



UNIVERSIDADE DE  
COIMBRA

João Maria Franco Teixeira Pina

**INFLUÊNCIA DO TIPO DE CLIMA NO CUSTO DO  
CONFORTO TÉRMICO NO INTERIOR DOS  
EDIFÍCIOS**

VOLUME 1

Dissertação no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica na especialidade de Energia e Ambiente orientada pelo Professor Doutor António Manuel Mendes Raimundo e apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

Junho de 2021

1 2



9 0

FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE  
COIMBRA

## **Influência do tipo de clima no custo do conforto térmico no interior dos edifícios**

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia  
Mecânica na Especialidade de Energia e Ambiente

### **Influence of the type of climate on the cost of thermal comfort inside buildings**

**Autor**

**João Maria Franco Teixeira Pina**

**Orientador**

**António Manuel Mendes Raimundo**

**Júri**

**Presidente** Professor Doutor **Gonçalo Jorge Vieira Nunes Brites**  
Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

**Orientador** Professor Doutor **António Manuel Mendes Raimundo**  
Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

**Vogal** **Mestre Nuno Francisco Baía da Silva Garcia Saraiva**  
Investigador da Associação para o Desenvolvimento da  
Aerodinâmica Industrial

**Coimbra, junho, 2021**

## **Agradecimentos**

A realização deste estudo é o culminar de 5 anos de aprendizagem intensiva, tanto ao nível de aquisição de competências técnicas como de um crescimento pessoal. Gostaria de agradecer a todos aqueles que contribuíram de alguma forma para a conclusão desta etapa.

Aos meus docentes, pelo seu empenho na minha formação académica.

Aos meus pais pelo seu permanente apoio, incentivo e disponibilidade.

Aos meus familiares pelo seu interesse no meu percurso académico e pessoal.

Aos amigos que conheci nesta minha passagem por Coimbra, pela camaradagem e ensinamentos que sem dúvida foram muito importantes ao meu crescimento, quer como futuro engenheiro quer como ser humano.

E por fim, ao Professor Doutor António Raimundo pela sua total disponibilidade e colaboração na realização de todo este trabalho. Agradeço profundamente todo o apoio prestado e todo o conhecimento transmitido.



## Resumo

A promoção da eficiência energética dos edifícios tem sido uma das principais preocupações da União Europeia nos últimos anos. É importante salientar que o consumo de energia com a climatização varia consoante a tipologia de uso do edifício, a qualidade dos sistemas passivos e ativos do mesmo, o nível de conforto térmico pretendido e as características do clima. Quanto mais severo for o clima maior é a quantidade de energia térmica que é necessário fornecer e/ou retirar dos espaços interiores dos edifícios para garantir condições de conforto térmico.

A realização deste estudo teve como principal objetivo avaliar o custo do conforto térmico no interior de edifícios europeus, em termos de necessidades de energia, de consumo de energia e de custo económico. Para o efeito, consideraram-se 5 graus de qualidade de conforto térmico (excelente, boa, razoável, baixa, e sem sistema de climatização). Recorreu-se ao número de graus-dia de aquecimento e de graus-dia de arrefecimento para seleccionar 5 localidades que no seu conjunto representam os diferentes climas do continente europeu (quente, moderado, frio, muito frio e extremamente frio). O edificado europeu foi representado por 6 edifícios pertencentes a 4 tipologias de uso: residencial (apartamento e moradia); serviços com funcionamento permanente (clínica); serviços com funcionamento intermitente (escola e agência bancária); e comércio com funcionamento intermitente (supermercado). Foram consideradas 2 alternativas para os elementos opacos da envolvente dos edifícios (sem isolamento térmico e com a espessura recomendada de isolante térmico). Assumiu-se que o sistema de AVAC podia estar equipado com um *chiller*-bomba de calor da classe A+ ou da classe A+++.

Utilizou-se como ferramenta de cálculo o *software SEnergEd*, que realiza a simulação dinâmica horária em regime de monozona do comportamento térmico e energético de edifícios e efetua a análise económica do respetivo ciclo de vida. No entanto, a versão deste programa a que se teve acesso só estava preparada para o cálculo dos sombreamentos dos envidraçados de edifícios localizados em Portugal, o que não era adequado a este estudo, pois os mesmos dependem da latitude do lugar. Deste modo, foi necessário adaptar este *software* de modo que o mesmo possa ser utilizado na simulação de um edifício situado em qualquer localização do hemisfério Norte. Foi necessário ainda

adaptar ao formato requerido pelo *SEnergEd* os ficheiros climáticos dos locais fora de Portugal considerados neste estudo.

