2.1 - Valores de referência e declives para ajustes em altitude para a zona do Grande Porto

	z		M		GD		$\theta_{ext,i}$		G_{sul}
	<i>REF</i>	<i>REF</i>	a	<i>REF</i>	a	<i>REF</i>	a	kWh/m^2	
	<i>m</i>	<i>meses</i>	<i>mês/km</i>	$^{\circ}C$	$^{\circ}C/km$	$^{\circ}C$	$^{\circ}C/km$	<i>por mês</i>	
Grande Porto	94	6,2	2	1250	1600	9,9	-7	130	

$$GD = 1250 + 1,6 \times (19 - 94) \cong 1130 \text{ } ^{\circ}C.dia$$

Comparando o valor obtido, com os valores limites (Tabela 3.2.2), pode afirmar-se que a habitação em estudo pertence à zona climática I_1 .

Tabela 3.2.2 - Critérios para determinação da zona climática de Inverno

Critério	$GD \leq 1300$	$1300 < GD \leq 1800$	$GD > 1800$
Zona	I_1	I_2	I_3

3.2.2 Estação de arrefecimento

Semelhante à obtenção da estação de aquecimento, para a de arrefecimento, procede-se à obtenção da temperatura exterior média ($\theta_{ext,v}$) e da energia solar acumulada durante a estação em função da orientação das superfícies (parâmetros climáticos pertinentes) para determinar a respetiva estação.

Tabela 3.2.3 - Valores de referência e declives para ajustes em altitude para a zona do Grande Porto

<i>z</i>	$\theta_{ext,v}$		I_{sol}									
	<i>REF</i>	<i>REF</i>	<i>a</i>	<i>kWh/m² acumuladaos de Junho a Setembro</i>								
				90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°
			0°	<i>N</i>	<i>NE</i>	<i>E</i>	<i>SE</i>	<i>S</i>	<i>SW</i>	<i>W</i>	<i>NW</i>	
Grande Porto	94	20,9	0	800	220	350	490	490	425	490	490	350

$$\theta_{ext,v} = 20,9 + 0,0 \times (19 - 94) \cong 20,9 \text{ °C}$$

Comparando o valor obtido, com os valores limites (Tabela 3.2.4), pode afirmar-se que a habitação em estudo pertence à zona climática V₂.

Tabela 3.2.4 - Critérios para determinação da zona climática de Verão

Critério	$\theta_{ext,v} \leq 20\text{°C}$	$20\text{°C} < \theta_{ext,v} \leq 22\text{°C}$	$\theta_{ext,v} > 22\text{°C}$
Zona	V ₁	V ₂	V ₃

3.3 MARCAÇÃO DE ENVOLVENTES

Para a marcação das envolventes, utilizou-se um código de cores, tal como se mostra na Figura 3.3.1.





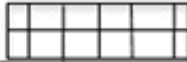

Envolvente exterior	
Envolvente interior com requisitos de exterior	
Envolvente interior com requisitos de interior	
Envolvente sem requisitos	
Em planta identificar pavimento (com a respetiva cor)	
Em planta identificar cobertura (com a respetiva cor)	

Figura 3.3.1 - Legenda da marcação das envolventes

Esta marcação é fulcral na identificação das áreas a considerar para o cálculo, como tal, apresenta-se com maior pormenor as cores utilizadas:

- **Vermelho:** associada à envolvente exterior tais como paredes, cobertura e pavimentos em contacto direto com o exterior;
- **Amarelo:** serve para marcação de envolventes em contacto com espaços não úteis, com b_{tr} superior a 0,7, designando-se como envolvente interior com requisitos de exterior;
- **Azul:** associa-se à marcação de envolventes em contacto com edifícios adjacentes e com espaços não úteis, com b_{tr} igual ou inferior a 0,7, designando-se como envolvente interior com requisitos de interior;
- **Verde:** serve para marcação de envolventes sem requisitos (em contacto com o solo, ou com frações vizinhas).

Para a determinação do valor do b_{tr} é necessário consultar a seguinte tabela de acordo com o Despacho 15793-K/2013:

Para determinar as perdas para espaços não úteis, ENU, e edifícios adjacentes é necessário quantificar o coeficiente de redução de perdas, b_{tr} , de cada um desses espaços, da seguinte forma:

Tabela 3.3.1 - Quantificação do b_{tr} para ENU's

b_{tr}	$V_{enu} \leq 50 \text{ m}^3$		$50 \text{ m}^3 < V_{enu} \leq 200 \text{ m}^3$		$V_{enu} \geq 200 \text{ m}^3$	
	f	F	f	F	f	F
$A_i/A_u < 0,5$	1,0		1,0		1,0	
$0,5 \leq A_i/A_u < 1$	0,7	0,9	0,8	1,0	0,9	1,0
$1 \leq A_i/A_u < 2$	0,6	0,8	0,7	0,9	0,8	1,0
$2 \leq A_i/A_u < 4$	0,4	0,7	0,5	0,9	0,6	0,9
$A_i/A_u \geq 4$	0,3	0,5	0,4	0,8	0,4	0,8

em que,

A_i – Somatório das áreas dos elementos que separam o espaço interior útil do espaço não útil (m^2);

A_u – Somatório das áreas dos elementos que separam o espaço não útil do ambiente exterior (m^2);

V_{enu} – Volume do espaço não útil (m^3);

f – Espaço não útil que apresenta todas as ligações bem vedadas, sem aberturas de ventilação permanentemente abertas;

F – Espaço não útil permeável ao ar, devido à existência de ligações e aberturas de ventilação permanentemente abertas.

Em seguida apresenta-se os espaços não uteis da habitação, assim com o cálculo do seu volume e áreas em contacto com espaços aquecidos.

- **Edifício adjacente**

Segundo o Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013, ponto 11.2, para quantificar as perdas que ocorrem a partir de um espaço com condições de referência, para um edifício adjacente, deve ser utilizado um valor de coeficiente de redução de perdas, $b_{tr} = 0,6$.

- **Desvão de cobertura**

$A_i = 94,76 \text{ m}^2$ (área que separa o ENU dos espaços interiores);

$A_u = 104,24 \text{ m}^2$ (área que separa o ENU do exterior);

$$\frac{A_i}{A_u} = \frac{94,76}{104,24} = 0,9$$

$$V_{enu} = 94,76 \times 1.52 = 143.58 \text{ m}^3$$

Considerando que não possui aberturas de ventilação permanentemente abertas, f , obtém-se $b_{tr}=0,8$.

A Figura 3.3.2 apresenta a planta da habitação, com as respetivas envolventes no pavimento e na cobertura.

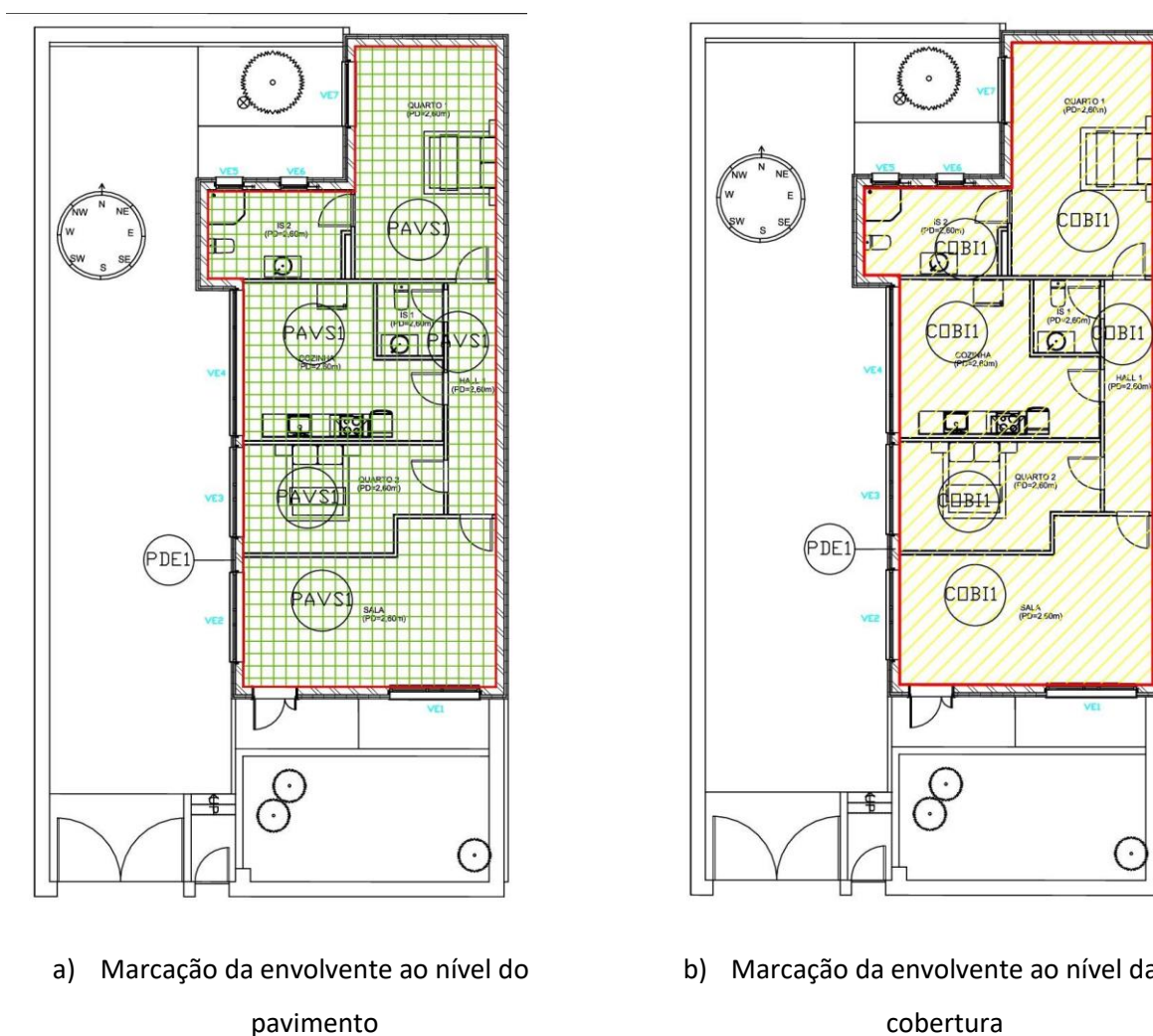


Figura 3.3.2 - Marcação das envolventes

3.4 VERIFICAÇÃO DE REQUISITOS MÍNIMOS DE QUALIDADE DAS ENVOLVENTES

3.4.1 Envolvente opaca – Coeficiente de transmissão térmica (U)

De acordo com o estabelecido no REH, é necessário verificar se cada uma das soluções propostas para a envolvente da habitação, cumpre os respetivos requisitos mínimos. O cálculo destes requisitos é feito através das seguintes expressões:

$$U = \frac{1}{R_t} \quad (3.4.1)$$

Equação 3.4.1 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica superficial

Em que:

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

$R_t \rightarrow$ Resistência térmica, $[(m^2 \cdot ^\circ C)/W]$. A resistência térmica é obtida pela seguinte expressão:

$$R_t = R_{si} + \sum_j R_j + R_{se} \quad (3.4.2)$$

Equação 3.4.2 - Cálculo da Resistência térmica

Em que:

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

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

$R_{se} \rightarrow$ Resistência térmica exterior, $[(m^2 \cdot ^\circ C)/W]$.

PAREDES EXTERIORES

Apenas se definiu um tipo de parede exterior, que se designou por ParE1 (Figura 3.4.1). Esta é uma parede exterior, com fluxo 'horizontal' e é constituída, do exterior para o interior, por:

- Reboco delgado armado, espessura de 0,005 m, resistência térmica de $0,004 m^2 \cdot ^\circ C/W$;
- (EPS) Isolamento térmico em "poliestireno expandido", com massa volúmica aparente seca superior a $20 kg/m^3$, espessura de 0,060m, resistência térmica de $1,622 m^2 \cdot ^\circ C/W$;
- PAVICER bloco térmico de 20 (designação BT 15), $736 kg/m^3$, $R=0,769 (m^2 \cdot ^\circ C)/W$, $490 \times 200 \times 190$ mm;
- Gesso estuque tradicional sem inertes, com massa volúmica aparente seca compreendida entre $1000 kg/m^3$ e $1300 kg/m^3$, espessura de 0,020m, resistência térmica de $0,035 m^2 \cdot ^\circ C/W$.

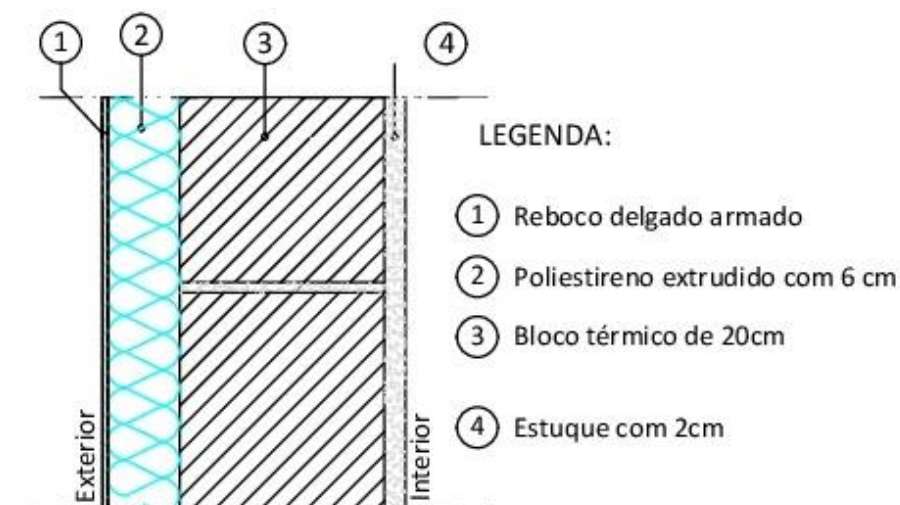


Figura 3.4.1 - Pormenor construtivo da parede exterior

A parede exterior obteve um coeficiente de transmissão térmica superficial (U) com o valor de 0,38 W/(m²·°C).

PONTES TÉRMICAS PLANAS (PTP)

No caso de estudo, existem dois tipos de pontes térmicas planas, no entanto as suas ligações apresentar-se-ão no subcapítulo 3.9. Necessidades nominais anuais de energia útil de referência para aquecimento:

- **VIGA**

A ponte térmica plana produzida através das vigas da habitação apresenta-se com a designação de PTPE1 (Figura 3.4.2). Esta apresenta um fluxo 'horizontal' sendo constituída por:

- Reboco delgado armado, espessura de 0,005 m, resistência térmica de 0,004m²·°C/W;
- (EPS) Isolamento térmico em "poliestireno expandido", com massa volúmica aparente seca superior a 20 kg/m³, espessura de 0,060 m, resistência térmica de 1,622 m²·°C/W;
- Betão armado de inertes correntes (calcários, siliciosos e silico-calcários) "betão estrutural", com massa volúmica aparente seca compreendida entre 2300 kg/m³ e 2400 kg/m³, espessura de 0,200 m, resistência térmica de 0,100 m²·°C/W;
- Gesso estuque tradicional sem inertes, com massa volúmica aparente seca compreendida entre 1000 kg/m³ e 1300 kg/m³, espessura de 0,020m, resistência térmica de 0,035 m²·°C/W.

O coeficiente de transmissão térmica superficial deste elemento tem um valor de 0,52 W/(m²·°C).



Figura 3.4.2 - Pormenor construtivo da viga e do pilar

• **PILAR**

A ponte térmica plana produzida através dos pilares da habitação apresenta-se com a designação de PTPE2 (Figura 3.4.2) e tem uma constituição igual à da PTP da viga. Esta apresenta um fluxo 'horizontal' sendo constituída por:

- Reboco delgado armado, espessura de 0,005 m, resistência térmica de $0,004 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$;
- (EPS) Isolamento térmico em "poliestireno expandido", com massa volúmica aparente seca superior a $20 \text{ kg}/\text{m}^3$, espessura de 0,060 m, resistência térmica de $1,622 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$;
- Betão armado de inertes correntes (calcários, siliciosos e silico-calcários) "betão estrutural", com massa volúmica aparente seca compreendida entre $2300 \text{ kg}/\text{m}^3$ e $2400 \text{ kg}/\text{m}^3$, espessura de 0,200 m, resistência térmica de $0,100 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$;
- Gesso estuque tradicional sem inertes, com massa volúmica aparente seca compreendida entre $1000 \text{ kg}/\text{m}^3$ e $1300 \text{ kg}/\text{m}^3$, espessura de 0,020 m, resistência térmica de $0,035 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$.

O coeficiente de transmissão térmica superficial deste elemento tem um valor de $0,52 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

COBERTURAS INTERIORES

A cobertura interior designa-se como Cobl1 (Figura 3.4.3). O seu fluxo é 'vertical ascendente' e é constituída, do espaço não útil (ENU) para o interior, por:

- (MW) Isolamento térmico em "lã de rocha", com massa volúmica aparente seca compreendida entre $100 \text{ kg}/\text{m}^3$ e $180 \text{ kg}/\text{m}^3$, espessura de 0,080 m, resistência térmica de $2,353 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$;
- Laje aligeirada com blocos cerâmicos de base igual ou inferior a 0,30 m, com duas fiadas de furos, com altura total compreendida entre 0,13 m e 0,15 m;
- Gesso estuque tradicional sem inertes, com massa volúmica aparente seca compreendida entre $1000 \text{ kg}/\text{m}^3$ e $1300 \text{ kg}/\text{m}^3$, espessura de 0,020 m, resistência térmica de $0,035 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$.

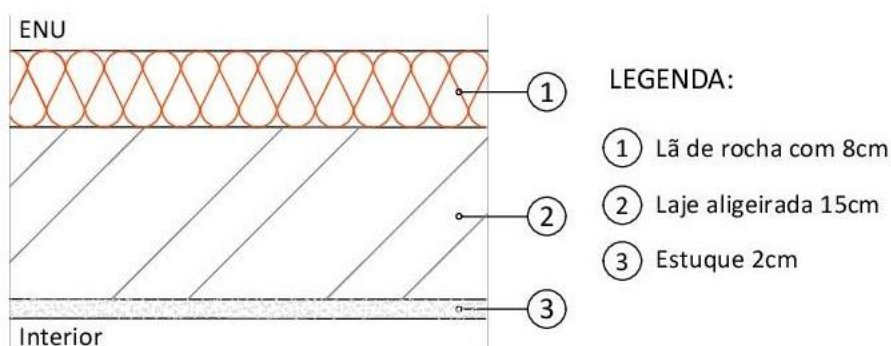


Figura 3.4.3 - Pormenor construtivo da cobertura interior

O coeficiente de transmissão térmica superficial (U) obtido foi de $0,37 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

PAVIMENTOS EM CONTACTO COM O SOLO

Todo o pavimento está em contato com o solo, visto que o edifício apenas apresenta um piso térreo. Apresenta a designação de PavS1 (Figura 3.4.4) e é constituído, do interior da habitação para o solo, por:

- Revestimento de piso (madeira, flutuante, cerâmico, pedra);
- Betonilha armada, espessura de 0,070m, resistência térmica de $0,028 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$;
- Manta acústica Impactodan 10 com 1 cm, espessura de 0,010 m, resistência térmica de $0,250 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$;
- (XPS) Isolamento térmico em "poliestireno extrudido", com massa volúmica aparente seca compreendida entre $25 \text{ kg}/\text{m}^3$ e $40 \text{ kg}/\text{m}^3$, espessura de 0,040 m, resistência térmica de $1,081 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$;
- Membrana asfáltica;
- Betonilha de regularização, espessura de 0,030 m, resistência térmica de $0,091 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$.

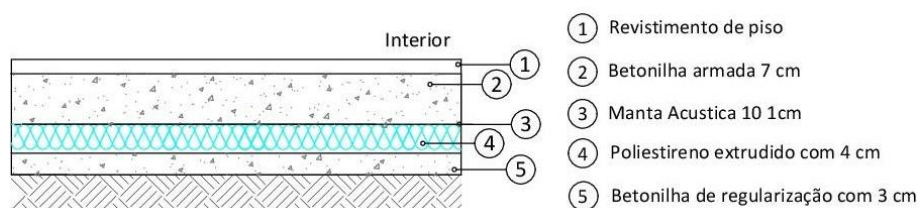


Figura 3.4.4 - Pormenor de pavimento em contacto com o solo

Com esta constituição, obteve-se o valor de $0,42 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, para o coeficiente de transmissão térmica superficial (U_{bf}).

3.4.2 Envolvente envidraçada – Coeficiente de transmissão térmica (U)

ENVIDRAÇADOS VERTICAIS EXTERIORES

Os elementos envidraçados apresentam todos as mesmas características, mas com distintas áreas, tendo sido designado por VenE1. Os vãos verticais exteriores apresentam a seguinte constituição:

- caixilharia simples, com a seguinte composição:
 - Caixilharia SAPA em alumínio com corte térmico BZI / BZI.77, sem quadrícula.
- Vidro SGG duplo com baixa emissividade (PLANITHERM 4 S 6mm, câmara de 16mm (ar), PLANICLEAR 4mm), $g_{\perp vi}=0,43$, $U_g=1,29 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;

- Sistema de proteção do envidraçado constituído por 'Cortinas opacas', de cor 'clara' (proteção móvel interior).

Os envidraçados apresentam dois tipos de coeficiente de transmissão térmica superficial, (U_w) 2,02 W/(m²·°C) e (U_{wdn}) 1,80 W/(m²·°C), sem proteção ativa e com proteção ativa, respetivamente. O vidro tem um fator solar para uma incidência normal ao vão, g_{vi} , de 0,43 enquanto que o fator solar do vão com todos os dispositivos de proteção permanentes ou móveis ativados, g_T , apresenta um valor de 0,21.

3.4.3 Cálculo da inércia térmica

Com o intuito de determinar o limite do fator solar máximo admissível de vãos envidraçados ($g_{Tmáx}$), é necessário saber qual a classe da inercia térmica da habitação em estudo. Esta é obtida de acordo com o cálculo da massa térmica superficial útil por superfície de área de pavimento, I_t , e é calculada pela seguinte expressão:

$$I_t = \frac{\sum Ms_i \times r \times S_i}{Ap} \quad (3.4.3)$$

Equação 3.4.3 – Quantificação da inércia térmica

Em que:

Ms_i → massa superficial útil do elemento i , [kg/m²];

r → fator de redução da massa superficial útil;

S_i → área da superfície interior do elemento i , [m²];

Ap → área interior útil de pavimento, [m²].

A inércia térmica traduz-se pela capacidade de armazenamento de calor que os materiais apresentam, variando de acordo com a massa superficial útil de cada um dos elementos construtivos. A massa superficial útil é obtida em função da localização e constituição dos elementos, nomeadamente o posicionamento (horizontal, vertical ou inclinado), o isolamento térmico (se é colocado pelo interior, pelo exterior ou ainda se, no elemento construtivo existe caixa de ar) e ainda pelas características das soluções do revestimento superficial.

Os elementos construtivos dividem-se em três grupos

- EL1 – Elementos da envolvente exterior ou interior, ou elementos de construção em contacto com outra fração autónoma ou com edifício adjacente;
- EL2 – Elementos em contacto com o solo;
- EL3 – Elementos de compartimentação interior da fração autónoma (parede ou pavimento).

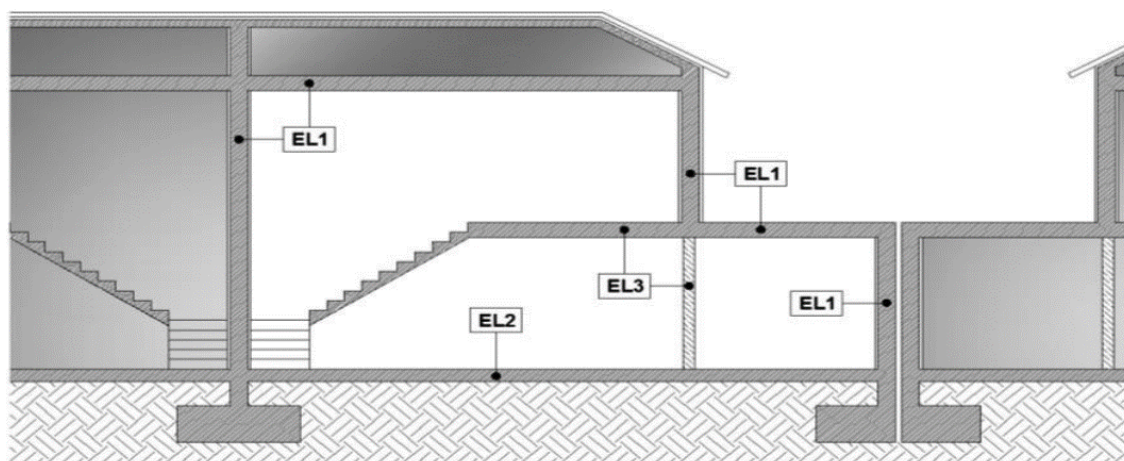


Figura 3.4.5 - Identificação dos elementos construtivos para o cálculo da inércia térmica interior (fonte: Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013)

As massas dos diferentes podem ser obtidas em tabelas técnicas, através de publicações do LNEC acerca da caracterização térmica de paredes de alvenaria ou pavimentos pré-fabricados, ou ainda através de documentos técnicos disponíveis. Como tal, apresenta-se o cálculo detalhado para a obtenção do valor da classe de inércia térmica do edifício:

Tabela 3.4.1 - Cálculo detalhado da inércia térmica

Elemento	Ms_i (kg/m ²)	r_i	S_i (m ²)	$Ms_i \times r_i \times S_i$ (kg)
Tipo EL1				
ParE1	150,00	1,00	86,15	12 922,50
Cobl1	150,00	1,00	94,76	14 214,00
PTPE1	150,00	1,00	3,15	471,90
PTPE2	150,00	1,00	6,00	900,12
Tipo EL2				
PavS	150,00	1,00	94,76	14 213,48
Tipo EL3				
ParEL3.1	150,00	1,00	71,27	1 425,32
				$\Sigma = 44 147,32$

Sabendo que a área do pavimento é de 94,76 m² e com o somatório apresentado em cima, é possível determinar o valor da inércia térmica da habitação em estudo:

$$I_t = \frac{44147,32}{94,76} = 465,89 \text{ kg/m}^2$$

De acordo com as tabelas das classes térmicas interiores, presentes na Tabela 3.4.2, verifica-se que a habitação tem uma classe de inercia térmica forte. Com este valor e através da consulta da tabela I.06 da Portaria n.º 349-B/2013, verifica-se que o fator solar máximo admissível para vãos envidraçados, em habitações com inércia térmica forte, é de 0,56, valor apresentado na Tabela 3.4.3.

