

**Universidade do Minho**  
Escola de Engenharia

Hugo Miguel Gomes Martins

**Novo regulamento do desempenho termo  
energético dos edifícios de habitação –  
Avaliação do impacto das alterações**

Junho de 2022



**Universidade do Minho**  
Escola de Engenharia

Hugo Miguel Gomes Martins

**Novo regulamento do desempenho termo  
energético dos edifícios de habitação –  
Avaliação do impacto das alterações**

Dissertação de Mestrado  
Mestrado Integrado em Engenharia Civil

Trabalho efetuado sob as orientações dos  
Professor Doutor Dinis Miguel Campos Leitão  
Professor Doutor Vítor Manuel do Couto Fernandes da Cunha

## **DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS**

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

### **Licença concedida aos utilizadores deste trabalho**



**Atribuição  
CC BY**

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

# AGRADECIMENTOS

Faltam-me palavras para demonstrar a minha gratidão a várias pessoas especiais que foram determinantes para o término deste projeto.

Olhando para trás e ver o caminho percorrido, demonstro uma grande felicidade em ter feito parte deste trajeto, que hoje termino. Contudo, sozinho não seria de todo fácil, se não contasse com o apoio de algumas pessoas que me acompanharam e apoiaram mais de perto, por isso, agradeço:

Aos meus pais que foram essenciais em todos os momentos deste percurso académico, dando-me força, nunca me deixaram cair nos momentos mais difíceis e sempre conscientes que era capaz de chegar ao fim deste trajeto.

À minha filha Íris, pela paciência e o carinho ao longo destes anos, pois foi a minha fonte de inspiração durante o curso. Abduquei de alguns momentos importantes no teu crescimento para te conseguir dar um futuro melhor. A ti te dedico esta dissertação.

Aos meus orientadores da Universidade do Minho, Professor Dinis Leitão e Vítor Cunha pela disponibilidade e ajuda prestada no desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus amigos e aos colegas de curso, alguns em especial, com quem tive o privilégio de conviver ao longo destes anos, pelas vivências partilhadas.

A todas as pessoas que, de alguma forma, contribuíram para esta dissertação de mestrado.

Finalmente, o meu agradecimento à Universidade do Minho onde tive a felicidade de conviver durante estes anos.

A todos.

Obrigado!

## **DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE**

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio, nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração. Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

## RESUMO

A construção sustentável representa hoje em dia, uma elevada preocupação nas sociedades. Esta preocupação traduz-se na procura de um desenvolvimento económico capaz de permitir um equilíbrio social e um mínimo impacte ambiental. Contudo, o desenvolvimento de todas as atividades económicas está associado ao consumo de energia, na sua maioria de origem fóssil, impactantes no meio ambiente por meio da libertação de gases com efeito de estufa.

O setor da construção em Portugal é um grande consumidor, tanto na fase de construção, como na fase de uso dos edifícios, apresentando um vasto parque habitacional, pouco eficiente energeticamente, e com elevado potencial de reabilitação ao nível térmico.

A presente dissertação foi desenvolvida no contexto da alteração, verificada em 2021, à legislação nacional sobre a certificação energética de edifícios de habitação (REH). Após a introdução ao tema, da estrutura da dissertação, e das atividades desenvolvidas, procede-se à descrição dos documentos regulamentares (Decretos-Lei, Despachos e Portarias) e, respetivas atualizações referentes ao comportamento térmico dos edifícios em Portugal. Tendo a ADENE, a responsabilidade pela gestão deste sistema nacional de certificação.

À luz do novo Regulamento e Sistema de Certificação Energética, pretende-se perceber qual a influência do mesmo nos consumos energéticos estimados, no conjunto das edificações construídas ou reabilitadas a partir de 2021, e avaliar o grau de exigência da nova legislação de regulamentação das características de comportamento térmico dos edifícios, Decreto-Lei n.º 101-D/2020 de 7 de dezembro, face ao antigo regulamento, Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto.

Para o efeito, foi utilizado um edifício de habitação, como caso de estudo, de aplicação dos modelos de simulação, de acordo com as regras e requisitos em ambas as regulamentações. Foram identificadas as principais diferenças, as exigências e os impactos nas soluções construtivas do edifício, decorrentes da aplicação das mesmas.

Como era espetável, um edifício concebido à luz da anterior legislação com uma classificação energética inferior a A, como é o caso do edifício do caso de estudo, terá que ser objeto de uma intervenção de reabilitação energética para conseguir cumprir com os requisitos da atual legislação.

**Palavras-Chave:** consumos energéticos, eficiência energética, certificação energética, impacto ambiental.

# ABSTRACT

Sustainable construction is nowadays a major concern in societies. This concern is reflected in the search for economic development allowing social balance and minimal environment impact. However, the development of all economic activities is associated with the consumption of energy, mostly of fossil origin, which impacts the environment through the release of greenhouse gases.

The Construction sector in Portugal is a major consumer of these energies, both in the construction phase, and in the use phase of buildings, presenting a vast housing stock, not very energy efficient, and with high potential for thermal rehabilitation.

This dissertation was developed in the context of the change made in 2021 to the national legislation on the energy certification of residential buildings (REH). After introducing the dissertation's structure topic and the activities carried out, the procedure is to describe the regulatory documents (Decrees-Law, Dispatches and Ordinances) and their respective updates regarding the thermal behaviour of buildings in Portugal. ADENE is responsible for managing this national certification system.

The goal is to understand the influence of the new Regulation and Energy Certification System, Decree-Law n.º 101-D/2020, December 7<sup>th</sup>, in the estimated energy consumption of new or rehabilitated sets of buildings from the year of 2021, and to assess the demanding level of the regulatory legislation of the building's thermic behaviour characteristics, comparing to Decree-Law n.º 118 / 2013, August 20<sup>th</sup>. For this purpose, a residential building was analysed, as a case study, in the context of the new regulations regarding its energy performance, referring to its heating and cooling needs. Two analyses were made, the first consisted of evaluating the thermal behaviour of the building by REH 2018, and the second aimed to evaluate the same behaviour, but by HAB 2020 standards.

As expected, a building designed according to the previous legislation with an energy rating lower than A will have to be subjected to an energy rehabilitation intervention to be able to comply with the requirements of the current legislation, which is the case of the building used in the study.

**Keywords:** energy consumption, energy efficiency, REH, new legislation, environmental impact.

## ÍNDICE

1.	Introdução .....	1
1.1	Enquadramento .....	1
1.2	Objetivos .....	1
1.3	Estrutura da dissertação .....	2
2.	Estado de Arte .....	3
2.1	Evolução da certificação energética em Portugal .....	3
2.2	Enquadramento Legislativo .....	5
2.3	Legislação Aplicável .....	7
2.3.1	Decretos-Lei .....	7
2.3.2	Portarias .....	11
2.3.3	Despachos .....	13
2.4	Programas de simulação utilizados na certificação energética .....	17
2.4.1	Folhas de auxílio ao cálculo .....	19
3.	Diferenças e impactos resultantes das alterações regulamentares .....	20
3.1	Projeto de comportamento térmico .....	20
3.2	Classe de inércia térmica .....	20
3.3	Novas exigências .....	21
3.3.1	Projeto de AVAC .....	21
3.3.2	Energia primária total .....	22
3.3.3	Veículos elétricos .....	22
3.3.4	Coeficiente de transmissão térmica, U .....	22
3.4	Requisito NZEB .....	25
3.5	Definições revistas .....	26
3.5.1	Edifício renovado .....	26
3.5.2	Espaço interior não útil .....	26
3.5.3	Grande Renovação .....	27
3.5.4	Potência nominal .....	27
3.5.5	Marcação das envolventes .....	27



3.6	Alteração de valores ou limites .....	27
3.6.1	Taxa de renovação horária .....	27
3.6.2	Os valores dos $U_{máx}$ .....	28
4.	Caso de estudo.....	29
4.1	Apresentação do caso de estudo .....	29
4.1.1	Análise do entorno e clima.....	29
4.1.2	Orientação e envidraçados.....	31
4.1.3	Proteções solares e vegetação .....	34
4.1.4	Caracterização física do edifício .....	34
4.1.5	Enquadramento Climático.....	38
4.1.6	Parâmetros Climáticos.....	40
4.1.7	Caracterização dos Espaços e Envolventes.....	42
4.1.8	Parâmetros de caracterização térmica .....	50
4.2	Soluções construtivas.....	52
4.2.1	Elementos opacos da envolvente .....	52
4.2.2	Fator solar dos envidraçados .....	55
4.2.3	Pontes térmicas lineares – $\psi$ .....	62
4.2.4	Renovação do ar – $R_{ph}$ .....	65
4.2.5	Índices energéticos.....	67
5.	Avaliação do desempenho energético e análise dos resultados .....	70
5.1	Avaliação do impacto do novo regulamento no caso de estudo.....	74
6.	Conclusões e Trabalhos Futuros.....	77
6.1	Conclusões .....	77
6.2	Desenvolvimentos Futuros.....	78
	Referências Bibliográficas .....	79
	Anexo I – Folha de Cálculo "Anos meteorológicos de referência para simulação dinâmica" .....	82

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Evolução da legislação relativamente ao comportamento térmico. ....	3
Figura 2 – Evolução dos edifícios ao longo dos anos (Fonte: ADENE) .....	4
Figura 3 – Evolução dos Decretos-Lei ao longo dos últimos anos .....	11
Figura 4 – Evolução das Portarias ao longo dos anos .....	13
Figura 5 – Evolução dos Despachos ao longo dos anos .....	17
Figura 6 – Folha de cálculo inerente ao REH 2018 (Fonte: ITeCons). ....	18
Figura 7 – Folha de cálculo inerente ao HAB 2021 (Fonte: ITeCons). ....	18
Figura 8 – Folha utilizada para o cálculo da ventilação (Fonte: LNEG) .....	19
Figura 9 – Folha utilizada para calcular a energia renováveis (Fonte: DGEG) .....	19
Figura 10 – Perfil de temperatura exterior máxima e mínima (média diária em °C) (Fonte: LNEG).....	30
Figura 11 – Irradiação solar mensal, média diária (kWh/m <sup>2</sup> ) (Fonte: LNEG). ....	31
Figura 12 – Incidência da radiação solar no inverno (esquerda) e verão (direita) (Fonte: F. Moita,2014). .....	32
Figura 13 – Fachada sudoeste da habitação .....	33
Figura 14 – Fachada nordeste da habitação.....	33
Figura 15 – Planta de piso 0.....	35
Figura 16 – Planta de piso 1.....	35
Figura 17 – Planta de piso 2.....	35
Figura 18 – Planta de piso 3.....	36
Figura 19 – Planta de piso 4.....	36
Figura 20 – Planta de cobertura .....	36
Figura 21 – Alçado sudoeste .....	37
Figura 22 – Alçado nordeste.....	37
Figura 23 – Corte A.....	37
Figura 24 – Corte B.....	38
Figura 25 – Corte A-.....	38
Figura 26 – Portugal Continental. Zonas climáticas de inverno e verão. (Fonte: Despacho n.º 15793F, 2013).....	39
Figura 27 – Piso 0, espaços úteis e não úteis .....	42
Figura 28 – Piso 1, espaços úteis e não úteis .....	43

Figura 29 – Piso 2, espaços úteis e não úteis .....	43
Figura 30 – Piso 3, espaços úteis e não úteis .....	43
Figura 31 – Piso 4, espaços úteis e não úteis .....	44
Figura 32 – Planta piso 0, envolvente .....	47
Figura 33 – Planta piso 1, envolvente .....	48
Figura 34 – Planta piso 2, envolvente .....	48
Figura 35 – Planta piso 3, envolvente .....	48
Figura 36 – Planta piso 4, envolvente .....	49
Figura 37 – Corte A-, envolvente .....	49
Figura 38 – Corte B, envolvente.....	50
Figura 39 – Ângulo de horizonte $\alpha$ (Fonte: Despacho n.º 15893K, 2013). .....	56
Figura 40– Exemplos de medição do ângulo $\alpha$ de palas (Fonte: Despacho n.º 15893K, 2013). .....	57
Figura 41 – Exemplos de medição do ângulo $\alpha$ de palas (Fonte: Despacho n.º 15893K, 2013). .....	57
Figura 42 – Elemento construtivo vertical e horizontal .....	60
Figura 43 – Elemento construtivo vertical.....	61
Figura 44 – Elemento construtivo horizontal.....	61
Figura 45 – Elemento construtivo horizontal.....	62
Figura 46 – Obstrução do horizonte .....	62

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação energética .....	15
Tabela 2 – Classe de inércia térmica. ....	21
Tabela 3 – Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos dos elementos da envolvente envidraçada, $U_w$ , máx [ $w/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ]. ....	22
Tabela 4 – Resistência térmica adicional devido ao dispositivo de proteção ativado.....	24
Tabela 5 – Evolução dos requisitos NZEB em edifícios de habitação.....	26
Tabela 6 – Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos admissíveis 2018 .....	28
Tabela 7 – Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos admissíveis 2021 .....	28
Tabela 8 – Critérios para a determinação da zona climática de inverno .....	39
Tabela 9 – Critérios para a determinação da zona climática de verão .....	39
Tabela 10 – Cálculo do número de graus dia estação aquecimento (inverno) .....	41
Tabela 11 – Cálculo da temperatura média exterior estação de arrefecimento (verão) .....	41
Tabela 12 – Cores para marcação da envolvente (Fonte: Manual SCE).....	44
Tabela 13 – Coeficiente de redução de perdas de espaços não úteis.....	46
Tabela 14 – Determinação do Coeficiente de redução de perdas, $b_{ztu}$ .....	47
Tabela 15 – Valores das resistências térmicas superficiais, $R_{se}$ e $R_{si}$ . ....	51
Tabela 16 – Descrição dos elementos construtivos opacos (continua) .....	52
Tabela 17 – Descrição dos elementos construtivos opacos (continuação) .....	53
Tabela 18 – Descrição dos elementos construtivos opacos (continuação) .....	54
Tabela 19 – Absortância solar (Fonte: Manual SCE).....	54
Tabela 20 – Fator de emissividade para desvão de cobertura (Fonte: Manual SCE) .....	59
Tabela 21 – Valores por defeito para os coeficientes de transmissão térmica lineares.....	63
Tabela 22 – Pontes térmicas lineares $\psi$ (continua) .....	64
Tabela 23 – Pontes térmicas lineares $\psi$ (continuação) .....	65
Tabela 24 – Renovação de ar pelo DL n.º 118/2013.....	66
Tabela 25 – Renovação de ar pelo DL n.º 101-D/2020 .....	66
Tabela 26 – Quadro dos indicadores energéticos do Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto (continua).....	70
Tabela 27 – Quadro dos indicadores energéticos do Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto (continuação) .....	71

Tabela 28 – Potencial de implementação de medidas de melhoria para o Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto .....	72
Tabela 29 – Quadro dos indicadores energéticos do Decreto-Lei n.º 101-D/2020, de 7 de dezembro (continua).....	72
Tabela 30 – Quadro dos indicadores energéticos do Decreto-Lei n.º 101-D/2020, de 7 de dezembro (continuação) .....	73
Tabela 31 – Potencial medidas de melhoria para o DL n.º 101-D/2020, de 7 de dezembro .....	74

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

ADENE	Agência para Energia
AVAC	Aquecimento, ventilação e ar condicionado
AQS	Águas quentes sanitárias
Art.º	Artigo
$A_j$	Área do pavimento em contacto com o solo, medida pelo interior do edifício [m <sup>2</sup> ]
$A_p$	Área interior útil de pavimento, medida pelo interior [m <sup>2</sup> ]
$A_u$	Somatório das áreas dos elementos que separam o espaço interior não útil do ambiente exterior [m <sup>2</sup> ]
$B_j$	Desenvolvimento linear da ponte térmica linear, medido pelo interior do edifício [m]
$b_{tr}$	Coefficiente de redução de perdas de determinado espaço não útil ou de um edifício adjacente
DEE	Determinação do desempenho energético do edifício
DL	Decreto-lei
$e$	Espessura da camada [m]
EU	<i>European Union</i>
ENU	Espaços não úteis
$f$	Espaço não útil que tem todas as ligações entre elementos bem vedadas, sem aberturas de ventilação permanentemente abertas
$F$	Espaço não útil permeável ao ar devido à presença de ligações e aberturas de ventilação permanentemente abertas
$F_g$	Fração envidraçada
$F_s$	Fator de obstrução dos vãos envidraçados
GD	Número de gaus-dias, na base de 18°C, correspondente à estação convencional de aquecimento
GEE	Gases do efeito de estufa
GES	Avaliação energética nos grandes edifícios de serviço
$G_{sul}$	Energia solar média mensal durante a estação, recebida numa superfície vertical orientada a sul [kWh/m <sup>2</sup> .mês]
$gT_{max}$	Fator solar de vãos envidraçados

$H_{adj}$	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]
$I_t$	Inércia térmica
$I_{sol}$	Energia solar acumulada durante a estação, recebida na horizontal (inclinação 0°) e em superfícies verticais (inclinação 90°) para os quatro pontos cardeais e os quatro colaterais [kWh/m <sup>2</sup> ]
LNEC	Laboratório nacional de engenharia civil
$L_v$	Duração da estação de aquecimento, sendo consideradas 4 meses ou 2928 horas
M	Duração da estação de aquecimento [meses]
NE	Norma europeia
NP	Norma Portuguesa
NUTS	Nomenclatura das Unidades Territoriais para fins Estatísticos
$N_{ic}$	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento [kWh/m <sup>2</sup> .ano]
$N_t$	Valor limite regulamentar para as necessidades nominais anuais de energia primária [kWh/m <sup>2</sup> .ano]
$N_{tc}$	Necessidades nominais anuais globais de energia primária [kWh/m <sup>2</sup> .ano]
$N_{vc}$	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento [kWh/m <sup>2</sup> .ano]
PM	Plano de manutenção
$P_j$	Desenvolvimento total da parede em contacto com o solo, medido pelo interior [m]
$P_d$	Pé direito médio da fração [m]
RCCTE	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
REH	Regulamento dos edifícios de habitação
$R$	Resistência térmica do elemento [m <sup>2</sup> .°C/W]
$R_f$	Resistência térmica dos elementos que contactam com o solo [m <sup>2</sup> .°C/W]
$R_j$	Resistência térmica da camada [m <sup>2</sup> .°C/W]
$R_{Nt}$	Rácio de classe energética

$R_{ph}$	Taxa nominal horária de renovação do ar interior, calculada de acordo com o presente despacho n.º 15793-k/2013, de 3 de dezembro [ $h^{-1}$ ]
$R_{se}$	Resistência térmica superficial exterior [ $m^2 \cdot ^\circ C/W$ ]
$R_{si}$	Resistência térmica superficial interior [ $m^2 \cdot ^\circ C/W$ ]
$R_w$	Resistência térmica de paredes em contacto com o solo
SCE	Sistemas de Certificação Energética
$U$	Coefficiente de transmissão térmica
$U_i$	Coefficiente de transmissão térmica do elemento $i$ da envolvente [ $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ]
$U_{bfi}$	Coefficiente de transmissão térmica do pavimento enterrado [ $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ]
$U_{bw}$	Coefficiente de transmissão térmica por paredes em contacto com o solo
$U_{bwj}$	Coefficiente de transmissão térmica da parede em contacto com o solo [ $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ]
$U_{max}$	Coefficiente de transmissão térmica superficial máximo admissível de elementos opacos
$U_{WS}$	Coefficiente de transmissão térmica do vão envidraçado com os dispositivos de proteção solar activados [ $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ]
$V_{enu}$	Volume do espaço interior não útil [ $m^3$ ]
$X$	Valores dos parâmetros climáticos
$X_{REF}$	Valores de referência
$z$	Profundidade enterrada do pavimento [m]
$z_j$	Profundidade média enterrada da parede em contacto com o solo [m]
$Z_{REF}$	Altitude de referência
$\alpha$	Declive
$\beta_{dir}$	Ângulo da pala vertical à direita [ $^\circ$ ]
$\beta_{esq}$	Ângulo de pala vertical à esquerda [ $^\circ$ ]
$\Delta R$	Acréscimo da resistência térmica devido ao dispositivo de proteção solar e ao espaço de ar [ $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ]
$\theta_{enu}$	Temperatura do local não útil [ $^\circ C$ ]
$\theta_{ext}$	Temperatura ambiente exterior [ $^\circ C$ ]
$\theta_{ext,i}$	Temperatura exterior média do mês mais frio da estação de aquecimento [ $^\circ C$ ]
$\theta_{ext,v}$	Temperatura exterior média [ $^\circ C$ ]
$\theta_{int}$	Temperatura inferior [ $^\circ C$ ]
$\lambda$	Condutibilidade térmica do elemento [ $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ]



$\psi$  Coeficiente de transmissão térmica linear [W/(m.°C)]

# **1. INTRODUÇÃO**

## **1.1 Enquadramento**

A 19 de Maio de 2010, a União Europeia publica uma nova diretiva n.º 2010/31/EU, 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. No contexto das metas climáticas, relativas à eficiência energética e redução da dependência de combustíveis fósseis, foram transpostas para as legislações de cada país uma série de alterações regulamentares e novas exigências. Estas constituem metas energéticas e climáticas que devem ser cumpridas até ao ano de 2030 e 2050, nomeadamente, a redução das emissões dos gases efeito de estufa, para 40%; o aumento do fornecimento de energias através de fontes renováveis para, no mínimo, 27% e o aumento da eficiência energética em cerca de 27%. Em Portugal, a última destas alterações aconteceu em 2021. 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.

Assim sendo, a principal importância, que esteve na origem do trabalho para esta dissertação, é de perceber quais são as alterações e as exigências da nova legislação de 2021, e que consequências têm no desempenho termo energético dos edifícios de habitação e nas soluções construtivas.

## **1.2 Objetivos**

A realização desta dissertação tem como objetivo principal entender e identificar as principais diferenças resultantes da alteração introduzida na legislação, pelo Decreto-Lei n.º 101-D/2020, de 7 de dezembro, por comparação com a legislação anterior, o Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto, no que se refere aos resultados das simulações efetuadas ao comportamento termo energético dos edifícios de habitação.

Para tal, foram efetuadas as simulações de acordo com ambos os regulamentos, aplicando a metodologia definida a um mesmo edifício de habitação, que permitirá explicar, passo a passo, quais as diferenças existentes na abordagem, nos parâmetros e nos resultados do desempenho energético de acordo com cada um dos Decretos-Leis.

Esta análise será realizada segundo os requisitos, parâmetros e metodologias de caracterização do desempenho energético e, terá como base de simulação, a ferramenta de cálculo disponibilizada pelo ITeCons.

Importa perceber ainda quais são os impactos efetivos, nos edifícios de habitação, das atuais exigências regulamentares, e se tal configura, de forma eficaz, uma aproximação das construções às necessidades de otimização dos consumos energéticos e de redução das emissões de carbono, comparando os resultados, do caso de estudo, aplicado aos dois regulamentos.

### **1.3 Estrutura da dissertação**

A presente dissertação está dividida em sete capítulos, sendo eles a introdução, o estado arte, as diferenças e impactos resultantes das alterações regulamentares, a aplicação a um caso de estudo, a avaliação do desempenho energético e análise dos resultados do caso de estudo, conclusões e, por fim, trabalhos futuros que se podem realizar neste âmbito.

O primeiro capítulo engloba o enquadramento e objetivos da dissertação, tem uma breve apresentação ao tema, as atividades desenvolvidas e é identificada a ferramenta informática utilizada.

No segundo capítulo, apresenta-se o enquadramento legislativo, aonde se expõe, de forma sucinta, toda a documentação legal consultada durante a dissertação e utilizada no caso de estudo.

O terceiro capítulo abrange as diferenças e os impactos presentes na elaboração do caso de estudo, enumerando, apenas, as mais relevantes.

O capítulo quatro foca-se na habitação em estudo, com a descrição de todos os elementos necessários à sua análise térmica. Primeiramente, obtém-se os dados para a localização climática do edifício, assim como, as características dos elementos construtivos a ele associados. Com as características enunciadas, todas as técnicas e equipamentos mais utilizados e respeitando os Decreto-Lei n.º 118/2013 e Decreto-Lei n.º 101-D/2020, e respetivas atualizações, verifica-se o cumprimento de toda a regulamentação técnica.

No quinto procede-se à apresentação da análise dos resultados do caso de estudo, analisando os resultados obtidos com o intuito de responder aos objetivos traçados.

No sexto conclui-se o tema apresentado e as implicações no caso de estudo das mudanças legislativas, bem como potenciais soluções.

Por fim, no sétimo e último capítulo, apresenta-se um conjunto pontos a trabalhar no futuro no âmbito de desenvolver mais o tema apresentado.

## 2. ESTADO DE ARTE

### 2.1 Evolução da certificação energética em Portugal

O setor dos edifícios é responsável pelo consumo de aproximadamente 40% da energia final na Europa e cerca de 30% para Portugal. Porém, mais de 50% deste consumo pode ser reduzido através de medidas de eficiência energética, o que pode representar uma redução anual de 400 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>, quase a totalidade do compromisso da EU no âmbito do Protocolo de Quito [1].

Perante esta realidade, os Estados-membros têm vindo a promover um conjunto de medidas com vista a impulsionar a melhoria do desempenho energético e das condições de conforto dos edifícios, em linha com a Diretiva n.º 2002/91/CE, de 16 de dezembro e da sua reformulação, a Diretiva n.º 2010/31/EU, de 19 de maio, sendo ambas do Parlamento Europeu e do Conselho, relativas ao desempenho energético dos edifícios [1].

No âmbito destas Diretivas é estabelecido o enquadramento geral para uma metodologia de cálculo do desempenho energético integrado dos edifícios, aplicação de requisitos mínimos para o desempenho energético de novos edifícios, bem como, dos edifícios existentes que sejam sujeitos a intervenção [1].

A Figura 1 demonstra a evolução da legislação, em Portugal, relativamente ao comportamento térmico dos edifícios ao longo do tempo, com vista em melhorar o seu desempenho energético.