Os resultados obtidos evidenciam que quer as necessidades de energia para climatização quer o custo económico do conforto térmico aumentam com a melhoria da qualidade requerida para o conforto térmico. Estes parâmetros dependem fortemente da tipologia de uso do edifício, apresentando valores mais elevados no caso dos edifícios com ocupação permanente (apartamento, moradia e clínica) do que nos com ocupação intermitente (escola, agência bancária e supermercado).

As necessidades de energia para aquecimento variam proporcionalmente aos correspondentes graus-dia de aquecimento. Por sua vez, a variação das necessidades de energia para arrefecimento é mais complexa, pois elas aumentam simultaneamente com os graus-dia de arrefecimento e com a intensidade da radiação solar. À exceção do caso do supermercado, em que são da mesma ordem de grandeza, as necessidades de energia para aquecimento são substancialmente superiores às correspondentes de arrefecimento.

A evolução do custo do conforto térmico com a intensidade do clima não é linear, visto envolver países diferentes com realidades económicas distintas. Mesmo assim, é legítimo afirmar que ele aumenta com o número de graus-dia de aquecimento. Em termos globais pode afirmar-se que os fatores que mais o influenciam são a tipologia de uso do edifício, o montante a investir no respetivo sistema de AVAC, as necessidades de energia para aquecimento e a qualidade pretendida de conforto térmico.

**Palavras-chave:** Clima europeu, Sombreamento de vãos envidraçados, Conforto térmico, Custo Anual Equivalente, Geometria solar, Radiação Incidente.

## Abstract

The promotion of energy efficiency in buildings has been one of the main concerns of the European Union in recent years. It is important to emphasize that air conditioning energy consumption varies depending on the type of use of the building, the quality of its passive and active systems, the desired level of thermal comfort and the characteristics of the climate. The more severe the climate, the greater the amount of thermal energy that must be supplied/removed from the interior spaces of the buildings to ensure thermal comfort conditions.

The main objective of this study was to evaluate the cost of thermal comfort in European buildings, in terms of energy needs, energy consumption and economic cost. Therefore, 5 degrees of thermal comfort quality were considered (excellent, good, medium, low, and without air conditioning system). The number of heating degree-days and cooling degree-days were used to select 5 locations that together represent the different climates of the European continent (hot, moderate, cold, very cold and extremely cold). The European buildings were represented by 6 buildings belonging to 4 types of use: residential (apartment and dwelling); services with permanent operation (clinic); services with intermittent operation (school and bank branch); and trade with intermittent operation (supermarket). Two alternatives were considered for the opaque elements of the building envelope (without thermal insulation and with the recommended thickness of thermal insulation). It was assumed that the HVAC system could be equipped with a Class A+ or Class A+++ heat pump-chiller.

The *SEnergEd* software was used as a calculation tool, which performs the hourly dynamic mono-zone simulation of the thermal and energy behavior of buildings and performs the economic analysis of their life cycle. However, the latest version of this program was only prepared for calculating the shading of the glazing of buildings located in Portugal, which was not appropriate for this study, as they depend on the latitude of the place. Thus, this software needed an improvement so that it could be used to simulate a building located anywhere in the Northern Hemisphere. It was also necessary to adapt the climate files of locations outside Portugal considered in this study to the format required by *SEnergEd*.

The results obtained show that both the energy requirements for air conditioning and the economic cost of thermal comfort increase with the improvement of the quality required for thermal comfort. These parameters strongly depend on the type of use of the building, with higher values in the case of buildings with permanent occupation (apartment, dwelling and clinic) than in those with intermittent occupation (school, bank branch and supermarket).

Heating energy requirements vary in proportion to the corresponding heating degree-days. In turn, the variation in energy requirements for cooling is more complex, as they increase simultaneously with the degree-days of cooling and with the intensity of solar radiation. The energy requirements for heating are substantially higher than the corresponding energy requirements for cooling, except in the case of the supermarket, where they are of the same order of magnitude.