Tabela 3.4.2 - Classes de inércia térmica interior, I_t (fonte: Despacho (extrato) n.º 1539-K/2013)

Classe de inércia térmica	I_t (kg/m ²)
Fraca	$I_t < 150$
Média	$150 \leq I_t \leq 400$
Forte	$I_t > 400$

Tabela 3.4.3 - Fatores solares máximos admissíveis de vãos envidraçados (fonte: Portaria n.º 349-B/2013)

g_{Tmax}	Zona Climática		
Classe de Inércia	V1	V2	V3
Fraca	0,15	0,10	0,10
Média	0,56	0,56	0,50
Forte	0,56	0,56	0,50

Para efeitos de ganhos térmicos pelos vãos envidraçados para as estações de aquecimento e arrefecimento, considera-se a incidência da radiação solar normal à superfície do vão, sendo esta deve ser corrigida por um fator que traduz a variação da incidência da radiação, consoante a orientação, F_w . O fator solar do vidro, sempre que possível, deve ser fornecido pelo fabricante, quando não é possível, apresenta-se na tabela 12 do Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013 valores de fatores solares de envidraçados de várias composições (simples, duplos, incolores, coloridos) ou através do cálculo do fator solar de acordo com a norma EN 140.

No ponto 2.3, do Anexo I, da Portaria n.º 349-A/2013, todos os envidraçados cujo somatório das suas áreas seja inferior a 5% a área do pavimento ou que estejam orientados a Norte, encontram-se isentos

desta verificação. Em todas as restantes orientações e quando a área ultrapassa os 5% da área do pavimento, efetua-se o cálculo do fator solar, que varia com as seguintes condições:

$$\circ \text{ Se } A_{\text{env}} \leq 15 \% A_{\text{pav}} \rightarrow g_T \cdot F_0 \cdot F_f \leq g_{T\text{max}} \quad (3.4.4)$$

Equação 3.4.4 – Cálculo de verificação do fator solar, quando a área do envidraçado é inferior ou a igual a 15% a área do pavimento

Em que:

F_0 → Fator de sombreamento por elementos horizontais sobrejacentes ao envidraçado, como palas e varandas;

F_f → Fator de sombreamento por elementos verticais adjacentes ao envidraçado, como palas verticais, outros corpos ou partes de um edifício.

$$\circ \text{ Se } A_{\text{env}} > 15 \% A_{\text{pav}} \rightarrow g_T \cdot F_0 \cdot F_f \leq g_{T\text{max}} \cdot \frac{0,15}{\left(\frac{A_{\text{env}}}{A_{\text{pav}}}\right)} \quad (3.4.5)$$

Equação 3.4.5 – Cálculo de verificação do fator solar, quando a área do envidraçado é superior a 15% a área do pavimento

Os valores dos fatores de sombreamento variam de acordo com a vão em estudo. Em seguida apresenta-se um quadro resumo com os valores obtidos.

Tabela 3.4.4 - Resumo dos fatores de sombreamento

Localização	Orientação	Área (m ²)	F ₀ α	F _f β _{esquerda}	F _f β _{direita}	F ₀	F _f	F _s *
Sala (V1)	S	4,72	26	–	–	0,63	1	0,77
Sala (V2)	W	4,72	–	–	–	1	1	0,90
Quarto 2 (V3)	W	4,72	–	–	–	1	1	0,90
Cozinha (V4)	W	3,74	–	–	28	1	0,90	0,90
I.S. 2 (V5)	N	0,45	19	–	53	1	1	0,90
I.S. 2 (V6)	N	0,45	19	–	> 60	1	1	0,90
Quarto 1 (V7)	W	3,40	–	> 60	–	1	0,95	0,52

(*) – O fator de obstrução designa-se como F_s e obtém-se pela expressão: $F_s = F_H \times F_0 \times F_f$

Após a obtenção destes fatores é necessário verificar se os envidraçados cumprem os requisitos mínimos regulamentares. A Tabela 3.4.5 apresenta um quadro resumo com essa verificação.

Tabela 3.4.5 - Verificação dos requisitos relativos ao fator solar para os vãos envidraçados

Id.	$A_{env} (m^2)$	$A_{pav} (m^2)$	g_T	$g_T \cdot F_0 \cdot F_f$	$\frac{A_{env}}{A_{pav}}$	Valor máximo regulamentar	Verificação
V1	4,72	24,21	0,21	0,14	0,39	0,22	Cumpre
V2	4,72	24,21	0,21	0,21	0,39	0,22	Cumpre
V3	4,72	13,06	0,21	0,21	0,36	0,23	Cumpre
V4	3,74	17,25	0,21	0,20	0,22	0,38	Cumpre
V5	0,45	8,07	0,21	0,21	*	*	*
V6	0,45	8,07	0,21	0,21	*	*	*
V7	3,40	21,67	0,21	0,18	0,16	0,53	Cumpre

(*) – Envidraçados orientados a norte não necessitam de verificação

Todos os envidraçados cumprem com a legislação em vigor, como tal, em seguida apresenta-se a verificação dos limites regulamentares aos elementos opacos.

Tabela 3.4.6 - Verificação dos requisitos para elementos opacos

Elemento	$U (W/(m^2 \cdot ^\circ C))$	$U_{m\acute{a}x} (W/(m^2 \cdot ^\circ C))$	Verificação
ParE1	0,38	0,50	Cumpre
PTPE1	0,52	0,90	Cumpre
PTPE2	0,52	0,90	Cumpre
Cobl1	0,37	0,40	Cumpre
VenE1	1,80	2,80	Cumpre

Com os valores obtidos nas Tabela 3.4.5 e Tabela 3.4.6, é correto afirmar que as soluções construtivas referentes aos elementos opacos e envidraçados cumprem com a legislação atualmente imposta em Portugal. Deste modo, é necessário proceder às verificações referentes aos equipamentos a utilizar, antes dos cálculos das necessidades de energia.

3.5 RENOVAÇÃO DE AR

A renovação de ar de um edifício de habitação pode ser de do tipo natural/mecânica ou pontual, e traduz-se na renovação do ar interior pela entrada de ar exterior. Atualmente a legislação em vigor para ventilação em edifícios de habitação, obriga a uma taxa de renovação mínima de ar de 0,40 renovações por hora.

A ventilação natural recorre à ação do vento e da temperatura para permitir um escoamento natural dos espaços de ar interiores de edifícios seja por aberturas permanentes ou móveis (grelhas de ventilação, janelas, chaminés), com áreas adequadas à circulação do ar.

A ventilação mecânica, por sua vez, permite a renovação do ar com recurso a sistemas/equipamentos (exaustores/extratores) que realizem a renovação do ar interior por extração do ar e/ou insuflação do ar exterior.

Por último é ainda possível recorrer a ventilação pontual, isto é, extração do ar por um equipamento mecânico aquando da utilização do espaço onde se encontra, este equipamento pode estar ligado à iluminação (eletricidade) do compartimento em questão, como se verifica usualmente nas instalações sanitárias.

No edifício em estudo, foi considerada a utilização de grelhas de admissão de ar na caixilharia do tipo Renson Invisivent Evo 2 Pa com $51,4\text{m}^2/\text{h}/\text{m}$, com um comprimento de 4 metros e ainda duas condutas instaladas nas instalações sanitárias para a exaustão do ar viciado. A caixilharia a colocar tem uma classe de permeabilidade ao ar de 4.



Figura 3.5.1 - Grelha de admissão de ar

Nos edifícios de habitação, o valor de taxa de renovação horária de ar deve ser igual ou superior a 0,4 renovações por hora. Através da folha de cálculo de ventilação do LNEC, obteve-se um valor de 0,44 renovações por hora de ar. Uma vez que o valor mínimo regulamentar é de 0,40 renovações por hora, é verificado o cumprimento da legislação em vigor.

No anexo III, apresenta-se a folha de cálculo (do LNEC), com a obtenção do valor da renovação de ar por hora, a qual o edifício está sujeito.

3.6 PREPARAÇÃO DE ÁGUAS QUENTES SANITÁRIAS

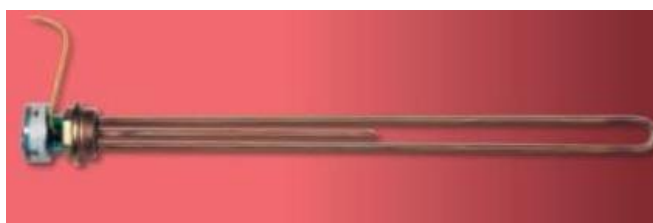
A folha de cálculo SCE.ER elabora um relatório de simulação de sistema solar térmico, com um painel padrão, que estabelece os requisitos mínimos presentes no REH. Para a tipologia em estudo, obteve-se o valor mínimo de energia renovável necessária satisfeita por origem solar de 1 002 kW.h.

Com o valor limite mínimo estabelecido, para águas quentes sanitárias, procedeu-se ao dimensionamento de um painel solar constituído por um sistema compacto por termossifão da Vulcano, modelo TSS200 FCC-2, que apresenta um valor de energia renovável por origem solar de 1 065 kW.h.

Este painel deverá ser instalado na cobertura, de forma a evitar obstruções do horizonte, com azimute Sul e inclinação 36°. A área dos coletores a considerar é de 2,09 m², tendo um depósito de 200 litros de capacidade com permutador de calor em camisa e eficácia de 35%, localizado no exterior da habitação em posição horizontal. Deve ser construído em aço vitrificado com isolamento térmico em espuma rígida de poliuretano com 55mm de espessura. A rede de transporte de fluido deve ser isolada e protegida mecanicamente. O controlo do sistema é efetuado por comando diferencial ligado à sonda de temperatura. O painel deve ser certificado de acordo com as normas EN 12976 ou 12975, respetivamente e ser instalado por instalador devidamente qualificado.



a) Kit de termossifão



b) Resistência elétrica

Figura 3.6.1 - Elementos do sistema de águas quentes sanitárias (fonte: www.vulcano.pt)

Como sistema de apoio instalou-se uma resistência elétrica, sendo a fonte de energia a eletricidade. Quando o painel solar não tem energia suficiente para o aquecimento das águas quentes sanitárias, este sistema de apoio pretende auxiliar o aquecimento das mesmas.

3.7 SISTEMA TÉCNICO DE AQUECIMENTO

Com o objetivo de melhorar o conforto térmico da habitação, optou-se por utilizar um sistema de aquecimento central alimentado por um recuperador de calor e distribuído por radiadores instalados pelos compartimentos da habitação. O sistema escolhido foi da marca Solius, modelo Moderno 850 (água).

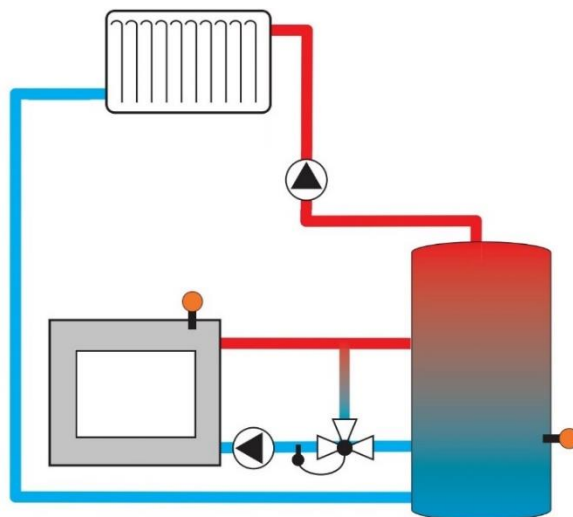


Figura 3.7.1 - Exemplo de utilização de um sistema de biomassa em habitação (fonte: www.macolis.pt)

O sistema técnico escolhido tem um rendimento de 78%, deste modo, satisfaz o requisito mínimo de qualidade térmica (igual ou superior a 75% de eficiência).

3.8 NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO

De acordo com o despacho (extracto) n.º 15973-I/2013, e respetiva alteração, as necessidades nominais anuais de energia útil são calculadas considerando:

- O método sazonal de cálculo de necessidades de aquecimento de edifícios e as adaptações permitidas pela referida norma;
- Cada edifício e/ou fração autónoma do edifício como uma única zona, com as mesmas condições interiores de referência;
- A ocorrência de fenómenos envolvidos em regime permanente. Integrados ao longo da estação de aquecimento.

O valor das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento do edifício, N_{ic} , é calculado pela seguinte expressão:

$$N_{ic} = \frac{Q_{tr,i} + Q_{ve,i} - Q_{gu,i}}{A_p} \quad (3.8.1)$$

Equação 3.8.1 - Quantificação das necessidades nominais anuais de energia útil para a estação de aquecimento

Em que:

$Q_{tr,i}$ → Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento através da envolvente dos edifícios, [kW.h];

$Q_{ve,i}$ → Transferência de calor por ventilação na estação de aquecimento, [kW.h];

$Q_{gu,i}$ → Ganhos térmicos uteis na estação de aquecimento resultantes dos ganhos solares através de vãos envidraçados, da iluminação, dos equipamentos e dos ocupantes, [kW.h].

3.8.1 Transferência de calor por transmissão

Ao longo da estação de aquecimento e devido à diferença de temperatura entre o exterior e o interior do edifício faz com que ocorram perdas de calor, por transmissão global, que se pode traduzir segundo a seguinte expressão:

$$Q_{tr,i} = 0,024 \times GD \times H_{tr,i} \quad (3.8.2)$$

Equação 3.8.2 - Cálculo da transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento

Em que:

$H_{tr,i}$ → coeficiente global de transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento, [W/°C];

GD → número de graus-dias de aquecimento especificados para cada região NUTS III, [°C/dia].

O coeficiente global de transferência de calor por transmissão traduz a condutância através de toda a superfície dos elementos da envolvente (paredes, envidraçados, coberturas, pavimentos e pontes térmicas planas). No despacho (extrato) n.º 15739-K/2013, verifica-se que o valor de $H_{tr,i}$ é obtido através da seguinte expressão:

$$H_{tr,i} = H_{ext} + H_{enu} + H_{adj} + H_{ecs} \quad (3.8.3)$$

Equação 3.8.3 - Cálculo do coeficiente global de transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento

Os coeficientes, assim como as suas fórmulas de cálculo encontram-se em seguida descritos:

H_{ext} → coeficiente global de transferência de calor por através de elementos da envolvente em contacto com o exterior, [W/°C], obtém-se através da expressão:

$$H_{ext} = \sum_i [U_i \times A_i] + \sum_j [\Psi_j \times B_j] \quad (3.8.4)$$

Equação 3.8.4 - Cálculo do coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contato com o exterior

Em que:

U_i → Coeficiente de transmissão térmica do elemento i da envolvente, [W/(m².°C)];

A_i → Área do elemento i da envolvente, medida pelo interior do edifício [m²];

Ψ_j → Coeficiente de térmica linear da ponte térmica linear j , calculado de acordo com o despacho n.º 15739-K/2013, [W/(m².°C)];

B_j → Desenvolvimento linear da ponte térmica linear j , medido pelo interior do edifício, [m].

H_{enu} ; H_{adj} → coeficiente global de transferência de calor por através de elementos da envolvente em contacto com espaços não úteis e com edifícios adjacentes, respetivamente, [W/°C]. A expressão para ambos os coeficientes é a seguinte:

$$H_{enu}; H_{adj} = b_{tr} \times \left(\sum_i [U_i \times A_i] + \sum_j [\Psi_j \times B_j] \right) \quad (3.8.5)$$

Equação 3.8.5- Cálculo do coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contato com espaços não úteis e edifícios adjacentes, respetivamente

b_{tr} → Coeficiente de redução de perdas de determinado espaço não útil ou de um edifício adjacente, determinado de acordo com o descrito na Tabela 22 do mesmo despacho.

H_{ecs} → coeficiente global de transferência de calor por através de elementos da envolvente em contacto com o solo, [W/°C]. Este coeficiente é obtido pela expressão:

$$H_{ecs} = \sum_i [U_{bf} \times A_i] + \sum_j [z_j \times P_j \times U_{bwj}] \quad (3.8.6)$$

Equação 3.8.6- Cálculo do coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contato com o solo

Sendo:

U_{bf} → Coeficiente de transmissão térmica do pavimento enterrado i , [W/(m².°C)];

A_i → Área do pavimento em contato com o solo i , medida pelo interior do edifício [m²];

z_j → Profundidade média enterrada da parede em contato com o solo j , [m];

P_j → Desenvolvimento total da parede em contato com o solo j , medido pelo interior, [m].

U_{bw_j} → Coeficiente de térmica da parede em contato com o solo j , [W/(m².°C)];

3.8.2 Perdas de calor por renovação de ar

As perdas de calor por ventilação correspondentes à renovação do ar interior durante a estação de aquecimento, $Q_{ve,i}$, calculam-se através da expressão:

$$Q_{ve,i} = 0,024 \times GD \times H_{ve,i} \quad (3.8.7)$$

Equação 3.8.7 - Cálculo das perdas de calor por renovação de ar

Em que:

$H_{ve,i}$ → coeficiente global de transferência de calor por ventilação na estação de aquecimento, [W/°C]. Este coeficiente é obtido, por sua vez, pela seguinte expressão:

$$H_{ve,i} = 0,34 \times R_{ph,i} \times A_p \times P_d \quad (3.8.8)$$

Equação 3.8.8 - Cálculo do coeficiente de transferência de calor por renovação do ar

Em que:

P_d → pé direito médio da habitação, [m];

$R_{ph,i}$ → Taxa nominal de renovação de ar interior na estação de aquecimento, [h⁻¹].

A taxa nominal de renovação de ar interior é obtida através de uma folha de cálculo do LNEC.

3.8.3 Ganhos térmicos úteis

Os ganhos térmicos úteis, $Q_{gu,i}$, traduzem-se por parte dos ganhos térmicos brutos, $Q_{g,i}$, como mostra a seguinte expressão:

$$Q_{gu,i} = \eta_i \times Q_{g,i} \quad (3.8.9)$$

Equação 3.8.9 - Cálculo dos ganhos térmicos úteis

Em que,

η_i → Fator de utilização dos ganhos térmicos da estação de aquecimento. Este fator é obtido através de uma das seguintes expressões:

$$i. \text{ Se } \gamma \neq 1 \text{ e } \gamma > 0 \quad \eta = \frac{1 - \gamma^a}{1 - \gamma^{a+1}} \quad (3.8.10)$$

Equação 3.8.10 - Cálculo de rendimento quando $\gamma \neq 1$ e $\gamma > 0$

$$ii. \text{ Se } \gamma = 1 \quad \eta = \frac{a}{a+1} \quad (3.8.11)$$

Equação 3.8.11 - Cálculo de rendimento quando $\gamma = 1$

$$iii. \text{ Se } \gamma < 0 \quad \eta = \frac{1}{\gamma} \quad (3.8.12)$$

Equação 3.8.12 - Cálculo de rendimento quando $\gamma < 0$

Em que:

$$\gamma = \frac{Q_g}{Q_{tr} + Q_{ve}} \quad (3.8.13)$$

Equação 3.8.13 - Cálculo de parâmetro que permite a obtenção do valor do fator de utilização de ganho térmicos

e o valor de a é obtido em função da classe de inércia térmica do edifício, sendo igual a um dos seguintes parâmetros:

- i. $a = 1,8$ → edifício com inércia térmica fraca;
- ii. $a = 2,6$ → edifício com inércia térmica média;
- iii. $a = 4,2$ → edifício com inércia térmica forte.

Os ganhos térmicos brutos que se consideram no cálculo das necessidades nominais de aquecimento do edifício têm duas origens que se podem expressar através da seguinte expressão:

$$Q_{g,i} = Q_{int,i} + Q_{sol,i} \quad (3.8.14)$$

Equação 3.8.14 – Cálculo dos ganhos térmicos brutos na estação de aquecimento

Em que:

$Q_{int,i}$ → Ganhos térmicos associados a fontes internas de calor, na estação de aquecimento, [kW.h];

$Q_{sol,i}$ → Ganhos térmicos associados ao aproveitamento da radiação solar pelos vãos envidraçados, na estação de aquecimento, [kW.h].

Com exclusão do sistema de aquecimento, os ganhos térmicos internos incluem qualquer fonte de calor situada no espaço a aquecer, nomeadamente, os ganhos de calor associados ao metabolismo dos ocupantes, e o calor dissipado nos equipamentos e nos dispositivos de iluminação.

Deste modo, os ganhos térmicos internos são calculados, durante toda a estação de aquecimento, através da seguinte equação:

$$Q_{int,i} = 0,72 \times q_{int} \times M \times A_p = 0,72 \times 4 \times M \times A_p \quad (3.8.15)$$

Equação 3.8.15 - Cálculo dos ganhos térmicos associados a fontes internas de calor

Em que:

q_{int} → Ganhos térmicos internos médios por unidade de superfície, iguais a 4 W/m²;

M → Duração média da estação convencional de aquecimento, [mês].

O cálculo dos ganhos solares brutos através dos vãos envidraçados na estação de aquecimento deve ser efetuado de acordo com a metodologia abaixo indicada e na qual os ganhos solares são calculados de acordo com a seguinte equação:

$$Q_{sol,i} = G_{sul} \times \sum_n \left[X_j \times \sum_n F_{s,ijn} \times A_{s,ijn} \right] \times M \quad (3.8.16)$$

Equação 3.8.16 - Cálculo dos ganhos térmicos associados à radiação solar incidente pelos vãos envidraçados

Em que:

G_{sul} → Valor médio mensal de energia solar média incidente numa superfície vertical orientada a Sul, durante a estação de aquecimento, por unidade de superfície, [kWh/m².mês]

X_j → Fator de orientação para as diferentes exposições de acordo com a seguinte tabela:

Tabela 3.8.1 - Fator de orientação para diferentes exposições, X_j

Orientação do vão (j)	N	NE/NW	S	SE/SW	E/W	H
X_j	0,27	0,33	1	0,84	0,56	0,89

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

$A_{s,i,nj}$ → Área efetiva coletora de radiação solar do vão envidraçado na superfície n com a orientação j , [m²]. Esta área deve ser calculada vão a vão, de acordo com a seguinte expressão:

$$A_{s,i,nj} = A_w \times F_g \times g_i \quad (3.8.17)$$

Equação 3.8.17 - Cálculo da área efetiva coletora de radiação solar do vão envidraçado na superfície n com a orientação j

Em que

A_w → Área total do vão envidraçado, incluindo o vidro e caixilho, [m²]

F_g → Fração envidraçada do vão envidraçado, obtida de acordo com o despacho que procede à publicação dos parâmetros térmicos;

g_i → Fator solar de inverno. Este fator, quando não existem dispositivos de sombreamento, é obtido através da expressão:

$$g_i = F_{w,i} \times g_{\perp,vi} \quad (3.8.18)$$

Equação 3.8.18 - Cálculo do fator solar de inverno

j → Índice que corresponde a cada uma das orientações;

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

3.9 NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL DE REFERÊNCIA PARA AQUECIMENTO

O valor máximo para as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento, N_i , deve ser determinado de acordo com a metodologia indicada em Despacho do Diretor-Geral de Energia e Geologia, considerando-se valores de referência e obtido através da seguinte expressão:

$$N_i = \frac{Q_{tr,i_{ref}} + Q_{ve,i_{ref}} - Q_{gu,i_{ref}}}{A_p} \quad (3.9.1)$$

Equação 3.9.1 - Quantificação das necessidades nominais anuais de energia útil de referência para a estação de aquecimento

Sendo:

$Q_{tr,i_{ref}}$ → transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento através da envolvente de referência na estação de aquecimento, [kWh];

$Q_{ve,i_{ref}}$ → transferência de calor por ventilação de referência na estação de aquecimento, [kWh];

$Q_{gu,i_{ref}}$ → ganhos de calor úteis na estação de aquecimento, [kWh];

As fórmulas para cálculo destes parâmetros permanecem iguais, no entanto certos valores vão passar a ser de referência como a seguir se encontra descrito:

- I. No cálculo de $Q_{tr,i_{ref}}$, deve ser considerado:
 - i. Os coeficientes de transmissão térmica superficial de referência, U_{ref} , para elementos opacos e envidraçados previstos na Tabela I.01, em função do tipo de elemento da envolvente e da zona climática;
 - ii. Os coeficientes de transmissão térmica linear de referência, Ψ_{ref} , indicados na Tabela I.02, em função do tipo de ligação entre elementos da envolvente do edifício;
 - iii. A área dos envidraçados não deve ultrapassar 20% a área interior útil do pavimento do exterior, devendo a área excedente ser somada á área da envolvente opaca exterior, sendo que para ambos elementos se deve usar U_{ref} .
- II. O valor de $Q_{ve,i_{ref}}$, deve ser determinado considerando uma taxa de renovação de ar de referência ($R_{ph,i_{ref}}$) igual à taxa da habitação em estudo até um máximo de 0,6 renovações por hora.
- III. Para o cálculo de $Q_{gu,i_{ref}}$ deve considerar-se:

$$i. \quad Q_{sol,i_{ref}} = G_{sul} \times M \times 0,182 \times (0,20 \times A_p) \quad (3.9.2)$$

Equação 3.9.2 - Cálculo dos ganhos térmicos de referência associados à radiação solar incidente pelos vãos envidraçados

- ii. Fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de aquecimento de referência unitário ($\eta_{i_{ref}} = 0,60$).

3.9.1 Caso de Estudo

Relativamente à habitação em estudo, iniciou-se o cálculo das perdas de calor por transmissão. Com o intuito de facilitar a leitura, as suas parcelas encontram-se sobre a forma de tabelas apresentadas em seguida (Tabela 3.9.1 a). Antes de se proceder ao cálculo do elemento em contacto com o solo é necessário obter o coeficiente de transmissão térmica do pavimento térreo, designado por u_{bf} .

Em primeiro lugar, é necessário determinar a dimensão característica do pavimento, B' , que, de acordo com o Despacho n.º 15793-K/2013, se obtém pela Equação 3.9.3.

$$B' = \frac{A_p}{0,5 \times P} = \frac{94,76}{0,5 \times 48,346} = 3,9 \cong 4 \quad (3.9.3)$$

Equação 3.9.3 - Cálculo da dimensão característica do pavimento

Em que:

$P \rightarrow$ perímetro exposto, caracterizado pelo desenvolvimento total da parede que separa o espaço aquecido do exterior, de um espaço não aquecido ou de um edifício adjacente, ou do solo, medido pelo interior, [m].

A resistência térmica de todas as camadas do pavimento, R_f , tem um valor de 1,45.

O pavimento da habitação está à cota do solo (z), isto significa que a profundidade a que se encontra enterrado é nula, logo como $z \leq 0,5$, obtém-se um valor de $U_{bf} = 0,42$ (Tabela 3.9.3).