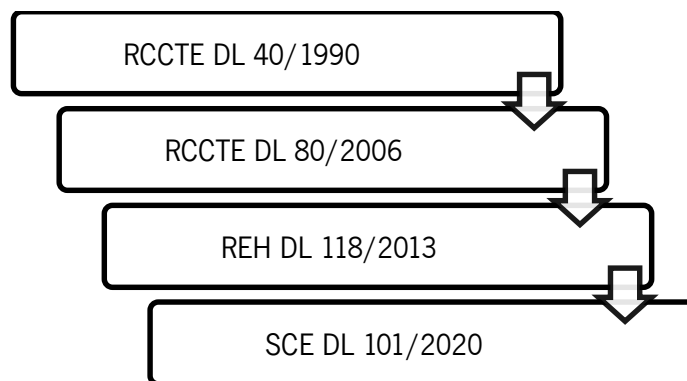


Figura 1 – Evolução da legislação relativamente ao comportamento térmico.

A implementação de um sistema de certificação energética tem como objetivo informar o cidadão sobre a qualidade térmica dos edifícios, aquando da construção, venda, arrendamento ou locação dos mesmos, permitindo aos futuros utilizadores a obtenção de informação sobre os consumos de energia

potenciais (para os novos edifícios), reais ou aferidos para padrões de utilização típicos (para edifícios existentes) [1].

Apesar da legislação nacional prever, desde o início da década de 90, uma primeira base regulamentar com vista ao conforto térmico e à qualidade térmica da construção em geral, a implementação de requisitos após a transposição do Decreto-Lei n.º 118/2013, ditou que, a partir desse ano, a conceção de edifícios novos ou das grandes reabilitações se focasse numa maior qualidade das soluções construtivas com vista à promoção de condições de conforto térmico e qualidade do ar interior dos espaços, bem como na redução das necessidades e dos consumos energéticos dos edifícios.

Progressivamente, os requisitos de qualidade térmica e de desempenho energético dos edifícios têm vindo a ser revistos, sendo cada vez mais exigentes e abrangendo cada vez mais edifícios. Os requisitos que em 2006 apenas eram aplicáveis a construção nova e grandes intervenções, em 2015 passaram a ser aplicáveis a qualquer intervenção desde que intervencionado um componente do edifício com impacto no desempenho energético fosse uma parede exterior ou uma janela. A exigência sobre o desempenho energético dos edifícios aumentou, e desde 1 de janeiro de 2021 que todos os edifícios novos devem ser NZEB. Edifícios concebidos de forma a garantirem conforto térmico aos seus utilizadores sem necessidade ou com pouca necessidade de recorrer a equipamentos de climatização [2].

A Figura 2 ilustra a evolução da certificação energética dos edifícios em Portugal ao longo dos anos.

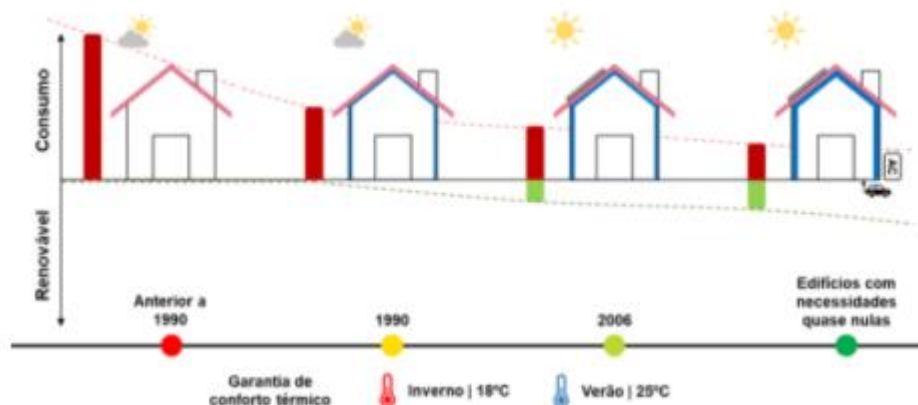


Figura 2 – Evolução dos edifícios ao longo dos anos (Fonte: ADENE)

Na Figura 2 são visíveis a redução do consumo energético e o aumento da percentagem de energia produzida a partir de fontes renováveis. Numa fase inicial, fruto de uma obrigatoriedade legislativa, mas

que atualmente assenta numa mudança no paradigma da construção, muito acentuada pela perceção da mais valia destes sistemas, quer por parte dos construtores quer pelos proprietários [2].

## **2.2 Enquadramento Legislativo**

O Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), aprovado pelo Decreto-Lei n.º 40/90, de 6 de fevereiro, foi o primeiro instrumento legal que em Portugal estabeleceu requisitos ao projeto de novos edifícios e de grandes remodelações por forma a salvaguardar a satisfação das condições de conforto térmico nesses edifícios sem necessidades excessivas de energia, quer no inverno, quer no verão.

A União Europeia emitiu, a 4 de janeiro de 2003, a Diretiva n.º 2002/91/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de dezembro, relativamente ao desempenho energético dos edifícios, que impõe aos Estados membros da EU o estabelecimento e atualização periódica dos 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 introduz a obrigatoriedades da contabilização das necessidades de energia para a preparação de águas quentes sanitárias, com o objetivo específico de favorecimento da introdução dos sistemas de coletores solares térmicos ou outras alternativas sustentáveis, o que contribui para a diminuição da libertação de dióxido de carbono e da dependência energética dos países.

No contexto internacional é consensual a necessidade de melhorar a qualidade dos edifícios e reduzir os consumos de energia, assim como as emissões de gases que contribuem para o aumento do aquecimento global ou do efeito de estufa (GEE), com a subscrição do tratado de Quioto.

A primeira versão do RCCTE apenas pretendia limitar potenciais consumos e era, relativamente pouco exigente nos seus objetivos concretos devido às questões de viabilidade económica face aos baixos consumos energéticos existentes à época. Esta versão apenas foi revogada em 2006, com a publicação do novo RCCTE (Decreto-Lei n.º 80/2006), que entrou em vigor gradualmente de 2007 até 2009 e aumentou as exigências da qualidade térmica da envolvente dos edifícios. Este aumento deveu-se ao pressuposto de que uma parte significativa dos edifícios teria de dispor de meios de promoção da qualidade do ambiente nos espaços interiores, para ambas as estações e haver a necessidade de controlar os consumos energéticos da utilização de equipamentos.

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

A União Europeia publicou a Diretiva n.º 2010/31/EU, do Parlamento Europeu e do Conselho, a 19 de maio de 2010, que veio reforçar o desempenho energético dos edifícios, de acordo com as metas estabelecidas para 2020.

Em 2020, segundo a plataforma digital do SCE, foram certificadas cerca de 178359 habitações [3]. Como se pode observar no Gráfico 1, cerca de 20,9% foram classificados como C, o que demonstra que existe um elevado potencial de otimização dos consumos energéticos mesmo nos edifícios ou frações certificadas.

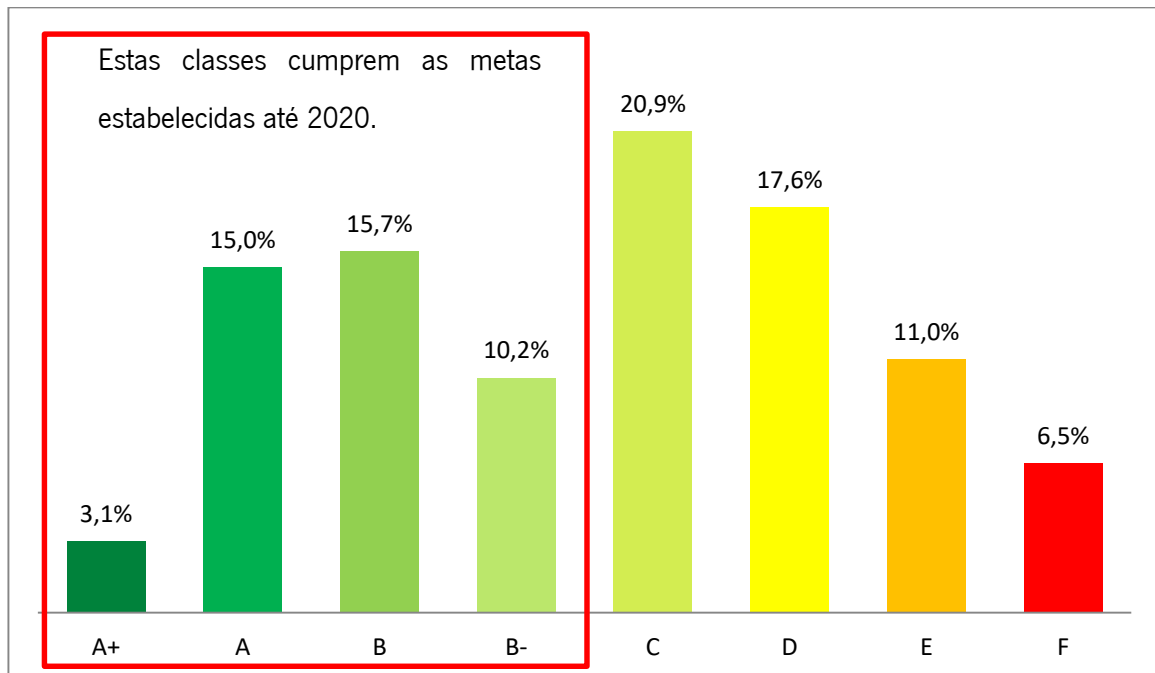


Gráfico 1 – Classe energética dos edifícios certificados em 2020 (Fonte: SCE)

Em julho de 2018, o Parlamento Europeu adotou a Diretiva de Desempenho Energético dos Edifícios, que estabelece uma meta de 32% de energia provenientes de fontes renováveis na União Europeia para 2030, constituindo metas e objetivos em matéria de emissões de gases com efeito de estufa, energias renováveis, eficiência energética e climáticas que devem ser cumpridas, nomeadamente identificam-se os principais [4]:

- A eficiência energética, tendo sido estabelecido um objetivo de eficiência energética de 32,5% até 2030;
- Contribuir para a descarbonização da economia rumo à neutralidade carbónica até 2050;
- Reforçar a eficiência energética nacional;
- Aumento do fornecimento de energia através de fontes renováveis para, no mínimo, 27%;
- Promover melhores serviços energéticos;

- Cumprimento das metas para as interligações elétricas de 10% em 2020 e 15% em 2030;
- Dar prioridade à eficiência energética num contexto de sustentabilidade e custo eficaz;
- Reforçar o papel do consumidor e reduzir a pobreza energética.

Até 2050, a União Europeia, pretende chegar a zero emissões líquidas, na redução da emissão dos gases efeito de estufa, em consonância com o objetivo do Acordo de Paris, por forma a manter o aumento da temperatura global abaixo dos 2°C [5].

Foi necessário o estudo de toda a legislação acerca do tema, recorrendo à mesma sempre que necessário. Assim, nos subcapítulos seguintes apresenta-se a evolução dos decretos ao longo dos últimos anos, bem como as respetivas alterações.

## **2.3 Legislação Aplicável**

### **2.3.1 Decretos-Lei**

Enunciam-se de seguida todos os Decretos-Lei que foram utilizados no decorrer da dissertação, apresentando uma breve explicação de cada um deles numa vertente relacionada, apenas, com os edifícios de habitação visto que este é o enquadramento no âmbito deste trabalho.

#### **Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto – “Sistema de Certificação Energética dos Edifícios”**

Este decreto aprova o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação, estando dividido nos seguintes Capítulos:

- Capítulo I – artigos 1º e 2º – Disposições gerais;
- Capítulo II – artigos 3º e 21º – Sistemas de Certificação Energética dos Edifícios (SCE);
- Capítulo III – artigos 22º e 31º – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH);
- Capítulo V – artigos 51º e 55º – Disposições finais e transitórias.

O Decreto-Lei n.º 118/2013 é responsável por promover, com forte dinamismo, a eficiência energética dos edifícios, e aumentar a eficácia do sistema de certificação energética dos edifícios e baseando-se nos seguintes pontos relevantes:



- Quando se trata de edifícios de habitação assume posição de destaque o comportamento térmico e a eficiência dos sistemas;
- Para este caso, existem ainda princípios gerais, concretizados em requisitos específicos, quer se trate de edifícios novos, edifícios sujeitos a intervenção (2ª alteração Decreto-Lei 194/2015) e edifícios existentes.

No que se refere à eficiência energética, mantém-se a promoção da utilização de fontes de energia renovável, com clarificação do respetivo contributo, com destaque natural o aproveitamento do recurso solar, em Portugal. Deste modo, é incentivada a utilização de sistemas ou soluções solares nos edifícios, bem como a otimização do desempenho em consequência de um menor recurso aos sistemas ativos de climatização.

Assim, este decreto serve para apoiar a melhoria da eficiência energética, desenvolvendo metodologias de apoio ao desenvolvimento de estratégias e planos de incentivo à eficiência energética.

### **Decreto-Lei n.º 68-A/2015, de 30 de abril – “Eficiência energética”**

Estabelece disposições em matéria de eficiência energética e cogeração, transpondo para a ordem jurídica interna a Diretiva n.º 2012/27/EU, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de outubro de 2012, relativa à eficiência energética. Contudo, este decreto contempla mais alterações, nomeadamente:

- A segunda alteração ao Decreto-Lei n.º 71/2008, de 15 de abril, alterado pela Lei n.º 7/2013, de 22 de janeiro, que regula o sistema de gestão dos consumos intensivos de energia, instituído com o objetivo de promover a eficiência energética e monitorizar os consumos energéticos de instalações consumidoras intensiva de energia;
- A segunda alteração ao Decreto-Lei n.º 23/2010, de 25 de março, alterado pela Lei n.º 19/2010, de 23 de agosto, que estabelece a disciplina da atividade de cogeração;
- A segunda alteração ao Decreto-Lei n.º 141/2010, de 31 de dezembro, alterado pelo Decreto-Lei n.º 39/2013, de 18 de março, que define as metas nacionais de energia renovável no consumo de energia final e transpõe parcialmente a Diretiva n.º 2009/28/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de abril de 2009;
- A primeira alteração ao Decreto-Lei n.º 39/2013, de 18 de março, que transpõe parcialmente a Diretiva n.º 2009/28/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de abril de 2009;

- A primeira alteração ao Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto, que 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, e 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.

### **Decreto-Lei n.º 194/2015, de 14 de setembro – “ Desempenho energético”**

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

Este decreto veio clarificar alguns princípios, introduzindo novas disposições para reforço do quadro de promoção do desempenho energético nos edifícios, à luz daquilo que são as metas e os desafios comuns acordados pelos Estados-Membros para os horizontes temporais de 2020 e 2050.

Esta alteração veio fundar um regime excecional e temporário que se aplica à reabilitação de edifícios ou de frações, cuja construção tenha sido concluída pelo menos há trinta anos, ou localizados em áreas de reabilitação urbana, tendo em conta que se destinam a ser afetos total ou predominantemente ao uso habitacional. Esta alteração veio responder a questões que surgiram na transposição da Diretiva n.º 2010/31/EU, no Parlamento Europeu e no Conselho, a 19 de maio de 2010 [6].

### **Decreto-Lei n.º 251/2015, de 25 de novembro – “Aprova o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios”**

O Decreto-Lei n.º 251/2015 procede à terceira alteração ao Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto, alterado previamente pelo Decreto-Lei n.º 194/2014, de 14 de setembro, que aprovou 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, e transpõe a Diretiva n.º 2010/31/EU, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de maio de 2010, relativa ao desempenho energético dos edifícios.

Essencialmente, esta alteração muda o âmbito de aplicação do Decreto-Lei n.º 118/2013 (art.º 23.º), que engloba, o projeto e construção de edifícios novos, avaliação energética dos edifícios novos, edifícios sujeitos a grande intervenção e existentes, e ainda a edifícios sujeitos a intervenção nas envolventes ou nos sistemas técnicos [7].

### **Decreto-Lei n.º 28/2016, de 23 de junho – “Melhoria do desempenho energético dos edifícios”**

O Decreto-Lei n.º 28/2016, procede-se à quarta alteração ao Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto, relativo à melhoria do desempenho energético dos edifícios, e que transpõe a Diretiva n.º 2010/31/EU do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de maio de 2010.

De acordo com o artigo 4, do Decreto-Lei n.º 118/2013 ficam excluídos do SCE alguns pontos, sendo relevante indicar os seguintes:

- Os edifícios ou as frações exclusivamente destinados a estacionamentos não climatizados e oficinas;
- Os edifícios unifamiliares na medida em que constituam edifícios autónomos com área útil igual ou inferior a 50 m<sup>2</sup> [8].

Os prazos de validade dos certificados, artigo 15, também sofreram modificações, tais como:

- Os certificados SCE têm um prazo de validade de dez anos, sem prejuízo da possibilidade de, dentro desse prazo e sem que haja lugar ao respetivo alargamento do prazo de validade;
- Os certificados SCE para os GES sujeitos a avaliação energética periódica, têm um prazo de validade de oito anos, sem prejuízo da possibilidade de, dentro desse prazo e sem que haja lugar ao respetivo alargamento do prazo de validade.

O Decreto-Lei n.º 28/2016 vem completar o artigo 22.º referente ao objetivo do regulamento de desempenho energético dos edifícios de habitação, caracterizando que os requisitos mínimos a cumprir estabelecem níveis ótimos de rentabilidade e revistos periodicamente, em função do resultado da análise de custo ótimo realizada para os edifícios de habitação, com intervalos inferiores a cinco anos [8].

### **Decreto-Lei n.º 101-D/2020, de 7 de dezembro – “Melhora o desempenho energético e regula o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios”**

O Decreto-Lei n.º 101-D/2020, atualmente em vigor, estabelece os requisitos aplicáveis a edifícios para a melhoria do seu desempenho energético e regula o Sistema de Certificação Energética de Edifícios, transpondo a Diretiva (UE) 2018/844 e parcialmente a Diretiva (UE) 2019/944.

Esta procede à segunda alteração ao Decreto-Lei n.º 68-A/2015, de 30 de abril, alterado pelo Decreto-Lei n.º 64/2020, de 10 de setembro, que estabelece disposições em matéria de eficiência energética e produção em cogeração, transpondo a Diretiva 2012/27/EU do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de outubro de 2012, relativamente à eficiência energética [9].

### **Decreto-Lei n.º 102/2021, de 19 de novembro – “Estabelece requisitos de acesso”**

O Decreto-Lei n.º 102/2021, de 19 de novembro vem estabelecer os requisitos de acesso e de exercício da atividade dos técnicos do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), regulado pelo Decreto-Lei n.º 101-D/2020, de 7 de Dezembro [10].

Na Figura 3, está esquematizada, a evolução dos Decretos-lei ao longo dos últimos anos. O Decreto-Lei n.º 118/2013 deu a origem a cinco alterações.

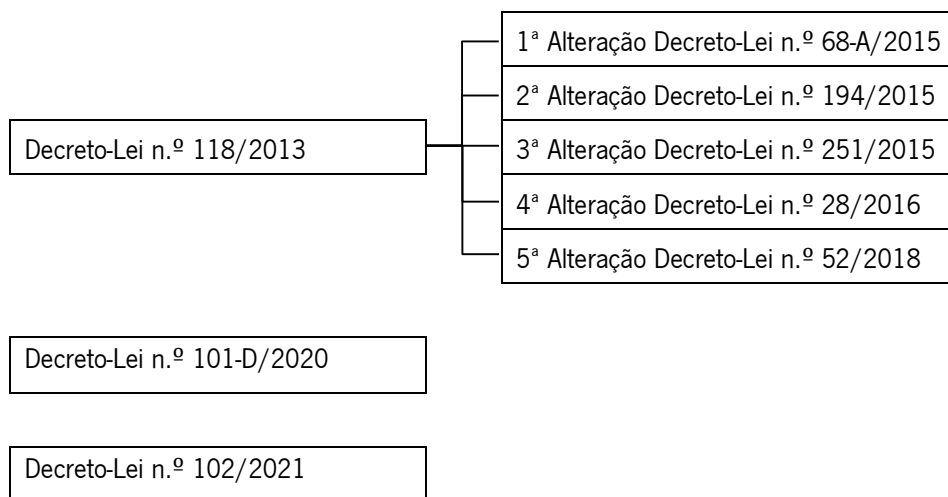


Figura 3 – Evolução dos Decretos-Lei ao longo dos últimos anos

### **2.3.2 Portarias**

Enunciam-se de seguida as Portarias que foram utilizadas no decorrer da dissertação, apresentando uma breve explicação sobre cada uma delas numa vertente relacionada, apenas, com os edifícios de habitação, de acordo com o enquadramento deste trabalho.

### **Portaria n.º 349-B/2013, de 29 de novembro – “Determinação da classe de desempenho energético”**

Esta Portaria 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 técnicos e de eficiência dos sistemas técnicos dos edifícios novos e edifícios sujeitos a grande intervenção [11].

**Portaria n.º 379-A/2015, de 22 de outubro – “Requisitos de comportamento técnico e de eficiência”**

A Portaria 379-A/2015 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 dos sistemas técnicos dos edifícios novos e edifícios sujeitos a grande intervenção [12].

**Portaria n.º 319-A/2016, de 15 de dezembro – “Requisitos de comportamento térmico”**

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 [13].

**Portaria n.º 349-C/2013, de 2 de dezembro – “Estabelece procedimentos de licenciamento”**

Esta Portaria 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 [14].

A salientar que esta Portaria, sofreu uma retificação, n.º 4/2014, de 1 de janeiro, 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, 1ª série, 2º suplemento, em 2 de dezembro de 2013 [15].

**Portaria n.º 405/2015, de 20 de novembro – “Primeira alteração dos procedimentos de licenciamento”**

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 [16].

### **Portaria n.º 138-H/2021, de 1 de julho – “Regula as atividades dos técnicos”**

A Portaria n.º 138-H/2021, de 1 de julho, advém do Decreto-Lei n.º 101-D/2020 e veio regulamentar as atividades dos técnicos e as competências da entidade gestora do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios e fixa os valores do registo dos certificados energéticos [17].

### **Portaria n.º 138-I/2021, de 1 de julho – “Requisitos mínimos de desempenho energético”**

A Portaria n.º 138-H/2021, de 1 de julho, regulamenta os requisitos mínimos de desempenho energético relativos à envolvente dos edifícios e aos sistemas técnicos e a respetiva aplicação em função do tipo de utilização e específicas características técnicas [18].

Na Figura 4 está esquematizada, a evolução das Portarias ao longo dos últimos anos. A Portaria n.º 349-A/2013 deu origem a duas Portarias, bem como a Portaria n.º 349-B/2013. A Portaria n.º 349-C/2013 deu origem a outra.

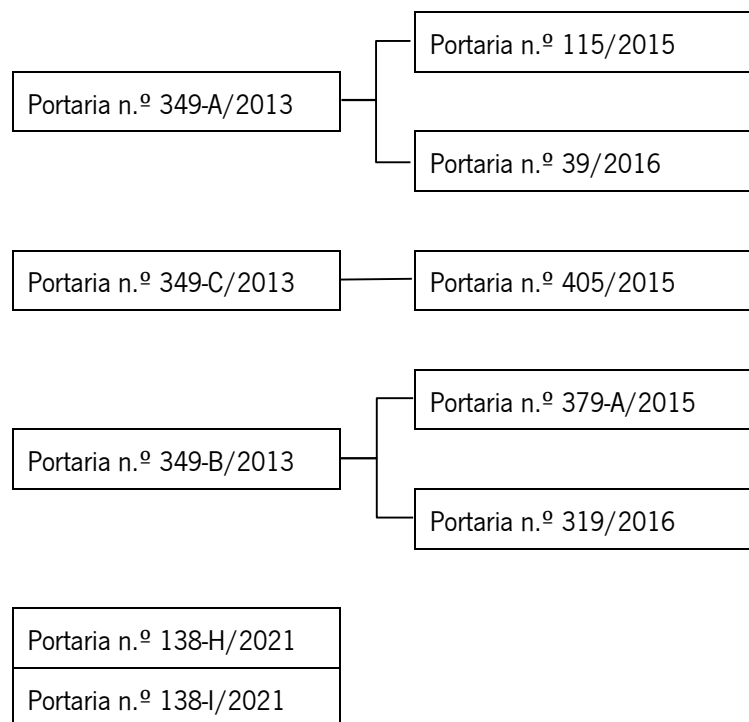


Figura 4 – Evolução das Portarias ao longo dos anos

### **2.3.3 Despachos**

Enunciam-se de seguida todos os despachos que foram utilizados no decorrer da dissertação, apresentando uma breve explicação de cada um deles numa vertente relacionada, apenas, com os edifícios de habitação.

**Despacho (extrato) n.º 15793-C/2013, de 3 de dezembro – “Diferentes tipos de pré-certificado e SCE”**

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 [19].

**Despacho n.º 15793-E/2013, de 3 de dezembro – “Regras de simplificação nos edifícios”**

Estabelece as regras de simplificação a utilizar nos edifícios sujeitos a grandes intervenções, bem como existentes, nas situações em que se verifique impossibilidade ou limitação no acesso a melhor informação [20].

**Despacho n.º 15793-F/2013, de 3 de dezembro – “Parâmetros climáticos”**

Procede à publicação dos parâmetros para o zonamento climático e respetivos dados [21].

**Despacho n.º 15793-G/2013, de 3 de dezembro – “Elementos mínimos de ensaios e receção das instalações”**

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 [22].

**Despacho n.º 15793-H/2013, de 3 de dezembro – “Estabelece regras para aproveitamento de energias renováveis”**

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. Passa a ser definido o programa SCE.ER para a determinação da energia produzida pelo sistema solar térmico e sistemas solares fotovoltaicos [23].

**Despacho n.º 15793-I/2013, de 3 de dezembro – “Metodologias de cálculo”**

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 [24].

**Despacho n.º 15793-J/2013, de 3 de dezembro – “Regras de determinação da classe energética”**

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 [25]. 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 ( $N_t$ ). A classe energética é determinada através do rácio de classe energética ( $R_{Nt}$ ), obtido através da Equação 2.1.

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

Equação 2.1 – Cálculo do rácio de classe energética.

Sendo que para cada intervalo de valores é associado uma determina letra que está associada a uma classe energética. Assim, quanto menor o valor do rácio, melhor a classe energética, como se demonstra na Tabela 1.