The evolution of the cost of thermal comfort with the intensity of the climate is not linear, as it involves different countries with different economic realities. Even so, it is fair to say that it increases with the number of degree days of heating. In global terms, it can be said that the factors that has most influence on it are the type of use of the building, the amount to be invested in the respective HVAC system, the energy needs for heating and the desired quality of thermal comfort.

**Keywords** European climate, Shading of glazed openings, Thermal Comfort, Equivalent Annual Cost, Solar Geometry, Incident Radiation.

## Índice

Índice de Figuras .....	ix
Índice de Tabelas .....	xi
Simbologia e Siglas .....	xiii
Simbologia.....	xiii
Siglas .....	xiv
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Enquadramento .....	1
1.2. Revisão Bibliográfica .....	3
1.3. Objetivos.....	6
2. METODOLOGIAS DE CÁLCULO .....	8
2.1. <i>SEnergEd</i> – versão 411 .....	8
2.1.1. Simulação do Comportamento Térmico e Energético de Edifícios .....	9
2.1.2. Custo Anual Equivalente do Ciclo de Vida dos Edifícios.....	13
2.1.3. <i>Inputs</i> .....	14
2.1.4. <i>Outputs</i> .....	16
2.1.5. Potencialidades e limitações.....	18
2.2. <i>SEnergEd</i> – versão 508.....	19
2.2.1. Geometria Solar.....	20
2.2.2. Cálculo dos fatores de sombreamento dos envidraçados .....	23
2.2.3. Criação dos ficheiros climáticos.....	28
2.2.4. Outras Adaptações e Melhorias.....	29
3. CONFORTO, CLIMAS, EDIFÍCIOS E CONDIÇÕES.....	30
3.1. Classes de Conforto Térmico.....	30
3.2. Tipos de Clima.....	32
3.3. Edifícios .....	36
3.4. Ocupantes.....	40
3.5. Iluminação, Equipamento interno, Águas Quentes Sanitárias e Ventilação.....	42
3.6. Sistemas de Climatização .....	43
3.7. Características dos Vãos Envidraçados .....	43
3.8. Soluções Construtivas Opacas .....	46
3.9. Tarifas da Energia .....	48
3.10. Parâmetros Económico-Financeiros.....	49
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	51
4.1. Necessidades de Energia para Aquecimento e para Arrefecimento .....	52
4.2. Custo do Conforto Térmico .....	57
4.3. Discussão .....	62
5. CONCLUSÕES .....	68
REFERÊNCIAS .....	70
ANEXO A – Funções criadas em VBA para MS Excel .....	73

ANEXO B – Influência do grau de sombreamento e da orientação nos ganhos solares de um vão envidraçado .....	76
ANEXO C – Características dos edifícios .....	80
ANEXO D – Dados da simulação económico-financeira .....	92

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Esquema de princípio do modelo 5R1C (Raimundo, 2008) .....	10
Figura 2.2: <i>Outputs</i> do programa: gráfico de variação da temperatura exterior e interior, utilizando <i>setpoints de PMV</i> .....	18
Figura 2.3. Obtenção dos ângulos limite de sombreamento .....	23
Figura 2.4: Relação entre os ângulos de sombreamento e os ângulos solares .....	24
Figura 2.5: Influência do grau de sombreamento e da orientação no fator de obstrução do envidraçado .....	27
Figura 2.6: Temperatura do ar exterior (a verde), do ar interior com ocupação (a azul) e sem ocupação (a vermelho) .....	29
Figura 3.1. Regiões em análise (Google Maps, 2021) .....	34
Figura 3.2. Cartas solares das regiões em análise .....	36
Figura 3.3: Planta do apartamento (Raimundo et al., 2011a) .....	37
Figura 3.4: Moradia isolada e terreno circundante (Raimundo et al., 2011b) .....	37
Figura 3.5: Clínica privada e obstáculos vizinhos (Raimundo et al., 2011c) .....	38
Figura 3.6: Divisão da escola por blocos (Claro, 2015) .....	39
Figura 3.7: Planta da agência bancária (Raimundo et al., 2007) .....	39
Figura 3.8: Planta do supermercado (Vidigueira, 2013) .....	40
Figura 3.9: Relações trigonométricas entre os ângulos de sombreamento .....	45
Figura 4.1: Necessidades de energia para aquecimento e para arrefecimento de cada edifício, com e sem isolamento térmico, e para os 5 tipos de clima considerados. ....	54
Figura 4.2. Custo do conforto térmico para sistemas AVAC da classe A+ e A+++, para cada tipologia de edifício, com e sem isolamento térmico, e para os 5 tipos de clima considerados .....	59
Figura 4.3: Proporcionalidade entre os graus-dia/ano e as necessidades de energia, para aquecimento e para arrefecimento .....	65
Figura 4.4: Influência da radiação incidente nos graus-dia/ano de arrefecimento .....	66
Figura 0.1: Influência do grau de sombreamento nos ganhos solares de um vão envidraçado voltado a norte .....	77
Figura 0.2: Influência do grau de sombreamento nos ganhos solares de um vão envidraçado voltado a este .....	77
Figura 0.3: Influência do grau de sombreamento nos ganhos solares de um vão envidraçado voltado a sul .....	78