Tabela 3.9.3 - Coeficiente de transmissão térmica de pavimentos em contacto com o terreno com isolamento contínuo ou sem isolamento térmico U_{bf} , [$W/m^2 \cdot ^\circ C$] (Fonte: Despacho n.º 15793-K/2013)

B'	$z \leq 0,5$ m				$0,5$ m < $z \leq 1,0$ m				$1,0$ m < $z \leq 2,0$ m			
	R_f [$(m^2 \cdot ^\circ C)/W$]				R_f [$(m^2 \cdot ^\circ C)/W$]				R_f [$(m^2 \cdot ^\circ C)/W$]			
	0,5	1	2	≥ 3	0,5	1	2	≥ 3	0,5	1	2	≥ 3
3	0,65	0,57	0,32	0,24	0,57	0,44	0,30	0,23	0,51	0,41	0,29	0,22
4	0,57	0,52	0,3	0,23	0,52	0,41	0,28	0,22	0,47	0,37	0,27	0,21
6	0,47	0,43	0,27	0,21	0,43	0,35	0,25	0,2	0,40	0,33	0,24	0,19
10	0,35	0,32	0,22	0,18	0,32	0,28	0,21	0,17	0,30	0,26	0,20	0,17
15	0,27	0,25	0,18	0,15	0,25	0,22	0,18	0,15	0,24	0,21	0,17	0,14
≥ 20	0,22	0,21	0,16	0,13	0,21	0,18	0,15	0,13	0,20	0,18	0,15	0,13

Tabela 3.9.4).

Tabela 3.9.1- Cálculo do coeficiente global de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com o exterior

Envolvente exterior			
Elementos opacos exteriores	Área, A (m²)	U (W/m².°C)	U × A (W/°C)
Parede exterior	86,15	0,38	50,74
Porta exterior	2,54	3,33	8,46
Pontes térmicas planas	9,14	0,52	4,75
		Σ	63,95
Vãos envidraçados exteriores	Área, A (m²)	U (W/m².°C)	U.A (W/°C)
	22,2	1,80	39,96
		Σ	39,96
Pontes térmicas lineares	Comp., B (m)	Ψ (W/m.°C)	B × Ψ (W/°C)
Duas paredes verticais em ângulo saliente	16,20	0,40	6,48
Fachada com caixilharia e o isolante térmico da parede contacta com a caixilharia	46,36	0,10	4,64
Fachada com cobertura e isolamento sob a laje de cobertura sem teto falso	59,03	0,70	41,32
Fachada com pavimentos térreos	59,03	0,70	41,32
		Σ	93,76
		H_{ext} (W/°C)	179,67

Tabela 3.9.2 - Cálculo do coeficiente global de transferência de calor através de elementos da envolvente em contato com espaços não úteis

Envolvente Interior				
Elementos opacos em contacto com espaços não úteis	Área, A (m ²)	U (W/m ² .°C)	b _{tr}	A × U × b _{tr} (W/°C)
Coberturas Interiores (tetos sob espaços não-úteis) (fluxo ascendente)	94,76	0,37	0,8	28,05
Coberturas Interiores (tetos sob espaços não-úteis) (fluxo descendente)	94,76	0,35	0,8	26,53
			∑ ascendente	28,05
			∑ descendente	26,53
Vãos envidraçados em contacto com espaços não úteis	Área, A (m ²)	U (W/m ² .°C)	b _{tr}	A × U × b _{tr} (W/°C)
Não tem	-	-	-	-
Pontes térmicas lineares	Comp., B (m)	Ψ (W/m.°C)	b _{tr}	B × Ψ × b _{tr} (W/°C)
Não tem	-	-	-	-
			H _{enu} (W/°C)	-

Antes de se proceder ao cálculo do elemento em contacto com o solo é necessário obter o coeficiente de transmissão térmica do pavimento térreo, designado por u_{bf} .

Em primeiro lugar, é necessário determinar a dimensão característica do pavimento, B' , que, de acordo com o Despacho n.º 15793-K/2013, se obtém pela Equação 3.9.3.

$$B' = \frac{A_p}{0,5 \times P} = \frac{94,76}{0,5 \times 48,346} = 3,9 \cong 4 \quad (3.9.3)$$

Equação 3.9.3 - Cálculo da dimensão característica do pavimento

Em que:

P → perímetro exposto, caracterizado pelo desenvolvimento total da parede que separa o espaço aquecido do exterior, de um espaço não aquecido ou de um edifício adjacente, ou do solo, medido pelo interior, [m].

A resistência térmica de todas as camadas do pavimento, R_f , tem um valor de 1,45.

O pavimento da habitação está à cota do solo (z), isto significa que a profundidade a que se encontra enterrado é nula, logo como $z \leq 0,5$, obtém-se um valor de $U_{bf} = 0,42$ (Tabela 3.9.3).

Tabela 3.9.3 - Coeficiente de transmissão térmica de pavimentos em contacto com o terreno com isolamento contínuo ou sem isolamento térmico U_{bf} , [W/m².°C] (Fonte: Despacho n.º 15793-K/2013)

B'	$z \leq 0,5$ m				$0,5 \text{ m} < z \leq 1,0$ m				$1,0 \text{ m} < z \leq 2,0$ m			
	R_f [(m ² .°C)/W]				R_f [(m ² .°C)/W]				R_f [(m ² .°C)/W]			
	0,5	1	2	≥ 3	0,5	1	2	≥ 3	0,5	1	2	≥ 3
3	0,65	0,57	0,32	0,24	0,57	0,44	0,30	0,23	0,51	0,41	0,29	0,22
4	0,57	0,52	0,3	0,23	0,52	0,41	0,28	0,22	0,47	0,37	0,27	0,21
6	0,47	0,43	0,27	0,21	0,43	0,35	0,25	0,2	0,40	0,33	0,24	0,19
10	0,35	0,32	0,22	0,18	0,32	0,28	0,21	0,17	0,30	0,26	0,20	0,17
15	0,27	0,25	0,18	0,15	0,25	0,22	0,18	0,15	0,24	0,21	0,17	0,14
≥ 20	0,22	0,21	0,16	0,13	0,21	0,18	0,15	0,13	0,20	0,18	0,15	0,13

Tabela 3.9.4 - Cálculo do coeficiente global de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com o solo

Elementos em contacto com o solo			
Paredes enterradas	Área, A (m ²)	U_{bw} (W/m ² .°C)	$U_{bw} \times A$ (W/°C)
Não tem	-	-	-
Pavimentos enterrados e/ou térreos	Área, A (m ²)	U_{bf} (W/m ² .°C)	$U_{bf} \times A$ (W/°C)
Pavimentos térreos	94,76	0,42	39,80
H_{ecs} (W/°C)			39,80

Através dos valores tabelados, é possível determinar o coeficiente global da transferência de calor através da seguinte expressão:

$$H_{tr,i} = 179,67 + 28,05 + 39,80 = 247,51 \text{ W/}^\circ\text{C} \quad (3.9.4)$$

Este coeficiente, permite o cálculo do valor da transferência de calor por transmissão, como em seguida se verifica:

$$Q_{tr,i} = 0,024 \times 1130 \times 247,51 = 6712,58 \text{ kW.h} \quad (3.9.5)$$

Em seguida, procede-se ao cálculo das perdas de calor por renovação de ar. Para a obtenção das perdas, é necessário determinar a taxa nominal de renovação do ar interior na estação de aquecimento que se obtém a partir da tabela do LNEC, com o valor de 0,51 renovações de ar por hora.

$$H_{ve,i} = 0,34 \times 0,51 \times 94,76 \times 2,60 = 42,72 \text{ W/}^\circ\text{C} \quad (3.9.6)$$

Tendo o coeficiente global de transferência de calor por ventilação, calcula-se as perdas de calor por renovação de ar:

$$Q_{ve,i} = 0,024 \times 1130 \times 42,72 = 1158,61 \text{ kW.h/ano} \quad (3.9.7)$$

Para proceder ao cálculo das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento ainda é necessário obter os valores dos ganhos térmicos úteis. Os ganhos úteis encontram-se divididos em ganhos provenientes dos envidraçados e de fontes internas. Os ganhos através dos envidraçados são obtidos através das seguinte tabela e posterior equação:

Tabela 3.9.5 - Ganhos solares pelos elementos da envolvente envidraçada

Id.	Orientação	g_i	$A_{env} (m^2)$	$F_{s,i}$	F_g	A_{si}	X_j	$X_j \cdot A_{si}$
V1	S	0,39	4,72	0,77	0,70	0,99	1,00	0,99
V2	W	0,39	4,72	0,90	0,70	1,16	0,56	0,64
V3	W	0,39	4,72	0,90	0,70	1,16	0,56	0,64
V4	W	0,39	3,74	0,90	0,70	0,92	0,56	0,51
V5	N	0,39	0,45	0,90	0,70	0,11	0,27	0,03
V6	N	0,39	0,45	0,90	0,70	0,11	0,27	0,03
V7	W	0,39	3,40	0,52	0,70	0,48	0,56	0,27
								$\Sigma = 3,11$

Com o valor dos ganhos solares determinado, torna-se possível o cálculo dos ganhos solares brutos, como se apresenta na expressão seguinte:

$$Q_{sol,i} = 3,11 \times 130 \times 6,1 = 2466,23 \text{ kW.h/ano} \quad (3.9.8)$$

Os ganhos internos obtêm-se através de:

$$Q_{int,i} = 0,72 \times 4 \times 6,1 \times 94,72 = 1664,74 \text{ kW.h/ano} \quad (3.9.9)$$

A soma dos ganhos solares brutos com os ganhos internos traduz-se no valor de ganhos térmicos brutos, apresentados de seguida:

$$Q_{g,i} = 2466,23 + 1664,74 = 4130,97 \text{ kW.h} \quad (3.9.10)$$

Finalmente, para se obter o valor final dos ganhos térmicos, procede-se ao cálculo do fator de utilização dos mesmos, para a estação de aquecimento. Estes ganhos variam de acordo com a inércia do edifício e do coeficiente γ . Os cálculos procedem-se em seguida:

$$a = 4,20 \quad (3.9.11)$$

$$\gamma = \frac{4130,97}{7871,19} \cong 0,52 \quad (3.9.12)$$

Desse modo, o fator de utilização dos ganhos térmicos assume o seguinte valor:

$$\eta = \frac{1 - 0,52^{4,20}}{1 - 0,52^{4,20+1}} = 0,97 \quad (3.9.13)$$

Com os valores obtidos anteriormente, obtém-se um valor para os ganhos térmicos de 4007,04 kW.h.

O cálculo das necessidades nominais anuais de energia útil apresenta-se pela seguinte expressão:

$$N_{ic} = \frac{6712,58 + 1158,61 - 4007,04}{94,76} = 40,78 \text{ kW.h/m}^2 \cdot \text{ano} \quad (3.9.14)$$

3.9.2 Cálculo da “Casa de Referência”

Com o intuito de efetuar a verificação dos limites regulamentares, é necessário o cálculo dos valores de referência apresentados em seguida.

Tabela 3.9.6 - Cálculo do coeficiente global de transferência de calor através de elementos da envolvente de referência em contacto com o exterior

Envolvente exterior			
Elementos opacos exteriores	Área, A (m ²)	U _{ref} (W/m ² .°C)	U _{ref} × A (W/°C)
Parede exterior	86,15	0,50	43,06
Porta exterior	2,54	0,5	1,27
Pontes térmicas planas	9,14	0,50	4,57
		Σ	50,54
Vãos envidraçados exteriores	Área, A (m ²)	U _{ref} (W/m ² .°C)	U _{ref} × A (W/°C)
Vidro duplo	18,94	2,8	53,03
		Σ	53,03
Pontes térmicas lineares	Comp., B (m)	Ψ _{ref} (W/m.°C)	B × Ψ _{ref} (W/°C)
Duas paredes verticais em ângulo saliente	16,20	0,40	6,48
Fachada com caixilharia e o isolante térmico da parede contacta com a caixilharia	46,36	0,20	9,27
Fachada com cobertura e isolamento sob a laje de cobertura sem tecto falso	59,03	0,50	29,51
Fachada com pavimentos térreos	59,03	0,50	29,51
		Σ	62,50
		H _{ext} (W/°C)	74,78

Tabela 3.9.7 - Cálculo do coeficiente global de transferência de calor através de elementos da envolvente de referência em contacto com espaços não úteis

Envolvente Interior				
Elementos opacos em contacto com espaços não úteis	Área, A (m ²)	U _{ref} (W/m ² .°C)	b _{tr}	A × U _{ref} × b _{tr} (W/°C)
Cobl1	94,76	0,4	0,8	30,32
			Σ	30,32
			H _{enu} (W/°C)	30,32

Tabela 3.9.8 - Cálculo do coeficiente global de transferência de calor através de elementos da envolvente de referência em contacto com o solo

Elementos em contacto com o solo			
Pavimentos enterrados e/ou térreos	Área, A (m ²)	U _{bf ref} (W/m ² .°C)	U _{bf ref} × A (W/°C)
Pavimentos térreos	94,76	0,5	47,38
Σ			47,38
H_{ecs} (W/°C)			47,38

Como a taxa de renovação de ar do caso de estudo é a mesma que a de referência (pois é inferior a 0,6 renovações por hora), o valor das perdas por ventilação de referência é igual ao obtido anteriormente, isto é, $Q_{ve,i,ref} = 1158,61 \text{ kW.h}$.

Para o cálculo dos ganhos térmicos, o valor dos ganhos internos mantém-se igual ao obtido no caso de estudo ($Q_{int,i,ref} = 1664,74 \text{ kW.h}$), porém os ganhos por envidraçados são obtidos por outra expressão:

$$Q_{sol,i,ref} = 130 \times 6,1 \times 0,146 \times (0,15 \times 94,76) = 1645,67 \text{ kW.h} \quad (3.9.15)$$

Somando os ganhos e multiplicando-os pelo fator de utilização de referência ($\eta_{ref} = 0,6$) obtém-se o valor dos ganhos térmicos úteis: $Q_{gu,i,ref} = 1986,25 \text{ kW.h}$.

Com estes valores pode-se proceder ao cálculo das necessidades nominais anuais de energia útil de referência:

$$N_i = \frac{6945,60 + 1158,61 - 1986,25}{94,76} = 64,60 \text{ kW.h/m}^2 \cdot \text{ano} \quad (3.9.16)$$

3.9.3 Verificação do Caso de Estudo

Comparando o valor das necessidades nominais de energia útil para o caso de estudo e a “casa de referência” verifica-se que $N_i = 64,60 \geq N_{ic} = 40,78$. Isto implica que a solução escolhida para o caso de estudo, está de acordo com a legislação.

3.10 NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO

Tal como para o cálculo das necessidades anuais de energia útil para aquecimento, para arrefecimento utiliza-se o mesmo despacho, sendo considerado o seguinte:

- d) O método sazonal de cálculo de necessidades de arrefecimento de edifícios e as adaptações permitidas pela referida norma;

- e) Cada edifício e/ou fracção autónoma do edifício como uma única zona, com as mesmas condições interiores de referência;
- f) A ocorrência de fenómenos envolvidos em regime permanente. Integrados ao longo da estação de aquecimento.

O valor das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento do edifício, N_{vc} , é calculado pela seguinte expressão:

$$N_{vc} = \frac{(1 - \eta_v) Q_{g,v}}{A_p} \quad (3.10.1)$$

Equação 3.10.1 - Quantificação das necessidades nominais anuais de energia útil para a estação de arrefecimento

Em que:

η_v → Fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de arrefecimento;

$Q_{g,v}$ → Ganhos térmicos brutos na estação de arrefecimento, [kW.h].

A metodologia de cálculo do fator de utilização de ganhos térmicos deve aplicada de acordo com o definido no despacho que procede à publicação dos parâmetros térmicos, em função da transferência ao longo da estação de arrefecimento que ocorre por transmissão $Q_{tr,v}$ e devido à renovação do ar $Q_{ve,v}$, bem como dos ganhos térmicos na estação de arrefecimento Q_g , que se encontram definidos nos números seguintes.

3.10.1 Transferência de calor por transmissão

A transferência de calor por transmissão que ocorre através da envolvente calcula-se de acordo com a seguinte expressão:

$$Q_{tr,v} = \frac{H_{tr,v} \times (\theta_{v,ref} - \theta_{v,ext}) L_v}{1000} = \frac{H_{tr,v} \times (25 - \theta_{v,ext}) \times 2928}{1000} \quad (3.10.2)$$

Equação 3.10.2 - Cálculo da transferência de calor por transmissão na estação de arrefecimento

em que:

$H_{tr,v}$ → Coeficiente global de transferência de calor por transmissão na estação de arrefecimento, [W/°C]. Este coeficiente resulta da soma de três parcelas:

$$H_{tr,v} = H_{ext} + H_{enu} + H_{ecs} \quad (3.10.3)$$

Equação 3.10.3 - Cálculo do coeficiente global de transferência de calor por transmissão na estação de arrefecimento

$\theta_{v,ref}$ → Temperatura de referência para o cálculo das necessidades de energia na estação de arrefecimento, igual a 25°C;

$\theta_{v,ext}$ → Temperatura média do ar exterior para a estação de arrefecimento, [°C];

L_v → Duração da estação de arrefecimento igual a 2928 horas.

3.10.2 Transferência de calor por renovação do ar

A transferência de calor correspondente à renovação de ar interior durante a estação de arrefecimento, $Q_{ve,v}$ é calculada de acordo com a equação:

$$Q_{ve,v} = \frac{H_{ve,v} \times (\theta_{v,ref} - \theta_{v,ext}) L_v}{1000} = \frac{H_{ve,v} \times (25 - \theta_{v,ext}) \times 2928}{1000} \quad (3.10.4)$$

Equação 3.10.4- Cálculo da transferência de calor por renovação de ar

Sendo que o coeficiente global de transferência de calor por renovação de ar, $H_{ve,v}$, é obtido através da expressão:

$$H_{ve,v} = 0,34 \times R_{ph,v} \times A_p \times P_d \quad (3.10.5)$$

Equação 3.10.5 - Cálculo do coeficiente de transferência de calor por renovação do ar

em que:

$R_{ph,v}$ → Taxa nominal de renovação do ar interior na estação de arrefecimento que terá que ser no mínimo de 0,6 h⁻¹, [h⁻¹].

3.10.3 Ganhos térmicos úteis

Os ganhos térmicos brutos, $Q_{g,v}$, a considerar no cálculo das necessidades nominais de arrefecimento do edifício são obtidos pela soma de duas parcelas, conforme a seguinte equação:

$$Q_{g,v} = Q_{int,v} + Q_{sol,v} \quad (3.10.6)$$

Equação 3.10.6– Cálculo dos ganhos térmicos brutos na estação de arrefecimento

em que:

$Q_{int,v}$ → Ganhos térmicos associados a fontes internas de calor, [kW.h]. Por sua vez, estes ganhos obtêm-se através da expressão:

$$Q_{int,v} = \frac{q_{int} \times A_p \times L_v}{1000} \quad (3.10.7)$$

Equação 3.10.7 – Cálculo dos ganhos térmicos associados a fontes internas de calor

$Q_{sol,v}$ → Ganhos térmicos associados à radiação solar incidente á envolvente exterior opaca e envidraçada. Os ganhos solares na estação de arrefecimento resultantes da radiação solar incidente na envolvente opaca e envidraçada calculam-se de acordo com a seguinte equação, sendo que a determinação do fator de obstrução de superfícies opacas é opcional devendo, quando considerada, seguir uma abordagem comum à dos vãos envidraçados, tal como a que vai ser apresentada em seguida:

$$Q_{sol,v} = \sum_j [G_{sol,v} \times \sum_n (F_{s,vnj} \times A_{s,vnj})] \quad (3.10.8)$$

Equação 3.10.8 – Cálculo dos ganhos térmicos associados à radiação solar incidente à envolvente exterior opaca e envidraçada

Em que:

$G_{sol,v}$ → Energia solar média incidente numa superfície com orientação j durante toda a estação de arrefecimento, [kW.h/m²].

3.11 NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL DE REFERÊNCIA PARA ARREFECIMENTO

Tal como acontece na estação de aquecimento, na estação de arrefecimento a habitação em estudo também tem que ser comparada com a “casa de referência”.

O valor máximo para as necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento, N_v , de um edifício será calculado através da expressão:

$$N_v = \frac{(1 - \eta_{vref}) Q_{g,vref}}{A_p} \quad (3.11.1)$$

Equação 3.11.1 - Quantificação das necessidades nominais anuais de energia útil de referência para a estação de arrefecimento

Em que:

η_{vref} → Fator de utilização de ganhos de referência. Este fator é obtido através da seguinte equação:

$$\eta_{vref} = \begin{cases} 0,52 + 0,22 \times \ln \Delta\theta & \text{se } \Delta\theta > 1 \\ 0,45 & \text{se } 0 < \Delta\theta \leq 1 \\ 0,35 & \text{se } \Delta\theta \leq 0 \end{cases}, \text{ sendo } \Delta\theta = \theta_{ref,v} - \theta_{ext,v} \quad (3.11.2)$$

Equação 3.11.2 - Cálculo do fator de utilização de ganhos de referência

$\theta_{ext,v}$ → temperatura exterior média na estação de arrefecimento local, de acordo com o Despacho do Diretor-Geral de Energia e Geologia, [°C];

$Q_{g,vref}$ → Ganhos térmicos de referência na estação de arrefecimento, [kW.h]. Os ganhos térmicos de referência são dados através da expressão:

$$\frac{Q_{g,vref}}{A_p} = q_{int} \times \frac{L_v}{1000} + g_{vref} \times \left(\frac{A_w}{A_p}\right)_{ref} \times I_{solref} \quad (3.11.3)$$

Equação 3.11.3 - Cálculo dos ganhos térmicos de referência

Em que:

I_{solref} → Radiação solar média de referência, correspondente à radiação incidente numa superfície orientada a Oeste, de acordo com Despacho do Diretor-Geral de Energia e Geologia, [kWh/(m².ano)];

$\left(\frac{A_w}{A_p}\right)_{ref}$ → Razão entre a área de vãos e a área interior útil de pavimento, que se assume igual a 20%;

g_{vref} → Fator solar de referência para a estação de arrefecimento, contabilizado em 0,43.

3.11.1 Caso de Estudo

Começando por calcular o coeficiente global de transferência de calor por transmissão, verificando-se que, tal como para a estação de aquecimento, as principais diferenças focam-se na nos coeficientes de transmissão térmica superficial e térmica:

$$H_{tr,v} = 179,67 + 28,05 + 39,80 = 247,51 \text{ W}/^{\circ}\text{C} \quad (3.11.4)$$

Com este valor podemos efetuar o cálculo da transferência de calor por transmissão, através da seguinte expressão:

$$Q_{tr,v} = \frac{247,51 \times (25 - 20,9) \times 2928}{1000} = 2971,36 \text{ kW.h} \quad (3.11.5)$$

Em seguida, calcula-se a transferência de calor por renovação de ar, utilizando a taxa nominal de renovação de ar de $0,6 \text{ h}^{-1}$ (limite mínimo imposto), obtém-se o valor do coeficiente global, como se confirma em seguida:

$$H_{ve,v} = 0,34 \times 0,6 \times 94,76 \times 2,60 = 50,26 \text{ W/}^{\circ}\text{C} \quad (3.11.6)$$

Determinando o valor da transferência de calor por renovação de ar:

$$Q_{ve,v} = \frac{50,26 \times (25 - 20,9) \times 2928}{1000} = 603,37 \text{ kW.h} \quad (3.11.7)$$

O cálculo dos ganhos térmicos divide-se em dois: os ganhos internos e os ganhos solares.

Os ganhos internos são obtidos através da resolução da fórmula:

$$Q_{int,v} = \frac{4 \times 94,76 \times 2928}{1000} = 1109,83 \text{ kW.h} \quad (3.11.8)$$

A obtenção dos ganhos solares foi feita através das tabelas em seguida apresentadas:

Tabela 3.11.1 - Ganhos térmicos solares pelos vãos envidraçados exteriores

Id.	Orient.	A_{env} (m^2)	F_g	F_{wv}	F_{mv}	g_T	g_{Tp}	g_v	$A_{s,v}$ (m^2)	$F_{s,v}$	I_{sol}	$I_{sol} \cdot F_{s,v} \cdot A_{s,v}$ ($\text{kW.h}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$)
V1	S	4,72	0,70	0,75	0,60	0,21	0,32	0,25	0,83	0,68	425	239,87
V2	W	4,72	0,70	0,85	0,60	0,21	0,37	0,27	0,89	0,90	490	392,49
V3	W	4,72	0,70	0,85	0,60	0,21	0,37	0,27	0,89	0,90	490	392,49
V4	W	3,74	0,70	0,85	0,60	0,21	0,37	0,27	0,71	0,90	490	313,11
V5	N	0,45	0,70	0,80	–	0,21	0,34	0,34	0,11	0,90	220	21,78
V6	N	0,45	0,70	0,80	–	0,21	0,34	0,34	0,11	0,90	220	21,78
V7	W	3,40	0,70	0,85	0,60	0,21	0,37	0,27	0,64	0,88	490	275,97
$\Sigma = 1657,49$												

Tabela 3.11.2 - Ganhos térmicos solares pela envolvente exterior opaca: PTP

	Orientação	α	Área (m ²)	U	R _{se}	A _s	F _s (Opcional)	I _{sol}	I _{sol} ·F _s ·A _s
PTP E1	Norte	0,4	0,52	0,52	0,04	–	1,00	220	–
	Este	0,4	1,51	0,52	0,04	0,01	1,00	490	4,90
	Sul	0,4	0,13	0,52	0,04	–	1,00	425	–
	Oeste	0,4	0,99	0,52	0,04	0,01	1,00	490	4,90
PTP E2	Norte	0,4	0,92	0,52	0,04	0,01	1,00	220	2,20
	Este	0,4	2,11	0,52	0,04	0,02	1,00	490	9,80
	Sul	0,4	0,93	0,52	0,04	0,01	1,00	425	4,25
	Oeste	0,4	2,03	0,52	0,04	0,02	1,00	490	9,80
									$\Sigma = 35,85$

Tabela 3.11.3 - Ganhos térmicos solares pela envolvente exterior opaca: Parede exterior e porta

	Orientação	α	Área (m ²)	U	R _{se}	A _s	F _s (Opcional)	I _{sol}	I _{sol} ·F _s ·A _s
Parede Exterior PE1	Norte	0,4	16,12	0,38	0,04	0,10	1,00	220	22,00
	Este	0,4	38,66	0,38	0,04	0,24	1,00	490	117,60
	Sul	0,4	10,30	0,38	0,04	0,06	1,00	425	25,50
	Oeste	0,4	21,07	0,38	0,04	0,13	1,00	490	63,70
									$\Sigma = 228,80$
Porta	Sul	0,4	2,54	3,73	0,04	0,14	1,00	425	59,50
									$\Sigma = 59,50$

Tabela 3.11.4 - Ganhos térmicos solares pela envolvente interior opaca: cobertura sob desvão

	Orientação	α	Área (m ²)	U	R _{se}	A _s	F _s (Opcional)	I _{sol}	I _{sol} ·F _s ·A _s
Cobl1	Horizontal	0,32	94,76	0,35	0,04	0,42	1,00	800	336,0
									$\Sigma = 336,0$

Com estes valores obtém-se:

$$Q_{sol,v} = 1657,49 + 660,15 = 2317,64 \text{ kW.h} \quad (3.11.9)$$

Somando os dois valores para os ganhos térmicos (solares e internos), obtém-se os ganhos térmicos úteis:

$$Q_{g,v} = 1109,83 + 2317,64 = 3427,47 \text{ kW.h} \quad (3.11.10)$$

Antes de se calcular as necessidades nominais anuais de energia útil, é necessário calcular o fator de utilização:

$$a = 4,20$$

$$\gamma = \frac{3427,47}{3574,73} \cong 0,96$$

$$\eta = \frac{1 - 0,96^{4,20}}{1 - 0,96^{4,20+1}} = 0,82$$

Para finalizar o cálculo das necessidades nominais anuais de energia útil, procede-se ao seguinte cálculo:

$$N_{vc} = \frac{(1 - 0,82) \times 3427,47}{94,76} = 6,4 \text{ kW.h/m}^2 \cdot \text{ano} \quad (3.11.11)$$

3.11.2 “Casa de Referência”

Para o cálculo de referência, necessitamos de determinar os seguintes parâmetros:

$$\Delta\theta = 25 - 20,9 = 4,1 \text{ }^\circ\text{C} \quad (3.11.12)$$

Como a variação da temperatura apresenta um valor superior a 1 °C, o fator de utilização dos ganhos calcula-se pela seguinte expressão:

$$\eta_{v,ref} = 0,52 + 0,22 \times \ln 4,1 = 0,83 \quad (3.11.13)$$

$$\frac{Q_{g,v,ref}}{A_p} = 4 \times \frac{2928}{1000} + 0,43 \times 0,20 \times 490 = 53,85 \text{ kW.h/m}^2 \cdot \text{ano} \quad (3.11.14)$$

$$Q_{g,v,ref} = 53,85 \times 94,76 = 5103,02 \text{ kW.h/ano} \quad (3.11.15)$$

Com estes valores podemos efetuar o cálculo de N_v :

$$N_v = (1 - 0,83) \times 53,85 = 9,1 \text{ kW.h/m}^2 \cdot \text{ano} \quad (3.11.16)$$

3.11.3 Verificação do Caso de Estudo

Comparando o valor das necessidades nominais de energia útil para o caso de estudo, com os da “casa de referência”, verifica-se que $N_v = 9,1 \geq N_{vc} = 6,4$. Isto implica que a solução escolhida para o caso de estudo, está de acordo com a legislação.