Tabela 1 – 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	$R_{Nt} \geq 2,51$

**Despacho n.º 15793-K/2013, de 3 de dezembro – “Parâmetros térmicos”**

Este Despacho procede à publicação dos parâmetros térmicos para o cálculo dos valores que integram o presente Despacho [26].



Os parâmetros térmicos que agregam o Despacho são:

- Coeficiente global de transferência de calor;
- Coeficiente de transmissão térmica superficial;
- Coeficiente de transmissão térmica linear;
- Coeficiente de absorção da radiação solar;
- Fator de utilização de ganhos;
- Quantificação da inércia térmica;
- Fator solar de vãos envidraçados;
- Fator de obstrução da radiação solar;
- Fração envidraçada;
- Fator de correção da seletividade angular dos envidraçados;
- Coeficiente de redução de perdas;
- Taxa de renovação do ar.

#### **Despacho n.º 15793-L/2013, de 3 de dezembro – “Viabilidade económica”**

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 [27].

#### **Despacho n.º 6476-E/2021, de 1 de julho – “Aprovação dos requisitos mínimos de conforto térmico”**

O Despacho n.º 6476-E/2021, que advém do Decreto-Lei n.º 101-D/2020, procede à aprovação dos requisitos mínimos de conforto térmico e de desempenho energético aplicáveis à conceção e renovação dos edifícios [28].

Na Figura 5, está esquematizado, a evolução dos Despachos ao longo dos últimos anos. Tendo havido em dois despachos e duas erratas de melhorias a n.º 3156/2016 e a n.º 3777/2017.

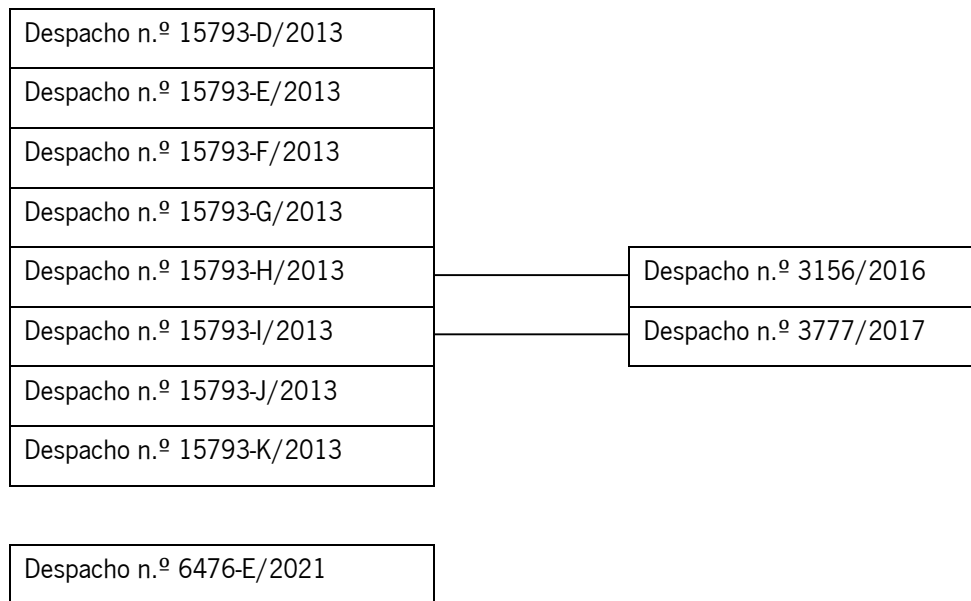


Figura 5 – Evolução dos Despachos ao longo dos anos

## 2.4 Programas de simulação utilizados na certificação energética

Existem algumas ferramentas informáticas que podem ser utilizadas para a realização de simulações energéticas para edifícios de habitações, tais como: o Energy Plus, o ITeCons (Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico para a Construção, Energia, Ambiente e Sustentabilidade), CYPETHERM SCE-HAB BIM STARTER, o TRACE 700, entre outros. Contudo, existem diferenças entre eles, umas têm simulações dinâmicas multizona outras monozona. O CYPETHERM EPlus, por exemplo, aplica ao modelo do edifício a simulação dinâmica multizona, determinando a distribuição das necessidades energéticas em cada zona do modelo, calculada com o Energy Plus. Permite, também, que sejam partilhados dados de acordo com os modelos BIM, basta que o modelo seja em formato IFC, e é partilhado com as restantes especialidades constituindo assim o modelo federado.

A utilização das folhas de cálculo de avaliação do comportamento térmico e do desempenho energético de edifícios de acordo com o REH (Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto), versão V3.11 de 2 de maio de 2018 e de acordo com o HAB (Decreto-Lei n.º 101-D/2020, de 7 de dezembro), versão V1.06 de 7 de setembro de 2021, preparados pelo ITeCons, e não de outros meios informáticos está relacionado com o facto de ser gratuito, de fácil interpretação e de ampla utilização junto dos projetistas.

Para ser possível perceber o impacto das alterações regulamentares nos edifícios de habitação, ao nível do resultado das simulações energéticas, foi necessário recorrer às duas versões das folhas de

cálculo em Excel (ITeCons), anteriormente referidas. A segunda folha de cálculo encontra-se atualizada, de acordo com a legislação atualmente em vigor, previamente apresentada.

Por este motivo, entende-se que é relevante apresentar nesta fase um pouco mais de informação sobre a referida ferramenta.

O ITeCons disponibiliza duas folhas de cálculo, sendo ambas, destinadas ao cálculo da classificação energética em pequenos edifícios de serviço/comércio e a outra, a que interessa para efeito do presente trabalho, utilizada em habitações, Figura 6 e Figura 7, respetivamente. As folhas de cálculo encontram-se divididas em duas partes, sendo a primeira de informações relativas ao edifício e ao proprietário e a segunda ao cálculo propriamente dito.

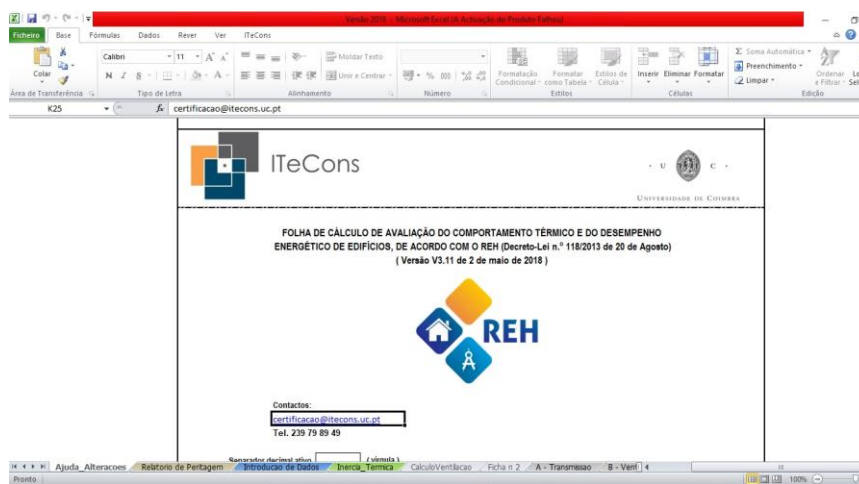


Figura 6 – Folha de cálculo inerente ao REH 2018 (Fonte: ITeCons).

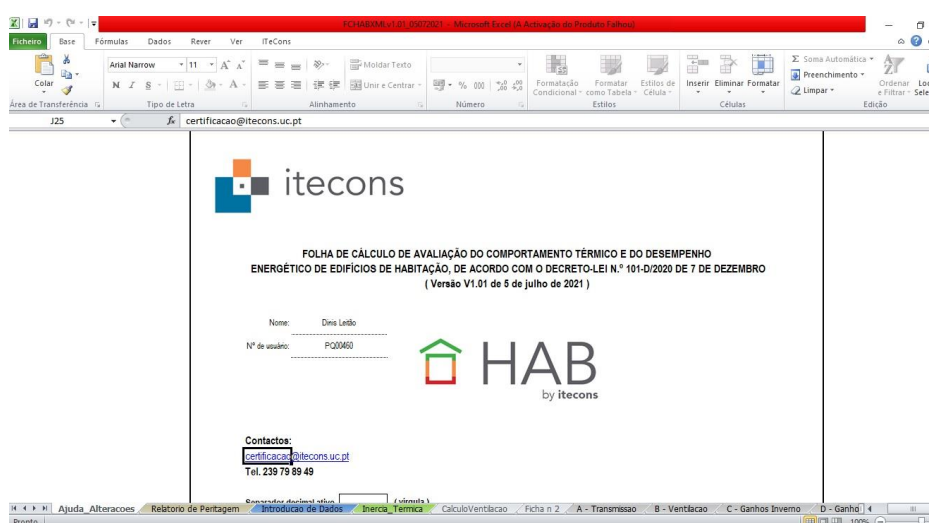


Figura 7 – Folha de cálculo inerente ao HAB 2021 (Fonte: ITeCons).

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

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

#### 2.4.1 Folhas de auxílio ao cálculo

Ao proceder-se ao cálculo da classe energética, é necessário a utilização de algumas folhas de cálculo auxiliares, de acordo com a Figura 8 e Figura 9. Porém o regulamento permite a utilização de outras ferramentas para determinar estes mesmos parâmetros.

- Folha para o cálculo da ventilação;

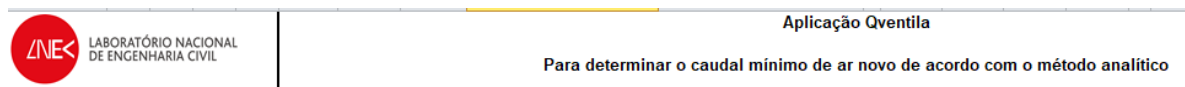


Figura 8 – Folha utilizada para o cálculo da ventilação (Fonte: LNEC)

- Energias renováveis.



Figura 9 – Folha utilizada para calcular a energia renováveis (Fonte: DGEG)

### **3. DIFERENÇAS E IMPACTOS RESULTANTES DAS ALTERAÇÕES REGULAMENTARES**

Para este Capítulo foi efetuada uma análise exaustiva das principais diferenças e dos impactos que se identificaram ao comparar os documentos regulamentares de 2018 comparativamente, com os que estão em vigor a partir de 2021. Para cada um deles, apenas, se analisa a vertente relacionada com os edifícios de habitação, visto ser este o âmbito deste trabalho. É apresentada nos pontos seguintes uma descrição e explicação desta análise.

#### **3.1 Projeto de comportamento térmico**

A principal diferença deste Decreto-Lei n.º 101-D/2020 para os anteriores, é que deixa de existir referência ao projeto de comportamento térmico, deixando de ser necessário para a emissão do pré-certificado.

A demonstração do cumprimento dos requisitos de cada componente (envolvente e sistemas técnicos) do edifício passam para a responsabilidade dos técnicos autores dos projetos de arquitetura e de especialidades, onde conste o respetivo componente.

#### **3.2 Classe de inércia térmica**

Outra diferença encontrada, refere-se à forma como é determinado o fator de correção da massa superficial dos elementos de compartimentação em contacto com os espaços úteis, para efeitos da determinação da inércia térmica.

A inércia térmica interior traduz a capacidade de armazenamento de calor, que os elementos construtivos apresentam, e varia em função da massa superficial útil, por metro quadrado de área interior útil de pavimento ( $I_t$ ).

Para efeitos do DEE, a inércia térmica é classificada em função do valor de  $I_t$ , de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2 – Classe de inércia térmica.

Classe de Inércia Térmica	$I_t$ [kg/m <sup>2</sup> ]
Fraca	$I_t < 150$
Média	$150 \leq I_t \leq I_t 400$
Forte	$I_t > 400$

A diferença está no cálculo do Ri. Antes existia uma tabela, agora faz-se a média de valores no caso dos elementos de compartimentação interiores.

### 3.3 Novas exigências

Neste subcapítulo, enunciam-se as novas exigências regulamentares que foram identificadas, apresentando uma breve explicação de cada uma delas.

#### 3.3.1 Projeto de AVAC

Outro requisito alterado pela anterior legislação, em edifícios novos, é no projeto de AVAC. Este projeto passou a ser obrigatório, a partir de 1 julho de 2021. Agora, nos edifícios novos, deve ser evidenciado o cumprimento dos requisitos dos sistemas técnicos de ventilação, climatização e, nos casos aplicáveis, dos sistemas de produção de água quente. Assim, mesmo nos casos em que o edifício não disponha de sistemas de climatização, será necessário evidenciar o cumprimento dos requisitos de ventilação no projeto de AVAC, mesmo quando o edifício apenas dispõe de ventilação natural. Nestas situações em que o edifício apenas dispõe de ventilação natural, deve conter informação sobre a localização e tipo de dispositivos de admissão/ exaustão, bem como a demonstração do cumprimento dos caudais mínimos de ar novo. No caso de edifícios sujeitos a grandes renovações apenas é obrigatório projeto AVAC se o edifício estiver sujeito ao cumprimento de requisitos que nele constam. O projeto AVAC deixou de ser necessário no Decreto-Lei n.º 101-D/2020, no entanto, voltou a ser necessário perante o novo Decreto-Lei n.º 102/2021, de 25 de novembro.

### 3.3.2 Energia primária total

Uma exigência identificada ao abrigo do novo regulamento nos edifícios de habitação novos foi na alteração da energia primária total ( $R_{NT}$ ), no desempenho energético, passando para  $R_{NT} \leq 0,50$ . Por sua vez, em edifícios sujeitos a grande renovação se manteve o  $R_{NT}$ .

### 3.3.3 Veículos elétricos

Uma das novidades do Decreto-Lei n.º 101-D/2020 está relacionada com o suporte a futuras infraestruturas e pontos de carregamento a veículos elétricos. Estas infraestruturas devem ser aplicadas a edifícios novos, sempre que o parque de estacionamento se encontra localizado no interior ou adjacente ao edifício. Também em edifícios sujeitos a grande renovação, sempre que o parque de estacionamento se encontra localizado no interior ou adjacente ao edifício ou as medidas de renovação incluam o parque de estacionamento ou as infraestruturas elétricas.

### 3.3.4 Coeficiente de transmissão térmica, U

Ao abrigo da Portaria n.º 138-I/2021, do Decreto-Lei n.º 101-D/2020, o coeficiente de transmissão térmica dos elementos da envolvente envidraçada novos ou renovados, em edifícios de habitação, passam a ter uma metodologia de cálculo própria, com maior detalhe na sua determinação.

Tabela 3 – Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos dos elementos da envolvente envidraçada,  $U_{w,máx}$  [ $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ].

	Zona Climática		
	I1	I2	I3
Portugal Continental:			
Edifícios de habitação	2,80	2,40	2,20
Região autónoma da Madeira:			
Edifícios de habitação	2,80	2,40	2,20
Região autónoma dos Açores:			
Edifícios de habitação	2,90	2,60	2,40

Assim, no caso de edifícios de habitação, o cumprimento do requisito do valor máximo do coeficiente de transmissão térmica, passa a ser avaliado tendo em consideração o incremento de resistência térmica, introduzido pelos dispositivos de oclusão/proteção, considerando o valor de  $U_{WDN}$ . Porém,

existem edifícios que se encontram isentos do cumprimento dos requisitos relativos aos coeficientes de transmissão térmica superficiais previstos, desde que seja garantido o cumprimento dos requisitos de conforto térmico, previsto na alínea a) do n.º 9, do artigo 6 do Decreto-Lei n.º 101-D/2020.

No caso de vãos envidraçados dotados de dispositivos de proteção, deve-se ter em conta as resistências térmicas adicionais, oferecidas pela própria proteção, e pelo respetivo espaço de ar, determinando, assim, o coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado com os dispositivos de proteção solar ativados ( $U_{WS}$ ), através da Equação 3.1. No caso de múltiplas proteções solares, por uma questão de simplificação, deve-se considerar aquela que ofereça maior resistência térmica.

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

Equação 3.1 – Coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado com os dispositivos de proteção solar ativados.

Em que,

$U_{WS}$  – Coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado com os dispositivos de proteção solar ativados  $[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})]$ ;

$\Delta R$  – Acréscimo da resistência térmica, devido ao dispositivo de proteção solar e ao espaço de ar  $[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})]$ .

O  $\Delta R$  deve ser determinado conforme as especificações das Normas EN 1325, EN 13120+A1/AC, EN 13659, EN 13561/AC, EN ISO 10077-1 e ISO/TR 52022-2, em função da permeabilidade e do tipo de proteção solar. Em alternativa recorre-se à Tabela 4.

Em situações em que o dispositivo de proteção solar, quando ativado, possua uma área de aberturas igual ou superior a 25 % da área do dispositivo, não se deve contabilizar o  $\Delta R$ .



Tabela 4 – Resistência térmica adicional devido ao dispositivo de proteção ativado

Dispositivo de proteção solar (fluxo horizontal)		$\Delta R$ [W/(m <sup>2</sup> .°C)]
Cortinas e lonas		0,08
Estore veneziano de lâminas		0,08
Persianas	Régua de madeira	0,16
	Régua metálica	0,12
	Régua plástica com preenchimento de isolante	0,19
	Régua plástica sem preenchimento de isolante	0,16
Portada	Régua	0,08
	Opaca de madeira (outras espessuras)	0,16
	Opaca de madeira com 25 a 30 mm de espessura	0,22
	Opaca de plástico com preenchimento de isolante	0,19
	Opaca de plástico sem preenchimento de isolante	0,16
	Opaca metálica	0,12

O coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado médio dia-noite ( $U_{WDN}$ ) é obtido através da média entre os coeficientes de transmissão térmica, com e sem os dispositivos de proteção solar ativados, correspondendo a metade de um dia em cada umas das situações, conforme a Equação 3.2.

$$U_{WDN} = \frac{U_W + U_{WS}}{2} \quad [\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})]$$

Equação 3.2 – Coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado médio dia-noite.

Em que,

$U_{WS}$  – Coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado com os dispositivos de proteção solar ativados [W/(m<sup>2</sup>.°C)];

$U_{WDN}$  – Coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado médio dia-noite.

As resultantes das equações anteriores são aplicáveis a vãos envidraçados verticais, com condição fronteira exterior. Nas condições em que o vão disponha de condição fronteira interior, ou se encontre na posição horizontal, é necessário efetuar a correção das resistências térmicas superficiais.

### 3.4 Requisito NZEB

Na sequência do Protocolo de Quioto e da necessidade de redução das emissões de CO<sub>2</sub>, associadas aos consumos energéticos dos edifícios na União Europeia. Foram transpostas de diretivas europeias para a legislação portuguesa, em 2006, a implementação de requisitos mínimos aplicáveis na construção de edifícios novos, ou nas obras de reabilitação em edifícios sujeitos a grande intervenção. Desde o início da década de noventa, houve o cuidado de regulamentar com vista ao conforto térmico e, à qualidade da construção em geral, bem como na redução das necessidades e dos consumos energéticos dos edifícios.

Gradualmente, os requisitos da qualidade térmica e de desempenho energético dos edifícios tem vindo a ser revistos, sendo cada vez mais exigentes, e abrangendo cada vez mais edifícios. No entanto, os requisitos, que em 2006 apenas eram aplicáveis a construção nova e grandes intervenções passaram, em 2015, a ser aplicáveis a qualquer intervenção, desde que intervencionado um componente do edifício com impacto no desempenho energético, fosse uma parede exterior ou uma janela.

Edifícios NZEB são concebidos de forma a garantirem conforto térmico aos seus utilizadores, com baixa necessidade de recorrer a equipamentos de climatização, apenas utilizando soluções construtivas otimizadas mantendo a qualidade do ar exterior. Contudo, existem zonas climáticas em que o recurso a equipamentos de climatização é essencial, ainda que reduzidos, sendo imperativo instalar equipamentos energeticamente eficientes e recorrendo, sempre que possível, a energias provenientes de fontes renováveis [2]. Posto isso, desde 1 de janeiro de 2021, que todos os edifícios novos devem ser classificados como NZEB.

Assim, o Decreto-Lei n.º 101-D/2020 alterou o requisito NZEB face aos requisitos impostos pelo Decreto-Lei n.º 118/2013, desde janeiro de 2019. De acordo com o decreto em vigor, à data no início do licenciamento, identificam-se na Tabela 5 os requisitos NZEB a que os edifícios de habitação ficam sujeitos.

Tabela 5 – Evolução dos requisitos NZEB em edifícios de habitação.

	Zona Climática	Entrada em vigor		
		Decreto-Lei n.º 118/2013		Decreto-Lei n.º 101-D/2020
		01-Jan-19	01-Jan-21	01-Jul-21
Aplicação das exigências para edifícios de necessidades quase nulas de energia em função da data	I1/ I2/ I3	Todos os edifícios novos ocupados e propriedade de uma entidade pública	Todos os edifícios novos	Todos os edifícios novos
Classe energética mínima		A	A	A
$R_{NT} \leq 0,50$		OK	OK	OK
$Ren_{HAB} \geq 0,50$		N.A.	N.A.	OK
Necessidades de arrefecimento		$N_{vc}/N_v \leq 1,00$	$N_{vc}/N_v \leq 1,00$	$N_{vc}/N_v \leq 1,00$
Necessidades de aquecimento	I1	$N_{ic}/N_i \leq 0,75$	$N_{ic}/N_i \leq 0,75$	$N_{ic}/N_i \leq 0,75$
	I2			$N_{ic}/N_i \leq 0,85$
	I3			$N_{ic}/N_i \leq 0,90$

### 3.5 Definições revistas

Neste subcapítulo enunciam-se as definições que foram revistas no âmbito do novo regulamento, identificando-se cada uma delas.

#### 3.5.1 Edifício renovado

Ao abrigo do novo Decreto-Lei n.º 101-D/2020, procedeu-se à alteração da nomenclatura de edifício sujeito a intervenção para edifício renovado.

#### 3.5.2 Espaço interior não útil

Procede à alteração da nomenclatura de espaço complementar e espaço tipo B, para espaço interior não útil. No entanto, a definição mantém-se.

### **3.5.3 Grande Renovação**

Procede à alteração da nomenclatura do edifício de grande intervenção para grande renovação. Porém, ao abrigo do novo Decreto-Lei n.º 101-D/2020, manteve-se a definição.

### **3.5.4 Potência nominal**

Ao abrigo do novo Decreto-Lei n.º 101-D/2020, procede-se à alteração da nomenclatura de potência térmica para potência nominal. Contudo, a definição manteve-se.

### **3.5.5 Marcação das envolventes**

Procede à criação de mais uma cor, associada à delimitação da envolvente em função da respetiva condição fronteira (solo), a cor ciano. No decreto anterior, esta condição fronteira era marcada a cor verde, na envolvente de marcação sem requisitos (em contato com o solo ou frações vizinhas).

## **3.6 Alteração de valores ou limites**

Neste subcapítulo enunciam-se as alterações de valores ou limites encontrados no decorrer da dissertação, efetuando-se uma breve explicação sobre cada um deles.

### **3.6.1 Taxa de renovação horária**

A atual legislação procede à alteração do valor mínimo de taxa de renovação horária (Rph), que passa de 0,4 h<sup>-1</sup> para 0,5 h<sup>-1</sup>. As renovações, que incidam na instalação/substituição dos vãos envidraçados nos espaços principais, devem assegurar:

- A instalação de soluções de admissão de ar na fachada desses espaços, que disponham de uma área livre mínima de 60 cm<sup>2</sup>, conforme previsto na Norma EN 16798-1;
- As grelhas autorreguláveis com um caudal de ar nominal não inferior a 25 m<sup>3</sup>/h para 2Pa ou 75 m<sup>3</sup>/h para 20 Pa.

### 3.6.2 Os valores dos $U_{m\acute{a}x}$

Os valores máximos ( $U_{m\acute{a}x}$ ) no caso de edifícios de habitação, também sofreram alterações, de acordo com a Tabela 6 e Tabela 7, com novos valores associados às situações em que existam constrangimentos técnicos ou funcionais.

Tabela 6 – Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos admissíveis 2018

Portugal Continental e Regiões Autónomas			Zona Climática 2018		
Tipo de elemento		Condição fronteira	I1	I2	I3
Zona corrente da envolvente	Verticais	Exterior ou interior com $b_{tr} > 0,7$	1,75	1,60	1,45
	Horizontais	Exterior ou interior com $b_{tr} > 0,7$	1,25	1,00	0,90

De acordo com a Tabela 6, nos edifícios novos devem ser promovidos os sistemas passivos, que melhoram o desempenho energético do edifício, e os respetivos valores considerados no cálculo das necessidades de energia. Assim, este regulamento promove medidas de melhoria da eficiência da envolvente opaca, através de uma envolvente com isolamento ótimo, obtendo com menor custo, um desempenho melhor.

Nenhum elemento da zona corrente da envolvente (horizontal e vertical como coberturas, pavimentos e paredes) deve ter um U superior aos valores máximos de  $U_{m\acute{a}x}$ .

Tabela 7 – Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos admissíveis 2021

Portugal Continental e Regiões Autónomas			Zona Climática 2021		
Tipo de elemento		Condição fronteira	I1	I2	I3
Zona corrente da envolvente	Verticais	Exterior ou interior com $b_{ztu} > 0,7$	1,70	1,50	1,40
	Horizontais	Exterior ou interior com $b_{ztu} > 0,7$	1,25	1,00	0,90

Com a implementação do novo regulamento houve um ajuste nos valores da zona climática, como se pode verificar em ambas as tabelas, em suma, esta melhoria promove um melhor desempenho energético em relação ao anterior regulamento.

## **4. CASO DE ESTUDO**

### **4.1 Apresentação do caso de estudo**

Neste Capítulo, pretende-se avaliar qual a influência da alteração das exigências e das metodologias de cálculo do novo regulamento, por comparação com o anterior, relativamente ao desempenho termo energético de um edifício de habitação. Pretende-se com esta análise, que seja possível efetuar a comparação dos consumos energéticos estimados com ambos os regulamentos. Para tal, foi utilizado, como caso de estudo, um edifício de habitação unifamiliar, a construir, situado na cidade do Porto.