Figura 0.4: Influência do grau de sombreamento nos ganhos solares de um vão envidraçado voltado a oeste.....	79
Figura 0.1: Edifício com a FA analisada em destaque (Raimundo et al. 2011a).....	80
Figura 0.2: Esquema de inserção local do edifício (Raimundo et al. 2011a).....	80
Figura 0.3: Planta da cave da moradia (Raimundo et al., 2011b) .....	82
Figura 0.4: Planta do piso intermédio da moradia (Raimundo et al., 2011b) .....	82
Figura 0.5: Planta do piso superior da moradia (Raimundo et al., 2011b).....	82
Figura 0.6: Planta do piso inferior da clínica (Raimundo et al., 2011c) .....	84
Figura 0.7: Planta do piso superior da clínica (Raimundo et al., 2011c) .....	84
Figura 0.8: Fachada da escola .....	86
Figura 0.9: Vista aérea da escola com a identificação dos blocos principais.....	86
Figura 0.10: Alçado posterior (lado este) da agência (Raimundo et al., 2007).....	88
Figura 0.11: Alçado lateral (lado norte) da agência (Raimundo et al., 2007).....	88
Figura 0.12: Alçado principal (lado oeste) da agência (Raimundo et al., 2007).....	88
Figura 0.13: Representação exterior do supermercado (Vidigueira, 2013) .....	90

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1: Fator de sombreamento do horizonte para Portugal Continental e para a Região Autónoma dos Açores na estação de aquecimento (Despacho nº 15793-K/2013)	12
Tabela 2.2: Fator de sombreamento por elementos horizontais próximos para Portugal Continental e para a Região Autónoma dos Açores na estação de aquecimento (Despacho nº 15793-K/2013)	12
Tabela 2.3: Fator de sombreamento por elementos verticais próximos para Portugal Continental e para a Região Autónoma dos Açores na estação de aquecimento (Despacho nº 15793-K/2013)	13
Tabela 3.1: Escala de classificação do conforto térmico por PMV (ISO 7730, 2005)	30
Tabela 3.2: Classes de Conforto térmico utilizadas (EN 16798-1:2019)	31
Tabela 3.3: Climas e localidades em estudo	34
Tabela 3.4: Isolamento térmico do vestuário utilizado, nível de atividade, e velocidade do ar interior	42
Tabela 3.5: Resumo da informação considerada	42
Tabela 3.6: Valores europeus das eficiências SCOP e SEER e custos em AVAC de cada edifício	43
Tabela 3.7: Características técnicas dos envidraçados (Rebello, 2016)(retirado de Saraiva, 2017)	44
Tabela 3.8: Espessura de EPS considerada (em cm)	47
Tabela 3.9: Ordenados mínimos considerados (Eurostat, 2021c)	48
Tabela 3.10: Preços da energia em €/kWh para os diferentes casos em estudo (Eurostat, 2021b)	48
Tabela 4.1: Fator de Forma dos edifícios em análise	52
Tabela 0.1: Isolamento térmico do vestuário utilizado pelos ocupantes do apartamento	80
Tabela 0.2: Perfil de ocupação do apartamento	81
Tabela 0.3: Perfil de uso de equipamentos não-AVAC no apartamento	81
Tabela 0.4: Perfil de iluminação do apartamento	81
Tabela 0.5: Perfil de atividade metabólica do apartamento	81
Tabela 0.6: Isolamento térmico do vestuário utilizado pelos ocupantes da moradia	83
Tabela 0.7: Perfil de ocupação da moradia	83
Tabela 0.8: Perfil de uso de equipamentos não-AVAC na moradia	83
Tabela 0.9: Perfil de iluminação da moradia	83
Tabela 0.10: Perfil de atividade metabólica da moradia	83
Tabela 0.11: Isolamento térmico do vestuário utilizado na clínica	85
Tabela 0.12: Perfil de ocupação da clínica	85