3.12 NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA

As necessidades nominais de energia primária, N_{tc} , de um edifício de habitação resultam das somas nominais específicas de energia primária relacionadas com diversos usos, tais como:

- Aquecimento (N_{ic});
- Arrefecimento (N_{vc});
- Produção de AQS (Q_a/A_p);
- Ventilação Mecânica (W_{vm}/A_p);

deduzidas das eventuais contribuições de fontes de energia renovável ($E_{ren,p}/A_p$), obtendo-se através da seguinte expressão:

$$\begin{aligned}
 N_{tc} = & \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{i,k} \times N_{ic}}{\eta_k} \right) \times F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{v,k} \times \delta \times N_{vc}}{\eta_k} \right) \times F_{pu,j} & (3.12.1) \\
 & + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{a,k} \times Q_a/A_p}{\eta_k} \right) \times F_{pu,j} + \sum_j \frac{W_{vm,j}}{A_p} \times F_{pu,j} \\
 & - \sum_p \frac{E_{ren,p}}{A_p} \times F_{pu,p}
 \end{aligned}$$

Equação 3.12.1 - Quantificação das necessidades nominais de energia primária

Em que:

$f_{i,k} \rightarrow$ Parcela das necessidades de energia útil para aquecimento supridas pelo sistema k;

$f_{v,k} \rightarrow$ Parcela das necessidades de energia útil para arrefecimento supridas pelo sistema k;

$f_{a,k} \rightarrow$ Parcela das necessidades de energia útil para produção de AQS supridas pelo sistema k;

$Q_a \rightarrow$ Necessidades de energia útil para a preparação de AQS, supridas pelo sistema k, [kW.h/ano];

η_k → Eficiência do sistema k, que toma o valor de 1 no caso de sistemas para aproveitamento de fontes de energia renovável, à exceção de sistemas de queima de biomassa sólida em que deve ser usada a eficiência do sistema de queima.

j → Todas as fontes de energia incluindo as de origem renovável;

p → Fontes de energia renovável;

$E_{ren,p}$ → Energia produzida a partir de fontes de origem renovável p, [kW.h/ano], incluindo apenas energia produzida;

W_{vm} → Energia elétrica necessária ao funcionamento dos ventiladores, [kW.h/ano];

$F_{pu,j}$ e $F_{pu,p}$ → Fator de conversão de energia útil para energia primária;

δ → Para o uso de arrefecimento pode tomar valor 0 se o fator de utilização de ganhos for superior ao respetivo fator de referência, o que apresenta as condições em que o risco de sobreaquecimento se encontra minimizado.

3.12.1 Ventilação mecânica

A habitação não é dotada de ventilação mecânica, como tal, este parâmetro apresenta um valor nulo na expressão de cálculo do caso de estudo.

3.12.2 Preparação de AQS

A energia útil necessária para a preparação de águas quentes sanitárias, é obtida através da expressão:

$$Q_a = \frac{M_{AQS} \times 4187 \times \Delta T \times n_d}{3600000} = \frac{M_{AQS} \times 4187 \times 35 \times 365}{3600000} \quad (3.12.2)$$

Equação 3.12.2 - Quantificação da energia útil necessária para a preparação de AQS

Em que:

M_{AQS} → Consumo médio diário de referência em edifícios de habitação, [litros]. É obtido através da expressão:

$$M_{AQS} = 40 \times n \times f_{eh} \quad (3.12.3)$$

Equação 3.12.3 - Cálculo do consumo médio diário de referência em edifícios de habitação

Em que:

n → Número convencional de ocupantes de cada fração autónoma, definido em função da tipologia da fração, sendo que se deve considerar 2 ocupantes em tipologia T0, e $n + 1$ ocupantes nas tipologias do tipo T_n , sendo $n > 0$;

f_{eh} → Fator de eficiência hídrica, aplicada a chuveiros ou sistemas de duche com certificação e rotulagem de eficiência hídrica, de acordo com o sistema de certificação da eficiência hídrica da responsabilidade de uma entidade independente, reconhecida pelo setor das instalações prediais. Para chuveiros com sistemas de duche com rotulo A ou superior, $f_{eh} = 0,9$, sendo que nos restantes casos, $f_{eh} = 1,0$.

ΔT → Aumento de temperatura necessária para a preparação das AQS e que, para efeitos de cálculo, apresenta o valor de 35°C;

n_d → Número anual de dias de consumo de AQS de edifícios residenciais que, para efeitos do presente cálculo, se considera de 365 dias.

3.12.3 Energia renovável

As habitações devem ser dotadas de sistemas para aproveitamento de fontes de energias renováveis e, segundo a Portaria n.º 349-B/2013, estes sistemas “devem proporcionar uma contribuição de energia renovável igual ou superior à calculada para um sistema idêntico ao previsto ou instalado, baseado em coletores solares padrão”.

Para o cálculo das energias renováveis, tal como referido anteriormente, utiliza-se o programa SCE.ER.

Quando não é conhecido o sistema, mas ele existe, calcula-se como sistema de referência, tal como o indicado nos pontos 4 e 5 da Portaria n.º 349-B/2013, sendo que com a sua atualização (Portaria n.º 379-A/2015), acresce o ponto 6.

Em seguida procede-se ao cálculo das necessidades de energias primárias.

3.13 CÁLCULO DAS NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA

3.13.1 Caso de Estudo

No que diz respeito aos sistemas técnicos para aquecimento/arrefecimento e ainda para preparação de AQS, a habitação em estudo apresenta os equipamentos já definidos.

Para calcular as necessidades de energia primária, é necessário relembrar alguns valores calculados anteriormente, assim como proceder ao cálculo de novos parâmetros, que se apresentam em seguida:

- A habitação em estudo tem tipologia T₂, isto significa que o número convencional de ocupantes é de 3 pessoas. O sistema de duche não tem classificação, como tal utiliza-se $f_{eh} = 1,0$.

$$M_{AQS} = 40 \times 3 \times 1,0 = 120 \text{ l} \quad (3.13.1)$$

$$\frac{Q_a}{A_p} = \frac{120 \times 4187 \times 35 \times 365}{3600000} / 94,76 = 18,82 \text{ kW} \cdot \text{h/ano} \quad (3.13.2)$$

É ainda considerado um aumento de 35 °C que é necessário para a preparação de águas quentes sanitárias durante 365 dias.

- O cálculo das energias renováveis é feito através do programa SCE.ER, estando o relatório deste cálculo no Anexo IV, de onde se retira o seguinte valor:

$$E_{ren} = 1065 \text{ kW} \cdot \text{h/ano} \quad (3.13.3)$$

Com estes dados assim como com os que se alcançaram anteriormente, procede-se ao cálculo parcelar das necessidades nominais de energia primária presente nas seguintes tabelas:

Tabela 3.13.1 - Cálculo das necessidades nominais de energia primária (sistema de aquecimento)

Fonte de energia	N_{ic}	f_i	η_i	f_{pui}	$N_{ic} \cdot f_i \cdot \eta_i \cdot f_{pui}$
Sistema de Aquecimento: Recuperador de Calor Solius Moderno 850 (água)					
Biomassa - lenha	40,78	1,0	0,78	1	52,28

Tabela 3.13.2 - Cálculo das necessidades nominais de energia primária (sistema de arrefecimento)

Fonte de energia	N_{vc}	f_i	η_i	f_{pui}	$N_{vc} \cdot f_i \cdot \eta_i \cdot f_{pui}$
Sistema de Arrefecimento: Split – Sistema por defeito					
Eletricidade	6,36	1,0	3,0	2,5	5,30

Tabela 3.13.3 - Cálculo das necessidades nominais de energia primária (sistema de AQS)

Fonte de energia	$\frac{Q_a}{A_p}$	f_a	η_a	f_{pua}	$f_a \cdot \frac{Q_a}{A_p} \cdot f_{pua} / \eta_a$
Painel Solar Térmico Vulcano TSS200 FCC-2					
Solar	18,82	0,6	1,0	1,0	11,29
Resistência Elétrica de Apoio Solar					
Eletricidade	18,82	0,40	1,0	2,5	18,82
					$\Sigma = 30,10$

Tabela 3.13.4 - Cálculo das necessidades nominais de energia primária (energias renováveis)

Produção de energia	$\frac{E_{Ren}}{A_p}$	f_{pu}	$\frac{E_{Ren}}{A_p} \cdot f_{pu}$
Sistema de Aquecimento: Recuperador de Calor Solius Moderno 850 (água)			
Renovável térmica	52,28	1,0	52,28
Sistema de AQS: Painel Solar Térmico Vulcano TSS200 FCC-2			
Renovável térmica	11,24	1,0	11,24
			$\Sigma = 63,52$

Como não há ventilação mecânica (W_{vm}), a parcela para este sistema é nula. Deste modo, e utilizando a expressão definida anteriormente assim como os valores das tabelas resumo, obtém-se um valor de energia primária de 24,16 kW.h_{EP}/(m².ano)

3.13.2 “Casa de Referência”

Uma vez que os equipamentos utilizados não são os de referência de acordo com a legislação em vigor, procede-se ao cálculo da mesma pelas tabelas que se apresentam em seguida e a fórmula apresentada anteriormente, tendo em atenção que o valor das necessidades nominais primárias para as energias renováveis não é compatibilizado.

Tabela 3.13.5 - Cálculo das necessidades nominais de energia primária (sistema de aquecimento)

Fonte de energia	N_i	f_i	η_i	f_{pui}	$N_i \cdot f_i \cdot \eta_i \cdot f_{pui}$
Sistema de Aquecimento: Recuperador de Calor Solius Moderno 850 (água)					
Biomassa - lenha	64,56	1,0	0,89	1	72,54

Tabela 3.13.6 - Cálculo das necessidades nominais de energia primária (sistema de arrefecimento)

Fonte de energia	N_v	f_i	η_i	f_{pui}	$N_v \cdot f_i \cdot \eta_i \cdot f_{pui}$
Sistema de Arrefecimento: Split – Sistema por defeito					
Eletricidade	9,13	1,0	3,0	2,5	7,61

Tabela 3.13.7 - Cálculo das necessidades nominais de energia primária (sistema de AQS)

Fonte de energia	$\frac{Q_a}{A_p}$	f_a	η_a	f_{pua}	$f_a \cdot \frac{Q_a}{A_p} \cdot f_{pua} / \eta_a$
Painel Solar Térmico Vulcano TSS200 FCC-2					
Solar	18,82	0,6	1,0	2,5	28,22
Resistência Elétrica de Apoio Solar					
Eletricidade	18,82	0,40	1,0	2,5	18,82
					$\Sigma = 47,04$

Com os valores apresentados, obtém-se o resultado do valor de energia primária de referência de 127,20 kW.h_{EP}/(m².ano).

Deste modo, concluiu-se que as necessidades de energia primária da habitação são inferiores às da “casa de referência”, tal como é exigido pela legislação.

3.14 DETERMINAÇÃO DA CLASSE ENERGÉTICA

Antes de verificar a classe energética da habitação em análise, é necessário que a mesma cumpra as seguintes verificações:

Tabela 3.14.1 – Resumo do valor das necessidades nominais anuais e respetiva verificação

Energia	Necessidades nominais (Caso de Estudo)	Necessidades nominais (“Casa de Referência”)	Rácio	Verificação (Rácio <1)
Útil para a estação de aquecimento	40,78	64,56	0,63	Cumpre
Útil para a estação de arrefecimento	6,36	9,13	0,70	Cumpre
Primária	24,16	127,19	0,19	Cumpre

Quando se fala em pré-certificados ou certificados SCE de edifícios de habitação, a classe energética é determinada através do rácio da classe energética (R_{NT}), com a utilização da seguinte expressão e da Tabela 3.14.2:

$$R_{NT} = \frac{N_{tc}}{N_t} \quad (3.14.1)$$

Equação 3.14.1 - Cálculo da classe energética

Tabela 3.14.2 - Intervalos de valor de RNT para a determinação da classe energética em pré-certificados e certificados SCE de modelo tipo habitação (fonte: Despacho n.º 15793-J/2013)

Classe Energética	Valor de R_{Nt}
A +	$R_{Nt} \leq 0,25$
A	$0,26 \leq R_{Nt} \leq 0,50$
B	$0,51 \leq R_{Nt} \leq 0,75$
B -	$0,76 \leq R_{Nt} \leq 1,00$
C	$1,01 \leq R_{Nt} \leq 1,50$
D	$1,51 \leq R_{Nt} \leq 2,00$
E	$2,01 \leq R_{Nt} \leq 2,50$
F	$R_{Nt} \geq 2,51$

No caso de estudo, temos um rácio de:

$$R_{NT} = \frac{24,16}{127,19} \approx 0,19 \quad (3.14.2)$$

Deste modo, determina-se que a habitação em estudo tem classe energética de A⁺ ($R_{NT} < 25\%$). É importante salientar que os edifícios novos devem ter uma classificação de B⁻ ou superior.

Como o edifício já tem uma classe energética muito elevada, torna-se complicado implementar medidas de melhoria. No entanto, com o intuito de diminuir o rácio entre o valor da energia primária obtida e da “casa de referência”, propõem-se a instalação de chuveiros com rotulagem de eficiência hídrica A⁺⁺ e ainda a instalação de proteções exteriores permanentes, como palas de sombreamento horizontais.

O uso sustentável da água nos edifícios passa pela eficiência hídrica dos produtos, atestada através de sistemas de rotulagem. A instalação dos chuveiros atuará na poupança de água e de energia para a produção de água quente, com um período de retorno de aproximadamente 4 anos.

As palas de sombreamento horizontais são uma solução que, aliada ao movimento do sol (diário e sazonal), permitem um melhor conforto no interior do edifício, assim como equilibrar a quantidade de

luz solar (natural) e os ganhos térmicos nas estações de aquecimento e arrefecimento. As palas a considerar na melhoria, têm um ângulo de obstrução de 45°. É de salientar que esta medida de melhoria, anula as necessidades nominais anuais globais de energia primária para a estação de arrefecimento (face ao valor inicial, 5,3 kW.h_{EP}/(m².ano)).

Tabela 3.14.3 - Medidas de melhoria e respetivo rácio

Melhoria adotada	N_{tc}	R_{NT}
Instalação de chuveiros com rotulagem de eficiência hídrica A ⁺⁺	19,6	0,15
Instalação de proteções exteriores permanentes (palas de sombreamento horizontais)	18,9	0,15
Medida acumulada	14,3	0,11

Verifica-se que, independentemente da medida de melhoria a adotar, a sua classificação não altera, no entanto, o seu rácio melhora aquando a aplicação de ambas melhorias.

CAPÍTULO 4

FERRAMENTAS INFORMÁTICAS: ANÁLISE DO CASO DE ESTUDO

4.1 FERRAMENTAS INFORMÁTICAS

As aplicações de CAD revolucionaram a forma de representar e projetar os edifícios, potenciaram o desuso dos tradicionais e demorados projetos elaborados em papel, contribuindo para a utilização de computadores e ambientes de trabalho virtuais. Este processo reduziu significativamente o tempo da elaboração dos desenhos e pormenores dos projetos em 2D. As suas vantagens iniciais superaram as expectativas em pouco tempo, sendo que o processo de desenho migrou para o ambiente 3D, com estes avanços nas ferramentas de modelação e cálculo numérico, sendo que os projetos rapidamente foram aumentando a sua complexidade e exigência entre as várias especialidades da construção (Silva,2012).

Existem diferentes *softwares* BIM (Modelação de Informações de Construção), tais como o *Graphisoft ArchiCAD*®, *Bentley Architecture*®, *CypeCAD*®, *Tekla BIMsight*®, *EcoDomus*®, *Revit*®, entre outros. Alguns dos softwares enunciados trabalham uma única especialidade, podendo exportar de um *software* no formato IFC para outro *software* diferente.

No subcapítulo seguinte, apresenta-se a simulação energética do caso de estudo, que se apresenta no Capítulo 3, através do *software* Revit, sendo este uma solução colaborativa, que permite partilhar trabalhos entre diferentes especialidades.

O Revit permite a criação de modelos em 3D, como tal, apresenta-se uma imagem () do caso de estudo retirado do *software*.



Figura 4.1.1 - Caso de Estudo (retirado do *software* Revit)

4.2 SIMULAÇÃO ENERGÉTICA COM O REVIT

A capacidade incorporada para executar uma simulação energética no Revit, representa uma oportunidade mais facilitada na caracterização do comportamento térmico, para técnicos profissionais e estudantes.

A Autodesk lançou recentemente uma extensão ao *software* REVIT, designado com *Insight 360*, que permite enviar um modelo de análise energética (MAE) para a nuvem da Autodesk A360. Posteriormente é enviado um email com a confirmação que a análise está completa, e que a mesma pode ser consultada no site do *Insight 360*⁷ ou até mesmo abrindo o modelo de Revit.

O objetivo final desta análise, é o rápido acesso ao custo estimado da energia assim como da informação acerca da intensidade energética utilizada.

Ao iniciar a análise energética, é necessário indicar a localização da habitação que permite a realização de um estudo mais extenso, tendo em conta os dados fornecidos pelas estações meteorológicas mais próximas do local. Este estudo permite a verificação do tempo meteorológico e da orientação solar.

⁷<https://insight.autodesk.com/oneenergy>

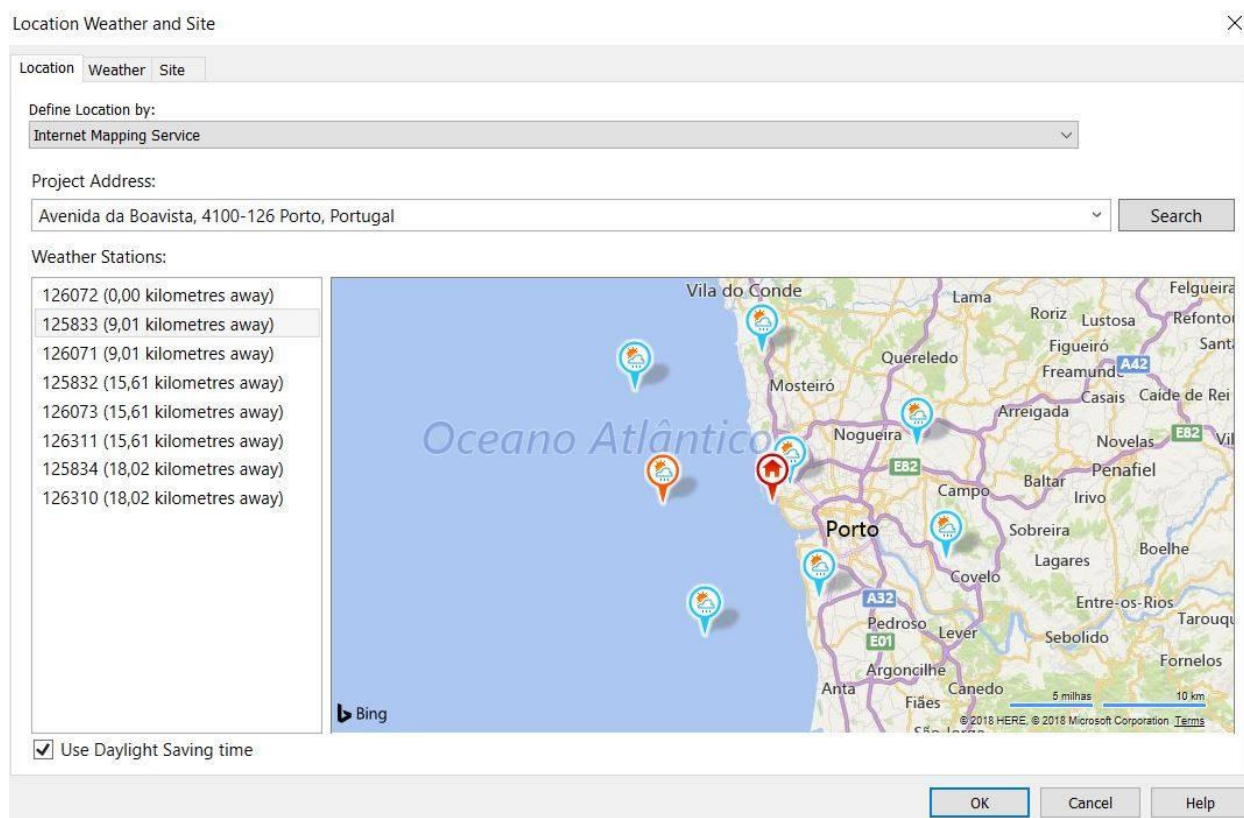


Figura 4.2.1 - Localização da habitação (retirado do *software* Revit)

Posteriormente, deve ser elaborado um modelo, indicando as soluções construtivas e as massas, ou então ambas. As características dos elementos são as mesmas que as apresentadas no capítulo anterior.

Na Figura 4.2.2 está representada uma solução construtiva de uma parede exterior com a constituição apresentada na Figura 3.4.1.

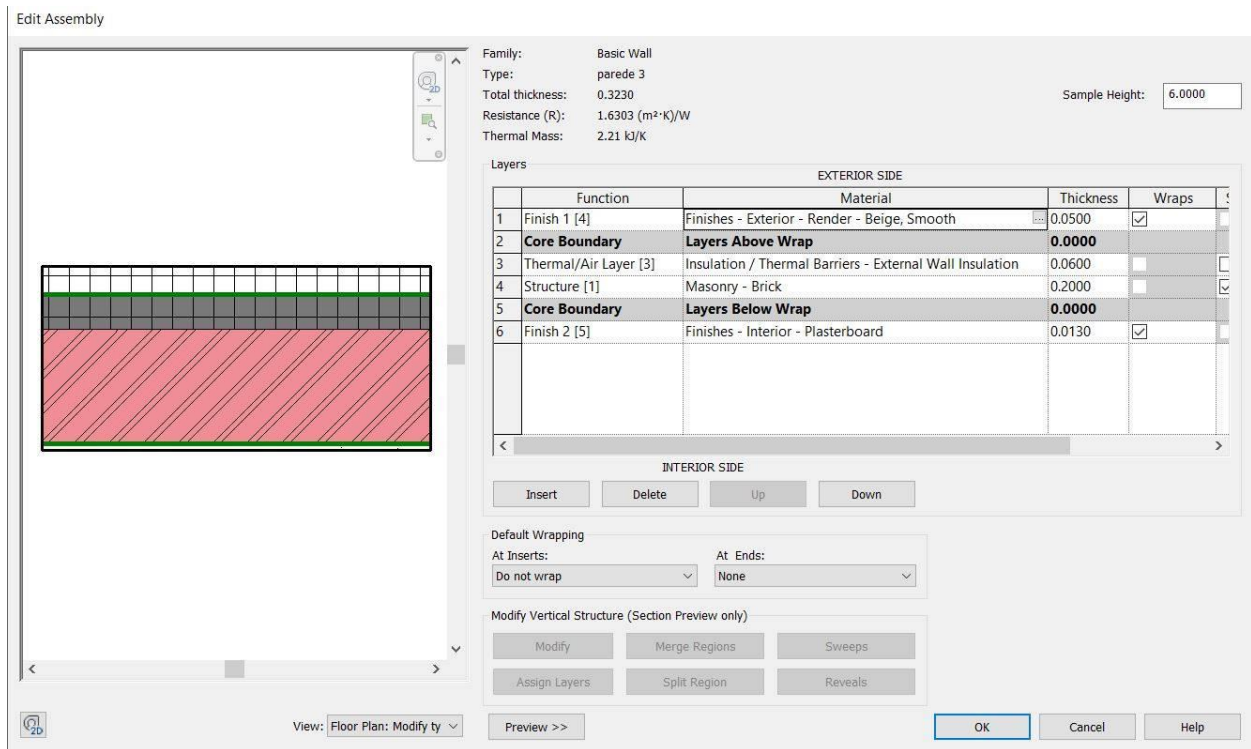


Figura 4.2.2 - Exemplo de constituição de parede

De seguida, devem ser criados espaços que permitam a delimitação do edifício em análise. Estes espaços podem ser analisados de duas formas:

1. Através da divisão dos espaços (criação de várias zonas em estudo);
2. Através do estudo do edifício como um todo.

A análise energética foi realizada através do estudo do edifício como definido no ponto 2. Como o caso de estudo é um edifício de habitação unifamiliar, não existem trocas térmicas entre os compartimentos interiores, como tal, não se consideram divisões de espaço.

Procede-se ao cálculo das cargas de aquecimento e arrefecimento (Figura 4.2.3), que fornecem informações adicionais acerca dos espaços.