#### **4.1.1 Análise do entorno e clima**

O edifício em estudo localiza-se no concelho do Porto, mais especificamente na união de freguesias de Lordelo do Ouro e Massarelos, a cerca de 6 m de altitude, em relação ao nível do mar. A envolvente espacial do edifício é caracterizada por um ambiente urbano, sem obstruções do horizonte provocadas por edifícios adjacentes. De salientar que este edifício se encontra localizado a menos de 100 m da margem do rio Douro e a menos de 5 quilómetros do mar.

De acordo com Despacho n.º 15793-F/2013, do Decreto-Lei n.º 118/2013, o local pertence à região III (Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos) e zona climática de inverno I1. O clima do concelho é em geral ameno, de invernos frescos, com precipitação e céu parcialmente encoberto, e verões secos de céu, quase sem nuvens.

Para obter o ficheiro climático do local, foi utilizada a folha de cálculo do LNEG, que se encontra no Anexo I – Folha de Cálculo "Anos meteorológicos de referência para simulação dinâmica". Para se conhecer melhor o clima desta região, foi estudado qual o perfil da temperatura de bolbo seco, da radiação direta e da radiação difusa, ao longo do ano.

A Figura 10 tem representadas as temperaturas máximas e mínimas de cada dia, ao longo de um ano civil. Assim podemos observar que a temperatura é, como seria de esperar para Portugal, mais elevada nos meses combinados entre maio a setembro, não ultrapassando os 33°C, uma vez que se trata de um clima ameno. Na estação de Inverno chega a atingir os 2°C, apesar da temperatura média ser de aproximadamente 21°C. Quanto às amplitudes térmicas diárias, a mais baixa registada chega a 10°C (janeiro), por outro lado a mais elevada não chega a 22°C (julho). Observando, pode-se concluir que a temperatura se situa, na maior parte do ano entre 10°C a 19°C. A destacar a gama de temperaturas

compreendidas entre 20 e 25°C, que contribui positivamente para a possibilidade de obtenção de conforto térmico, sem necessidade de recurso a sistema de climatização.

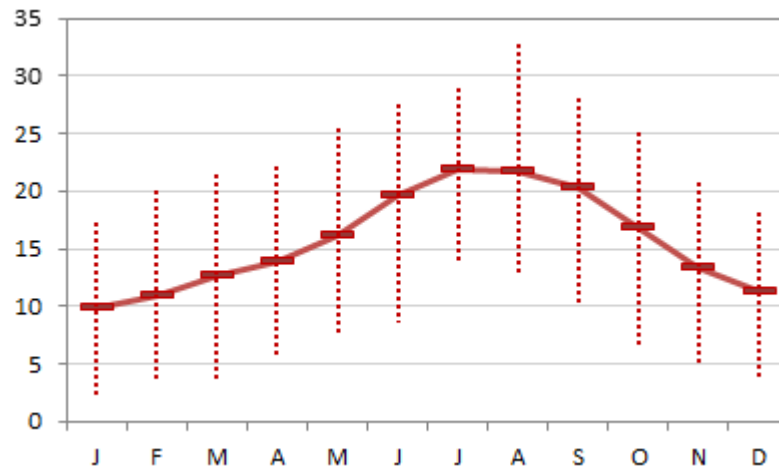


Figura 10 – Perfil de temperatura exterior máxima e mínima (média diária em °C) (Fonte: LNEG).

Tal como a temperatura exterior, o tipo de radiação solar a que o edifício vai estar sujeito (radiação direta ou radiação difusa) e, conseqüentemente, a percentagem de nebulosidade que o determina, também é uma variável extremamente relevante, que influencia diretamente o desempenho energético dos edifícios. Tendencialmente, num dia sem nebulosidade, a componente direta da radiação solar é a mais significativa para o aumento dos ganhos solares. Contudo, em dias nublados, também a radiação difusa e a refletida por outras superfícies são importantes para o aumento desses ganhos.

Assim, a radiação solar afeta o conforto térmico dos ocupantes, uma vez que no inverno há um ganho de calor, que pode ser aproveitado para aquecer os espaços. No verão, geralmente, a temperatura interna aumenta, sendo necessário ser controlada através de sombreamento nas janelas, proteções solares (como toldos e telheiros) ou sistemas de arrefecimento (passivos ou ativos).

A Figura 11 representa a média diária mensal da radiação solar direta e difusa no concelho do Porto, tendo o seu pico no mês de julho e o seu valor mínimo no mês de dezembro.

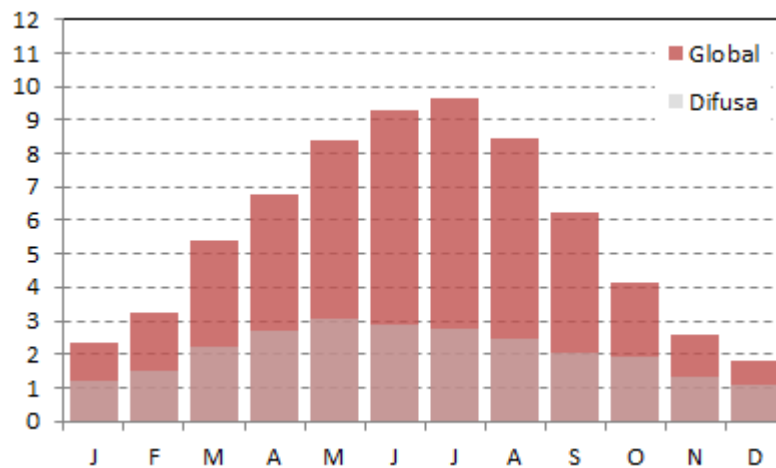


Figura 11 – Irradiação solar mensal, média diária (kWh/m<sup>2</sup>) (Fonte: LNEG).

#### 4.1.2 Orientação e envidraçados

Sempre que a implantação do edifício o permita, em termos de orientação, e para se conseguir uma maior superfície exposta à radiação solar direta, a face de um edifício orientada a sul, deve ser sempre mais longa que as orientadas a nascente e poente [29]. Num clima como o de Portugal, é esta orientação que mais otimiza os ganhos solares ao longo de todo o ano. Uma vez que os ângulos de incidência de radiação são diferentes no inverno e no verão. A orientação a sul permite beneficiar tanto uma estação como a outra. Contudo, no inverno, uma vez que o percurso do sol se efetua para azimutes muito próximos do sul geográfico, os raios solares conseguem entrar através dos vãos envidraçados, contribuindo assim para o aquecimento dos espaços interiores. Por outro lado, uma vez que no verão o percurso do sol é mais próximo do zénite, apresenta um ângulo de incidência com o normal de valor mais elevado, o que combinado com um adequado sombreamento solar, não permitem que os raios penetrem os vãos, minimizando o aumento da temperatura interior [30]. Assim, tanto a sala como os dois quartos são orientados a sudoeste, uma vez que se deve privilegiar esta orientação para as divisões onde os ocupantes passam mais tempo numa habitação familiar.



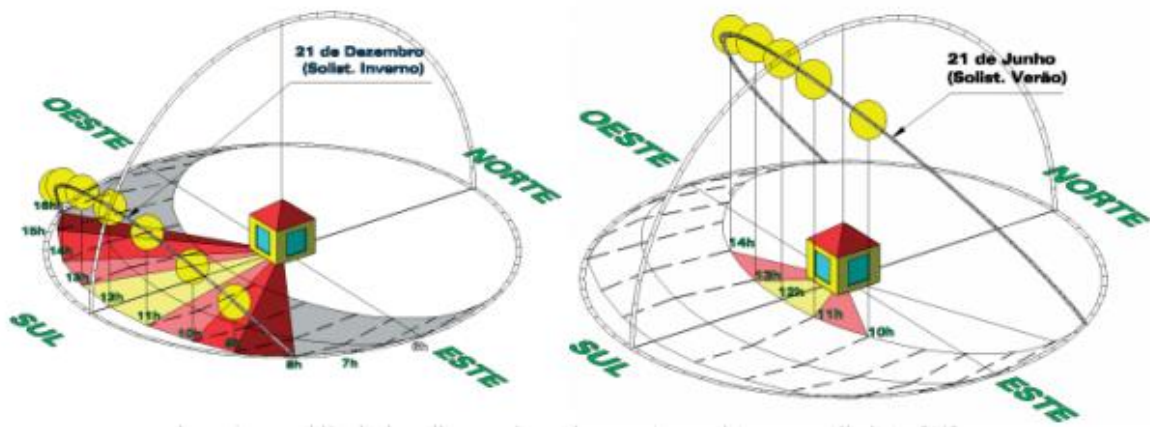


Figura 12 – Incidência da radiação solar no inverno (esquerda) e verão (direita) (Fonte: F. Moita,2014).

Quanto à cozinha, um quarto e quarto/escritório, estão orientadas a noroeste, sendo a fachada mais problemática num edifício, em termos de radiação solar, e a mais fria, uma vez que no inverno recebe pouca radiação direta e no verão recebe uma pequena quantidade, no período da manhã.

Quanto aos vãos envidraçados, estão distribuídos, tanto a sudoeste e nordeste da habitação, como demonstra a Figura 13 e Figura 14. Contudo, a sudoeste têm mais ganhos solares no inverno, sendo necessário no verão existir sombreamento, de forma a evitar o sobreaquecimento, o que está contemplado no caso de estudo.



Figura 13 – Fachada sudoeste da habitação



Figura 14 – Fachada nordeste da habitação

#### **4.1.3 Proteções solares e vegetação**

A habitação em estudo dispõe de superfícies envidraçadas, essencialmente a sudoeste, a utilização de sombreadores torna-se útil, permitindo controlar não só a intensidade luminosa, como impedindo o excesso de radiação solar no interior. Os dispositivos de sombreamentos interiores podem contribuir para um aquecimento adicional do ambiente interior, por aquecimento do próprio dispositivo devido à sua absorção solar, sendo recomendado a sua colocação fora do edifício, ou então um recuo dos envidraçados, porém, perde-se espaço útil de utilização. No caso do sombreamento interior, este será providenciado por uma caixa de estore de cor clara, aplicada no interior das janelas exteriores. Permitindo assim um controlo no que toca à entrada de ganhos solares, maior privacidade e ao mesmo tempo possibilita a entrada de luminosidade natural.

A vegetação, desprezada por muitos, é um elemento de grande importância, pois regulariza e equilibra as condições climáticas extremas, podendo ser consideradas um elemento de sombreamento. Porém, tem de se ter em conta, não só as características, da folhagem persistente e muito densa, como também o pequeno ou grande porte, ser o mais apropriado para a construção de barreiras protetoras dos ventos fortes. Por outro lado, a vegetação de folha caduca dá um bom contributo natural à regulação periódica anual da quantidade de radiação solar nas fachadas, que se pretende que seja elevada no inverno e nula no verão [29]. Neste projeto a vegetação não será tida em conta, uma vez que a fachada a sudoeste se encontra à face do passeio pedonal, esta foi desprezada durante a análise do comportamento térmico da habitação.

#### **4.1.4 Caracterização física do edifício**

O edifício é servido por uma estrada marginal, tendo a fachada principal orientada a sudoeste e a posterior orientada a nordeste. Tem uma área útil de 365,46 m<sup>2</sup>, com um pé direito médio ponderado de 2,32 m, para um volume total útil de 333 m<sup>3</sup>.

O edifício, de tipologia T4, possui 5 pisos, todos acima do solo: o piso zero é constituído por vários compartimentos, tais como: uma lavandaria, uma garagem, um átrio de entrada e um hall de piso; no primeiro piso encontram-se: um escritório/quarto, um hall de piso, um pátio exterior, duas casas de banho e outro quarto; no segundo piso encontram-se: uma sala, uma casa de banho, uma cozinha e um passadiço exterior, que dá acesso ao logradouro; o terceiro piso é constituído por: dois quartos, um hall de piso, e duas casas de banho; por fim, no quarto e último piso, encontra-se o acesso ao terraço, onde se encontram o hall de piso e circulação. Para uma melhor perceção do referido, apresentam-se

as plantas do edifício da Figura 15 à Figura 19. Os alçados na Figura 21 e Figura 22 e os cortes da Figura 23 à Figura 25.

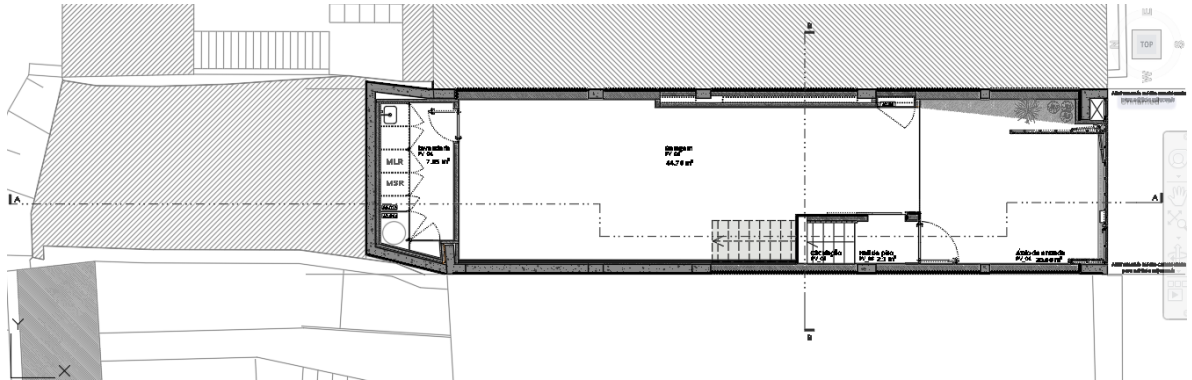


Figura 15 – Planta de piso 0

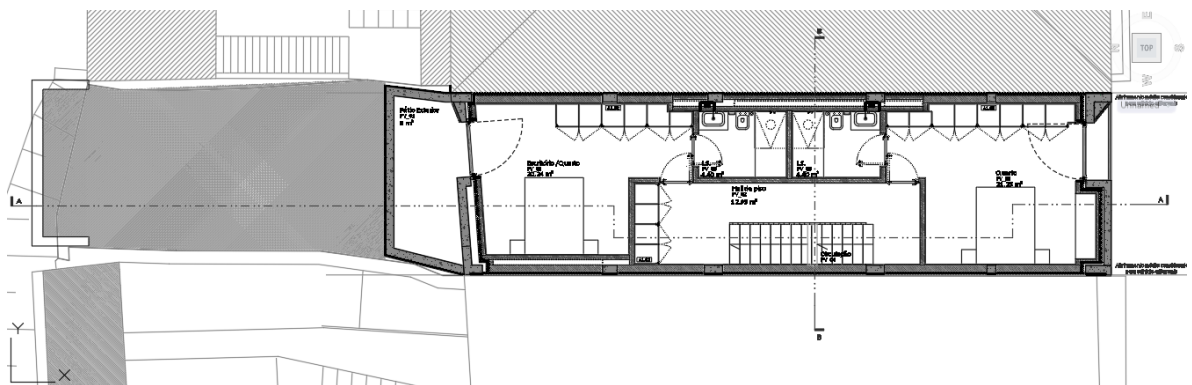


Figura 16 – Planta de piso 1

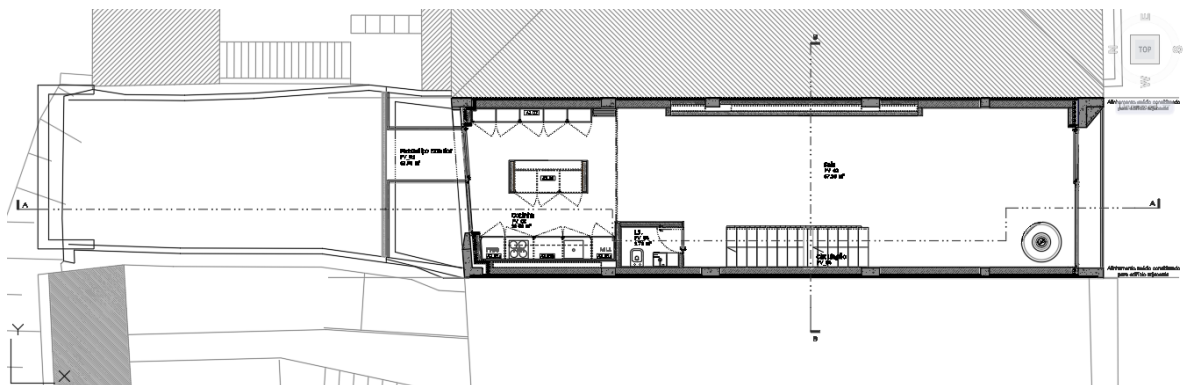


Figura 17 – Planta de piso 2

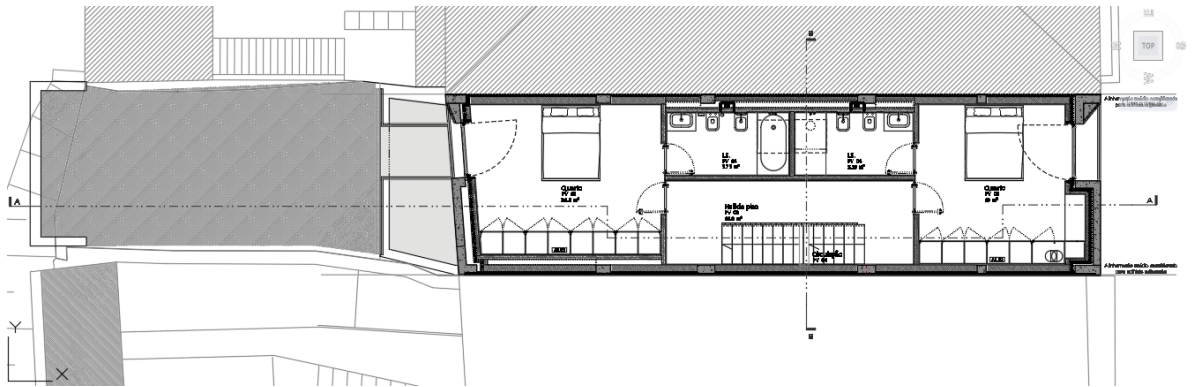


Figura 18 – Planta de piso 3

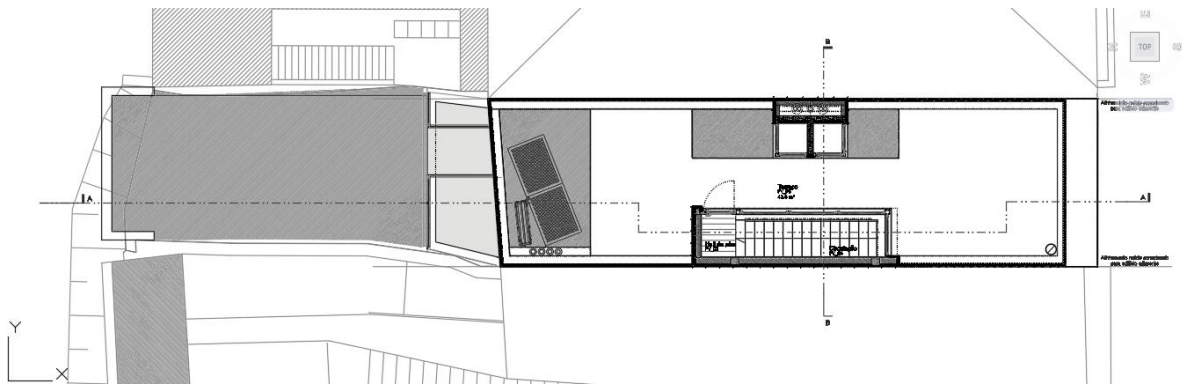


Figura 19 – Planta de piso 4

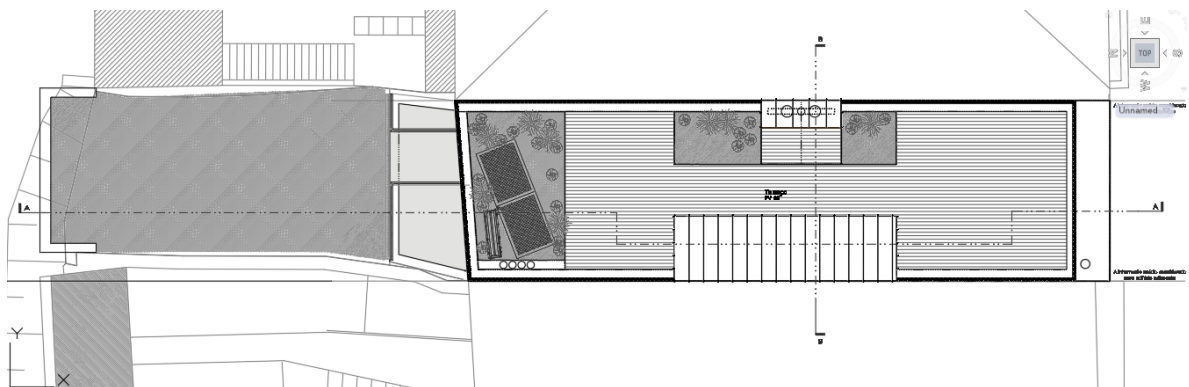


Figura 20 – Planta de cobertura



Figura 21 – Alçado sudoeste



Figura 22 – Alçado nordeste

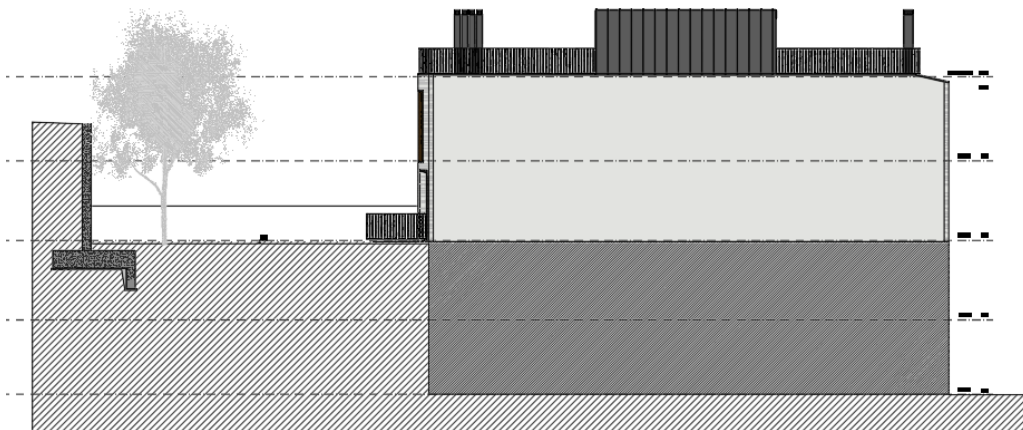


Figura 23 – Corte A



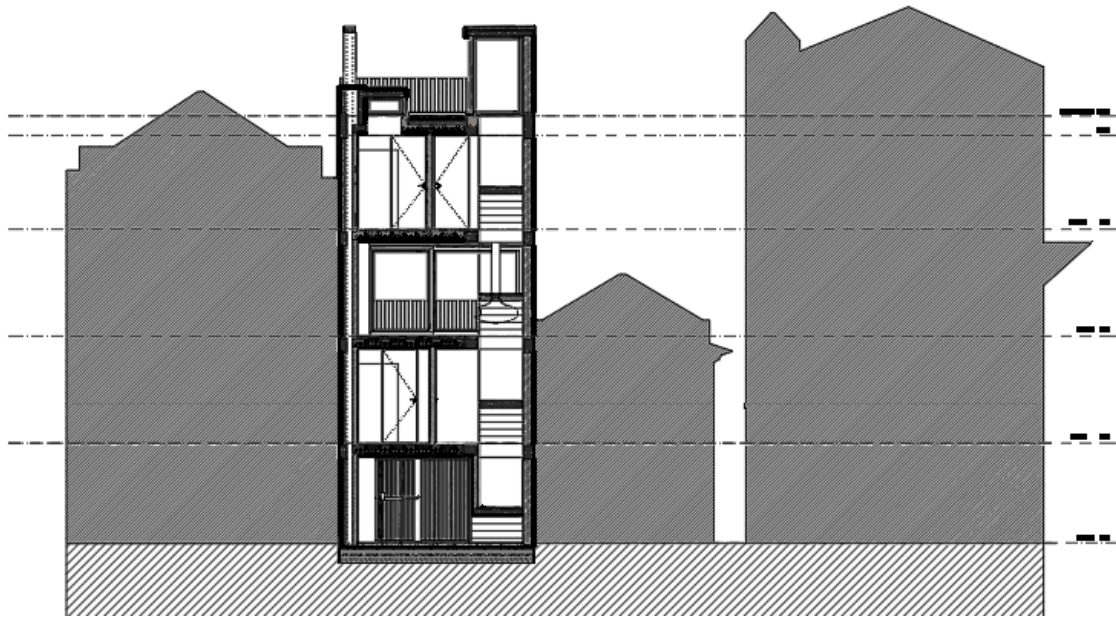


Figura 24 – Corte B

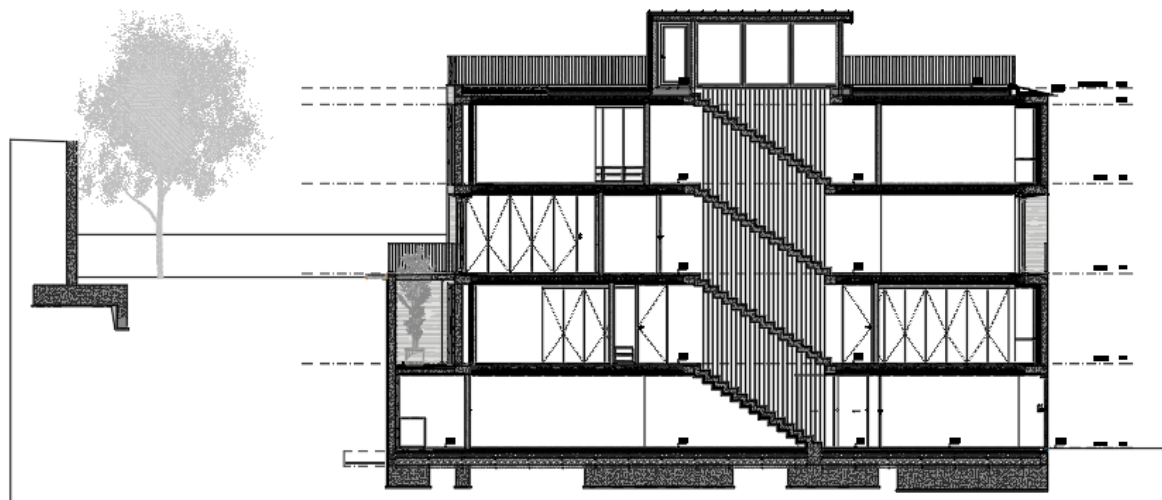


Figura 25 – Corte A-

#### 4.1.5 Enquadramento Climático

O enquadramento climático baseia-se na nomenclatura das Unidades Territoriais para fins Estatísticos (NUTS) de nível III, cuja constituição dos municípios tem por base o Decreto-Lei n.º 68/2008, de 14 de abril de 2008, entretanto alterado pelo Decreto-Lei n.º 85/2009, de 3 de abril, e pelo Decreto-Lei n.º 21/2010, de 23 de agosto. A constituição destes municípios enquadra a cidade do Porto no NUTS III do grande Porto, conforme a Tabela 01 do Despacho n.º 15793F, de 2013.