Tabela 0.13: Perfil de uso de equipamentos não-AVAC na clínica.....	85
Tabela 0.14: Perfil de iluminação da clínica .....	85
Tabela 0.15: Perfil de atividade metabólica da clínica.....	85
Tabela 0.16: Isolamento térmico do vestuário utilizado na escola .....	86
Tabela 0.17: Perfil de ocupação da escola .....	87
Tabela 0.18: Perfil de uso de equipamentos não-AVAC na escola .....	87
Tabela 0.19: Perfil de iluminação da escola.....	87
Tabela 0.20: Perfil de atividade metabólica da escola .....	87
Tabela 0.21: Isolamento térmico do vestuário utilizado na agência .....	89
Tabela 0.22: Perfil de ocupação da agência .....	89
Tabela 0.23: Perfil de uso de equipamentos não-AVAC na agência .....	89
Tabela 0.24: Perfil de iluminação da agência .....	89
Tabela 0.25: Perfil de atividade metabólica da agência .....	89
Tabela 0.26: Isolamento térmico do vestuário utilizado no supermercado .....	90
Tabela 0.27: Perfil de ocupação do supermercado.....	91
Tabela 0.28: Perfil de uso de equipamentos não-AVAC no supermercado.....	91
Tabela 0.29: Perfil de iluminação do supermercado .....	91
Tabela 0.30: Perfil de atividade metabólica do supermercado.....	91
Tabela 0.1: Parâmetros económico-financeiros para os casos simulados em Málaga .....	92
Tabela 0.2: Parâmetros económico-financeiros para os casos simulados em Lisboa .....	92
Tabela 0.3: Parâmetros económico-financeiros para os casos simulados em Valladolid ...	93
Tabela 0.4: Parâmetros económico-financeiros para os casos simulados em Varsóvia.....	93
Tabela 0.5: Parâmetros económico-financeiros para os casos simulados em Reykjavik....	93

## SIMBOLOGIA E SIGLAS

### Simbologia

$A_{cl}$  – Área da zona climatizada [ $m^2$ ]

$A$  – Área do vão envidraçado [ $m^2$ ]

$CF$  – *Cash-flow* [ $€ \text{ano}^{-1}$ ]

$U$  – Coeficiente de transmissão térmica da superfície [ $W K^{-1} m^{-2}$ ]

$U_{wdn}$  – Coeficiente  $U$  médio dia-noite do vão envidraçado [ $W K^{-1} m^{-2}$ ]

$CAE$  – Custo anual equivalente [ $€ m^{-2} \text{ano}^{-1}$ ]

$CC$  – Custo do conforto térmico [ $€ m^{-2} \text{ano}^{-1}$ ]

$C$  – Custos anuais [ $€ \text{ano}^{-1}$ ]

$ESEER$  – *European Seasonal Energy Efficiency Ratio*

$ES COP$  - *European Seasonal Coefficient of Performance*

$F_s$  – Fator de obstrução do envidraçado

$F_w$  – Fator de seletividade angular dos vidros

$F_h$  – Fator de sombreamento do horizonte

$F_o$  – Fator de sombreamento por elementos horizontais próximos

$F_f$  - Fator de sombreamento por elementos verticais próximos

$g_{\perp}$  – Fator solar dos vidros

$F_g$  – Fração envidraçada

$Q_s$  – Ganhos solares [W]

$GD$  – Graus-dia [ $^{\circ}C.dia$ ]

$GD_{aq}$  – Graus-Dia de aquecimento [ $^{\circ}C.dia$ ]

$GD_{ar}$  – Graus-Dia de arrefecimento [ $^{\circ}C.dia$ ]

$PPD$  – Percentagem de pessoas insatisfeitas [%]