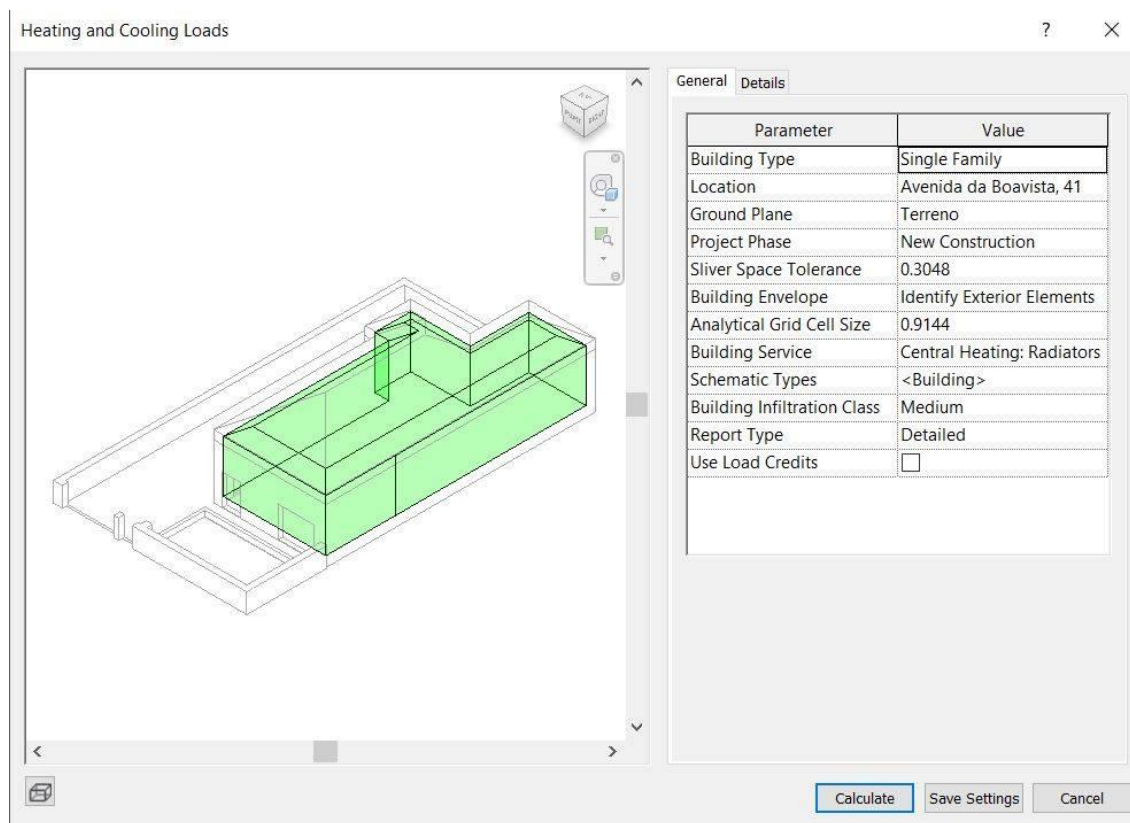


Figura 4.2.3 - Cargas consideradas no aquecimento/arrefecimento

Após a inserção de todos os dados referidos, procede-se à criação de um modelo energético utilizando os comandos apresentados na Figura 4.2.4.



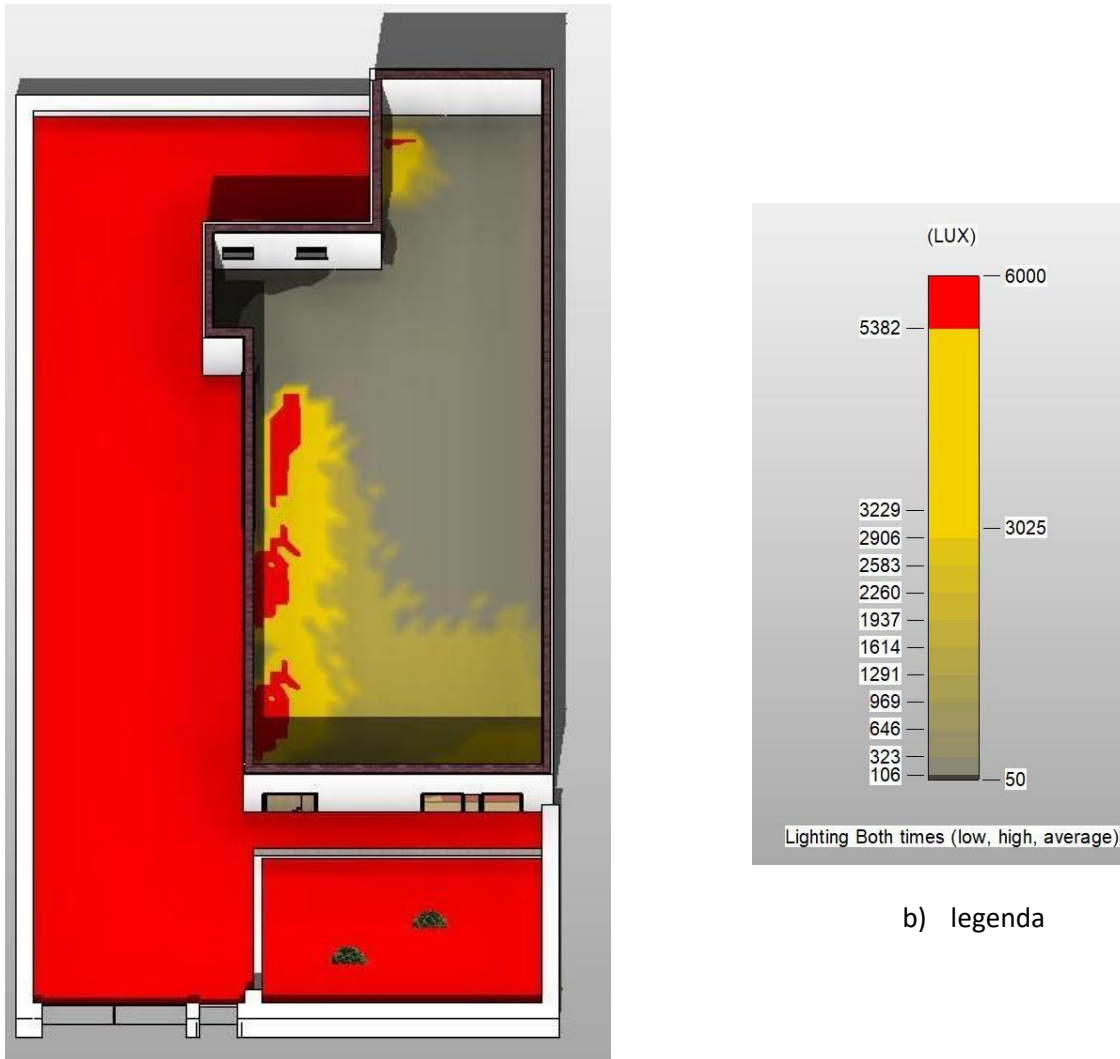
Figura 4.2.4 - Comandos do *Insight 360* para criação do modelo energético

4.2.1 Análise do Caso de Estudo

Após a criação do modelo energético, procede-se à sua análise tendo em conta os seguintes pontos apresentados:

- **Iluminação Natural (*lighting*)**

O edifício dependendo da orientação dos seus envidraçados (sul, este, oeste, vertical e horizontal) pode estar mais ou menos exposto à luz solar. Na Figura 4.2.5, verifica-se a densidade de intensidade luminosa ou iluminância, expressa em LUX.



a) Iluminação solar

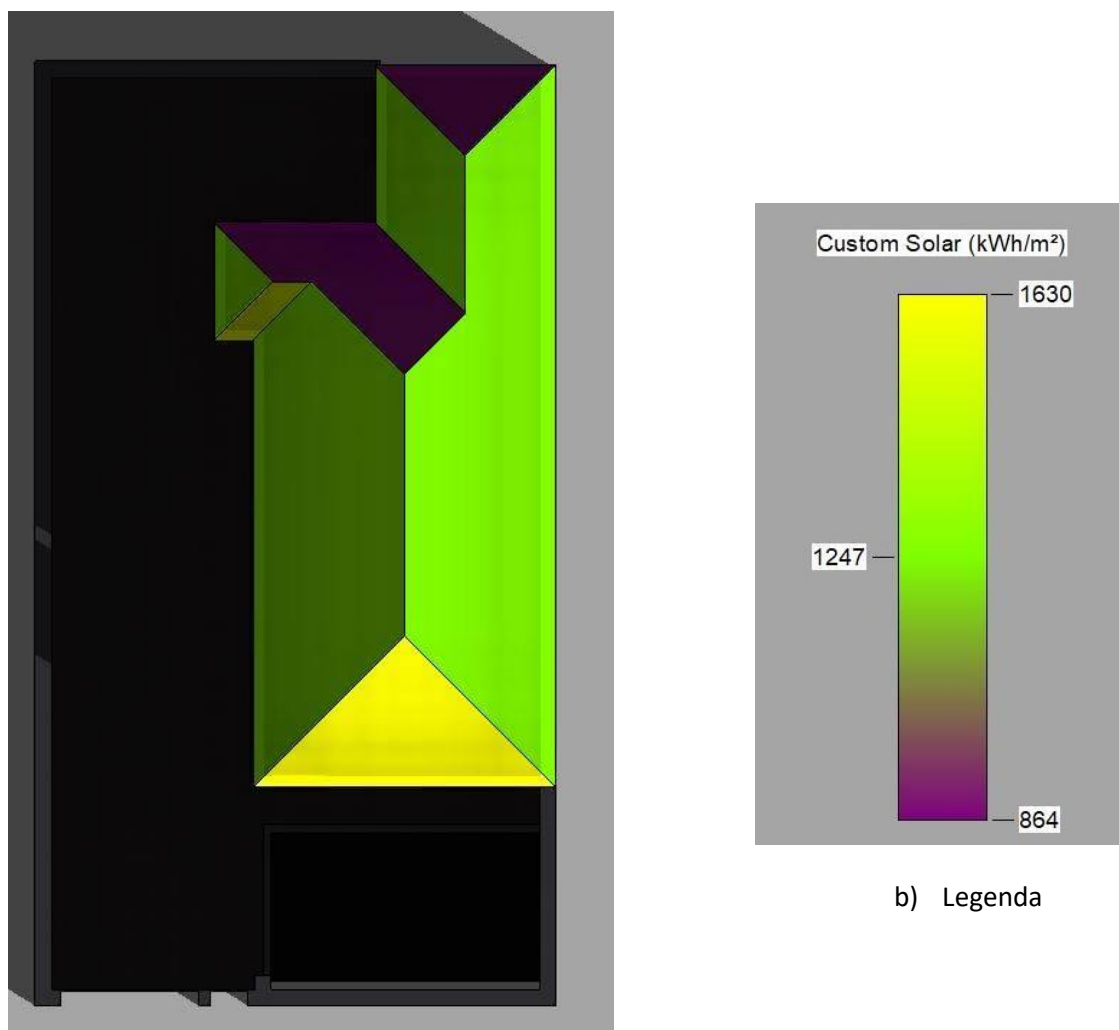
b) legenda

Figura 4.2.5 - Incidência dos raios solares nos elementos construtivos com especial destaque dos envidraçados e respetiva legenda

Os envidraçados utilizados têm caixilharia simples em alumínio e o vidro utilizado é duplo com 6 + 16 + 4 mm, com $g_{\perp vi}=0,43$, e um sistema de proteção constituído por 'cortinas opacas', de cor 'clara' (descrito no subcapítulo 3.4.2).

- **Ganhos Solares**

Demonstração da quantidade de energia recebida, de acordo com a orientação a que o elemento se encontra submetido.



a) Ganhos solares

b) Legenda

Figura 4.2.6 - Ganhos solares incidentes na cobertura

Como se pode observar na Figura 4.2.6 a), a água orientada a sul recebe uma energia solar de 1630 kWh/m². Nas águas orientadas a nascente e a poente, a radiação solar ronda os 1247 kWh/m². Na água orientada a norte, verifica-se que há uma incidência solar menor, e ainda é possível verificar que o valor da energia solar é cerca de metade da recebida a sul (864 kWh/m²). Estes valores de energia, pertencem diretamente aos obtidos nos elementos da cobertura.

- **Aquecimento/ Arrefecimento**

O próximo cálculo que o Revit apresenta são as cargas térmicas de aquecimento e arrefecimento, que se definem como a quantidade de calor que deve ser retirada ou fornecida a um local por uma unidade de tempo. No anexo IV, apresenta-se os valores obtidos das cargas térmicas de aquecimento e arrefecimento, recorrendo ao *software*.

4.2.2 Contribuição do *Insight 360*

Quando o modelo de análise energético está pronto, é possível obter o valor do custo energético anual por metro quadrado, sendo que este pode variar de acordo com o ajuste dos seguintes parâmetros:

- Orientação do edifício;
- Rácio entre o envidraçado e a parede, nas respetivas orientações;
- Sombreamentos, nas respetivas orientações;
- Tipos de envidraçados;
- Elementos construtivos das paredes e coberturas;
- Ventilação.

Embora existam outros parâmetros que contribuem para a alteração do custo energético anual por metro quadrado, apenas os definidos foram considerados.

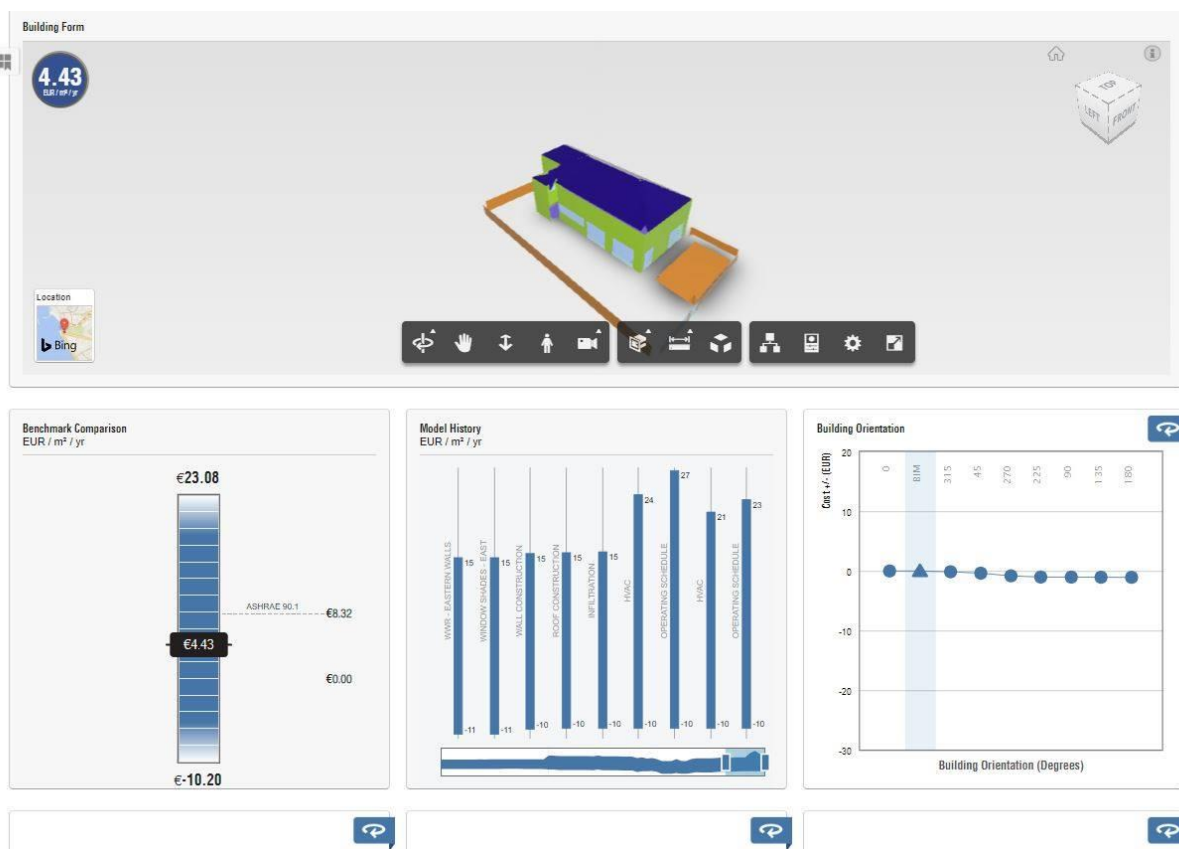


Figura 4.2.7 – Caso de estudo utilizando o *Insight 360*

Para a habitação em estudo obteve um custo energético anual por metro quadrado de 4,43 €, como se pode verificar no canto superior esquerdo (dentro da circunferência azul) da Figura 4.2.7.

4.2.3 Simulação

Com os valores do edifício já determinados, realizaram-se simulações para verificar se, alterando a sua orientação, existem ou não, ganhos económicos.

Nas simulações em seguida apresentadas, apresenta-se sob a forma triangular o caso de estudo e as formas circulares apresentam maiores ou menores valias no custo energético anual por metro quadrado.

- **Orientação do edifício**

É possível alterar a orientação do edifício, promovendo a alteração dos custos para melhor ou pior, de acordo com a Figura 4.2.8.

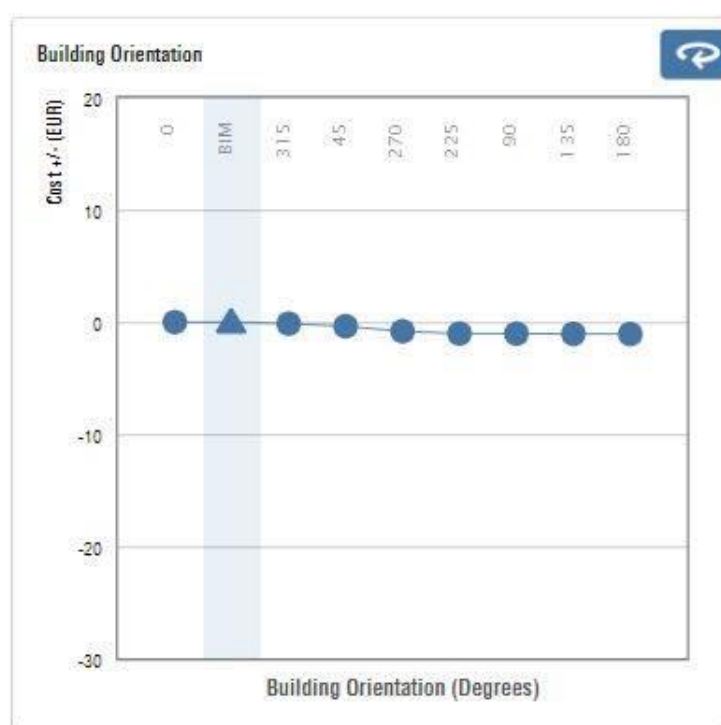


Figura 4.2.8 - Alteração da orientação do edifício

Neste caso, a melhor opção é a rotação do edifício em 180° no sentido horário, e que provoca uma redução de custo de 1,06 €.

- **Rácio entre o envidraçado e a parede, nas respetivas orientações**

Este rácio interfere com as propriedades do envidraçado, tendo impacto na iluminação natural, assim como no aquecimento e arrefecimento.

Para este caso, é necessário avaliar a melhor situação para cada orientação e, posteriormente optar pelo melhor conjunto de soluções.

Tabela 4.2.1 - Análise da diminuição da área de envidraçados

Orientação	% de ocupação do envidraçado na fachada	Observações
Sul	24 %	A anulação do envidraçado é a melhor opção monetária, de acordo com o <i>software</i> , no entanto esta traduz uma redução monetária muito baixa, não trazendo benefícios pela sua anulação.
Norte	3%	
Oeste	23%	
Este	-	

- **Sombreamentos, nas respetivas orientações**

Os sombreamentos a norte não traduzem ganhos, no entanto, nas restantes orientações podem influenciar os ganhos solares.

Tabela 4.2.2 - Análise do comprimento das palas

Orientação	Comprimento da pala de sombreamento	Observações
Sul	2/3 da altura do envidraçado	Redução em 0,10 €/m ²
Norte	-	-
Oeste	2/3 da altura do envidraçado	Redução de 0,67 €/m ²
Este	-	-

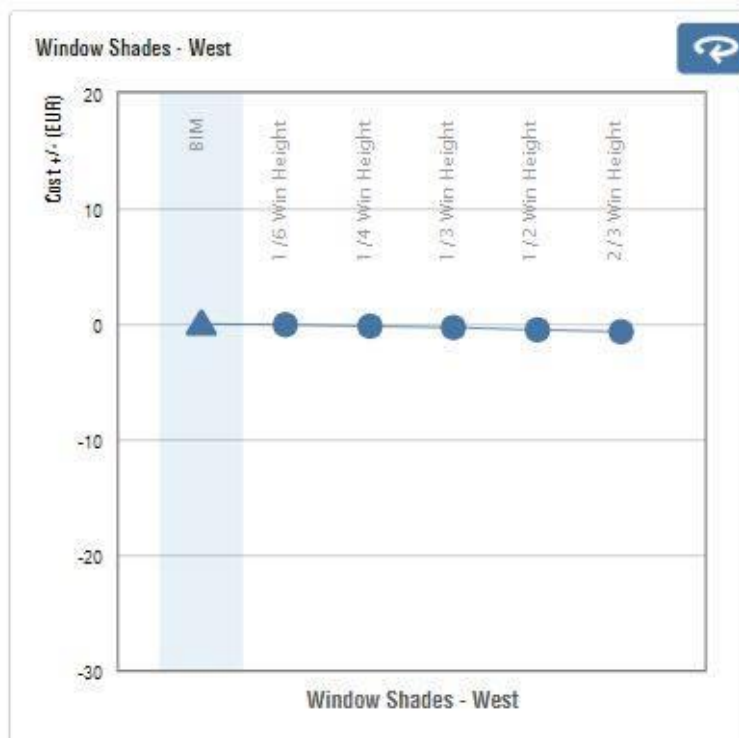


Figura 4.2.9 - Análise da melhor opção para o comprimento da pala orientada a Oeste

- **Tipos de envidraçados**

A utilização de envidraçados duplos ou simples permite a alteração do custo energético anual, pois influencia os ganhos solares. De forma a melhorar o conforto térmico, o *software*, aconselha a substituição do vidro duplo, que é o utilizado, por um vidro triplo. No entanto, a utilização deste tipo de envidraçado não é usual em Portugal, deste forma, não é considerado para análise, mantendo-se assim o vidro duplo apresentado aquando as características dos elementos construtivos (capítulo anterior).

- **Elementos construtivos da cobertura**

Para obter uma diminuição de 0,17 €/m², era necessário a substituição do isolamento atual, para um painel sandwich com uma espessura total de 26 cm. Para efeito de cálculo, este valor será considerado.

- **Elementos construtivos das paredes**

Com o intuito de reduzir as perdas de calor, aconselha-se a troca da parede prevista por uma parede R13 + Ra10 Metal Frame Wall, o que implica uma redução de 0,61 €/m².

- **Ventilação**

Neste caso, o *software* propões uma alteração que não apresenta grandes benefícios em relação ao previsto. Para efeito de cálculo final, não se considera esta alteração.

4.2.3.1 Análise da simulação

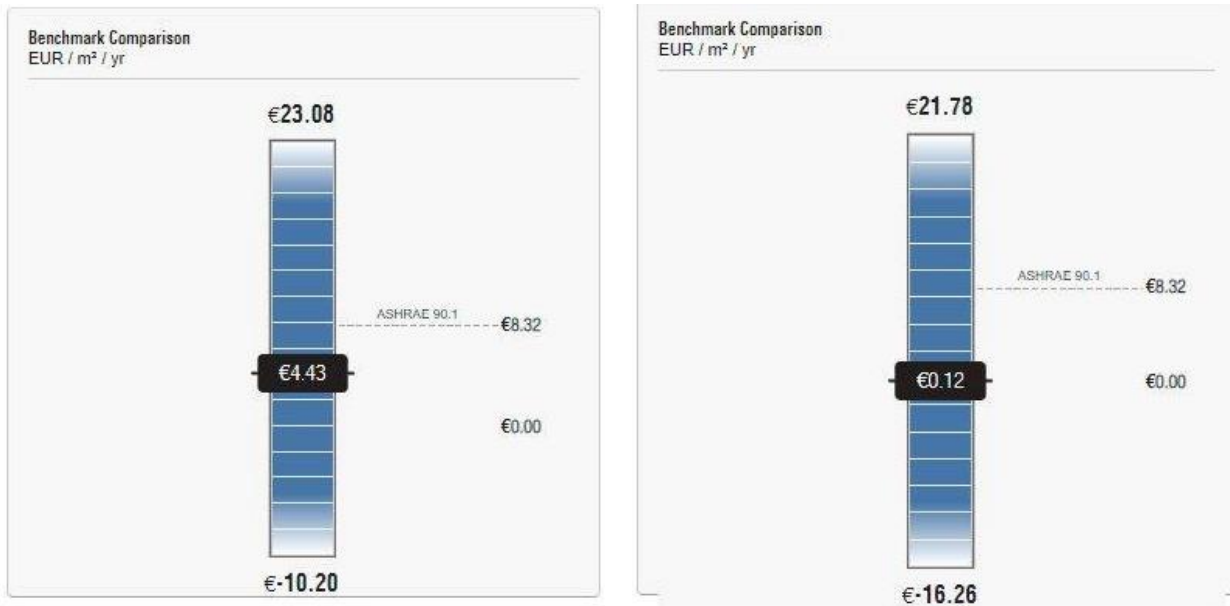
Em seguida apresenta-se um quadro resumo com as alterações aceites após análise do ficheiro elaborado com o Insight 360.

Tabela 4.2.3 - Resumo das alterações efetuadas

Parâmetros	Alteração Efetuada
Orientação do edifício	Rotação do edifício em 180° no sentido horário
Rácio entre o envidraçado e a parede, nas respetivas orientações	–
Sombreamentos, nas respetivas orientações	As palas orientadas a Sul e a Oeste sofrem um acréscimo para 2/3 da altura do respetivo envidraçado
Tipos de envidraçados	–
Elementos construtivos da cobertura	Alteração do isolamento para um painel sandwich com uma espessura total de 26 cm
Elementos construtivos das paredes	Alteração do tipo de parede para R13 + Ra10 Metal Frame Wall
Ventilação	–

CAPÍTULO 4

Com estas alterações, verifica-se uma diminuição do custo energético anual por metro quadrado de 4,31 €, isto é, inicialmente este custo anual era de 4,43 €, sendo que, com as alterações efetuadas passa a ter um valor de apenas 0,12 €/m², como se pode verificar na Figura 4.2.10.



a) Benchmark inicial

b) Benchmark posterior às atualizações

Figura 4.2.10 - Comparação dos benchmark

Assim, olhando para a comparação de benchmark, é possível verificar o intervalo de custos, este apresenta os melhores e piores cenários com base no uso de energético.