De acordo com o referido despacho do regulamento do REH, Portugal Continental, estão definidas três zonas climáticas de inverno (I1, I2, I3) e três zonas climáticas de verão (V1, V2, V3), para aplicação de requisitos de qualidade térmica da envolvente, conforme pode ser constatado pela Tabela 8.

De salientar que, de acordo com a rugosidade da envolvente, onde o edifício se insere, classifica-se como Rugosidade II, conforme a Tabela 5 do Decreto-Lei n.º 101-D/2020, de 7 de dezembro.

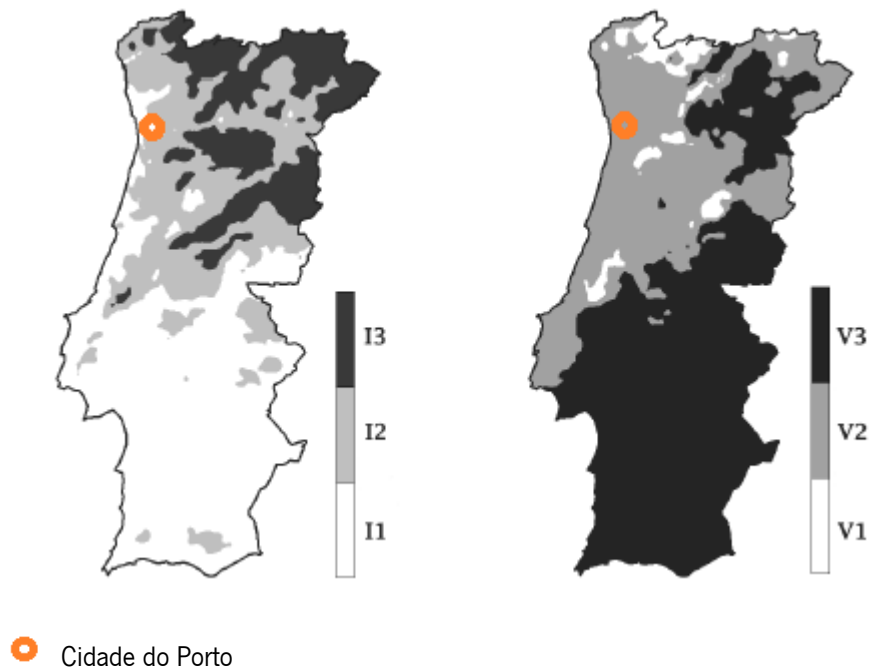


Figura 26 – Portugal Continental. Zonas climáticas de inverno e verão. (Fonte: Despacho n.º 15793F, 2013)

As zonas climáticas de inverno são definidas a partir do número de graus-dias (GD), da base média de referência de 18°C, correspondente à estação convencional de aquecimento, conforme poderá ser consultado pela Tabela 8.

Tabela 8 – Critérios para a determinação da zona climática de inverno

Critério	$GD \leq 1300$	$1300 < GD \leq 1800$	$GD > 1800$
Zona	I1	I2	I3

As zonas climáticas de verão são definidas a partir da temperatura média exterior correspondente à estação convencional de arrefecimento ( $\theta_{ext,v}$ ), conforme está explícito na Tabela 9.

Tabela 9 – Critérios para a determinação da zona climática de verão

Critério	$\theta_{ext,v} \leq 20^{\circ}\text{C}$	$20^{\circ}\text{C} < \theta_{ext,v} \leq 22^{\circ}\text{C}$	$\theta_{ext,v} > 22^{\circ}\text{C}$
Zona	V1	V2	V3



Tanto no critério para a determinação da zona climática de inverno, como de verão, os valores de cálculo não sofreram alterações perante o novo regulamento.

#### 4.1.6 Parâmetros Climáticos

Os valores dos parâmetros climáticos ( $X$ ) associados a um determinado local, são obtidos a partir de valores de referência ( $X_{REF}$ ), para cada NUTS III, e ajustados com base na altitude desse local, ( $z$ ) ( Despacho n.º 15793F, 2013).

As correções de altitude referidas são do tipo linear, com declive ( $\alpha$ ), proporcionais à diferença entre a altitude do local e uma altitude de referência ( $Z_{REF}$ ). para a NUTS III, segundo a Equação 4.1.

$$X = X_{REF} + \alpha (z - Z_{REF})$$

$$X = X_{REF} + \alpha (z - Z_{REF})$$

Equação 4.1 – Cálculo dos parâmetros climáticos.

Para classificar uma zona de inverno, é necessário atender a parâmetros climáticos pertinentes à estação de aquecimento, que são os seguintes:

$GD$  – Número de gaus-dias, na base de 18°C, correspondente à estação convencional de aquecimento;

$M$  – Duração da estação de aquecimento (meses);

$\theta_{ext,i}$  – Temperatura exterior média do mês mais frio da estação de aquecimento (°C);

$G_{sul}$  – Energia solar média mensal durante a estação, recebida numa superfície vertical orientada a sul (kWh/m<sup>2</sup>.mês).

Portanto, com base dos valores de referência e declive para ajustes em altitude tabelados ( Despacho n.º 15793F, 2013, Tabela 04), procede-se ao cálculo do número de graus-dias para a estação de aquecimento. Assim, estes valores podem ser consultados na Tabela 10.

Tabela 10 – Cálculo do número de graus dia estação aquecimento (inverno)

Estação de Aquecimento (inverno)	
Número de Graus-Dias (GD) $-X$ (°C)	
$X_{REF}$ (°C)	1250
$a$ (mês/m)	1,6
$z$ (m)	6
$Z_{REF}$ (m)	94
$X$ (°C)	1109,2

Verifica-se, pela Tabela 10, que o cálculo obtido para o número de graus dias, enquadra-se entre os valores de referência da zona climática de inverno, I1.

Para poder classificar-se a zona de verão é necessário atender a parâmetros climáticos, que dizem respeito à estação de arrefecimento, sendo estes:

$L_v$  – Duração da estação de aquecimento, sendo consideradas 4 meses ou 2928 horas;

$\theta_{ext,v}$  – Temperatura exterior média (°C);

$I_{sol}$  – Energia solar acumulada durante a estação, recebida na horizontal (inclinação 0°) e em superfícies verticais (inclinação 90°), para os quatro pontos cardeais e os quatro colaterais (kWh/m<sup>2</sup>).

Assim, com base dos valores de referência e declive para ajustes em altitude tabelados (Despacho n.º 15793F, 2013, Tabela 04), procede-se ao cálculo da temperatura média exterior, correspondente à estação convencional de arrefecimento ( $\theta_{ext,v}$ ). Estes valores podem-se consultar na Tabela 11.

Tabela 11 – Cálculo da temperatura média exterior estação de arrefecimento (verão)

Estação de Arrefecimento (verão)	
Temperatura Exterior Média ( $\theta_{ext,v}$ ) $-X$ (°C)	
$X_{REF}$ (°C)	20,9
$a$ (mês/m)	0
$z$ (m)	6
$Z_{REF}$ (m)	94
$X$ (°C)	20,9

Obteve-se, para a temperatura exterior média, o valor de 20,9 (°C), conforme a Tabela 11, assim sendo, enquadra-se e classifica-se, segundo a Tabela 9, como zona climática de verão V2.

A forma de cálculo para se obter os valores calculados são as mesmas comparando os regulamentos.

#### 4.1.7 Caracterização dos Espaços e Envolventes

O edifício é constituído por espaços úteis e não úteis. Assim, para se proceder à sua caracterização recorreu-se à definição do Decreto-Lei n.º 118/2013, particularmente:

"Espaço interior útil", o espaço com condições de referência no âmbito do REH, compreendendo que, para efeito de cálculo das necessidades energéticas, se pressupõem aquecidos ou arrefecidos de forma a manter uma temperatura interior de referência de conforto térmico, incluindo os espaços que, não sendo usualmente climatizados, tais como arrumos interiores, despensas, vestíbulos, ou instalações sanitárias, devem ser considerados espaços com considerações de referência.

"Espaços não úteis" é considerado o conjunto dos locais fechados, fortemente ventilados ou não, não se destinam à ocupação humana em termos permanentes e, portanto, em regra, não são climatizados. Estão incluídos aqui armazéns, garagens, sótãos e caves não habitados, circulações comuns a outras frações autónomas do mesmo edifício.

Tendo em conta as definições anteriores, representam-se nas Figura 27 à Figura 31, os espaços úteis e não úteis, através de duas tramas com cores, conforme a legenda, sobre a planta de cada piso do edifício.

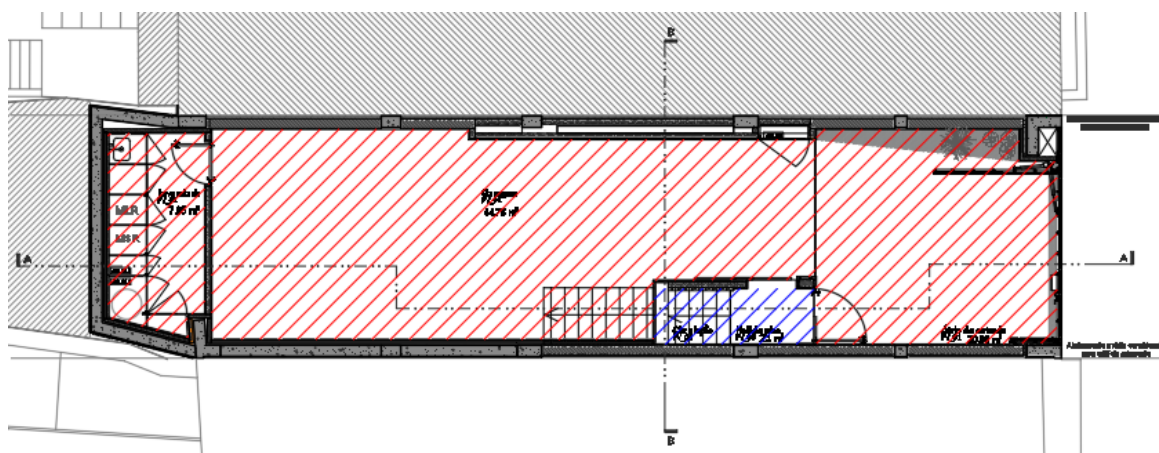


Figura 27 – Piso 0, espaços úteis e não úteis

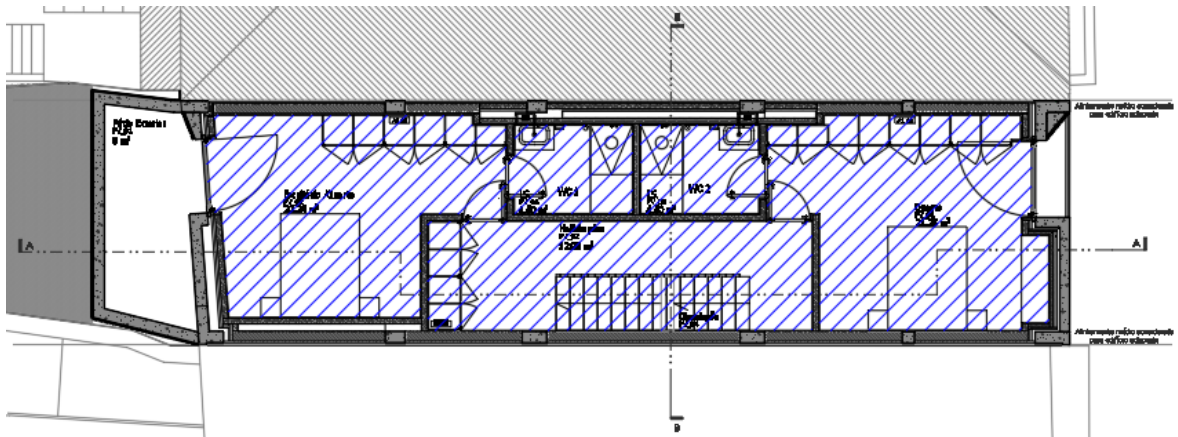


Figura 28 – Piso 1, espaços úteis e não úteis

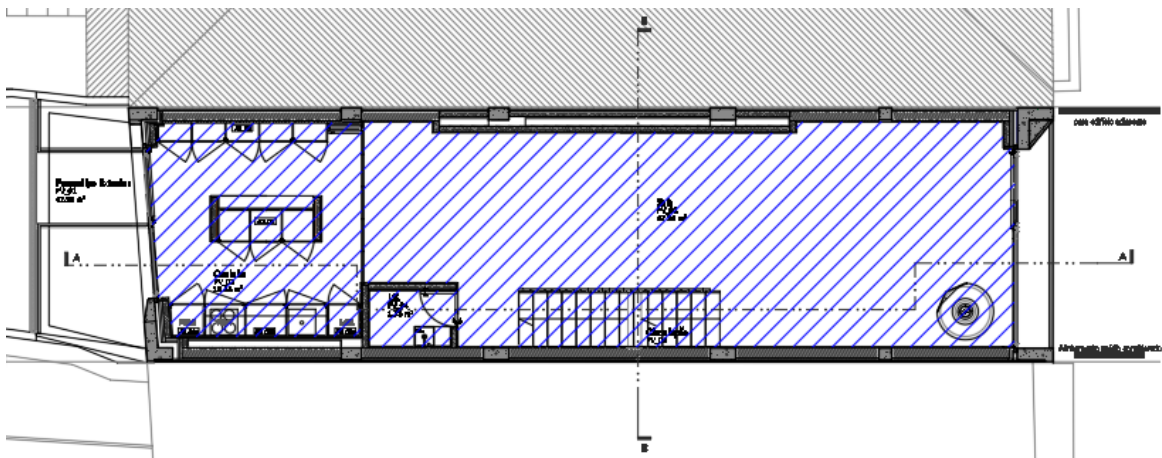


Figura 29 – Piso 2, espaços úteis e não úteis

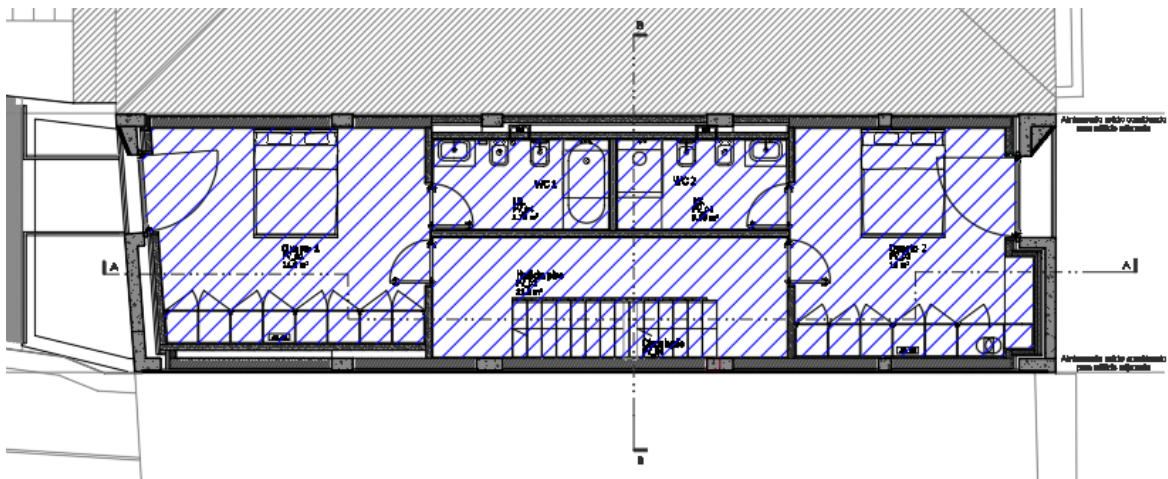


Figura 30 – Piso 3, espaços úteis e não úteis

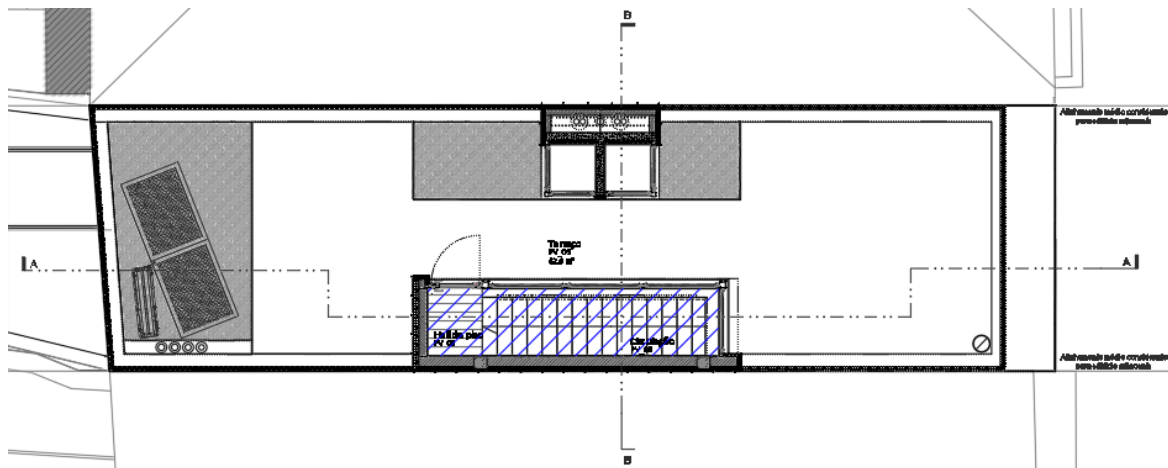



Figura 31 – Piso 4, espaços úteis e não úteis






Legenda:

-  Espaços úteis
-  Espaços não úteis

"Envolvente", o conjunto de elementos de construção do edifício ou fração, compreendendo as paredes, pavimentos, coberturas e vãos, que separam o espaço interior útil do ambiente exterior, dos edifícios ou frações adjacentes, dos espaços não úteis e do solo, sendo que a delimitação da envolvente térmica do edifício, no caso de contato entre espaços, obriga à definição do coeficiente de redução de perdas de todos os espaços não úteis (ENU).

As cores para marcação da envolvente abrangem especificações de acordo com a Tabela 12, perante a legislação em vigor no Decreto-Lei n.º 101-D/2020:

Tabela 12 – Cores para marcação da envolvente (Fonte: Manual SCE).

Código de cores (RGB)	Condição fronteira
 Vermelho (255,0,0)	Exterior
 Amarelo (255,255,0)	Interior com $b_{ztu} > 0,7$
 Azul (0,0,255)	Interior com $b_{ztu} \leq 0,7$
 Verde (0,255,0)	Sem trocas térmicas
 Ciano (0,255,255)	Solo

A separação do espaço útil com o exterior é considerada envolvente exterior, é representada pela cor vermelha. Esta envolvente tem requisitos mínimos a respeitar, tendo em consideração parâmetros de transmissão térmica, como o coeficiente  $Umáx$ , transmissão térmica superficial máximo admissível de elementos opacos e para o fator solar de vãos envidraçados,  $gTmáx$ . À luz do anterior regulamento, a tabela 1.05 B, encontrava-se na Portaria 349 B, atualmente encontra-se no Decreto-Lei n.º 101-D/2020.

No caso, em que a envolvente se refira a uma separação entre um espaço útil e um espaço não útil, esta é considerada uma envolvente interior. A envolvente interior pode ter duas designações:

- Envolvente interior com requisitos de exterior;
- Envolvente interior sem requisitos.

Sendo estas, dependentes do coeficiente de redução de perdas,  $b_{tr} / b_{ztu}$ .

O coeficiente de redução de perdas é um coeficiente que varia entre 0 e 1. Sendo condicionado pelo grau de ventilação do espaço que se está a considerar, pelo volume e pelas áreas de contacto entre espaços úteis e não úteis, assim diferencia-se trocas de calor do interior para o exterior, de trocas de calor do interior para interior, afetando o parâmetro redutor de perdas. Traduzindo uma redução na transmissão de calor. No coeficiente de redução de perdas pode ser utilizada tanto uma designação  $b_{tr}$  como a designação  $b_{ztu}$ , dado que não houve alteração da forma como este parâmetro é calculado.

Para a quantificação das trocas térmicas, por um elemento com condições fronteira interior, são necessárias as temperaturas de dois ambientes separados por esta. Uma vez que a definição da temperatura de um espaço interior não útil não é imediata, por isso, deve-se determinar com base na Norma EN ISO 13789, através da determinação do coeficiente de redução ( $b_{tr}$ ), obtido pela Equação 4.2.

$$b_{tr} = \frac{\theta_{int} - \theta_{enu}}{\theta_{int} - \theta_{ext}}$$

Equação 4.2 – Cálculo do coeficiente de redução.

Em que,

$\theta_{int}$  – Temperatura inferior (°C);

$\theta_{ext}$  – Temperatura ambiente exterior (°C);

$\theta_{enu}$  – Temperatura do local não útil (°C).

Na impossibilidade de conhecer, com precisão, o valor da temperatura do espaço interior não útil, deve o  $b_{ztu}$  assumir valores indicados na Tabela 22, do Despacho n.º 15793K, 2013, em função da taxa de renovação do ar, da razão entre  $A_i/A_u$ .

Tabela 13 – Coeficiente de redução de perdas de espaços não úteis

$b_{ztu}$	$v_{enu} \leq 50 \text{ m}^3$		$50 \text{ m}^3 < v_{enu} \leq 200 \text{ m}^3$		$v_{enu} > 200 \text{ m}^3$	
	$f$	$F$	$f$	$F$	$f$	$F$
$A_i/A_u < 0,5$	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 de todas as frações da habitação, que separam os respetivos espaços interiores úteis, do espaço interior não útil ( $\text{m}^2$ );

$A_u$  – Somatório das áreas dos elementos, que separam o espaço interior não útil, do ambiente exterior ( $\text{m}^2$ );

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

$f$  – Espaço não útil, que tem todas as ligações entre elementos bem vedadas, sem aberturas de ventilação permanentemente abertas;

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

Alternativamente, à determinação do  $b_{ztu}$ , conforme a Tabela 13, com exceção dos edifícios novos e adjacentes, pode este assumir um valor igual a 0,8. Para efeitos da avaliação DEE, o uso desta simplificação num determinado espaço implica que, a mesma seja aplicada a todos os espaços caracterizados por um  $b_{ztu}$ , conforme o novo regulamento.

Os valores de cálculo do coeficiente de redução de perdas, para cada espaço não útil, estão representados na Tabela 14.

Tabela 14 – Determinação do Coeficiente de redução de perdas,  $b_{ztu}$

Identificação do ENU	Área (m <sup>2</sup> )	Pé direito (m)	Volume (m <sup>3</sup> )	$A_i$ (m <sup>2</sup> )	$A_u$ (m <sup>2</sup> )	$A_i/A_u$	Caracterização	$b_{ztu}$
							( $f$ ou $F$ )	
Lavandaria	7,85	2,18	17,11	7,85	17,23	0,46	$f$	1,0
Garagem	44,76	2,18	97,58	44,76	53,67	0,83	$f$	0,8
Átrio entrada	20,96	2,18	45,70	20,96	31,03	0,68	$f$	0,7

Se o coeficiente de redução de perdas de um dado espaço não útil, que está em contato com um espaço útil, for superior a 0,7 valores, então a envolvente é considerada, uma envolvente interior com requisitos de exterior, sendo representada pela cor amarela, e tendo que obedecer aos parâmetros térmicos referidos anteriormente, que podem ser consultados através da Tabela 14. No entanto, a envolvente pode estar em contato com o solo, estando assim isenta de condicionantes, do ponto de vista térmico, sendo esta representada pela cor verde.

Em seguida apresentam-se os espaços não úteis do edifício adjacente, assim com o cálculo do seu volume e áreas em contato com espaços aquecidos.

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,  $b_{ztu} = 0,6$ , segundo o Despacho n.º 15793K, 2013.

Adotando a convenção definida anteriormente, as seguintes Figura 32 a Figura 38, destacam a marcação da envolvente para o caso em estudo.