CAPÍTULO 5

CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 CONCLUSÕES

O presente relatório de estágio é um marco que aponta o final de um semestre, assim como de um ciclo de estudos, e ainda a primeira experiência profissional que foi bem-sucedida. No presente é apresentado o estudo do comportamento térmico de uma habitação unifamiliar nova, situada na Avenida de Boavista, no Porto.

O trabalho elaborado durante o estágio curricular permitiu a consolidação de conhecimentos aprendidos durante o percurso académico, assim como a aprendizagem de novos conhecimentos no ramo da engenharia civil, mais especificamente na térmica de edifícios.

Durante o estágio, os edifícios de comércio apresentaram uma maior dificuldade de execução de certificação energética do que os edifícios habitacionais. Os certificados de edifícios sujeitos a grandes intervenções, especialmente na zona histórica do Porto, também apresentaram as suas dificuldades pois, dependendo de caso para caso, têm as suas especificidades que implicam uma maior atenção. No entanto, são estes desafios que permitem um melhor crescimento pessoal, assim como profissional.

Com o intuito de demonstrar os conhecimentos utilizados no decorrer do estágio, procedeu-se à descrição e análise de uma habitação, assim como de todos os seus elementos construtivos e equipamentos necessários para um bom comportamento térmico e conforto para os seus utilizadores.

Assim, procedeu-se à verificação de todos os requisitos obrigatórios na legislação atual e a uma tentativa de melhoria do edifício. Como a classificação energética do mesmo é A⁺, as medidas de melhoria a apontar não foram muitas, uma vez que a sua classificação é a mais elevada. No entanto existem sempre elementos ou equipamentos com melhor comportamento térmico, que podem contribuir para uma diminuição do rácio obtido.

Aliado ao estudo do comportamento térmico, utilizou-se o *software* Revit para analisar a possibilidade de troca de elementos construtivos/ materiais, assim como a influência que a mesma traduz a nível monetário e energético. Este *software* é útil, pois permite visualizar mais interativa e rapidamente as trocas de soluções construtivas e analisar as mesmas. É ainda possível verificar a energia que incide na

cobertura, assim como a iluminação natural nos envidraçados e, conseqüentemente, no interior do edifício. Uma vez que este *software* nunca foi analisado no ambiente acadêmico, a aprendizagem do mesmo foi um desafio constante, orientado especialmente para a vertente do comportamento térmico.

No desenvolvimento desta parte do relatório, surgiram diversos problemas, como a dificuldade em aceder aos servidores do Insight 360 e ainda na introdução de determinados dados. Verificou-se que o *software* tem uma maior vertente a nível dos serviços, pois possibilita o cálculo de simulação dinâmica de uma forma mais facilitada. É exequível afirmar que o desenvolvimento deste *software* foi uma maior valia, embora o mesmo não permite a obtenção de uma classe energética. No entanto, a utilização deste *software* pode ser útil na rápida consulta de soluções de melhoria.

5.2 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

O estudo do comportamento térmico dos edifícios está constantemente a sofrer alterações a nível de exigências regulamentares, tanto por Portugal como pela União Europeia.

No futuro, seria interessante verificar em que situações é economicamente viável a utilização de materiais que contribuam para um conforto térmico, *versus* o tempo em que é possível retornar esse investimento, e ainda desenvolver mais o *software* do REVIT, para permitir que essas situações possam ser verificadas o mais fiel e rapidamente possível.

O *lighting* é um comando que permite criar uma simulação de intensidade de luminância, por isso poder-se-ia utilizar soluções passivas, como tubos solares e estudar esses efeitos num caso de estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Livros/ Artigos/ Teses (Recurso físico)

ALJUNDI, K., PINTO, A., e RODRIGUES, F (2016) – *“Energy Analysis Using Cooperation Between Bim Tools (Revit And Green Building Studio) And Energy Plus”*. 1º Congresso Português de Building Information Modelling 24 e 25 de novembro de 2016, Universidade do Minho, Guimarães.

CORREIA, Pedro (2015) – *“Desempenho Térmico e Energético de Edifícios”*. Universidade de Aveiro

GOMES, João (2016) – *“Análise das alterações ao DL 118/2013 ocorrida a 01/01/2016 – Benefício Energético”*. Politécnico do Porto. Instituto Superior de Engenharia do Porto.

KIRBY, L., KRYGIEL, E., e KIM, M. (2017) – *“Mastering Autodesk Revit 2018”* John Wiley & Sons, Inc.. Indianapolis, Indiana.

LEAL, Ricardo (2017) – *“Aplicação do REH e do RECS a Casos Integrados em Edifícios Históricos Reabilitados no Centro do Porto”*. Politécnico do Porto. Instituto Superior de Engenharia do Porto.

LEE, Minh Khoi (2014) – *“Autodesk® Green Building Studio For An Energyefficient, Sustainable Building”*. HAMK University of Applied Sciences. Visamäki.

MOREIRA, Fábio (2014) – *“Projeto de Comportamento Térmico, Certificação energética e Ensaios acústicos”*. Politécnico do Porto. Instituto Superior de Engenharia do Porto.

SILVA, Pedro (2012) – *“Aplicação de Técnicas BIM à Construção Modular com Painéis Sandwich”*. Universidade do Minho. Escola de Engenharia.

STINE, Daniel (2017) – *“Dynamic Energy Optimization with Revit® and Insight 360”*. The Minnesota Conference on Architecture 14 a 17 de novembro de 2017. Centro de Conferências de Minneapolis

VENDRAME, Luís (2017) – *“Otimização Energética num supermercado utilizando o Revit e estratégias de daylighting – Soluções passivas e ativas”*. Politécnico do Porto. Instituto Superior de Engenharia do Porto.

ZEMERO, Bruno (2016) – *“Análise Da Aplicabilidade Da Tecnologia BIM Em Projetos Sustentáveis E Etiquetagem De Edificações No Brasil”*. Universidade Federal do Pará

Documentos Legislativos

Decreto-Lei n.º 251/2015, de 25 de novembro. Diário da República, 1ª série – N.º 231. Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia. Lisboa.

Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto. Diário da República, 1ª série – N.º 159. Ministério da Economia e do Emprego. Lisboa.

Decreto-Lei n.º 194/2015, de 14 de setembro. Diário da República, 1ª série – N.º 179. Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia. Lisboa.

Decreto-Lei n.º 53/2014, de 8 de abril. Diário da República, 1ª série – N.º 69. Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia. Lisboa.

Decreto-Lei n.º 68-A/2015, de 30 de abril. Diário da República, 1ª série – N.º 84. Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia. Lisboa.

Despacho (extrato) n.º 15793-D/2013, de 3 de dezembro. Diário da República, 2ª série – N.º 234.

Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013, de 3 de dezembro. Diário da República, 2ª série – N.º 234.

Despacho (extrato) n.º 15793-H/2013, de 3 de dezembro. Diário da República, 2ª série – N.º 234.

Despacho (extrato) n.º 15793-I/2013, de 3 de dezembro. Diário da República, 2ª série – N.º 234.

Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013, de 3 de dezembro. Diário da República, 2ª série – N.º 234.

Portaria n.º 349-B/2013, de 29 de novembro. Diário da República, 1ª série – N.º 232. Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia. Lisboa.

Portaria n.º 349-C/2013, de 2 de dezembro. Diário da República, 1ª série – N.º 233. Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia. Lisboa.

Portaria n.º 379-A/2015, de 22 de outubro. Diário da República, 1ª série – N.º 207. Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia. Lisboa.

Portal/página Web (Recurso eletrónico)

ASL & Associados [Consultado em 03 de março de 2018]. Disponível em WWW: <www.aslassociados.com>

ADENE [Consultado em 24 de março de 2018]. Disponível em WWW: <www.adene.pt>

Plataforma para a promoção dos nZEB em Portugal [Consultado em 03 de junho de 2018]. Disponível em WWW: <<http://pt-nzeb.pt/>>

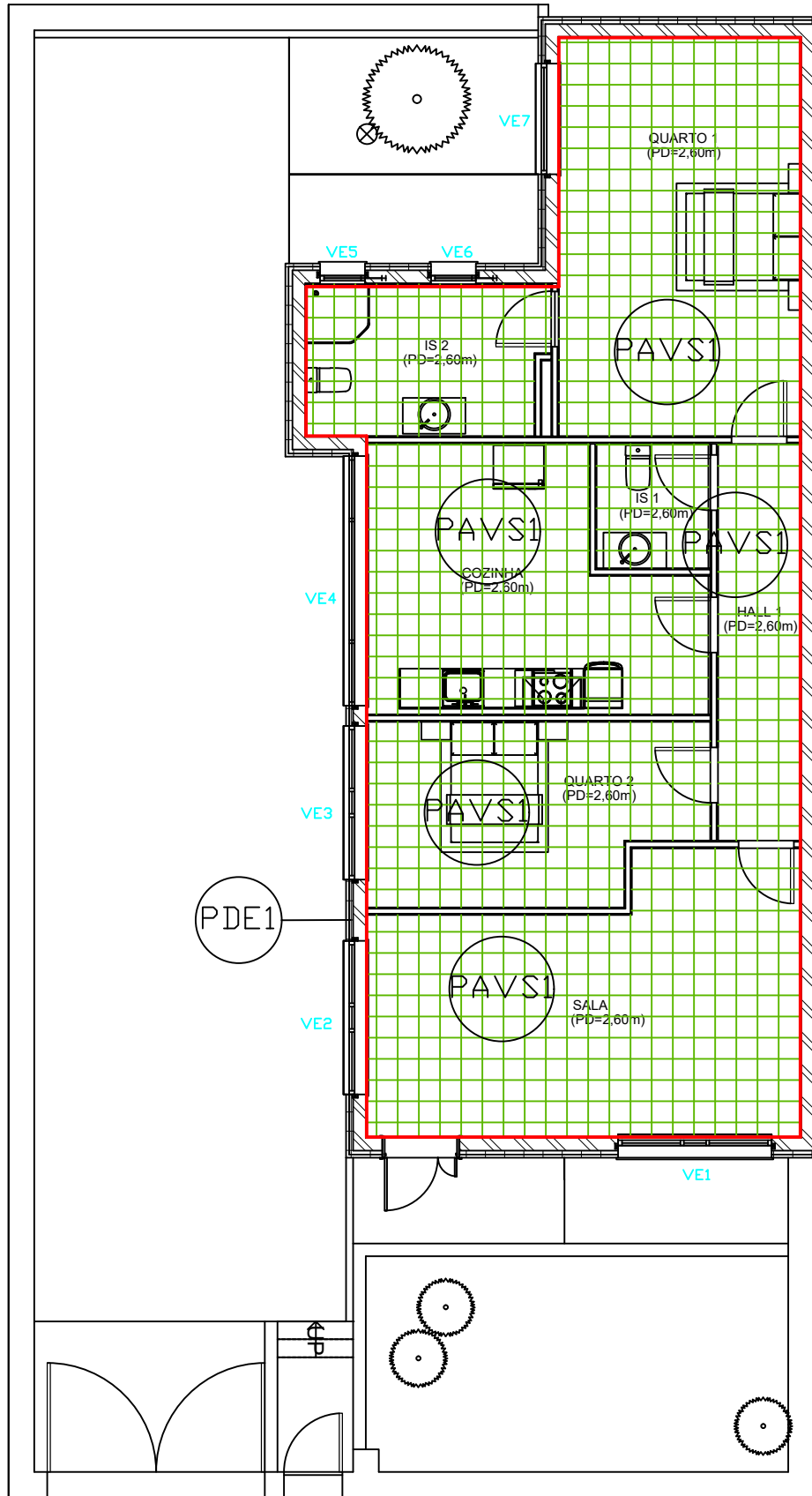
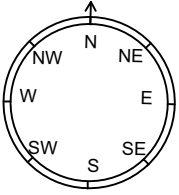
DGEG – Direção Geral de Energia e Geologia [Consultado em 03 de junho de 2018]. Disponível em WWW: < <http://www.dgeg.gov.pt/>>

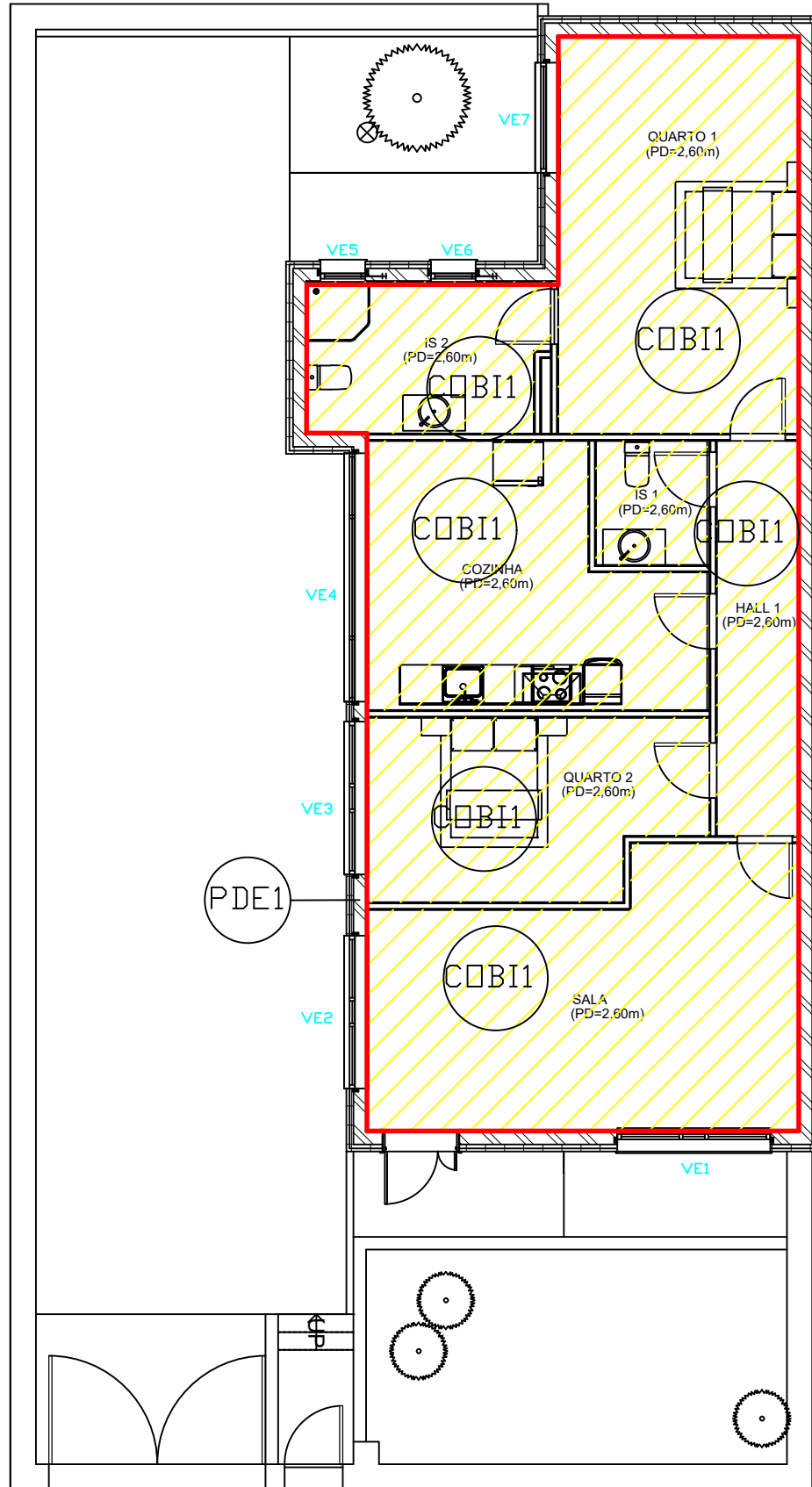
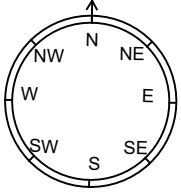
ITECONS [Consultado em 03 de junho de 2018]. Disponível em WWW: <<https://www.itecons.uc.pt>>

LNEG – Investigação para a Sustentabilidade [Consultado em 03 de junho de 2018]. Disponível em WWW: <<http://www.lneg.pt/servicos/328/2263>>

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil [Consultado em 03 de junho de 2018]. Disponível em WWW: <<http://www.lnec.pt/>>

ANEXO I – PLANTAS E CORTES DA HABITAÇÃO





ANEXO II – FOLHAS DE CÁLCULO

CÁLCULO JUSTIFICATIVO RELATIVO AO PROJETO DE COMPORTAMENTO TÉRMICO

REGULAMENTO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS DE
HABITAÇÃO (REH)

REH - Fichas de cálculo
 REGULAMENTO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO (REH)
 (alínea g) do n.º 1.3)

Avenida da Boavista

Folha de Cálculo A			
TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO			
A.1 - ENVOLVENTE EXTERIOR			
ELEMENTOS OPACOS EXTERIORES	Área A (m²)	U [W/(m²·°C)]	U.A (W/°C)
<i>Paredes em contacto com o exterior</i>			
ParE1	16,12	0,38	6,13
ParE1	38,66	0,38	14,69
ParE1	10,30	0,38	3,91
ParE1	21,07	0,38	8,01
TOTAL			32,74
<i>PTP em contacto com o exterior (Paredes)</i>			
PTPE1	0,52	0,52	0,27
PTPE1	1,51	0,52	0,78
PTPE1	0,13	0,52	0,07
PTPE1	0,99	0,52	0,51
PTPE2	0,92	0,52	0,48
PTPE2	2,11	0,52	1,10
PTPE2	0,93	0,52	0,48
PTPE2	2,03	0,52	1,06
TOTAL			4,76
<i>Vãos opacos em contacto com o exterior</i>			
PtrE1	2,54	3,33	8,46
TOTAL			8,46
<i>Pavimentos em contacto com o exterior (fluxo descendente)</i>			
TOTAL			
<i>Pavimentos em contacto com o exterior (fluxo ascendente)</i>			
TOTAL			
<i>PTP em contacto com o exterior (Pavimentos - fluxo descendente)</i>			
TOTAL			
<i>PTP em contacto com o exterior (Pavimentos - fluxo ascendente)</i>			
TOTAL			
<i>Coberturas em contacto com o exterior (fluxo ascendente)</i>			
TOTAL			
<i>Coberturas em contacto com o exterior (fluxo descendente)</i>			
TOTAL			
TOTAL			

<i>PTP em contacto com o exterior (Coberturas - fluxo ascendente)</i>			
---	--	--	--

TOTAL

<i>PTP em contacto com o exterior (Coberturas - fluxo descendente)</i>			
--	--	--	--

TOTAL

TOTAL (fluxo do interior para o exterior)

45,95

TOTAL (fluxo do exterior para o interior)

45,95

VÃOS ENVIDRAÇADOS EXTERIORES	Área A (m²)	U [W/(m²·°C)]	U.A (W/°C)
<i>Verticais</i>			
VenE1-Sala (rés do chão)	4,72	1,80	8,50
VenE1-Sala (rés do chão)	4,72	1,80	8,50
VenE1-Q2 (rés do chão)	4,72	1,80	8,50
VenE1-cozinha (rés do chão)	3,74	1,80	6,73
VenE1-wc2 (rés do chão)	0,45	1,80	0,81
VenE1-wc2 (rés do chão)	0,45	1,80	0,81
VenE1-q1 (rés do chão)	3,40	1,80	6,12
<i>Horizontais (fluxo ascendente)</i>			

Horizontais (fluxo descendente)			
TOTAL (fluxo do interior para o exterior)			39,96
TOTAL (fluxo do exterior para o interior)			39,96

PONTES TÉRMICAS LINEARES	Comprimento B (m)	ψ [W/(m ² ·C)]	$\psi \cdot B$ (W/C)
Duas paredes verticais em ângulo saliente	16,20	0,40	6,48
Fachada com caixilharia e o isolante térmico da parede contacta com a caixilharia	46,36	0,10	4,64
Fachada com cobertura e isolamento sob a laje de cobertura sem tecto falso	59,03	0,70	41,32
Fachada com pavimentos térreos	59,03	0,70	41,32
TOTAL			93,75

Coefficiente de transferência de calor por transmissão pela envolvente exterior H_{ext} (fluxo do interior para o exterior)	179,67	W/C
Coefficiente de transferência de calor por transmissão pela envolvente exterior H_{ext} (fluxo do exterior para o interior)	179,67	W/C

A.2 - ENVOLVENTE INTERIOR				
ELEMENTOS OPACOS EM CONTACTO COM ESPAÇOS NÃO-ÚTEIS	Área A (m ²)	U [W/(m ² ·C)]	b_e	$U \cdot A \cdot b_e$ (W/C)
Paredes em contacto com espaços não úteis				
TOTAL				
PTP em contacto com espaços não úteis (Paredes)				
TOTAL				
Vãos opacos em contacto com espaços não úteis				
TOTAL				
Pavimentos sobre espaços não-úteis (fluxo descendente)				
TOTAL				
Pavimentos sobre espaços não-úteis (fluxo ascendente)				
TOTAL				
PTP sobre espaços não-úteis (Pavimentos - fluxo descendente)				
TOTAL				
PTP sobre espaços não-úteis (Pavimentos - fluxo ascendente)				
TOTAL				

<i>Coberturas Interiores (tectos sob espaços não-úteis) (fluxo ascendente)</i>				
Cob11	94,76	0,37	0,80	28,05
TOTAL				28,05
<i>Coberturas Interiores (tectos sob espaços não-úteis) (fluxo descendente)</i>				
Cob11	94,76	0,35	0,80	26,53
TOTAL				26,53
<i>PTP (tectos sob espaços não-úteis) (Coberturas Interiores - fluxo ascendente)</i>				
TOTAL				
<i>PTP (tectos sob espaços não-úteis) (Coberturas Interiores - fluxo descendente)</i>				
TOTAL				
TOTAL (fluxo do interior para o exterior)				28,05
TOTAL (fluxo do exterior para o interior)				26,53

VÃOS ENVIDRAÇADOS EM CONTACTO COM ESPAÇOS NÃO ÚTEIS	Área A (m ²)	U [W/(m ² ·°C)]	b _v	U·A·b _v (W/°C)
Verticais (solários)				
Verticais (não solários)				
Horizontais (fluxo ascendente)				
Horizontais (fluxo descendente)				
TOTAL (fluxo do interior para o exterior)				
TOTAL (fluxo do exterior para o interior)				

PONTES TÉRMICAS LINEARES (APENAS PARA PAREDES DE SEPARAÇÃO PARA ESPAÇOS NÃO ÚTEIS COM b _v >0.7)	Comprimento B (m)	ψ [W/(m·°C)]	b _v	ψ·A·b _v (W/°C)
TOTAL				

Coefficiente de transferência de calor por transmissão por elementos em contato com espaços não-úteis H _{ext,i} (fluxo do interior para o exterior)	28,05	W/°C
Coefficiente de transferência de calor por transmissão por elementos em contato com espaços não-úteis H _{ext,e} (fluxo do exterior para o interior)	26,53	W/°C

ELEMENTOS OPACOS EM CONTACTO COM EDIFÍCIOS ADJACENTES	Área A (m ²)	U [W/(m ² ·°C)]	b _v	U·A·b _v (W/°C)
Paredes				
PTP				
TOTAL				

Coefficiente de transferência de calor por transmissão por elementos em contato com edifícios adjacentes H _{adj}		W/°C
Coefficiente de transferência de calor por transmissão pela envolvente interior H _{int} (fluxo do interior para o exterior)	28,05	W/°C
Coefficiente de transferência de calor por transmissão pela envolvente interior H _{int} (fluxo do exterior para o interior)	26,53	W/°C

A.3 - ELEMENTOS EM CONTACTO COM O SOLO

PAREDES ENTERRADAS	Área A (m²)	U _{bw} [W/(m²·°C)]	A·U _{bw} (W/°C)
TOTAL			
PAVIMENTOS ENTERRADOS	Área A (m²)	U _{bt} [W/(m²·°C)]	A·U _{bt} (W/°C)
Incluir os pavimentos em contacto com o solo que estão enterrados (profundidade z>0).			
TOTAL			
PAVIMENTOS TÉRREOS	Área A m²	U _i W/m²·°C	A·U _i W/°C
Incluir os pavimentos em contacto com o solo ao nível do pavimento exterior (profundidade z≤0) com ou sem isolamentos térmico perimetral.			
PavS1	94,76	0,42	39,80
TOTAL			39,80

Coefficiente de transferência de calor por elementos em contacto com o solo H_{ecsc} W/°C

A.4 - COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO

INVERNO	Coefficiente de transferência de calor por transmissão pela envolvente exterior H _{ext}	<input type="text" value="179,67"/>	W/°C
	(da folha de cálculo A.1)	+	
	Coefficiente de transferência de calor através da envolvente interior H _{enu} + H _{adj}	<input type="text" value="28,05"/>	W/°C
	(da folha de cálculo A.2)	+	
VERÃO	Coefficiente de transferência de calor por elementos em contacto com o solo H _{ecsc}	<input type="text" value="39,80"/>	W/°C
	(da folha de cálculo A.3)	=	
	Coefficiente de transferência de calor por transmissão H _{trv}	<input type="text" value="247,51"/>	W/°C
	Δθ=(θ _{ext} - θ _{ext,sk})	<input type="text" value="4,10"/>	°C
INVERNO	Coefficiente de transferência de calor por transmissão pela envolvente exterior H _{ext}	<input type="text" value="179,67"/>	W/°C
	(da folha de cálculo A.1)	+	
	Coefficiente de transferência de calor através da envolvente interior H _{enu}	<input type="text" value="28,05"/>	W/°C
	(da folha de cálculo A.2)	+	
VERÃO	Coefficiente de transferência de calor por elementos em contacto com o solo H _{ecsc}	<input type="text" value="39,80"/>	W/°C
	(da folha de cálculo A.3)	=	
	Coefficiente de transferência de calor por transmissão H _{trv}	<input type="text" value="247,51"/>	W/°C

TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO DE REFERÊNCIA

A.5 - ENVOLVENTE EXTERIOR

ELEMENTOS OPACOS EXTERIORES	Área A (m²)	U _{ref} [W/(m²·°C)]	U _{ref} ·A (W/°C)
<i>Paredes em contacto com o exterior</i>			
ParE1	16,25	0,50	8,13
ParE1	38,66	0,50	19,33
ParE1	10,99	0,50	5,49
ParE1	23,49	0,50	11,74
<i>PTP em contacto com o exterior (Paredes)</i>			
PTPE1	0,52	0,50	0,26
PTPE1	1,51	0,50	0,75
PTPE1	0,13	0,50	0,07
PTPE1	0,99	0,50	0,49
PTPE2	0,92	0,50	0,46
PTPE2	2,11	0,50	1,06
PTPE2	0,93	0,50	0,47
PTPE2	2,03	0,50	1,02
<i>Vãos opacos em contacto com o exterior</i>			
PrtE1	2,54	0,50	1,27
<i>Pavimentos em contacto com o exterior</i>			
<i>PTP em contacto com o exterior (Pavimentos)</i>			
<i>Coberturas em contacto com o exterior</i>			
<i>PTP em contacto com o exterior (Coberturas)</i>			
TOTAL			50,54

VÃOS ENVIDRAÇADOS EXTERIORES	Área A (m²)	U _{REF} [W/(m²·°C)]	U _{ref} A (W/°C)
<i>Verticais</i>			
VenE1-Sala (rés do chão)	4,03	2,80	11,29
VenE1-Sala (rés do chão)	4,03	2,80	11,29
VenE1-Q2 (rés do chão)	4,03	2,80	11,29
VenE1-cozinha (rés do chão)	3,19	2,80	8,94
VenE1-wc2 (rés do chão)	0,38	2,80	1,08
VenE1-wc2 (rés do chão)	0,38	2,80	1,08
VenE1-q1 (rés do chão)	2,90	2,80	8,13
<i>Horizontais</i>			
TOTAL			53,09

PONTES TÉRMICAS LINEARES	Comprimento B (m)	ψ _{ref} [W/(m·°C)]	ψ _{ref} B (W/°C)
Duas paredes verticais em ângulo saliente	16,20	0,40	6,48
Fachada com caixilharia e o isolante térmico da parede contacta com a caixilharia	46,36	0,20	9,27
Fachada com cobertura e isolamento sob a laje de cobertura sem tecto falso	59,03	0,50	29,51
Fachada com pavimentos térreos	59,03	0,50	29,51
TOTAL			74,78

Coefficiente de transferência de calor por transmissão pela envolvente exterior H_{ext,REF} 178,40 W/°C

A.6 - ENVOLVENTE INTERIOR

ELEMENTOS OPACOS EM CONTACTO COM ESPAÇOS NÃO-ÚTEIS	Área A (m ²)	U _{ref} [W/(m ² ·°C)]	b _e	U _{ref} ·A·b _e (W/°C)
<i>Paredes em contacto com espaços não úteis</i>				
<i>PTP em contacto com espaços não úteis (Paredes)</i>				
<i>Vãos opacos em contacto com espaços não úteis</i>				
<i>Pavimentos sobre espaços não-úteis</i>				
<i>PTP sobre espaços não-úteis (Pavimentos)</i>				
<i>Coberturas Interiores (tectos sob espaços não-úteis)</i> Cob11	94,76	0,40	0,80	30,32
<i>PTP (tectos sob espaços não-úteis) (Coberturas Interiores)</i>				
TOTAL				30,32

VÃOS ENVIDRAÇADOS EM CONTACTO COM ESPAÇOS NÃO ÚTEIS	Área A (m ²)	U _{ref} [W/(m ² ·°C)]	b _e	U _{ref} ·A·b _e (W/°C)
<i>Verticais (solários)</i>				
<i>Verticais (não solários)</i>				
<i>Horizontais</i>				
TOTAL				

PONTES TÉRMICAS LINEARES (APENAS PARA PAREDES DE SEPARAÇÃO PARA ESPAÇOS NÃO ÚTEIS COM $b_e > 0,7$)	Comprimento B (m)	ψ_{ref} [W/(m·°C)]	b_e	$\psi_{ref} \cdot A \cdot b_e$ (W/°C)
TOTAL				

Coefficiente de transferência de calor por transmissão por elementos em contato com espaço não-úteis $H_{env, REF}$ W/°C

ELEMENTOS OPACOS EM CONTACTO COM EDIFÍCIOS ADJACENTES	Área A (m²)	U_{ref} [W/(m²·°C)]	b_e	$U_{ref} \cdot A \cdot b_e$ (W/°C)
<i>Paredes</i>				
<i>PTP</i>				
TOTAL				

Coefficiente de transferência de calor por transmissão por elementos em contato com edifícios adjacentes $H_{adj, REF}$ W/°C

Coefficiente de transferência de calor por transmissão pela envolvente interior $H_{int, REF}$ W/°C

A.7 - ELEMENTOS EM CONTACTO COM O SOLO

PAREDES ENTERRADAS	Área A (m ²)	U _{bw ref} [W/(m ² ·°C)]	A·U _{bw ref} (W/°C)
TOTAL			

PAVIMENTOS ENTERRADOS Incluir os pavimentos em contacto com o solo que estão enterrados (profundidade z>0).	Área A (m ²)	U _{bf ref} [W/(m ² ·°C)]	A·U _{bf ref} (W/°C)
TOTAL			

PAVIMENTOS TÉRREOS Incluir os pavimentos em contacto com o solo ao nível do pavimento exterior (profundidade z≤0) com ou sem isolamentos térmico perimetral.	Área A (m ²)	U _{ref} [W/(m ² ·°C)]	A·U _{ref} (W/°C)
PavS1	94,76	0,50	47,38
TOTAL			47,38

Coeficiente de transferência de calor por elementos em contacto com o solo H_{ecs REF} W/°C

A.8 - COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO DE REFERÊNCIA

Coeficiente de transferência de calor por transmissão pela envolvente exterior H _{ext REF} (da folha de cálculo A.5)	<input type="text" value="178,40"/>	W/°C
+		
Coeficiente de transferência de calor através da envolvente interior H _{intu REF} + H _{bas REF} (da folha de cálculo A.6)	<input type="text" value="30,32"/>	W/°C
+		
Coeficiente de transferência de calor por elementos em contacto com o solo H _{ecs REF} (da folha de cálculo A.7)	<input type="text" value="47,38"/>	W/°C
=		
Coeficiente de transferência de calor por transmissão H _{tr REF}	<input type="text" value="256,11"/>	W/°C

Folha de Cálculo B

TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR VENTILAÇÃO

B.1 - ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO

$$\begin{array}{r}
 1 \\
 - \\
 \hline
 \text{Rendimento do sistema de recuperação de calor } \eta_{RC} \quad \boxed{} \\
 \times \\
 \text{Caudal médio diário insuflado } V_{ins} \quad \boxed{} \text{ m}^3/\text{h} \\
 \hline
 \div \\
 R_{ph,v} \cdot A_p \cdot P_d \quad \boxed{125,65} \text{ m}^3/\text{h} \\
 = \\
 \text{Fator de correção da temperatura para sistemas de recuperação de calor } b_{w,v} \quad \boxed{1,00} \\
 \times \\
 0,34 \\
 \times \\
 \text{Taxa nominal de renovação do ar interior na estação de aquecimento } R_{ph,i} \quad \boxed{0,51} \text{ h}^{-1} \\
 \times \\
 \text{Área interior útil de pavimento } A_p \quad \boxed{94,76} \text{ m}^2 \\
 \times \\
 \text{Pé direito médio da fração } P_d \quad \boxed{2,60} \text{ m} \\
 = \\
 \text{Coeficiente de transferência de calor por ventilação } H_{w,v} \quad \boxed{42,72} \text{ W/}^\circ\text{C}
 \end{array}$$

B.2 - ESTAÇÃO DE ARREFECIMENTO

$$\begin{array}{r}
 1 \\
 - \\
 \hline
 \text{Rendimento do sistema de recuperação de calor } \eta_{RC} \quad \boxed{} \\
 \times \\
 \text{Caudal médio diário insuflado } V_{ins} \quad \boxed{} \text{ m}^3/\text{h} \\
 \hline
 \div \\
 R_{ph,w} \cdot A_p \cdot P_d \quad \boxed{147,83} \text{ m}^3/\text{h} \\
 = \\
 \text{Fator de correção da temperatura para sistemas de recuperação de calor } b_{w,v} \quad \boxed{1,00} \\
 \times \\
 0,34 \\
 \times \\
 \text{Taxa nominal de renovação do ar interior na estação de arrefecimento } R_{ph,v} \quad \boxed{0,60} \text{ h}^{-1} \\
 \times \\
 \text{Área interior útil de pavimento } A_p \quad \boxed{94,76} \text{ m}^2 \\
 \times \\
 \text{Pé direito médio da fração } P_d \quad \boxed{2,60} \text{ m} \\
 = \\
 \text{Coeficiente de transferência de calor por ventilação } H_{w,v} \quad \boxed{50,26} \text{ W/}^\circ\text{C}
 \end{array}$$

TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR VENTILAÇÃO DE REFERÊNCIA

B.3 - ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO

$$\begin{array}{r}
 0,34 \\
 \times \\
 \text{Taxa nominal de renovação do ar interior na estação de aquecimento } R_{ph,ref} \quad \boxed{0,51} \text{ h}^{-1} \\
 \times \\
 \text{Área interior útil de pavimento } A_p \quad \boxed{94,76} \text{ m}^2 \\
 \times \\
 \text{Pé direito médio da fração } P_d \quad \boxed{2,60} \text{ m} \\
 = \\
 \text{Coeficiente de transferência de calor por ventilação } H_{w,ref} \quad \boxed{42,72} \text{ W/}^\circ\text{C}
 \end{array}$$

Folha de Cálculo C
GANHOS TÉRMICOS NA ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO

C.1 - GANHOS SOLARES

VÃOS ENVIDRAÇADOS EXTERIORES

Designação do envidraçado	Orientação	Fator Solar inverno g	Área A_w (m ²)	Fator de Obstrução $F_{s,i}=F_{n,i}; F_{c,i}; F_{l,i}$	Fração Envidraçada F_g	Área efetiva coletora $A_{e,i}=A_w \cdot F_{s,i} \cdot F_g \cdot g$ (m ²)	Fator de Orientação X	Área Efetiva coletora a Sul $X \cdot A_{e,i}$ (m ²)
<i>Verticais</i>								
VenE1-Sala (rés do chão)	S	0,39	4,72	0,77	0,70	0,99	1,00	0,99
VenE1-Sala (rés do chão)	W	0,39	4,72	0,90	0,70	1,16	0,56	0,64
VenE1-Q2 (rés do chão)	W	0,39	4,72	0,90	0,70	1,16	0,56	0,64
VenE1-cozinha (rés do chão)	W	0,39	3,74	0,90	0,70	0,92	0,56	0,51
VenE1-wc2 (rés do chão)	N	0,39	0,45	0,90	0,70	0,11	0,27	0,03
VenE1-wc2 (rés do chão)	N	0,39	0,45	0,90	0,70	0,11	0,27	0,03
VenE1-q1 (rés do chão)	W	0,39	3,40	0,52	0,70	0,48	0,56	0,27
<i>Horizontais</i>								
TOTAL								3,11

Em nenhum caso o produto $X_i \cdot F_{s,i} \cdot F_g \cdot F_i$ deve ser menor que 0,27;

Para contabilizar o efeito do contorno do vão o produto $F_{s,i} \cdot F_i$ deve ser inferior ou igual a 0,9.

VÃOS INTERIORES EM CONTACTO COM SOLÁRIOS, MARQUISES, JARDINS DE INVERNO, ETC.

Designação do envidraçado	Orientação	Fator Solar inverno $g_{int}; g_{ENU}$	Área A_w (m ²)	Fator de Obstrução $F_{s,i}=F_{n,i}; F_{c,i}; F_{l,i}$	Fração Envidraçada $F_g; F_{g,ENU}$	Área efetiva coletora $A_{e,i}=A_w \cdot F_{s,i} \cdot F_g \cdot g$ (m ²)	Fator de Orientação X	Área Efetiva coletora a Sul $X \cdot A_{e,i}$ (m ²)
TOTAL								

No cálculo de g_{int} e g_{ENU} não deverão ser considerados os dispositivos de proteção solar móveis devendo considerar-se apenas dispositivos permanentes;
Caso não existam quaisquer dispositivos de sombreamento, g será igual ao fator solar do vidro para uma incidência solar normal $g_{i,n}$ afetado do fator de seletividade angular $F_{w,i}$.

$$\begin{aligned}
 &\text{Área efetiva total equivalente na orientação a Sul } \Sigma X \cdot A_{e,i} && 3,11 \text{ m}^2 \\
 &\quad \times \\
 &\text{Radiação média incidente num envidraçado vertical a Sul } G_{Sul} && 130 \text{ kWh/(m}^2\text{-mês)} \\
 &\quad \times \\
 &\text{Duração da estação de aquecimento } M && 6,1 \text{ meses} \\
 &\quad = \\
 &\text{Ganhos solares brutos } Q_{sol,i} && 2466,23 \text{ kWh/ano}
 \end{aligned}$$

C.2 - GANHOS INTERNOS

0,72	
x	
Ganhos internos médios q_{int}	4,00 W/m ²
x	
Duração da estação de aquecimento M	6,1 meses
x	
Área interior útil de pavimento A_p	94,76 m ²
=	
Ganhos internos brutos $Q_{int,i}$	1664,74 kWh/ano

C.3 - GANHOS TÉRMICOS BRUTOS

Ganhos solares provenientes de sistemas solares passivos (estufas) Q_{ss}		kWh/ano
	+	
Ganhos solares brutos Q_{sol}	2466,23	kWh/ano
(da folha de cálculo C.1)	+	
Ganhos internos brutos Q_{int}	1664,74	kWh/ano
(da folha de cálculo C.2)	=	
Ganhos térmicos brutos Q_{g}	4130,97	kWh/ano

GANHOS TÉRMICOS NA ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO DE REFERÊNCIA

C.4 - GANHOS TÉRMICOS BRUTOS DE REFERÊNCIA

Ganhos solares brutos Q_{sol}	1645,67	kWh/ano
(GSul x 0,146 x 0,15 x Ap x M)	+	
Ganhos internos brutos Q_{int}	1664,74	kWh/ano
(da folha de cálculo C.2)	=	
Ganhos térmicos brutos $Q_{g,ref}$	3310,41	kWh/ano

Folha de Cálculo D

GANHOS TÉRMICOS NA ESTAÇÃO DE ARREFECIMENTO

D.1 - GANHOS SOLARES

VÃOS ENVIDRAÇADOS EXTERIORES

Designação do envidraçado	Orientação	Área A_v (m^2)	Tipo de vidro	Fração Envidraçada F_g	Fator de correção da Seletividade Angular $F_{w,v}$	Fração Tempo Proteções Móveis ativas $F_{m,v}$	FS Global Proteções Móveis e Permanentes g_r	FS Global Proteções Permanentes g_p	FS de verão $g_v = F_{m,v} \cdot g_r + (1 - F_{m,v}) \cdot g_p$	Área efetiva $A_{e,v} = A_v \cdot F_g \cdot F_{w,v}$ (m^2)	Fator de Obstrução $F_{s,v} = F_{n,v} \cdot F_{o,v} \cdot F_{lv}$	Intensidade da Radiação I_{col} [kWh/(m^2 ·ano)]	$I_{sol} \cdot F_{s,v} \cdot A_{e,v}$ (kWh/ano)
<i>Verticais</i>													
VenE1-Sala (rés do chão)	S	4,72	duplo	0,70	0,75	0,60	0,21	0,32	0,25	0,83	0,68	425	239,87
VenE1-Sala (rés do chão)	W	4,72	duplo	0,70	0,85	0,60	0,21	0,37	0,27	0,89	0,90	490	392,49
VenE1-Q2 (rés do chão)	W	4,72	duplo	0,70	0,85	0,60	0,21	0,37	0,27	0,89	0,90	490	392,49
VenE1-cozinha (rés do chão)	W	3,74	duplo	0,70	0,85	0,60	0,21	0,37	0,27	0,71	0,90	490	313,11
VenE1-wc2 (rés do chão)	N	0,45	duplo	0,70	0,80		0,21	0,34	0,34	0,11	0,90	220	21,78
VenE1-wc2 (rés do chão)	N	0,45	duplo	0,70	0,80		0,21	0,34	0,34	0,11	0,90	220	21,78
VenE1-q1 (rés do chão)	W	3,40	duplo	0,70	0,85	0,60	0,21	0,37	0,27	0,64	0,88	490	275,97
<i>Horizontais</i>													
TOTAL													1657,49

VÃOS INTERIORES EM CONTACTO COM SOLÁRIOS, MARQUISES, JARDINS DE INVERNO, ETC.

Designação do envidraçado	Orientação	Área $A_{w,int}$ (m^2)	Tipo de vidro	Fração Envidraçada $F_{g,int}$	Fator Seletividade Angular $F_{w,v}$	Fração Tempo Proteções Móveis ativas $F_{m,v}$	FS de verão do vão interior $g_{v,int}$	FS de verão do vão do ENU $g_{v,ENU}$	$g_{v,int} \cdot g_{v,ENU}$	Área efetiva $A_{e,v} = A_{w,int} \cdot F_{g,int} \cdot g_{v,int} \cdot g_{v,ENU}$ (m^2)	Fator de Obstrução $F_{s,v} = F_{n,v} \cdot F_{o,v} \cdot F_{lv}$	Intensidade da Radiação I_{col} [kWh/(m^2 ·ano)]	$I_{sol} \cdot F_{s,v} \cdot A_{e,v}$ (kWh/ano)

Admite-se que os elementos opacos do ENU não causam sombreamento ao vão interior, pelo que na ausência de outros sombreamentos o fator de obstrução dos vãos interiores $F_{s,v}$ é igual a 1; Caso o vão exterior do ENU não disponha de dispositivos de proteção solar permanentes o fator solar $g_{v,ENU}$ é igual a 1.

TOTAL

ENVOLVENTE EXTERIOR OPACA									
PAREDES, COBERTURAS EXTERIORES, VÃOS OPACOS EXTERIORES E COBERTURAS SOB DESVÃO	Orientação	Coefficiente de absorção α	Área A_{op} (m ²)	U [W/(m ² ·°C)]	R _{se} (m ² ·°C/W)	Área efetiva $A_e = \alpha \cdot U \cdot A_{op} \cdot R_{se}$ (m ²)	Fator de Obstrução $F_o = F_n \cdot F_c \cdot F_i$	Intensidade da Radiação I_{col} [kWh/(m ² ·ano)]	$I_{sol} \cdot F_o \cdot A_e$ (kWh/ano)
<i>Paredes exteriores</i>									
ParE1	N	0,40	16,12	0,38	0,04	0,10	1,00	220	22,00
ParE1	E	0,40	38,66	0,38	0,04	0,24	1,00	490	117,60
ParE1	S	0,40	10,30	0,38	0,04	0,06	1,00	425	25,50
ParE1	W	0,40	21,07	0,38	0,04	0,13	1,00	490	63,70
TOTAL									228,80
<i>PTP exteriores (Paredes)</i>									
PTPE1	N	0,40	0,52	0,52	0,04		1,00	220	
PTPE1	E	0,40	1,51	0,52	0,04	0,01	1,00	490	4,90
PTPE1	S	0,40	0,13	0,52	0,04		1,00	425	
PTPE1	W	0,40	0,99	0,52	0,04	0,01	1,00	490	4,90
PTPE2	N	0,40	0,92	0,52	0,04	0,01	1,00	220	2,20
PTPE2	E	0,40	2,11	0,52	0,04	0,02	1,00	490	9,80
PTPE2	S	0,40	0,93	0,52	0,04	0,01	1,00	425	4,25
PTPE2	W	0,40	2,03	0,52	0,04	0,02	1,00	490	9,80
TOTAL									35,85
<i>Vãos opacos exteriores</i>									
PttE1	S	0,40	2,54	3,33	0,04	0,14	1,00	425	59,50
TOTAL									59,50
<i>Coberturas exteriores</i>									
TOTAL									
<i>PTP exteriores (Coberturas)</i>									
TOTAL									

<i>Coberturas sob desvão</i>										
Cobl1	H	0,32	94,76	0,35	0,04	0,42	1,00	800	336,00	
									TOTAL	336,00
<i>PTP Coberturas sob desvão</i>										
									TOTAL	
									TOTAL	660,15

Ganhos solares brutos pelos elementos da envolvente envidraçada	1657,49	kWh/ano
	+	
Ganhos solares brutos pelos elementos da envolvente opaca	660,15	kWh/ano
	=	
Ganhos Solares brutos $Q_{sol,v}$	2317,64	kWh/ano

D.2 - GANHOS INTERNOS	
Ganhos internos médios q_{int}	4 W/m ²
	x
Duração da estação de arrefecimento L_e	2928 horas
	x
Área interior útil de pavimento A_p	94,76 m ²
	÷
	1000
	=
Ganhos internos brutos $Q_{int,v}$	1109,83 kWh/ano

D.3 - GANHOS TÉRMICOS BRUTOS	
Ganhos solares brutos $Q_{sol,v}$	2317,64 kWh/ano
(da folha de cálculo D.1)	+
Ganhos internos brutos $Q_{int,v}$	1109,83 kWh/ano
(da folha de cálculo D.2)	=
Ganhos térmicos brutos $Q_{g,v}$	3427,47 kWh/ano

GANHOS TÉRMICOS ESTAÇÃO DE ARREFECIMENTO DE REFERÊNCIA	
D.4 - GANHOS TÉRMICOS BRUTOS DE REFERÊNCIA	
Ganhos internos médios q_{int}	4 W/m ²
	x
Duração da Estação de Arrefecimento L_e	2928 horas
	÷
	1000
	+
Fator solar de verão de referência $g_{v,ref}$	0,43
	x
$(A_w/A_p)_{ref}$	0,2
	x
Radiação solar média de referência $I_{sol,ref}$	490 kWh/(m ² -ano)
	=
	53,85 kWh/(m ² -ano)
	x
Área interior útil de pavimento A_p	94,76 m ²
	=
Ganhos de calor brutos na estação de arrefecimento $Q_{g,v,ref}$	5103,02 kWh/ano

Folha de Cálculo E	
NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO	
E.1 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO	
	0,024
	x
Número de graus-dias de aquecimento GD	1130 °C-dias
	x
Coefficiente de transferência de calor por transmissão H_{tr}	247,51 W/°C
(da folha de cálculo A.4)	=
Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento Q_{tr}	6712,58 kWh/ano

E.2 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RENOVAÇÃO DO AR	
	0,024
	x
Número de graus-dias de aquecimento GD	1130 °C-dias
	x
Coefficiente de transferência de calor por renovação do ar H_{re}	42,72 W/°C
(da folha de cálculo B.1)	=
Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento Q_{re}	1158,61 kWh/ano

E.3 - FATOR DE UTILIZAÇÃO DE GANHOS	
Inércia do edifício	Forte
Ganhos térmicos brutos $Q_{g,v}$	4130,97 kWh/ano
(da folha de cálculo C.3)	÷
$Q_{tr}+Q_{re}$	7871,19 kWh/ano
(das folhas de cálculo E.1 e E.2)	=
parâmetro γ_i	0,52
	parâmetro a_i 4,20
Ganhos totais úteis	Fator de utilização dos ganhos η_i 0,97
	Fator de utilização dos ganhos η_i 0,97
	x
Ganhos térmicos brutos $Q_{g,v}$	4130,97 kWh/ano
(da folha de cálculo C.3)	=
Ganhos totais úteis $Q_{g,u}$	4007,04 kWh/ano

E.4 - NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO

Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento Q_{tj}	6712,58	kWh/ano
(da folha de cálculo E.1)	+	
Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento Q_{vej}	1158,61	kWh/ano
(da folha de cálculo E.2)	-	
Ganhos de calor úteis na estação de aquecimento Q_{guj}	4007,04	kWh/ano
(da folha de cálculo E.3)	=	
Necessidades anuais na estação de aquecimento	3864,14	kWh/ano
	÷	
Área interior útil de pavimento A_p	94,76	m ²
	=	
Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento N_{ic}	40,8	kWh/(m ² ·ano)

LIMITE MÁXIMO DAS NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO

E.5 - COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR DE REFERÊNCIA

Coefficiente de transferência de calor por transmissão $H_{tr,REF}$	256,11	W/°C
(da folha de cálculo A.8)	+	
Coefficiente de transferência de calor por renovação do ar $H_{vej,REF}$	42,72	W/°C
(da folha de cálculo B.3)	=	
Coefficiente de transferência de calor $H_{tj,REF}$	298,83	W/°C

E.6 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO DE REFERÊNCIA

	0,024	
	x	
Número de graus-dias de aquecimento GD	1130	°C·dias
	x	
Coefficiente de transferência de calor por transmissão $H_{tr,REF}$	256,11	W/°C
(da folha de cálculo A.8)	=	
Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento $Q_{tj,REF}$	6945,60	kWh/ano

E.7 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RENOVAÇÃO DO AR DE REFERÊNCIA

	0,024	
	x	
Número de graus-dias de aquecimento GD	1130	°C·dias
	x	
Coefficiente de transferência de calor por renovação do ar $H_{vej,REF}$	42,72	W/°C
(da folha de cálculo B.3)	=	
Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento $Q_{vej,REF}$	1158,61	kWh/ano

E.8 - FATOR DE UTILIZAÇÃO DE GANHOS DE REFERÊNCIA

Ganhos totais úteis		
	Fator de utilização dos ganhos $\eta_{j,ref}$	0,60
		x
Ganhos térmicos brutos $Q_{gj,ref}$		3310,41 kWh/ano
(da folha de cálculo C.4)	=	
Ganhos totais úteis $Q_{guj,ref}$		1986,25 kWh/ano

E.9 - LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO

Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento $Q_{tj,REF}$	6945,60	kWh/ano
(da folha de cálculo E.6)	+	
Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento $Q_{vej,REF}$	1158,61	kWh/ano
(da folha de cálculo E.7)	-	
Ganhos de calor úteis na estação de aquecimento $Q_{guj,REF}$	1986,25	kWh/ano
(da folha de cálculo E.8)	=	
Necessidades Anuais na estação de aquecimento	6117,97	kWh/ano
	÷	
Área interior útil de pavimento A_p	94,76	m ²
	=	
Limite máximo das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento N_{i}	64,6	kWh/(m ² ·ano)

Folha de Cálculo F

NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO

F.1 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR

$$\begin{aligned} & \text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{tr,v} \quad 247,51 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ & \quad \text{(da folha de cálculo A.4)} \\ & + \\ & \text{Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar } H_{ve,v} \quad 50,26 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ & \quad \text{(da folha de cálculo B.2)} \\ & = \\ & \text{Coeficiente de transferência de calor } H_{t,v} \quad 297,77 \text{ W/}^\circ\text{C} \end{aligned}$$

F.2 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO

$$\begin{aligned} & \text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{tr,v} \quad 247,51 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ & \quad \text{(da folha de cálculo A.4)} \\ & \quad \times \\ & \quad \Delta\theta=(\theta_{v,ref} - \theta_{e,ext}) \quad 4,10 \text{ }^\circ\text{C} \\ & \quad \times \\ & \text{Duração da Estação de Arrefecimento } L_v \quad 2928 \text{ horas} \\ & \quad \div \\ & \quad 1000 \\ & = \\ & \text{Transferência de calor por transmissão na estação de arrefecimento } Q_{tr,v} \quad 2971,36 \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

F.3 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RENOVAÇÃO DO AR

$$\begin{aligned} & \text{Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar } H_{ve,v} \quad 50,26 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ & \quad \text{(da folha de cálculo B.2)} \\ & \quad \times \\ & \quad \Delta\theta=(\theta_{v,ref} - \theta_{e,ext}) \quad 4,10 \text{ }^\circ\text{C} \\ & \quad \times \\ & \text{Duração da Estação de Arrefecimento } L_v \quad 2928 \text{ horas} \\ & \quad \div \\ & \quad 1000 \\ & = \\ & \text{Transferência de calor por renovação do ar na estação de arrefecimento } Q_{ve,v} \quad 603,37 \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