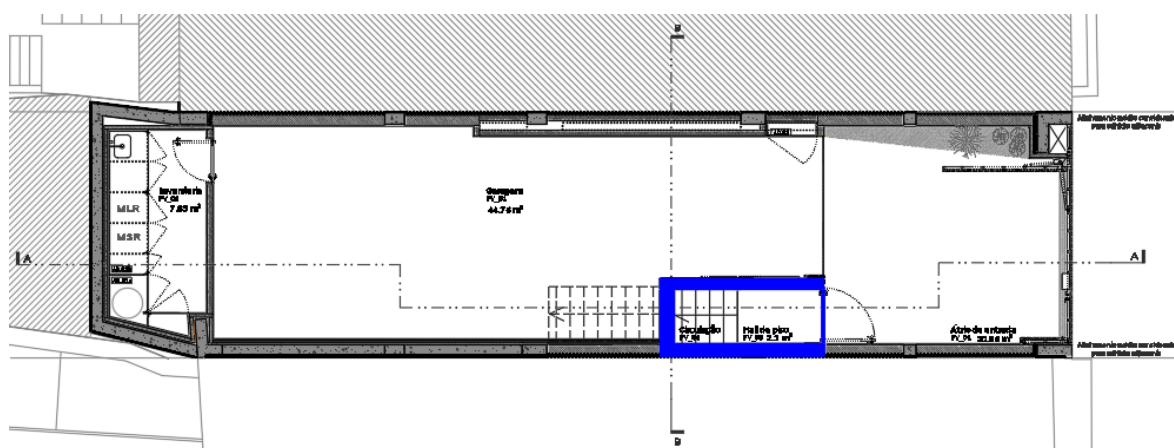


Figura 32 – Planta piso 0, envolvente



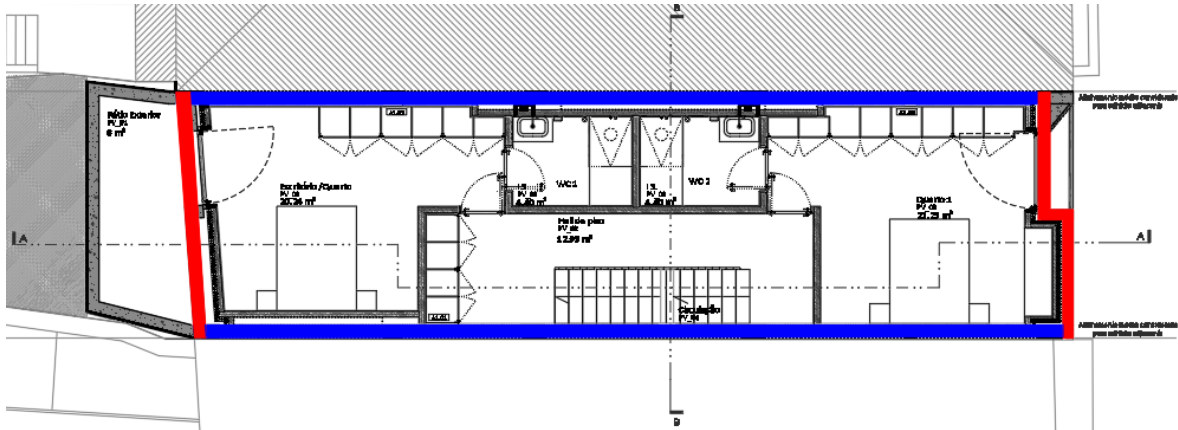


Figura 33 – Planta piso 1, envoltente

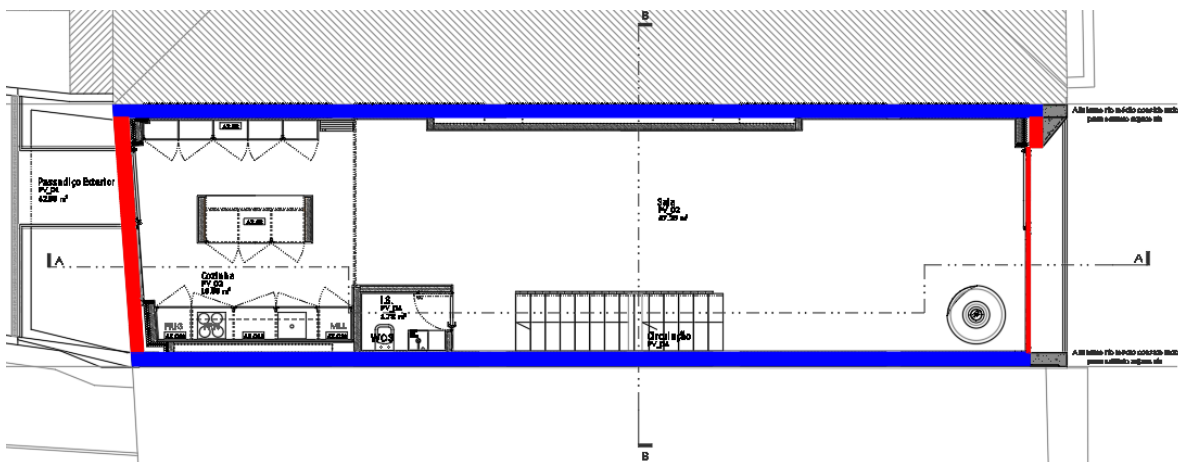


Figura 34 – Planta piso 2, envoltente

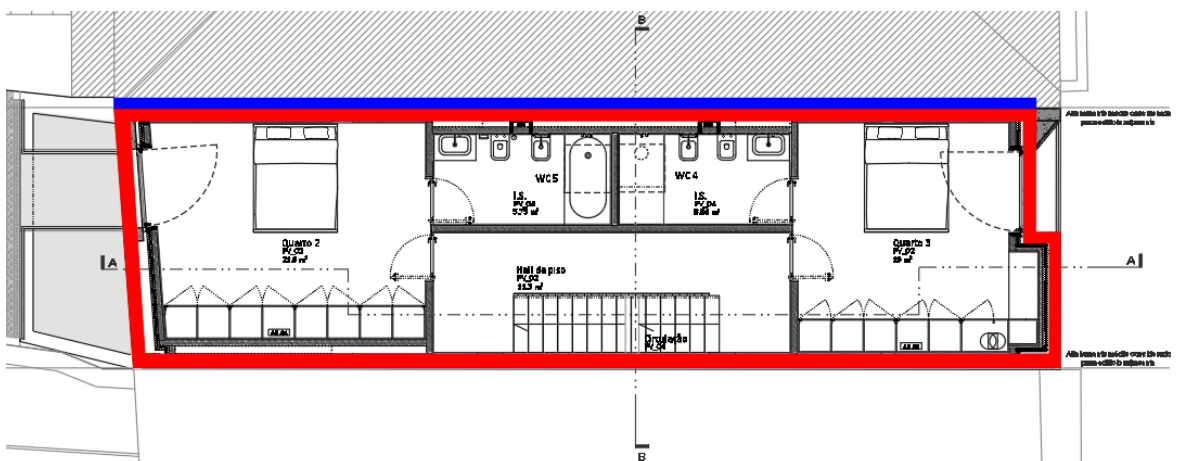


Figura 35 – Planta piso 3, envoltente

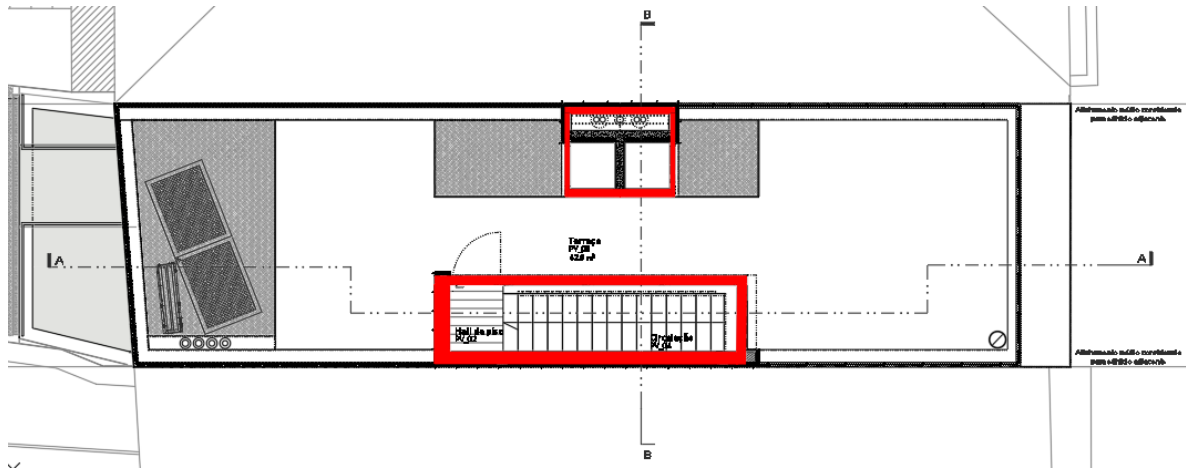


Figura 36 – Planta piso 4, envoltura

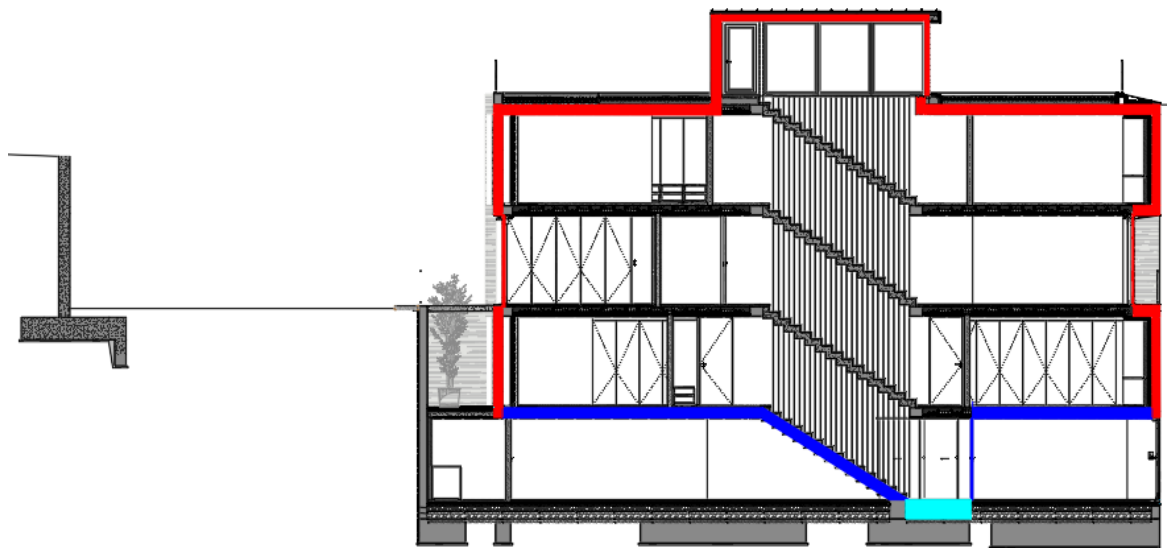


Figura 37 – Corte A, envoltura

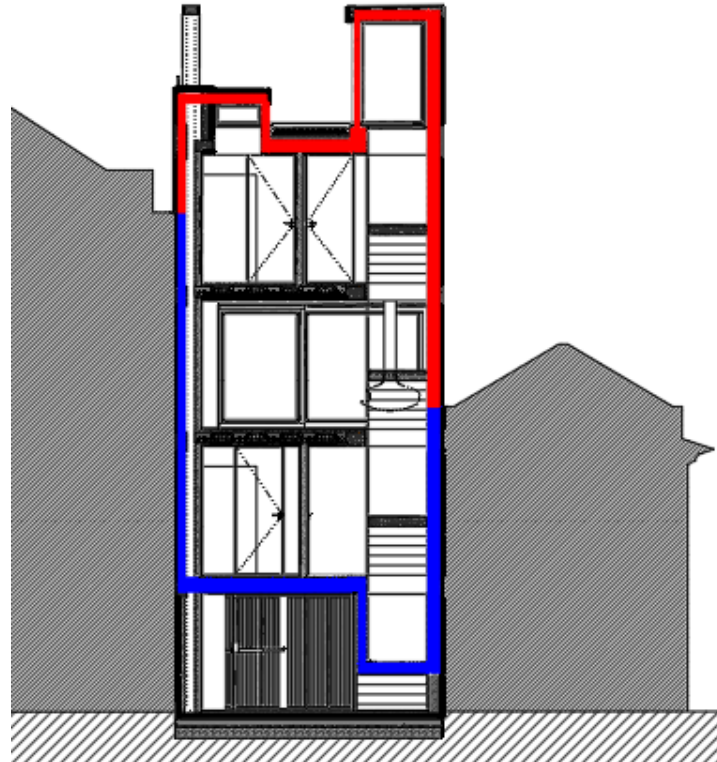





Figura 38 – Corte B, envoltente

Legenda:

-  Condição fronteira interior com requisitos de exterior
-  Condição fronteira exterior
-  Condição fronteira solo

#### 4.1.8 Parâmetros de caracterização térmica

De acordo com o estabelecido em ambos os regulamentos, é necessário verificar se a solução proposta para a envoltente da habitação, cumpre os requisitos térmicos mínimos e, se é adequada para garantir o balanço energético pretendido.

Os princípios de cálculo do coeficiente de transmissão térmica dos elementos opacos de componentes e elementos do edifício da habitação são:

- Os elementos que envolvem as transferências de calor para o solo;
- Os elementos de preenchimento de fachada-cortina e vãos envidraçados, compreendendo portas e janelas;
- Os elementos permeáveis ao ar.

O cálculo destes requisitos é feito através da Equação 4.3 apresentado pelo regulamento REH (Despacho n.º 15793K, 2013).

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_j R_j + R_{se}}$$

Equação 4.3 – Cálculo do coeficiente de transmissão térmica dos elementos opacos de componentes.

Em que,

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

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

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

Os valores para a resistência térmica superficial interior e exterior tendo em conta o fluxo de calor, podem ser consultados na Tabela 01, do Despacho n.º 15793K, 2013, que foi transcrita na Tabela 15.

Tabela 15 – Valores das resistências térmicas superficiais,  $R_{se}$  e  $R_{si}$ .

Sentido do fluxo de calor		Resistência térmica superficial ( $m^2 \cdot ^\circ C/W$ )	
		Exterior $R_{se}$	Interior $R_{si}$
Horizontal		0,04	0,13
Vertical	Ascendente	0,04	0,10
	Descendente	0,04	0,17

A resistência de cada elemento é calculada através da seguinte Equação 4.4.

$$R = \frac{e}{\lambda}$$

Equação 4.4 – Cálculo da resistência de cada elemento.

Em que,

$R$  – Resistência térmica do elemento ( $m^2 \cdot ^\circ C/W$ );

$e$  – Espessura da camada (m);

$\lambda$  – Condutibilidade térmica da camada ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ). Os valores são consultáveis nas fichas técnicas do produto ou no ITE 50 LNEC.

Para se obter o cálculo do valor do coeficiente de transmissão térmica ( $U$ ), é necessário conhecer as características das envolventes verticais e horizontais, a espessura da camada e a condutibilidade

térmica de cada material que compõe o elemento construtivo, através de valores tabelados no ITE 50 do LNEC, ou em catálogos dos fabricantes.

Lembrando que o regulamento em vigor mantém a mesma filosofia de cálculo.

## 4.2 Soluções construtivas

Neste subcapítulo pretende-se identificar as soluções construtivas presentes no caso de estudo, qual a influência da alteração das exigências e das metodologias de cálculo do regulamento em vigor, por comparação com o anterior, no desempenho termo energético de um edifício de habitação corrente.

### 4.2.1 Elementos opacos da envolvente

Para efeito do presente estudo, impõem-se a aplicação das mesmas soluções construtivas opacas, para os dois regulamentos, pois só assim terá validade a análise comparativa. A descrição dos elementos construtivos pode ser encontrada na Tabela 17.

Definiu-se, então, a estrutura de base para os elementos da envolvente opaca exterior e interior, bem como os elementos de compartimentação interior, e por fim os elementos em contato com o solo.

Tabela 16 – Descrição dos elementos construtivos opacos (continua)

Envolvente Opaca Exterior					
Elemento Construtivo	Espessura [cm]	Usol. (2018)	Usol. (2021)	Umáx.	Descrição (do exterior para o interior)
Parede exterior (frente/traseira)	42	0,31	0,31	0,50	Betão armado com 20 cm, espaço de ar fracamente ventilada com 5 cm, isolamento térmico tipo XPS com 8 cm, tijolo cerâmico furado com 7 cm, reboco tradicional (argamassa) com 2 cm.
Parede exterior (edifícios adjacentes)	29	0,35	0,35	0,50	Isolamento térmico tipo XPS com 7 cm, tijolo cerâmico furado com 20 cm, Reboco tradicional (argamassa) com 2 cm.
Parede interior	15	0,35	0,35	2,00	Reboco tradicional (argamassa) com 2 cm, tijolo cerâmico furado com 11 cm, reboco tradicional (argamassa) com 2 cm.

Tabela 17 – Descrição dos elementos construtivos opacos (continuação)

Envolvente Opaca Exterior					
Elemento Construtivo	Espessura [cm]	Usol. (2018)	Usol. (2021)	Umáx.	Descrição (do exterior para o interior)
Pavimento térreo	51	0,64	0,64	2,00	Revestimento cerâmico com 5 cm, betonilha de assentamento com 7 cm, isolamento térmico tipo XPS com 4 cm, laje maciça com 12 cm, manta geotêxtil com 0,35 cm, camada de regularização (argamassa) com 3 cm, rachão com 20 cm.
Pavimento (entre pisos)	35	1,04	1,04	1,65	Soalho flutuante com 2,2 cm da marca “DON”, camada de regularização (betonilha) com 8 cm, manta geotêxtil com 0,35 cm, laje aligeirada com 20 cm, isolamento térmico tipo XPS com 7,5 cm, gesso cartonado do tipo Pladur com 1,5 cm.
Pavimento (entre pisos ENU)	35	0,34	0,34	0,40	Soalho flutuante com 2,2 cm da marca “DON”, camada de regularização (betonilha) com 3,3 cm, manta geotêxtil com 0,35 cm, laje aligeirada com 20 cm, isolamento térmico tipo XPS com 8 cm, gesso cartonado do tipo Pladur com 1,5 cm.
Parede interior (Garagem)	18	0,74	0,74	2,00	Reboco tradicional (argamassa) com 2 cm, isolamento térmico tipo XPS com 3 cm, tijolo cerâmico furado com 11 cm, reboco tradicional (argamassa) com 2 cm.
Cobertura plana sob o exterior (Área principal do pavimento)	53	0,33	0,33	0,40	Soalho de terraço com 2,5 cm da marca “DON”, espaço de ar fracamente ventilada com 3 cm, sistema de impermeabilização com 5 cm, manta geotêxtil com 0,35 cm, camada de regularização (betonilha) com 8 cm, laje aligeirada com 25 cm, isolamento térmico do tipo XPS com 3 cm, gesso cartonado do tipo Pladur com 1,5 cm.
Cobertura plana sob o exterior (Área sobre as escadas)	35	0,40	0,40	0,40	Chapa de zinco com 2 cm, isolamento térmico do tipo XPS com 8 cm, laje maciça com 15 cm, Reboco tradicional (betonilha) com 2 cm.

Tabela 18 – Descrição dos elementos construtivos opacos (continuação)

Envolvente Opaca Exterior					
Elemento Construtivo	Espessura [cm]	Usol. (2018)	Usol. (2021)	Umáx.	Descrição (do exterior para o interior)
Cobertura plana sob o exterior (Zona das janelas nos Wc's)	30	0,40	0,40	0,40	Soalho de terraço com 2,5 cm da marca “DON”, espaço de ar fracamente ventilada com 3 cm, manta geotêxtil com 0,35 cm, isolamento térmico do tipo XPS com 7 cm, laje maciça com 15 cm, Reboco tradicional (betonilha) com 2 cm.
Cobertura plana sob o exterior (Área das partes jardinadas)	58	0,21	0,21	0,40	Terra com 8 cm, isolamento térmico do tipo XPS com 10 cm, manta geotêxtil com 0,35 cm, camada de regularização (betonilha) com 8 cm, laje aligeirada com 25 cm, isolamento térmico do tipo XPS com 5 cm, gesso cartonado do tipo Pladur com 1,5 cm.
Envidraçado exterior	0,87	2,72	2,76	2,8	Caixilharia metálica (cor 70 industrial rpt) com 0,55 cm, vidro com 0,08 cm, espaço de ar com 0,16 cm, vidro com 0,08 cm.
Porta corta-fogo (ENU)	0,72	2,07	2,07	2,8	Porta corta-fogo com 0,72 cm da marca “Vicaima”

A absorptância solar das paredes e coberturas exteriores é necessária para a determinação dos ganhos solares na estação de arrefecimento, sendo determinada em função da cor do revestimento superficial exterior do elemento, de acordo com a Tabela 19. De salientar que os regulamentos mantiveram os valores de cálculo.

Tabela 19 – Absortância solar (Fonte: Manual SCE)

Cor da superfície	$\alpha_{sol}$
Cores claras	0,4
Cores médias	0,5
Cores escuras	0,8

No caso em estudo, a cor presente no edifício de habitação é escura, portanto, o valor manteve-se nos cálculos finais.

#### 4.2.2 Fator solar dos envidraçados

Para determinar o cálculo das necessidades nominais de energia útil de aquecimento ( $N_{ic}$ ) e de arrefecimento ( $N_{vc}$ ) devem ser contabilizados os ganhos solares através dos vãos envidraçados, que ocorrem, respetivamente, durante as estações de arrefecimento e de aquecimento.

Na estação de aquecimento, os ganhos solares (brutos) através do vão envidraçado  $n$ , com a orientação  $j$ , são calculados através da Equação 4.5:

$$Q_{sol,i} = G_{sul} \times \sum_j [x_j \cdot \sum_n (A \cdot F_h \cdot F_o \cdot F_f \cdot F_g \cdot F_w \cdot g_{\perp}) n_j] M$$

Equação 4.5 – Cálculo das necessidades nominais de energia útil de aquecimento

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. ( Despacho n.º 15793F, 2013) (kWh/m<sup>2</sup>.mês);

$x_j$  – Fator de orientação para as diferentes exposições de acordo com a Tabela 01, do Despacho 15793I, 2013;

$A$  – Área do vão envidraçado;

$F_h$  – Fator de sombreamento do horizonte;

$F_o$  – Fator de sombreamento por elementos horizontais;

$F_f$  – Fator de sombreamento por elementos verticais;

$F_g$  – Fração envidraçada;

$F_w$  – Fator de correção da seletividade angular;

$g_{\perp}$  – Fator solar do vão envidraçado;

$M$  – Número de meses da estação.



Os fatores  $F_0$  e  $g_{\perp}$  traduzem a fração da radiação solar incidente disponível no exterior ( $G_{sul} \cdot x_j$ ), que entra para o interior do espaço útil, sob a forma de radiação quer visível, quer térmica.

O fator de sombreamento do horizonte,  $F_h$ , traduz o efeito do sombreamento provocado por obstruções longínquas exteriores ao edifício, podendo ser eles outros edifícios ou qualquer tipo de construção, entre outros corpos. Podem ser também por outros elementos anexos ao edifício como corpos ou outros volumes.

O ângulo de horizonte é definido como o ângulo entre o plano horizontal e a reta que passa pelo centro do envidraçado, e pelo ponto mais alto da maior obstrução existentes entre dois planos verticais que fazem  $60^\circ$  para cada um dos lados da normal ao envidraçado [26].

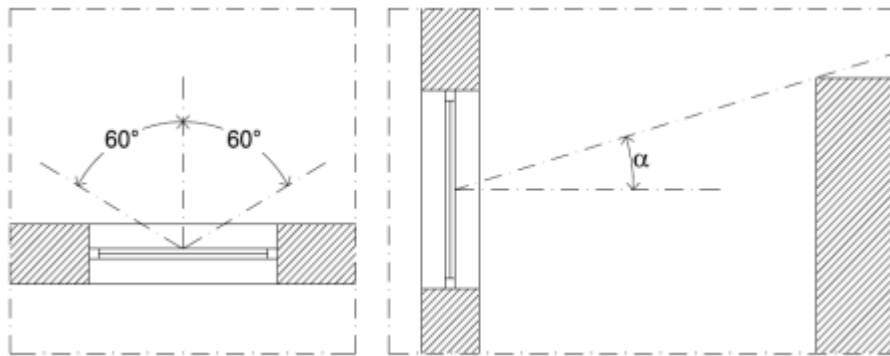


Figura 39 – Ângulo de horizonte  $\alpha$  (Fonte: Despacho n.º 15893K, 2013).

O ângulo do horizonte deve ser calculado individualmente para cada vão. Caso não exista informação disponível para o efeito, o fator de sombreamento do horizonte  $F_h$ , deve ser determinado mediante a adoção de um ângulo de horizonte por defeito de  $45^\circ$ , em ambiente urbano, ou de  $20^\circ$ , no caso de edifícios isolados, localizados fora das zonas urbanas [26].

O sombreamento por elementos horizontais sobrejacentes aos vão envidraçados ou elementos verticais, compreendendo palas, varandas e outros elementos de um edifício, depende do comprimento/ângulo da obstrução, da latitude, da exposição e do clima local, sendo os valores dos fatores de sombreamento de elementos verticais e horizontais,  $F_f$  e  $F_o$ , respetivamente, para as estações de aquecimento e arrefecimento [26].

A influência da geometria do elemento de sombreamento e a sua interação com a altitude solar é representada pelo ângulo da pala,  $\alpha$ , medido a partir do ponto médio do envidraçado, conforme a Figura 40, e calculado de acordo com a Tabela 16, do Despacho n.º 15793K, 2013.

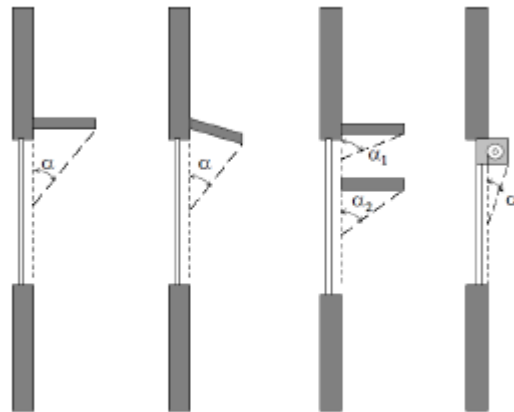


Figura 40– Exemplos de medição do ângulo  $\alpha$  de palas (Fonte: Despacho n.º 15893K, 2013).

O fator de sombreamento  $F_f$ , por elementos verticais adjacentes ao vão envidraçado, traduz a percentagem da área do envidraçado não sombreada por palas, correspondente aos elementos de proteção solar verticais, palas ou outros elementos. O ângulo é determinado de acordo com a Figura 41, e é calculado de acordo com a Tabela 18, do Despacho n.º 15793K, 2013. As legislações mantêm a mesma forma de cálculo.