F.4 - FATOR DE UTILIZAÇÃO DE GANHOS

$$\begin{aligned} & \text{Inércia do edifício} \quad \text{Forte} \\ & \text{Ganhos térmicos brutos } Q_{g,v} \quad 3427,47 \text{ kWh/ano} \\ & \quad \text{(da folha de cálculo D.3)} \\ & \quad \div \\ & \text{Transferência de calor por transmissão e por renovação do ar } Q_{tr,v} + Q_{ve,v} \quad 3574,73 \text{ kWh/ano} \\ & \quad \text{(das folhas de cálculo F.2 e F.3)} \\ & = \\ & \quad \text{parâmetro } \gamma_i \quad 0,96 \\ & \quad \text{parâmetro } a_p \quad 4,20 \\ & \text{Fator de utilização dos ganhos } \eta_v \quad 0,82 \end{aligned}$$

F.5 - NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO

$$\begin{aligned} & (1 - \eta_v) \quad 0,18 \\ & \quad \times \\ & \text{Ganhos de calor brutos na estação de arrefecimento } Q_{g,v} \quad 3427,47 \text{ kWh/ano} \\ & \quad \text{(da folha de cálculo D.3)} \\ & \quad \div \\ & \quad \text{Área interior útil de pavimento } A_p \quad 94,76 \text{ m}^2 \\ & = \\ & \text{Necessidades Anuais de Energia Útil na Estação de Arrefecimento } N_{e,v} \quad 6,4 \text{ kWh/(m}^2\text{-ano)} \end{aligned}$$

LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO

F.6 - FATOR DE UTILIZAÇÃO DE GANHOS DE REFERÊNCIA

$$\text{Fator de utilização dos ganhos } \eta_{v,ref} \quad 0,83$$

F.7 - LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO

$$\begin{aligned} & (1 - \eta_{v,ref}) \quad 0,17 \\ & \quad \times \\ & \text{Ganhos de calor brutos na estação de arrefecimento } Q_{g,v,ref} \quad 5103,02 \text{ kWh/ano} \\ & \quad \text{(da folha de cálculo D.4)} \\ & \quad \div \\ & \quad \text{Área interior útil de pavimento } A_p \quad 94,76 \text{ m}^2 \\ & = \\ & \text{Limite das Necessidades Anuais de Energia Útil na Estação de Arrefecimento } N_{e,v} \quad 9,1 \text{ kWh/(m}^2\text{-ano)} \end{aligned}$$

ANEXO III – FOLHAS DE CÁLCULO LNEC – VENTILAÇÃO



1. Enquadramento do edifício

Tipo de edifício	Habituação_novo_ou_grande_reabilitação
Local (município)	Porto
Região	B
Rugosidade	1
Altitude do local (m)	19
Número de fachadas expostas ao exterior (Nfach)	2 ou mais
Existem edifícios/obstáculos à frente das fachadas?	Sim
Altura do edifício (H_{edif}) em m	3
Altura da fração (H_{FA}) em m	3
Altura do obstáculo situado em frente (H_{obs}) em m	13
Distância ao obstáculo situado em frente (D_{obs}) em m	38

Área útil (m ²):	94,8
Pd (m):	2,60
N.º de pisos da fração	1
Velocidade vento	Defeito REH
Vento (u10REH: 3,6) (m/s)	
Vol (m ³):	246
Exterior (°C)	10,4
Zref (m)	94
Aerw/Au:	26%
Proteção do edifício:	Normal
Zona da fachada:	Inferior

2. Permeabilidade ao ar da envolvente

Foi medido valor n50	não			
Para cada Vão (janela/porta) ou grupo de vãos:				
Área dos vãos (m ²)	2,54	22,2		
Classe de permeabilidade ao ar caix (janelas/portas)	Sem Classificação	4		
Permeabilidade ao ar das caixas de estore	Não tem	Não tem		

3. Aberturas de admissão de ar na envolvente

Tem aberturas de admissão de ar na envolvente	Sim			
Tipo de abertura	Fixa ou regulável manualmente	Auto-regulável a 2 Pa	Auto-regulável a 10 Pa	Auto-regulável a 20 Pa
Área livre das aberturas fixas (cm ²) / Caudal Nominal aberturas auto-reguláveis (m ³ /h)	0	206	0	0

4. Condutas de ventilação natural, condutas com exaustores/ventax que não obturam o escoamento de ar pela conduta

Condutas de ventilação natural sem obstruções significativas (por exemplo, consideram-se obstruções significativas exaustores com filtros que anulam escoamento de ar natural para a conduta)	sim	não	não	não
Escoamento de ar	Exaustão			
Perda de carga	Alta			
Altura da conduta (m)	3			
Cobertura	Inclinada (10 a 30°)			
Número de condutas semelhantes	2			

5. Exaustão ou insuflação por meios mecânicos de funcionamento prolongado

Existem meios mecânicos (excluindo exaustores ou ventax)	não			
Escoamento de ar				
Caudal nominal (m ³ /h)				
Conhece Pressão total do ventilador e rendimento				
Pressão total (Pa)				
Rendimento total do ventilador(%)				
Tem sistema de recuperação de calor				
Rendimento da recuperação de calor (%)				

6. Exaustão ou insuflação por meios híbridos de baixa pressão (< 20 Pa)

Existem meios híbridos	não			
Escoamento de ar				
Caudal nominal (m ³ /h)				
Conhece Pressão total do ventilador e rendimento				
Pressão total (Pa)				
Rendimento total do ventilador(%)				

7. Verão - Recuperador de calor

Existe by-pass ao recuperador de calor no verão	
---	--

8. Resultados

8.1 - Balanço de Energia - Edifício

$R_{th,u}$ (h-1) - Aquecimento	0,51
$R_{th,v}$ (h-1) - Arrefecimento	0,60
Wvm (kWh)	0,0

8.2 - Balanço de Energia - Edifício de Referência

$R_{th,u,REF}$ (h-1)	0,51
----------------------	------

8.3 - Caudal mínimo de ventilação

Rph estimada em condições nominais (h-1)	0,44
Requisito mínimo de ventilação (h-1)	0,40
Critério Rph mínimo	Satisfatório

Nota: No Cálculo de Rph min em edifícios novos e grandes reabilitações não é considerado o efeito de janelas sem classificação, da classe 1 e 2 e a existência de caixas de estore.

ok

Técnico: _____

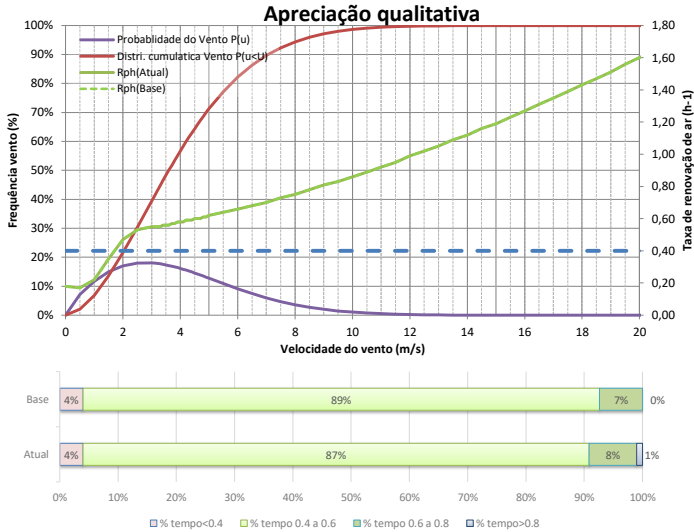
Data: 05/10/2018



Informação complementar e destinada a auxiliar na avaliação do funcionamento da ventilação e na seleção de eventuais grelhas de ventilação (REH)

1 - Apreciação qualitativa do efeito da variação da velocidade do vento na taxa de renovação de ar

(Ajuda)



2 - Recomendações para a permeabilidade ao ar das janelas e da envolvente (n50)

(Ajuda)

Janelas:

Classe de permeabilidade ao ar das janelas recomendada:	1
---	---

Permeabilidade ao ar da envolvente:

Valor n50 recomendado para construção usual:	2,10
Valor n50 recomendado para construção de elevado desempenho:	0,80
Valor n50 estimado com base na classe de permeabilidade ao ar das janelas e caixas de estore:	0,82

3 - Estimar características das aberturas de admissão de ar da fachada

(Ajuda)

Indicar caudal mínimo de ar novo pretendido (h-1):	0,50
Dimensionar grelhas com Frinças?	Não

Caudal nominal das grelhas:	262 m3/h
Grelhas auto-reguláveis a não mais de:	2 Pa

Valores calculados para os diversos tipos de grelhas	Fixa ou regulável manualmente	Auto-regulável a 2 Pa	Auto-regulável a 10 Pa	Auto-regulável a 20 Pa
Caudal nominal das grelhas (m3/h)	405 cm2	262 m3/h	363 m3/h	511 m3/h
Caudal nominal das grelhas/Volume da fração (h-1)	405 cm2	1,06 h-1	1,47 h-1	2,07 h-1

Isolamento sonoro: Avaliar para um compartimento, o mais desfavorável e com maior área envidraçada. Ajustar valores nas células a amarelo.

Zona	Sensível	Area da fachada (m2)	7,5
Correcção	Ctr	Area da janela (m2)	2,3
Tipo folhas:	Deslizar	Vol. compartimento (m3)	40,5
Tipo vidro	4-6-4 (30,-1,-3)		
Grelhas de ventilação (n.º de grelhas/Dne,w(dB))	1		
Grelha de ventilação	Com atenuação aberta (36,-1,-3)		
Tipo de parede	Dupla 11+15 (50dB)		
	A	Rw (Ctr)	
	(m2)	(dB)	
Grelhas de ventilação (n.º de grelhas/Dne,w(dB))	1	37	Rw vidro 30
Vedação das juntas janela vão (k)	Boa		C -1
Janela (Área (m2)/Rw(Ctr))	2,3	26	Ctr -3
Parede (Área (m2)/Rw(Ctr))	5,3	50	IGU Rw+Correcção 27
Fachada (Área (m2)/Rw(Ctr))	7,5	30	Janela Rw+Correcção 26
Fachada D2m,n,T,W (dB)		28	
Resultados: isolamento sonoro			
Isolamento fachada (D2m,n,T,W)	28		
Isolamento mínimo requerido (D2m,n,T,W)	28	Satisfatório	

Síntese:

Grelhas auto-reguláveis a 2 Pa com caudal nominal total de 206 (m3/h). As grelhas devem ser 'uniformemente' distribuídas pelas diferentes fachadas. As grelhas devem ter um isolamento sonoro (Dne) não inferior a 36 (-1,-3) dB.

ANEXO IV – FOLHA DE CÁLCULO DGEG – SISTEMA SOLAR



Relatório de simulação de desempenho de sistema solar térmico: requisitos mínimos REH

1/2

Sumário

Instalação em Av.da Boavista (Porto)

3 colectores Padrão REH

» painel com 1,95 m² (inclinação 35° e azimute 0°)

» depósito de 108 l, modelo adequado (REH)

Necessidades de energia: AQS regulamentar (REH)

Energia útil solicitada: 1 604 kWh

- satisfeitas por origem solar 1 002 kWh 62% de fração solar

- satisfeitas pelo apoio 602 kWh 38%

Indicadores principais (sistema solar)

rendimento: 38%

produtividade: 514 kWh/m²

perdas: 39%

Local e clima

NUTS III: Grande Porto

Município: Porto

Local: Av.da Boavista

elevação: 19 m

albedo: 20%

obstruções do horizonte

azimute: E -85° -80° -75° -70° -65° -60° -55° -50° NE -40° -35° -30° -25° -20° -15° -10° -5° S

altura angular:

azimute: S 5° 10° 15° 20° 25° 30° 35° 40° NW 50° 55° 60° 65° 70° 75° 80° 85° W

altura angular:

Configuração do sistema solar

Sistema solar por medida, em circulação forçada, com 2,0 m² de colectores com inclinação 35° e orientação 0°, e armazenamento de água sanitária com 108 litros, apoio de montagem ao depósito com controlo temporizado.

Circuito primário com 24 m de comprimento, tubagens de calibre 12 mm, isolamento em poliuretano com 20 mm de espessura.

Bombas de 20 W, garantindo um caudal nominal de 46 l/m² por hora, fluido circulante com 25% de anticongelante.

3 colectores de modelo Padrão REH.

Características principais: área de abertura 0,65 m², coeficientes de perdas térmicas a1 = 4,12 W/m²K e a2 = 0,014 W/m²K², rendimento óptico = 73%.

1 depósito de modelo adequado (REH), com capacidade 108 litros, em posição vertical. Características construtivas principais: coeficiente de perdas térmicas global = 3,7 W/°C, paredes em INOX, temperatura máxima de operação 99°C.

Apoio energético fornecido por sistema elétrico () com eficiência nominal 100%.

Água quente distribuída por tubagens de calibre 15 mm isoladas por poliuretano com espessura 12 mm, com 12 m entre depósito e ponto de consumo.

Necessidades de energia

Águas quentes sanitárias - padrão REH

edifício:

Residências

T2

nº fracções desta tipologia

1

nº ocupantes por fracção

3

consumo diário por ocupante (litros)

36

temperaturas

	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	
abastecimento de água	13	13	14	15	16	18	20	20	19	17	15	13	°C
pretendida no consumo	53	52	52	51	50	49	49	50	51	52	52	53	°C

energia diária

	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	
segunda-feira	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	kWh
terça-feira	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	kWh
quarta-feira	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	kWh
quinta-feira	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	kWh
sexta-feira	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	kWh
sábado	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	kWh
domingo	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	kWh

perfil de consumo

hora	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
(período diurno)	40%	.	.	.	.	.	10%	.	.	.	.	.
hora	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	
(período nocturno)	40%	10%	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.



Relatório de simulação de sistema solar térmico: requisitos mínimos REH - continuação

2/2







Aproveitamento do recurso solar

radiação solar directa	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	anual
horizontal (à superfície)	0,8	1,5	2,4	3,3	4,1	5,1	5,3	4,6	3,4	1,7	1,0	0,6	2,8 kWh/m².dia
incidente nos colectores	1,7	2,5	3,3	3,7	3,9	4,5	4,9	4,8	4,3	2,6	2,0	1,2	3,3 kWh/m².dia
absorvida pelos colectores	1,7	2,4	3,1	3,4	3,5	3,9	4,2	4,5	4,0	2,5	2,0	1,2	3,0 kWh/m².dia
radiação solar global	média	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	anual
no topo da atmosfera	4,1	5,6	7,6	9,6	11,0	11,6	11,3	10,1	8,3	6,2	4,4	3,6	7,8 kWh/m².dia
na horizontal (à superfície)	1,8	2,8	4,2	5,4	6,5	7,4	7,5	6,5	5,0	3,2	2,1	1,4	4,5 kWh/m².dia
incidente nos colectores	2,8	4,0	5,2	5,9	6,3	6,8	7,1	6,8	6,1	4,3	3,3	2,2	5,1 kWh/m².dia
absorvida pelos colectores	2,4	3,4	4,4	5,0	5,1	5,4	5,7	5,8	5,3	3,7	2,8	1,9	4,2 kWh/m².dia

Desempenho energético

temperaturas	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	anual
ambiente	10,4	11,4	13,1	14,4	16,7	20,1	22,3	22,1	20,7	17,4	13,8	11,7	16,2 °C
abastecimento de água	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15 °C
base do armazenamento	23	27	30	32	33	34	36	37	35	29	25	22	30 °C
topo do armazenamento	42	44	46	48	49	50	52	53	51	45	42	41	47 °C
pretendida no consumo	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50 °C
massas	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	anual
pretendida no consumo	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108 litros/dia
extraída do armazenamento	108	106	102	101	100	98	95	94	96	105	107	108	102 litros/dia
nota: adicionada	0	2	6	7	8	10	13	14	12	3	1	0	6 litros/dia
balanços de energia	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	anual
- sistema solar	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	anual
nota: radiação solar na horizontal	108	151	251	315	391	433	452	394	292	192	121	85	3 186 kWh
energia primária (radiação solar incidente)	171	219	315	345	381	401	427	413	356	261	191	133	3 614 kWh
energia solar captada	75	96	141	161	167	181	200	202	174	126	91	58	1 674 kWh
perdas térmicas no circuito primário	2	3	4	5	5	5	6	6	5	4	2	1	48 kWh
perdas térmicas no armazenamento	31	36	50	54	58	60	68	70	63	45	35	27	597 kWh
consumos eléctricos parasíticos	4	4	5	5	5	5	5	6	5	5	4	3	58 kWh
energia final (calor de origem solar)	58	77	116	124	137	151	167	168	144	102	71	45	1 359 kWh
- sistema de apoio	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	anual
energia primária ()	104	76	65	54	52	38	32	33	40	72	89	115	771 kWh
energia final (calor)	104	76	65	54	52	38	32	33	40	72	89	115	769 kWh
- circuito de distribuição	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	anual
perdas térmicas	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,6 kWh
- fornecimento de água quente	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	anual
necessidades (consumo de energia útil)	136	123	136	132	136	132	136	136	132	136	132	136	1 604 kWh
energia de origem solar (útil)	49	62	87	92	99	106	114	114	103	80	59	38	1 002 kWh
energia com origem no apoio (útil)	87	61	49	40	37	26	22	22	29	57	73	98	602 kWh

Desempenho global do sistema

fracção solar	62% em termos de energia útil	
produtividade	514 kWh/m ² de colector	
i.e.	41% da produtividade limite dos colectores, 1257 kWh/m ²	
rendimento - definição física	38% em relação à energia solar no plano dos colectores	
rendimento - definição estatística	31% em relação à energia solar na horizontal	
perdas térmicas e consumos parasíticos	42% da energia solar captada	

(*) estas avaliações podem não ser adequadas se as cargas térmicas tiverem grande variação durante a semana e/ou ano.



Relatório de simulação de desempenho de kit solar térmico

1/2

Sumário

Instalação em Av.da Boavista (Porto)

Kit Vulcano TSS200 FCC-2

» coletor com 2,09 m² (inclinação 35° e azimute 35°)

» depósito de 200 litros

Necessidades de energia: AQS regulamentar (REH)

Energia útil solicitada: 1 604 kWh

- satisfeitas por origem solar 1 065 kWh 66% de fração solar

- satisfeitas pelo apoio 539 kWh 34%

Indicadores principais (sistema solar)

rendimento: 37%

produtividade: 509 kWh/m²

perdas: 42%

Local e clima

NUTS III: Grande Porto

Município: Porto

Local: Av.da Boavista

elevação: 19 m

albedo: 20%

obstruções do horizonte

azimute:	E	-85°	-80°	-75°	-70°	-65°	-60°	-55°	-50°	NE	-40°	-35°	-30°	-25°	-20°	-15°	-10°	-5°	S
altura angular:	.....																	
azimute:	S	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	NW	50°	55°	60°	65°	70°	75°	80°	85°	W
altura angular:	.....																	

Configuração do sistema solar

Sistema solar térmico integrado Vulcano TSS200 FCC-2

1x coletor modelo Vulcano FCC-2S com 2,09 m² de área de abertura com inclinação 35° e orientação 35° em azimute.

Armazenamento de água sanitária em depósito de modelo Vulcano TSS200, capacidade de 200 litros, posição horizontal.

Sistema integrado com circulação em termosifão.

Dados associados ao certificado 011-7S2202 A (válido até 28/02/2021).

Apoio energético fornecido por sistema elétrico () com eficiência nominal 100%; montagem ao depósito, controlo temporizado.

Água quente distribuída por tubagens de calibre 15 mm isoladas por poliuretano com espessura 12 mm, com cerca de 12 m entre depósito e ponto de consumo.

Necessidades de energia

Águas quentes sanitárias - padrão REH

edifício:

Residências

T2

nº fracções desta tipologia

1

nº ocupantes por fracção

3

consumo diário por ocupante (litros)

36

temperaturas

	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	
abastecimento de água	13	13	14	15	16	18	20	20	19	17	15	13	°C
pretendida no consumo	53	52	52	51	50	49	49	50	51	52	52	53	°C

energia diária

	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	
segunda-feira	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	kWh
terça-feira	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	kWh
quarta-feira	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	kWh
quinta-feira	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	kWh
sexta-feira	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	kWh
sábado	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	kWh
domingo	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	kWh

perfil de consumo

hora	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
(período diurno)	40%	.	.	.	.	.	10%	.	.	.	.	.
hora	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	
(período nocturno)	40%	10%	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.



Relatório de simulação de kit solar térmico - continuação

2/2

Aproveitamento do recurso solar

radiação solar directa	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	anual
	horizontal (à superfície)	0,8	1,5	2,4	3,3	4,1	5,1	5,3	4,6	3,4	1,7	1,0	0,6	2,8 kWh/m^{2}.dia
incidente nos colectores	1,5	2,3	3,1	3,5	3,9	4,6	4,9	4,7	4,1	2,4	1,8	1,1	3,2 kWh/m ² .dia
absorvida pelos colectores	1,4	2,2	2,9	3,1	3,3	3,8	4,2	4,0	3,7	2,2	1,7	1,0	2,8 kWh/m ² .dia

radiação solar global	média	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	anual
	no topo da atmosfera	4,1	5,6	7,6	9,6	11,0	11,6	11,3	10,1	8,3	6,2	4,4	3,6	7,8 kWh/m^{2}.dia
na horizontal (à superfície)	1,8	2,8	4,2	5,4	6,5	7,4	7,5	6,5	5,0	3,2	2,1	1,4	4,5 kWh/m ² .dia
incidente nos colectores	2,6	3,7	5,0	5,8	6,3	6,9	7,1	6,8	5,8	4,0	3,0	2,0	4,9 kWh/m ² .dia
absorvida pelos colectores	2,2	3,2	4,2	4,6	5,0	5,5	5,7	5,4	5,0	3,4	2,6	1,7	4,0 kWh/m ² .dia

Desempenho energético

temperaturas	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	anual
	ambiente	10,4	11,4	13,1	14,4	16,7	20,1	22,3	22,1	20,7	17,4	13,8	11,7	16,2 °C
abastecimento de água	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15 °C
base do armazenamento	27	31	36	38	40	43	46	45	42	34	29	25	36 °C
topo do armazenamento	44	46	49	51	52	55	58	57	54	47	45	43	50 °C
pretendida no consumo	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50 °C

massas	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	anual
	pretendida no consumo	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108 litros/dia
extraída do armazenamento	108	107	103	99	97	92	86	88	93	105	108	108	99 litros/dia
nota: adicionada	0	1	5	9	11	16	22	20	15	3	0	0	9 litros/dia

balanços de energia	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	anual
	- sistema solar												
nota: radiação solar na horizontal	105	146	244	306	380	420	438	382	283	186	118	82	3 090 kWh
energia primária (radiação solar incidente)	153	198	291	327	371	394	418	396	331	237	171	119	3 407 kWh
energia solar captada	66	85	124	142	147	160	173	170	154	110	79	51	1 460 kWh
perdas térmicas no circuito primário	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	2 kWh
perdas térmicas no armazenamento	33	37	51	54	59	65	74	71	62	46	36	30	617 kWh
consumos eléctricos parasíticos													kWh
energia final (calor de origem solar)	53	71	107	115	128	141	153	150	137	94	64	40	1 253 kWh
- sistema de apoio													
energia primária ()	110	74	48	40	35	11	6	12	22	65	94	123	640 kWh
energia final (calor)	110	74	48	40	35	11	6	12	22	65	94	122	638 kWh
- circuito de distribuição													
perdas térmicas	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,6 kWh
- fornecimento de água quente													
necessidades (consumo de energia útil)	136	123	136	132	136	132	136	136	132	136	132	136	1 604 kWh
energia de origem solar (útil)	44	60	94	98	107	122	131	126	113	81	54	34	1 065 kWh
energia com origem no apoio (útil)	92	63	42	34	29	10	5	10	18	55	78	103	539 kWh

Desempenho global do sistema

fracção solar	66% em termos de energia útil	
produtividade	509 kWh/m ² de colector	
i.e.	44% da produtividade limite dos colectores, 1146 kWh/m ²	
rendimento - definição física	37% em relação à energia solar no plano dos colectores	
rendimento - definição estatística	34% em relação à energia solar na horizontal	
perdas térmicas e consumos parasíticos	42% da energia solar captada	

(*) estas avaliações podem não ser adequadas se as cargas térmicas tiverem grande variação durante a semana e/ou ano.

**ANEXO V – RELATÓRIO DO CÁLCULO DE CARGA (LOAD CALCULATION
SUMMARY REPORT)**

Load calculation summary report

Summary of heating and cooling loads for spaces

Project summary

Location and Weather	
Project	Project Name
Location	PORTO - PRT IVEC Data WMO#=085450
Latitude	41.23
Longitude	-8.7

Building summary

Inputs	
Area (SF)	1088.61
Volume (CF)	17317.38
Calculated Results	
Peak Cooling Total Load(Btu/h)	29588.90
Peak Cooling Month and Hour	8/21 17:15:00
Peak Cooling Sensible Load(Btu/h)	29247.47
Peak Cooling Latent Load(Btu/h)	341.43
Peak Heating Load(Btu/h)	-14921.00
Checksums	
Cooling Load Density (Btu/(h·ft ²))	27.18
Heating Load Density (Btu/(h·ft ²))	-13.71

Space Summary "Room_13"

Inputs	
Area (SF)	1088.61

Volume (CF)	17317.38
Cooling Setpoint (°F)	77.90
Heating Setpoint (°F)	67.99
Relative Humidity (%)	47.63
Calculated Results	
Peak Cooling Total Load (Btu/h)	29588.90
Peak Cooling Month and Hour	8/21 17:15:00
Peak Cooling Sensible Load (Btu/h)	29247.47
Peak Cooling Latent Load (Btu/h)	341.43
Peak Heating Load (Btu/h)	-14921.00
Checksums	
Cooling Load Density (Btu/(h·ft ²))	27.18
Heating Load Density (Btu/(h·ft ²))	-13.71

Components	Cooling		Heating	
	Loads(Btu/h)	Percentage of Total	Loads(Btu/h)	Percentage of Total
Wall	4097.92	13.85	-5097.20	34.16
Window	21351.58	72.16	-3319.10	22.24
Door	230.06	0.78	-227.90	1.53
Roof	2686.61	9.08	-2417.50	16.20
Partition	0.00	0.00	0.00	-0.00
Floor	-409.40	-1.38	849.27	-5.69
Infiltration	509.55	1.72	-1813.00	12.15
Ventilation	0.00	0.00	-3621.10	24.27
Lighting	461.87	1.56	173.78	-1.16
Power	479.47	1.62	171.78	-1.15
People	181.22	0.61		
Other	0.00	0.00	0.00	-0.00
Total	29588.90	100.0	-14921.00	100.0