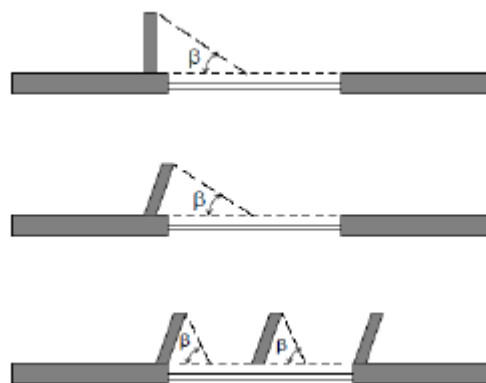


Figura 41 – Exemplos de medição do ângulo  $\alpha$  de palas (Fonte: Despacho n.º 15893K, 2013).

Para efeitos de ganhos térmicos pelos vãos envidraçados na estação de aquecimento e arrefecimento, pode-se considerar uma incidência da radiação solar normal à superfície do vão, corrigida de um fator que reflete a variação da incidência da radiação solar, consoante a orientação,  $F_w$ , e para o cálculo das necessidades de aquecimento toma o valor de 0,9 [26].

O fator solar global,  $g_T$ , de um vão envidraçado com as proteções solares, calculam-se através das equações Equação 4.6 e Equação 4.7.

a. Para vidro simples:

$$g_T = g_{\perp,vi} \cdot \prod_i \frac{g_{Tvc}}{0,85}$$

Equação 4.6 – Cálculo para determinar o fator solar global para vidro simples

a. Para vidro duplo:

$$g_T = g_{\perp,vi} \cdot \prod_i \frac{g_{Tvc}}{0,75}$$

Equação 4.7 – Cálculo para determinar o fator solar global para vidro duplo

Em que,

$g_{Tvc}$  – Fator solar do vão envidraçado com vidro corrente e um dispositivo de proteção solar, permanente, ou móvel totalmente ativados, para uma incidência solar normal à superfície do vidro conforme Tabela 12, do Despacho n.º 15793K, 2013;

$g_{\perp,vi}$  – Fator solar do vidro, para uma incidência solar à superfície do vidro, conforme informação do fabricante.

Na estação de arrefecimento, os ganhos solares (brutos) através do vão envidraçado  $n$ , com a orientação  $j$ , são calculadas através da Equação 4.8.

$$Q_{sol,v} = \sum_j [I_{sol,j} \cdot \sum_n (A \cdot F_h \cdot F_o \cdot F_f \cdot F_g \cdot F_w \cdot g_{\perp}) n_j]$$

Equação 4.8 – Cálculo das necessidades nominais de energia útil de arrefecimento.

Em que,

$I_{sol,j}$  – Energia solar acumulada durante a estação, recebida na horizontal (inclinação 0º) e em superfícies verticais (inclinação 90º), para os quatro pontos cardeais e os quatro colaterais (kWh/m²). Estes valores que podem ser consultados na tabela 05, do Despacho n.º 15793F, 2013;

$A$  – Área do vão envidraçado;

$F_h$  – Fator de sombreamento do horizonte;

$F_o$  – Fator de sombreamento por elementos horizontais;

$F_f$  – Fator de sombreamento por elementos verticais;

$F_g$  – Fração envidraçada;

$F_w$  – Fator de correção da seletividade angular;

$g_{\perp}$  – Fator solar do vão envidraçado.

Havendo obstruções de sombreamento do horizonte,  $F_h$ , traduz-se o efeito do sombreamento provocado por obstruções longínquas exteriores ao edifício ou em edifícios vizinhos, dependendo do ângulo do horizonte, latitude, orientação, clima local e da duração da estação de arrefecimento. Contudo, despreza-se o efeito do sombreamento do horizonte na estação de arrefecimento, tomando o fator  $F_h$  um valor igual a 1.

O fator  $F_g$ , fração envidraçada, é igual durante o ano todo, por isso, pode ser obtido para os diferentes correntes de caixilharia, conforme da Tabela 20, do Despacho n.º 15793F, 2013 e da Tabela 21, do Manual SCE.

Os fatores de emissividade para o desvão da cobertura horizontal acessível, presente no caso de estudo, encontram-se identificados na Tabela 20.

Tabela 20 – Fator de emissividade para desvão de cobertura (Fonte: Manual SCE)

Desvão	Emissividade	$F_g$
Fortemente ventilado	Normal	0,8
	Baixa	0,7
Fracamente ventilado	Normal	1,0
	Baixa	0,9
Não ventilado	Normal	1
	Baixa	

O edifício está perante uma cobertura em terraço, no entanto, com baixa emissividade, logo adota-se o valor de 0,7 na fração envidraçada.

O fator de correção da seletividade angular,  $F_{w,v}$ , na estação de arrefecimento, pode ser determinado segundo critérios de orientação e tipos de vidro [26].

Na estação de arrefecimento, o fator solar do vão envidraçado  $g_{\perp}$ , para efeito de cálculo das necessidades de arrefecimento, considera-se que, de forma a minimizar a incidência de radiação solar, os dispositivos de proteção solar móveis encontram-se ativos uma fração de tempo, que depende do octante no qual o vão está orientado. Calculam-se de acordo com a Equação 4.9.

$$g_{\perp,v} = F_{mv} \cdot g_t + (1 - F_{mv}) \cdot g_{tp}$$

Equação 4.9 – Cálculo das necessidades de arrefecimento para minimizar a incidência da radiação solar

Em que,

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

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

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

A fração de tempo em que os dispositivos móveis se encontram totalmente ativados na estação de arrefecimento,  $F_{mv}$ , em função da orientação do vão, é obtida através da Tabela 14, do Despacho n.º 15793F, 2013, e no caso em que não existam dispositivos de proteção solar móveis, corresponde a zero. Todos os parâmetros anteriormente referidos foram introduzidos de forma direta na referida folha de cálculo ITeCons.

As identificações da localização de alguns elementos construtivos verticais e horizontais estão representadas na Figura 42 à Figura 46.

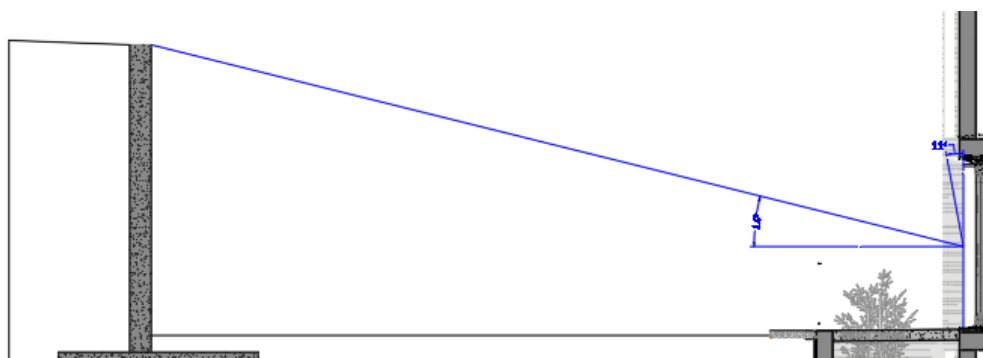


Figura 42 – Elemento construtivo vertical e horizontal

Na Figura 42, verifica-se a existência de um elemento construtivo, que estão representadas as componentes verticais e horizontais. Verifica-se que, a nordeste, existe uma estrutura de contenção, em betão armado, que serve de pala vertical à esquerda ( $\beta_{esq}$ ) para o edifício (cozinha) com 16°. Ainda, existe uma pala horizontal ( $\alpha$ ) com 11°.

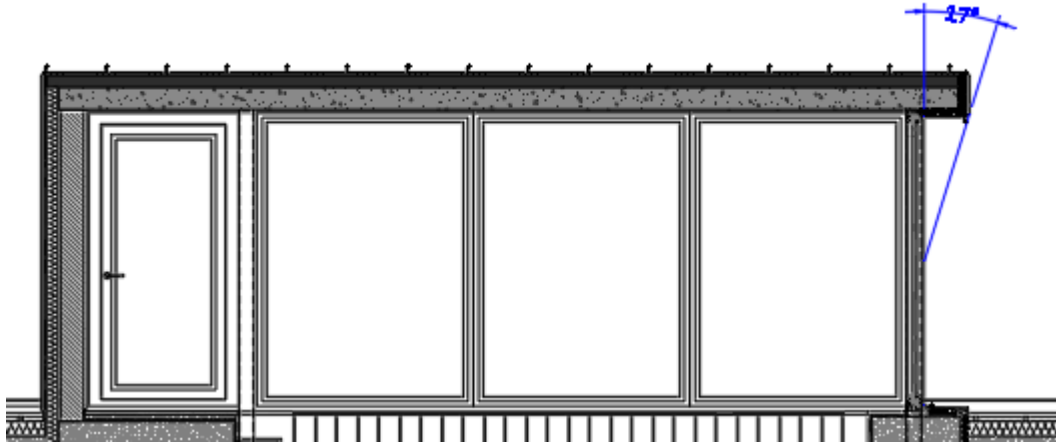


Figura 43 – Elemento construtivo vertical

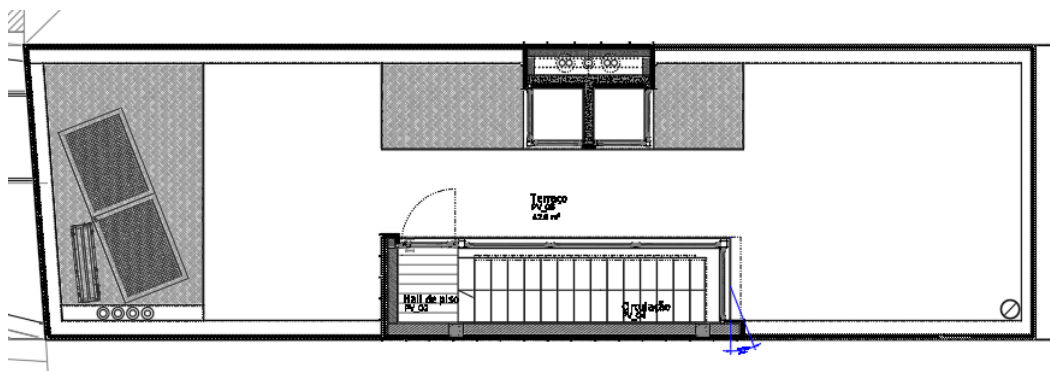


Figura 44 – Elemento construtivo horizontal

Na Figura 43, identifica-se outro elemento construtivo do edifício (circulação), onde existe uma pala horizontal ( $\alpha^\circ$ ) com  $17^\circ$ , a sudeste. Na Figura 44, verifica-se, na mesma localização, uma pala vertical à direita ( $\beta_{dir}^\circ$ ) com  $22^\circ$ , devido à alvenaria exterior ao edifício adjacente.

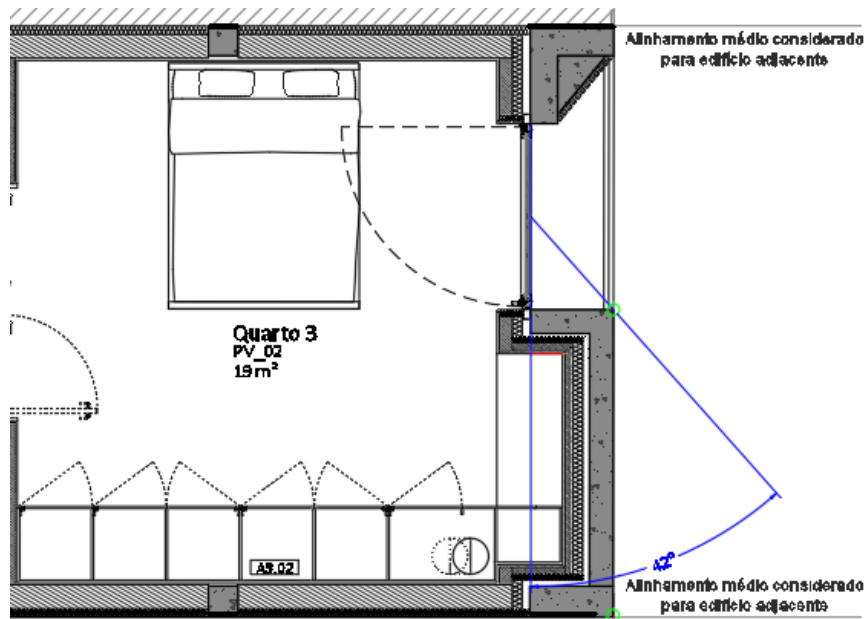


Figura 45 – Elemento construtivo horizontal

No compartimento da habitação "Quarto 3" verifica-se, na Figura 45, uma pala vertical à direita ( $\beta_{dir}^{\circ}$ ) com 42°, devido à varanda.

No edifício, existem duas claraboias, para dar iluminação aos compartimentos "WC4" e "WC5". Na Figura 46, ilustra a 55°, uma obstrução horizontal, devido a estrutura de "circulação".

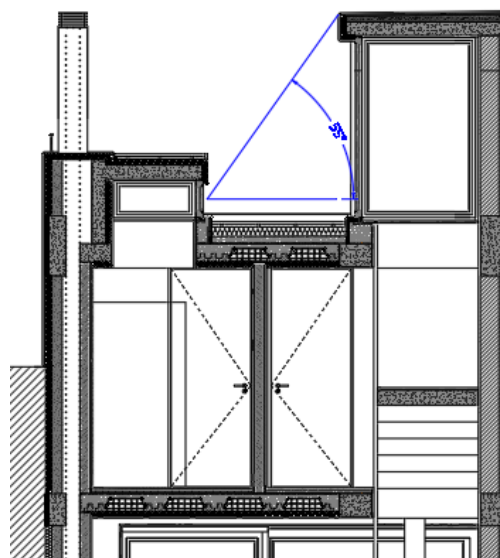


Figura 46 – Obstrução do horizonte

#### 4.2.3 Pontes térmicas lineares – $\psi$

As pontes térmicas ocorrem em zonas da envolvente do edifício, onde há alterações no material utilizado, na geometria dos elementos construtivos e nas suas propriedades, ou sempre que há troca

de material como, janelas, portas, pilares ou vigas, por exemplo. Assim, permite prever a quantidade de energia, em forma de calor, transmitida por unidade de tempo, ao longo da ligação entre os elementos construtivos diferentes, sujeitos a uma diferença de temperatura unitária entre os ambientes que o dividem.

As pontes térmicas lineares correspondem à ligação de dois elementos construtivos exteriores, em que o fluxo térmico é associado a uma perda térmica por unidade de comprimento, como:

- Ligação da fachada com pavimentos sobre o exterior ou local não aquecido;
- Ligação da fachada com pavimentos térreos;
- Ligação da fachada com cobertura inclinada ou em terraço;
- Ligação da fachada com pavimento de nível intermédio;
- Ligação da fachada com varanda;
- Ligação da fachada com caixa de estore;
- Ligação da fachada com a padieira, ombreira ou peitoril;
- Ligação entre duas paredes verticais em ângulo saliente.

Para o cálculo das perdas de calor através de zonas de ponte térmica linear, pode-se considerar, recorrendo ao método simplificado, e na ausência de melhor informação, os valores da Tabela 21, com exceção dos edifícios novos.

Tabela 21 – Valores por defeito para os coeficientes de transmissão térmica lineares

Tipos de Ligação	$\Psi$ (W/m <sup>2</sup> .°C) 2018	$\Psi$ (W/m <sup>2</sup> .°C) 2021
Fachada com pavimentos sobre o exterior ou local não aquecido	0,70	0,50
Fachada com pavimentos térreos		
Fachada com cobertura		
Fachada com varanda <sup>(1)</sup>		
Fachada com pavimento de nível intermédio <sup>(1)</sup>		
Entre duas paredes verticais em ângulo saliente	0,50	0,40
Fachada com caixilharia	0,30	0,20
Zona da caixa de estore		

<sup>(1)</sup> Os valores apresentados correspondem a metade da perda originada na ligação.

Como se pode verificar na Tabela 21, houve um reajuste em todos os valores utilizados para o cálculo, quando se recorre ao método simplificado.



As perdas térmicas registadas nas pontes térmicas lineares são contabilizadas pelo produto do valor do coeficiente ( $\psi$ ), pelo desenvolvimento linear ou pelo comprimento da ponte térmica, o qual deve ser medido pelo interior.

Nos casos, de parede de compartimentação que intersectam paredes, coberturas e pavimentos em contato com o exterior ou espaços não úteis e ainda paredes interiores, que separam um espaço interior útil de um edifício adjacente, não se contabilizam perdas térmicas, desde que o coeficiente de redução de perdas seja  $b_{tr} \leq 0,7$ .

O valor do coeficiente de transmissão térmica linear pode ser determinado pelas seguintes formas:

- De acordo com as normas europeias em vigor, nomeadamente a Norma EN ISO 10211;
- Com recurso aos valores indicados na Tabela 21;
- Com recurso a catálogos de pontes térmicas para várias geometrias e soluções construtivas típicas, desde que o cálculo tenha sido efetuado com a Norma Europeia, EN ISO 14683, com recurso à metodologia definida na EN ISO 0211.

Identificadas as ligações, apresentam-se os respetivos comprimentos e posição do isolamento térmico, conforme a Tabela 22.

Tabela 22 – Pontes térmicas lineares  $\psi$  (continua)

Tipo de ligação entre os elementos	Comprimento (m)	Informações adicionais		Sistema de isolamento nas paredes	Referência
Fachada com caixilharia	65,00	Isolamento contacta com a caixilharia?	Contacta	Interior	Tabela 07 Despacho n.º 15793K, 2013
Fachada com caixilharia	21,80	Isolamento contacta com a caixilharia?	Contacta	Repartido ou na caixa-de-ar	
Fachada com varanda	1,21			Interior	
Fachada com varanda	2,68			Interior	
Fachada com pavimento sobre o exterior ou ENU	2,45	Isolamento sob/sobre o pavimento?	Sob	Exterior	

Tabela 23 – Pontes térmicas lineares  $\psi$  (continuação)

Tipo de ligação entre os elementos	Comprimento (m)	Informações adicionais		Sistema de isolamento nas paredes	Referência
Fachada com pavimento intermédio	10,40	Teto falso?	Com teto falso	Interior	Tabela 07 Despacho n.º 15793K, 2013
Fachada com pavimento intermédio	26,51	Teto falso?	Com teto falso	Interior	
Fachada com cobertura	32,48	Isolamento sob/sobre a cobertura?	Sob	Interior	
Fachada com cobertura	5,60	Isolamento sob/sobre a cobertura?	Sob	Interior	
Duas paredes verticais em ângulo saliente	5,52			Interior	
Duas paredes verticais em ângulo saliente	4,52			Interior	

#### 4.2.4 Renovação do ar – $R_{ph}$

A renovação do ar de um edifício de habitação pode ser do tipo natural, mecânica ou pontual, e traduz na renovação do ar interior, pela entrada de ar exterior. Em edifícios de habitação, a legislação anterior, tinha uma taxa de renovação mínima de ar de 0,4 renovações por hora. Contudo, na atual legislação, edifícios novos, devem apresentar uma taxa de renovação de ar igual ou superior a 0,5 renovações por hora. Perante o caso de estudo, verifica-se a não conformidade com a norma portuguesa NP 1037-1, após avaliação dos parâmetros referentes à norma EN 15242. Em forma de apoio à ventilação natural, é necessário recorrer a meios mecânicos de admissão ou extração de ar, para assegurar as condições mínimas impostas pela regulamentação ao nível das renovações por hora. No caso da junção dos sistemas, a taxa de renovação horária,  $R_{ph}$ , a considerar na aplicação do regulamento deve incluir os caudais de ar correspondentes à ventilação mecânica e à ventilação natural, a qual continua a ocorrer em maior ou menor grau. Para ambos os regulamentos, e perante descrito anteriormente, os valores

calculados foram idênticos, pelo facto de ambos os regulamentos adotarem o mesmo procedimento de cálculo, e ter-se selecionado os mesmos equipamentos, como se visualiza nas Tabela 24 e Tabela 25.

Tabela 24 – Renovação de ar pelo DL n.º 118/2013

Abertura de admissão de ar na envolvente				
Abertura	Tipo de abertura	Área livre (cm <sup>2</sup> ) /Caudal (m <sup>3</sup> /h)		Designação
Abertura 1	Fixa ou regulável manualmente	250,00		
Exaustão ou insuflação por meios mecânicos de funcionamento prolongado				
Sistema Ventilação Mecânica	Tipo de escoamento	Informação sobre Ventilador?	Caudal nominal (m <sup>3</sup> /h)	Designação
Sistema V_M 1	Exaustão	Não	145,00	NEOLINEO-100/V SODECA
Sistema V_M 2	Exaustão	Não	220,00	NEOLINEO-125/V SODECA

O resultado da renovação de ar estimado em condições nominais (h<sup>-1</sup>), com um requisito mínimo de 0,4 renovações por hora, é de 0,77. A taxa de renovação de ar de aquecimento e arrefecimento é de 2,00 h<sup>-1</sup>.

Tabela 25 – Renovação de ar pelo DL n.º 101-D/2020

Abertura de admissão de ar na envolvente				
Abertura	Tipo de abertura	Área livre (cm <sup>2</sup> ) /Caudal (m <sup>3</sup> /h)		Designação
Abertura 1	Fixa ou regulável manualmente	250,00		
Exaustão ou insuflação por meios mecânicos de funcionamento prolongado				
Sistema Ventilação Mecânica	Tipo de escoamento	Informação sobre Ventilador?	Caudal nominal (m <sup>3</sup> /h)	Designação
Sistema V_M 1	Exaustão	Não	145,00	NEOLINEO-100/V SODECA
Sistema V_M 2	Exaustão	Não	220,00	NEOLINEO-125/V SODECA

Com um requisito mínimo de 0,5 renovações por hora, o resultado estimado em condições nominais ( $h^{-1}$ ) é de também 0,77. Com a taxa de renovação de ar de aquecimento e arrefecimento de  $2,00 h^{-1}$ . Analisando ambos os regulamentos, conclui-se que, para efeitos do caso de estudo, os resultados finais são superiores às exigências mínimas regulamentares de ventilação, destaca-se, no entanto, um aumento da exigência mínima na evolução da regulamentação antiga para a atual.

#### 4.2.5 Índices energéticos

A conformidade regulamentar ao nível energético faz-se através de cálculo detalhado de vários índices, como:  $N_{ic}$  necessidades de aquecimento calculadas,  $N_{vc}$  necessidades de arrefecimento calculadas e  $N_{tc}$  necessidades nominais globais de energia primária. Segundo a Portaria n.º 349B, 2013, todos os parâmetros térmicos de apoio ao cálculo, devem obedecer a requisitos limite, tais como, os índices referidos anteriormente, desde que não excedam os valores dos índices energéticos de referência ( $N_i$ ,  $N_v$  e  $N_t$ ).

O valor máximo para as necessidades nominais anuais de energia útil, para aquecimento do edifício,  $N_{ic}$ , é calculada pela Equação 4.10.

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

Equação 4.10 – Valor máximo para as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento

Em que,

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

$Q_{ve,i}$  – Transferência de calor por ventilação, na estação de aquecimento (kWh);

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

$A_p$  – Área interior útil de pavimento do edifício, medida pelo interior ( $m^2$ ).

As necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento,  $N_{vc}$ , são determinadas tendo em conta a metodologia exposta no Despacho n.º 15793 I, 2013, através da Equação 4.11.

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

Equação 4.11 – Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento

Em que,

$\eta_v$  – Fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de arrefecimento;

$Q_{g,v}$  – Ganhos térmicos brutos na estação de arrefecimento (kWh);

$A_p$  – Área interior útil de pavimento do edifício, medida pelo interior (m<sup>2</sup>).

As necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento,  $N_{tc}$ , são determinadas tendo em conta a metodologia exposta no Despacho n.º 15793 I, 2013, através da Equação 4.12:

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

Equação 4.12 – Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento

Em que,

$N_{ic}$  – Necessidades de energia útil para aquecimento, supridas pelo sistema  $k$  (kWh/(m<sup>2</sup>.ano));

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

$N_{vc}$  – Necessidades de energia útil para arrefecimento, supridas pelo sistema  $k$  (kWh/(m<sup>2</sup>.ano));

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

$Q_a$  – Necessidades de energia útil para preparação de AQS, supridas pelo sistema  $k$  (kWh/(m<sup>2</sup>.ano));

$f_{a,k}$  – Parcela das necessidades de energia útil para produção de AQS, supridas pelo sistema  $k$   $\eta_k$  – Eficiência do sistema  $k$ , que toma o valor de um, no caso de sistemas para aproveitamento de fontes de energia renováveis, à exceção de sistemas de queima de biomassa sólidas, em que se deve usar a eficiência do sistema de queima;

$j$  – Todas as fontes de energia, incluindo as de origem renovável;

$p$  – Fontes de origem renovável;

$E_{ren,p}$  – Energia produzida a partir de fontes de origem renovável  $p$  (kWh/ano) incluindo apenas energia consumida;

$W_{vm,j}$  – Energia elétrica necessária ao funcionamento dos ventiladores (kWh/ano);

$A_p$  – Área interior útil de pavimento (m<sup>2</sup>);

$F_{pu,j}$  e  $F_{pu,p}$  – Fator de conversão de energia útil para energia primária (kWh<sub>ep</sub>/kWh);

$\delta$  – Igual a um, exceto para o uso de arrefecimento,  $N_{vc}$ , que pode tomar o valor zero, sempre que o fator de utilização de ganhos térmicos seja superior ao respetivo fator de referência, o que representa as condições em que o risco de sobreaquecimento se encontra minimizado.

Os mesmos princípios de cálculo do regulamento anterior transitaram para o regulamento em vigor, o Decreto-Lei n.º 101-D/2020, de 7 de dezembro.

As necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento/arrefecimento apresentadas, para o caso prático em estudo, serão apresentadas e discutidas no capítulo seguinte.

## 5. AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO ENERGÉTICO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo é apresentada a avaliação do desempenho termo energético do edifício e uma análise dos resultados da utilização de ferramentas de cálculo auxiliares importantes na elaboração do trabalho. Para tal, foi introduzida uma panóplia de informações, referentes ao edifício do caso de estudo, ajustados ao meio ambiente em que se insere. Contudo, foi definida uma configuração que permite interligar de forma automática os diferentes contextos simulados, com as referidas ferramentas. A interligação entre documentos foi realizada, garantindo a permanente verificação dos requisitos regulamentares, de acordo com os REH e o HAB (Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto e o Decreto-Lei n.º 101-D/2020, de 7 de dezembro).

A análise dos resultados, incorporando o caso de estudo, teve como objetivo interpretar os dados correntes de todo o processo de aplicação da metodologia, de acordo com os regulamentos. Importa entender qual foi a importância ou influência, que o novo regulamento exerce sobre os valores dos índices energéticos.

Após saber os valores dos diferentes índices energéticos, analisou-se o potencial de melhoria, do edifício de habitação, no seu global pelas Tabelas 28 e 31.

Esta análise foi realizada com base nos resultados obtidos, com a utilização das ferramentas de cálculo do ITeCons, como anteriormente foi descrito no Capítulo 2.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 26 constata-se que, o edifício de habitação, apresenta uma classificação energética B-, de acordo com a aplicação do Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto, sendo esta classificação obtida a partir do rácio:  $R_{nt} = N_{tc}/N_t$ . As classes energéticas são atribuídas em função do valor intervalar  $R_{nt}$ , apresentado anteriormente, pela Tabela 1.

Tabela 26 – Quadro dos indicadores energéticos do Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto (continua)

Balanço energético					
Indicadores energéticos					
Sigla	Descrição	Valor		Referência	
Nic	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	40,57		41,99	
Nvc	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	3,11		9,13	

Tabela 27 – Quadro dos indicadores energéticos do Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto (continuação)

Balanço energético					
Indicadores energéticos					
Sigla	Descrição	Valor		Referência	
Qa	Energia útil para preparação de água quente sanitária (kWh/ano)	2972		2972	Ntc/Nt
Wvm	Energia elétrica necessária ao funcionamento dos ventiladores (kWh/ano)		959,22		0,78
Eren	Energia produzida a partir de fontes renováveis para usos regulados (kWh/ano)	2351		1869	
Eren AQS	Energia produzida a partir de fontes renováveis para produção de AQS (kWh/ano) (para efeito de verificação do requisito mínimo)	2351		1869	Classe Energética
Eren, ext	Energia produzida a partir de fontes renováveis para outros usos (kWh/ano)		0,00		B-
Ntc	Necessidades nominais anuais globais de energia primária (kWh <sub>ep</sub> /m <sup>2</sup> .ano)	55,57		71,38	

Como se verifica, através da Tabela 26, a classificação energética obtida é o mínimo exigido regulamentarmente por este REH do Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto.

No que diz respeito às necessidades de aquecimento, constata-se que são iguais às necessidades de referência. No que se refere às necessidades de arrefecimento, apesar de serem aceitáveis, estas encontram-se abaixo das necessidades de referência.

Na Tabela 28, estão identificadas as áreas a explorar para atingir um potencial de melhoria, que podem ser aplicadas ao edifício de habitação em estudo, para o Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto.



Tabela 28 – Potencial de implementação de medidas de melhoria para o Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto

Potencial para a identificação de Medidas de Melhoria				
		Solução inicial		Simulação em curso
Variação das necessidades de energia útil utilizando os valores de referência do coeficiente de transmissão térmica ( $U_{ref}$ )	Aquecimento	X	-3,4%	–
	Arrefecimento	X	-47,1%	–
Variação das necessidades de energia final utilizando os valores de referência para os sistemas técnicos	Aquecimento	X	-16,2%	–
	Arrefecimento	!	0,0%	–
	AQS	X	-12,4%	–

Legenda:

Verde (superior a 30%) – Elevado potencial de melhoria

Amarelo (entre 0% e 30%) – Algum potencial de melhoria

Vermelho (inferior a 0%) – Não existe potencial de melhoria

Como se verifica na Tabela 28, as soluções de melhoria são praticamente nulas, o que demonstra que o edifício de habitação está no limite do potencial de otimização, em termos de opções construtivas e equipamentos. Isto deve-se à solução construtiva, inicialmente adotada, apresentar-se como a mais eficiente no cumprimento dos requisitos termo energéticos do Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de Agosto.

De acordo com o Decreto-Lei n.º 101-D/2020, de 7 de dezembro, verifica-se que a classe energética calculada é praticamente igual à obtida pela aplicação do Decreto-Lei anterior. No entanto, existem algumas alterações nos indicadores energéticos, como se pode observar na Tabela 29.

Tabela 29 – Quadro dos indicadores energéticos do Decreto-Lei n.º 101-D/2020, de 7 de dezembro (continua)

Balanço energético					
Indicadores energéticos					
Sigla	Descrição	Valor		Referência	Renovável Requisito $Ren_{Hab}$
Nic	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	40,78		41,99	77,12
Nvc	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	3,09		9,13	
Qa	Energia útil para preparação de água quente sanitária (kWh/ano)	2972		2972	Ntc/Nt

Tabela 30 – Quadro dos indicadores energéticos do Decreto-Lei n.º 101-D/2020, de 7 de dezembro (continuação)

Balanço energético					
Indicadores energéticos					
Sigla	Descrição	Valor		Referência	Renovável Requisito Ren <sub>Hab</sub>
Wvm	Energia elétrica necessária ao funcionamento dos ventiladores (kWh/ano)		959,22		0,91
Eren	Energia produzida a partir de fontes renováveis para usos regulados (kWh/ano)	2351		0	
Eren AQS	Energia produzida a partir de fontes renováveis para produção de AQS (kWh/ano) (para efeito de verificação do requisito mínimo)	2351		0	Classe Energética
Eren, ext	Energia produzida a partir de fontes renováveis para outros usos (kWh/ano)		0,00		B-
Ntc	Necessidades nominais anuais globais de energia primária (kWh <sub>ep</sub> /m <sup>2</sup> .ano)	117,32		129,17	

Em concordância com os resultados apresentados na Tabela 29 consta-se que, o edifício de habitação, apresenta uma classificação energética B-, de acordo com o Decreto-Lei n.º 101-D/2020, de 7 de dezembro.

Como seria de esperar, a exigência do novo regulamento, no que toca ao desempenho energético em edifícios novos, é mais alta, comparativamente ao regulamento anterior. Concluindo-se, que para ser classificado como edifício NZEB, será necessário maior rigor na adoção das soluções construtivas, para se cumprir os requisitos mínimos. Conforme descrito no Capítulo 3, as exigências aumentaram 25% para a zona climática de inverno (I1), em que se insere o caso de estudo, por isso se observam os valores a vermelho na Tabela 29.

Estão identificadas as áreas com potencial de melhoria, que podem ser aplicadas no edifício de habitação em estudo, para o Decreto-Lei n.º 101-D/202, de 7 de dezembro, na Tabela 31.

Tabela 31 – Potencial medidas de melhoria para o DL n.º 101-D/2020, de 7 de dezembro

Potencial para a identificação de Medidas de Melhoria				
		Solução inicial		Simulação em curso
Variação das necessidades de energia útil utilizando os valores de referência do coeficiente de transmissão térmica ( $U_{REF}$ )	Aquecimento	X	-2,9%	–
	Arrefecimento	X	-48,1%	–
Variação das necessidades de energia final utilizando os valores de referência para os sistemas técnicos	Aquecimento	X	-2,9%	–
	Arrefecimento	!	0,0%	–
	AQS	!	0,0%	–

Legenda:

Verde (superior a 30%) – Elevado potencial de melhoria

Amarelo (entre 0% e 30%) – Algum potencial de melhoria

Vermelho (inferior a 0%) – Não existe potencial de melhoria

Como se verifica na Tabela 31, pode existir algum potencial de melhoramento, pelo facto de as soluções construtivas adotadas, perante o regulamento em vigor, permitirem uma ligeira margem para melhorar as necessidades de energia final em arrefecimento e o sistema de águas quentes sanitárias (AQS).

## 5.1 Avaliação do impacto do novo regulamento no caso de estudo

De acordo com a análise efetuada aos resultados obtidos em ambas as simulações do desempenho termo energético do edifício, e de acordo com as diferentes exigências regulamentares, foi possível perceber que as soluções construtivas adotadas para o edifício permitiam o cumprimento das exigências à luz do regulamentado no Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto. No entanto, de acordo com o novo regulamento, o Decreto-Lei n.º 101-D/2020, de 7 de dezembro, o valor das necessidades de energia para aquecimento, deve de ser inferior em 25% do valor máximo admissível para o edifício de referência, como foi constatado na Tabela 29. Importa agora avaliar o impacto, que esta exigência regulamentar, terá na solução construtiva do edifício real, apresentado no caso de estudo.

Para avaliar o referido impacto, optou-se por fazer uma análise construtiva elemento a elemento, tentando se perceber as alterações que se podem realizar e as implicações que estas teriam no edifício do caso de estudo. Nesta análise avaliaram-se as paredes da envolvente exterior e interior, os envidraçados, os sistemas de energias renováveis, as coberturas e os sistemas de renovação de ar.

Começando pela envolvente exterior opaca, nomeadamente, as paredes da envolvente exterior, foi aplicada uma variação linear do valor do coeficiente de transmissão térmica e, conseqüentemente, da espessura do isolamento até se conseguir validar as necessidades de energia de referência.

O coeficiente de transmissão térmica passou dos 0,31 W/m<sup>2</sup>°C para 0,11 W/m<sup>2</sup>°C, o que implicou um aumento do isolamento térmico em 0,22 m, o que seria uma solução exequível, no entanto para o caso de estudo, a alteração da espessura do isolamento não seria racional, de forma a cumprir com as novas exigências regulamentares.

No caso da envolvente interior, a análise também recaiu na alteração do isolamento térmico, que passou por um aumento de 20%. Assim, a espessura de isolamento passou dos 0,07 m para 0,084 m, porém com esta alteração, apesar de aceitável, não seria suficiente para permitir o cumprimento às novas exigências regulamentares.

No caso dos envidraçados alterou-se o valor do coeficiente de transmissão térmica ( $U_{w,dn}$ ), que passou dos 2,76 W/m<sup>2</sup>°C para 0,32 W/m<sup>2</sup>°C. De acordo com tabelas de fabricantes de vidros, verifica-se que um vidro com um coeficiente de transmissão térmica (U) de 2,76 W/m<sup>2</sup>°C é um vidro corrente, por exemplo, com vidro duplo de 4 a 6 mm e caixa de ar de 10 a 16 mm. Já no caso de um vidro com um valor de 0,32 W/m<sup>2</sup>°C, não existem soluções correntes no mercado com estas características, concluindo-se que a alteração do tipo de vidro não será ideal, para permitir dar cumprimento das novas exigências regulamentares. De referir que se desprezou o contributo do caixilho para esta alteração, atendendo a que o mesmo representa menos de 20% da área do vão e como tal, tem um impacto reduzido no resultado final, quando comparado com o envidraçado.

No caso dos sistemas de energias solares térmicos alterou-se a produção total de energia, que passou dos 2351 kWh/ano para 11700 kWh/ano. O painel solar utilizado para se obter o valor de 2351 kWh/ano, foi um painel da marca Baxi, gama mediterrâneo, modelo sol 250, que consegue cumprir com as exigências anteriores. Para suprir as novas necessidades, obtidas no cálculo, 11700 kWh/ano, seria necessário o recurso a uma solução de cinco painéis do mesmo modelo, que para o caso de estudo em concreto, implicaria a perda de espaço útil na cobertura. Destaca-se que a classe energética, do edifício de referência, no caso de se aplicar a solução de cinco painéis, passava a ser A, o que classificaria como um edifício NZEB.

No caso das coberturas, a análise recaiu na alteração do isolamento térmico, que passou para um aumento de 20% nos quatro tipos de solução construtivas existentes. Assim, no caso da cobertura exterior, sobre a área das escadas, a espessura do isolamento passou dos 0,08 m para os 0,16 m, o que poderia ser uma solução aceitável para este caso concreto, para permitir dar cumprimento às

novas exigências regulamentares. Para o caso da cobertura exterior, com a denominação área principal do pavimento, passou do 0,03 m para 0,036 m, contudo, mesmo com esta alteração construtiva, não seria suficiente para dar a cumprir às novas exigências. No caso da cobertura exterior, na zona dos quartos de banho inseridas no último piso, a espessura do isolamento térmico passou dos 0,07 m para os 0,084 m, porém com esta alteração não seria suficiente para cumprir as novas exigências regulamentares. Para o caso da cobertura exterior, área das partes ajardinadas, a primeira espessura do isolamento passou dos 0,05 m para 0,06 m e a espessura da segunda camada dos 0,10 m para 0,12 m, o que seria aceitável.

Pode-se concluir que, mesmo com o aumento das espessuras dos isolamentos térmicos em 20%, estas alterações não seriam suficientes na sua maioria, para permitir dar cumprimento às novas exigências regulamentares.

No caso da renovação do ar, a análise recaiu na alteração do caudal nominal e do tipo de escoamento de exaustão, que passaram dos 145 m<sup>3</sup>/h para 85 m<sup>3</sup>/h e dos 220 m<sup>3</sup>/h para 150 m<sup>3</sup>/h, respetivamente. Também se alterou o tipo de equipamento, de forma a serem cumpridas as estimativas nominais de 0,50, que são o requisito mínimo de ventilação. Contudo, mesmo com estas alterações, não seriam suficientes para permitir o cumprimento das novas exigências.

## 6. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

### 6.1 Conclusões

O trabalho desenvolvido 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.

Com o intuito de demonstrar os conhecimentos utilizados, procedeu-se à descrição e análise de uma habitação, assim como de todos os seus elementos construtivos, necessários para um bom comportamento térmico e conforto dos seus utilizadores.

Assim, procedeu-se à identificação das principais diferenças e exigências regulamentares e à verificação e quantificação dos parâmetros e índices energéticos tanto para a anterior como para a atual legislação, numa tentativa de perceber quais as implicações construtivas ou de solução e equipamento da aplicação do novo regulamento ao edifício. Partindo de uma classificação energética, obtida à luz do anterior regulamento de B, analisaram-se os tipos de alterações necessárias de acordo com o novo regulamento de forma a se obter uma classificação de NZEB. No entanto, existem sempre elementos ou equipamentos com melhor comportamento térmico, que podem contribuir para um aumento da classificação obtida.

Através do estudo efetuado no Capítulo 3, foi possível comprovar as principais alterações que o novo regulamento tem em relação ao anterior, no que respeita a edifícios de habitação. As principais diferenças que se destacam dizem respeito à alteração da taxa de renovação horária, nos valores máximos do coeficiente de transmissão térmica, à alteração da nomenclatura de algumas definições, ao suporte a futuras infraestruturas e pontos de carregamento para veículos elétricos, à alteração do valor de cálculo para a energia primária total, e para concluir, o projeto de AVAC passou a ser obrigatório.

Pela aplicação de ambos os regulamentos a um mesmo caso de estudo, foi possível concluir que há diferenças, nomeadamente, no valor das necessidades de energia para aquecimento que são inferiores em 25%, relativamente ao valor máximo admitido para o edifício de referência, e nos sistemas de águas quentes sanitárias. Estas diferenças podiam ser corrigidas na fase de projeto, com a alteração do tipo de soluções construtivas adotadas. Conclui-se que o edifício do caso de estudo não apresenta potencial de melhoria relativamente aos requisitos acima mencionados, aquecimento e águas quentes

sanitárias. Para além de que comparativamente às novas exigências do novo regulamento, o caso de estudo, não apresenta infraestruturas e pontos de carregamentos para veículos elétricos.

O edifício do caso de estudo que anteriormente cumpria a regulamentação, de forma a conseguir cumprir com as atuais exigências, necessitava de ver melhorada a sua solução construtiva, no entanto, na impossibilidade derivada ao edifício já se encontrar construído, a melhoria teria de ser ao nível dos equipamentos, nomeadamente, no aumento do número de painéis solares e a integração de um sistema de bomba de calor em apoio à caldeira (ou vice-versa), visto que a envolvente climática apresenta uma boa exposição solar. Esta solução seria uma melhoria ao nível dos consumos energéticos e teria de ser estudada num futuro trabalho académico.

A ferramenta de cálculo do ITeCons, em colaboração com as entidades responsáveis pela manutenção e atualização, poderia vir a ser refinada de forma a simplificar o conjunto de iterações necessárias ao processo de otimização.

## **6.2 Desenvolvimentos Futuros**

O desempenho termo energético dos edifícios é um assunto de relevância nos dias de hoje e este trabalho de dissertação pretende contribuir para uma maior difusão do conhecimento.

Sendo a área termo energética dos edifícios vasta, entende-se que seria interessante desenvolver em trabalhos futuros os seguintes pontos:

- Analisar a influência da variação do fator solar na quantificação dos ganhos solares;
- Análise dos índices energéticos, por meio de variações da área dos vãos envidraçados conjugados com a variação do fator solar do vidro;
- Análise dos índices energéticos, com a variação do coeficiente de transmissão térmica do vidro conjugados pela variação da área dos vãos envidraçados;
- Analisar a variação das necessidades nominais de energia útil para aquecimento;
- Analisar uma nova solução construtiva que respeite todos os requisitos do novo regulamento, para novos edifícios.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] D.-G. de E. e Geologia, “Eficiência Energética,” *Edifícios*. <https://www.dgeg.gov.pt/pt/areas-setoriais/energia/eficiencia-energetica/edificios/>.
- [2] ADENE, “Eficiência energética nos edifícios,” *ADENE- Agência para a Energia*, 2021. <https://www.adene.pt/eficiencia-energetica-nos-edificios/>.
- [3] A.-A. para a E. A, “Estatísticas da Certificação Energética dos Edifícios,” *Energética, Sistema de Certificação*, 2020. <https://www.sce.pt/estatisticas/>.
- [4] “Plano Nacional para o Setor Energético,” *Direção-Geral de Energia e Geologia*. <https://www.dgeg.gov.pt/pt/areas-transversais/relacoes-internacionais/politica-energetica/planos-nacionais-para-o-setor-energetico/>.
- [5] M. A. Cañete, “Comissão apela para uma Europa com impacto neutro no clima até 2050,” *Comissão Europeia*, 2018. [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/pt/IP\\_18\\_6543](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/pt/IP_18_6543).
- [6] O. do T. e E. Ministério do Ambiente, “Decreto-Lei n.º 194/2015,” *Diário da República*, vol. 179, no. 1.ª série, p. 24, 2015, [Online]. Available: <https://dre.pt/dre/detalhe/decreto-lei/194-2015-70280719>.
- [7] O. do T. e E. Ministério do Ambiente, “Decreto-Lei n.º 251/2015,” *Diário da República*, vol. 231, no. 1ª série, p. 21, 2015, [Online]. Available: <https://dre.pt/dre/detalhe/decreto-lei/251-2015-71100900>.
- [8] M. da Economia, “Decreto-Lei n.º 28/2016,” *Diário da República*, vol. 119, no. 1ª série, p. 22, 2016, [Online]. Disponível em: <https://dre.pt/dre/detalhe/decreto-lei/28-2016-74774858>.
- [9] P. do C. de Ministros, “Decreto-Lei n.º 101-D/2020,” *Diário da República*, vol. 237, no. 1º Suplemento, p. 25, 2020, [Online]. Available: <https://dre.pt/dre/detalhe/decreto-lei/101-d-2020-150570704>.
- [10] A. e A. Climática, “Decreto-Lei n.º 102/2021,” *Diário da República*, vol. 225, no. Série I, p. 10, 2021, [Online]. Available: <https://dre.pt/dre/detalhe/decreto-lei/102-2021-174614573>.
- [11] O. do T. e E. Ministério do Ambiente, “Portaria n.º 349-B/2013,” *Diário da República*, vol. 232, no. 1º Suplemento, p. 12, 2013, [Online]. Available: <https://dre.pt/dre/detalhe/portaria/349-b-2013-647290>.
- [12] O. do T. e E. Ministério do Ambiente, “Portaria n.º 379-A/2015,” *Diário da República*, vol. 207, no. 2º Suplemento, p. 4, 2015, [Online]. Available: <https://dre.pt/dre/detalhe/portaria/379-a-2015-70789581>.
- [13] M. da Economia, “Portaria n.º 319/2016,” *Diário da República*, vol. 239, no. 1ª série, p. 3, 2016, [Online]. Available: <https://dre.pt/dre/detalhe/portaria/319-2016-105371722>.
- [14] O. do T. e E. Ministério do Ambiente, “Portaria n.º 349-C/2013,” *Diário da República*, vol. 233, no. 2º Suplemento, p. 20, 2013, [Online]. Available:



- <https://dre.pt/dre/detalhe/portaria/349-c-2013-263692>.
- [15] P. do C. de M.- Secretaria-Geral, “Declaração de Retificação n.º 4/2014,” *Diário da República*, vol. 22, no. 1ª série, p. 2, 2014, [Online]. Available: <https://dre.pt/dre/detalhe/declaracao-retificacao/4-2014-570723>.
- [16] O. do T. e E. Ministério do Ambiente, “Portaria n.º 405/2015,” *Diário da República*, vol. 288, no. 1ª série, p. 2, 2015, [Online]. Available: <https://dre.pt/dre/detalhe/portaria/405-2015-71054026>.
- [17] A. e A. Climática, “Portaria n.º 138-H/2021,” *Diário da República*, vol. 126, no. 2º Suplemento, p. 5, 2021, [Online]. Available: <https://dre.pt/dre/detalhe/portaria/138-h-2021-166296491>.
- [18] A. e A. C. e I. e Habitação, “Portaria n.º 138-I/2021,” *Diário da República*, vol. 126, no. 2º Suplemento, p. 42, 2021, [Online]. Available: <https://dre.pt/dre/detalhe/portaria/138-i-2021-166296492>.
- [19] O. do T. e E.-D.-G. de E. e G. Ministério do Ambiente, “Despacho (extrato) n.º 15793-C/2013,” *Diário da República*, vol. 234, no. 3º Suplemento, p. 4, 2013, [Online]. Available: <https://dre.pt/dre/detalhe/despacho-extrato/15793-c-2013-2975216>.
- [20] O. do T. e E.-D.-G. de E. e G. Ministério do Ambiente, “Despacho (extrato) n.º 15793-E/2013,” *Diário da República*, vol. 234, no. 3º Suplemento, p. 12, 2013, [Online]. Available: <https://dre.pt/dre/detalhe/despacho-extrato/15793-e-2013-2975218>.
- [21] O. do T. e E.-D.-G. de E. e G. Ministério do Ambiente, “Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013,” *Diário da República*, vol. 234, no. 3º Suplemento, p. 6, 2013, [Online]. Available: <https://dre.pt/dre/detalhe/despacho-extrato/15793-f-2013-2975219>.
- [22] D. da República, “Despacho (extrato) n.º 15793-G/2013,” *Ministério do Ambient. Ordenam. do Territ. e Energ. - Direção-Geral Energ. e Geol.*, vol. 234, no. 3º Suplemento, p. 4, 2013, [Online]. Available: <https://dre.pt/dre/detalhe/despacho-extrato/15793-g-2013-2975220>.
- [23] O. do T. e E.-D.-G. de E. e G. Ministério do Ambiente, “Despacho (extrato) n.º 15793-H/2013,” *Diário da República*, vol. 234, no. 3º Suplemento, p. 5, 2013, [Online]. Available: <https://dre.pt/dre/detalhe/despacho-extrato/15793-h-2013-2975221>.
- [24] O. do T. e E.-D.-G. de E. e G. Ministério do Ambiente, “Despacho (extrato) 15793-I/2013, de 3 de Dezembro,” *Diário da República*, vol. 234, no. 3º Suplemento, 2013, [Online]. Available: <https://dre.tretas.org/dre/313430/despacho-extracto-15793-i-2013-de-3-de-dezembro>.
- [25] O. do T. e E.-D.-G. de E. e G. Ministério do Ambiente, “Despacho (extrato) n.º 15793-J/2013,” *Diário da República*, vol. 2013, no. 2ª série, p. 3, [Online]. Available: <https://dre.pt/dre/detalhe/despacho-extrato/15793-j-2013-2975223>.
- [26] O. do T. e E.-D.-G. de E. e G. Ministério do Ambiente, “Despacho (extrato) n.º

- 15793-K/2013,” *Diário da República*, vol. 234, no. 3º Suplemento, p. 30, 2013, [Online]. Available: <https://dre.pt/dre/detalhe/despacho-extrato/15793-k-2013-2975224>.
- [27] O. do T. e E.-D.-G. de E. e G. Ministério do Ambiente, “Despacho (extrato) n.º 15793-L/2013,” *Diário da República*, vol. 234, no. 3º Suplemeto, p. 1, 2013, [Online]. Available: <https://dre.pt/dre/detalhe/despacho-extrato/15793-l-2013-2975225>.
- [28] A. e A. C.-D.-G. de E. e Geologia, “Despacho n.º 6476-E/2021,” *Diário da República*, vol. 126, no. 1º Suplemento, p. 3, 2021, [Online]. Available: <https://dre.pt/dre/detalhe/despacho/6476-e-2021-166302786>.
- [29] F. Moita, *Energia Solar Passiva*. Lisboa, 2014.
- [30] H. Gonçalves and J. M. Graça, *Conceitos bioclimáticos para os edifícios em Portugal*. Lisboa, 2004.


# ANEXO I – FOLHA DE CÁLCULO "ANOS METEOROLÓGICOS DE REFERÊNCIA PARA SIMULAÇÃO DINÂMICA"

## Anos Meteorológicos de Referência i

versão 1.0 (outubro 2016) PT UK

### Seleção por município

i Porto



«Porto 94m.dat» foi criado

i preparar ficheiro

SCE (formato para Cálculo Dinâmico Simplificado) ▼

#### Zona climática

NUTS 3: Grande Porto

Latitude: 41,3 °N (nominal)

Longitude: 8,6 °W (nominal)

Altitude: 94 m (referência)

#### Local específico

Município: Porto

i Altitude: **94** m

#### Estatísticas climáticas

	Referência	Este local
<span>i</span> Estação de aquecimento		
Período:	6,2	<b>6,2</b> meses
T média:	9,9	<b>9,9</b> °C
Graus-dia:	1250	<b>1250</b> °C
<span>i</span> Estação de arrefecimento		
T média:	20,9	<b>20,9</b> °C

#### Condições regulamentares de verão e inverno

**V 2    I 1**