$ST$  – Poupanças fiscais [ $€ \text{ano}^{-1}$ ]

$G_D$  – Radiação difusa incidente numa superfície horizontal [ $W m^{-2}$ ]

$G_{Dt}$  – Radiação difusa incidente numa superfície inclinada [ $W m^{-2}$ ]

$G_B$  – Radiação direta incidente numa superfície horizontal [ $W m^{-2}$ ]

- $G_{Bt}$  – Radiação direta incidente numa superfície inclinada [ $\text{W m}^{-2}$ ]  
 $G_{Bn}$  – Radiação direta incidente numa superfície normal à direção dos raios solares [ $\text{W m}^{-2}$ ]  
 $I_{solar}$  ou  $G$  – Radiação global incidente [ $\text{W m}^{-2}$ ]  
 $G_{Gt}$  – Radiação refletida pelo solo incidente numa superfície inclinada [ $\text{W m}^{-2}$ ]  
 $R$  – Rendimentos anuais [ $\text{€ ano}^{-1}$ ]  
 $i$  – Taxa de atualização [%]  
 $\text{IVA}$  – Taxa de Imposto sobre o Valor Acrescentado [%]  
 $\text{VLA}$  – Valor líquido atual [€]  
 $\text{VR}$  – Valor residual [€]  
 $\text{PMV}$  – Voto médio previsto (*Predict Mean Vote*)  
 $\text{WhD}_{ar}$  – Watts-hora-Dia de arrefecimento [Wh.dia]  
 $\rho_G$  – Albedo do solo  
 $\alpha$  – Altitude solar [°]  
 $\theta$  – Ângulo de incidência dos raios solares [°]  
 $\alpha_o$  - Ângulo de sombreamento da pala horizontal [°]  
 $\beta_D$  - Ângulo de sombreamento da pala vertical à direita do envidraçado [°]  
 $\beta_E$  - Ângulo de sombreamento da pala vertical à esquerda do envidraçado [°]  
 $\alpha_h$  - Ângulo de sombreamento do horizonte [°]  
 $\omega$  – Ângulo horário [°]  
 $\psi$  – Azimute solar [°]  
 $\delta$  – Declinação solar [°]  
 $\phi$  – Latitude do lugar [°]  
 $\theta_z$  – Zénite solar [°]

## Siglas

- 5R1C – 5 Resistências e 1 Condensador  
AQS – Águas Quentes Sanitárias  
AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado  
DST – *Daylight Saving Time*  
EPW – *EnergyPlus Weather File*

ISO – *International Organization for Standardization*

SCE – Sistema de Certificação Energética de edifícios

TRY – *Test Reference Year*

TST – *True Solar Time*



# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Enquadramento

A União Europeia considera a eficiência energética dos edifícios uma “prioridade absoluta”. Segundo esta, os edifícios consomem cerca de 40% da energia da UE, anualmente. As alterações climáticas provocaram a necessidade de melhorar a qualidade dos sistemas de climatização dos edifícios. Em 2007, e tomando como referência este mesmo ano, a Comissão Europeia estabeleceu como objetivo para 2020 uma redução no consumo médio anual de energia de 20%. Em 2018, essa meta foi reajustada para uma redução de 32,5% até 2030 (Eurostat, 2021a). Para garantir esta redução é necessário que os edifícios europeus sejam energeticamente mais eficientes, o que requer investimento financeiro e mudança de comportamentos.

Um dos principais responsáveis pelo consumo de energia pelos edifícios é a climatização e esta está dependente, maioritariamente, da qualidade dos sistemas passivos e ativos do edifício, do nível de conforto térmico pretendido e do clima.

A palavra clima teve origem no verbo grego “*klinein*” que significa “inclinar”. Na Antiguidade, os gregos associavam a mudança de clima à inclinação da Terra, que na altura se considerava plana, em direção ao Polo Norte (Origem da Palavra, 2021). Na realidade, eles não estavam totalmente errados. O ângulo formado entre o plano equatorial e o paralelo local é chamado de latitude e é o principal indicador da mudança de clima, pois a inclinação dos raios solares é cada vez menor à medida que nos aproximamos dos polos. Este fator tem um impacto significativo na carga térmica de aquecimento de um edifício. Todavia, existem outros fatores que também influenciam as características do clima, nomeadamente a precipitação, a vegetação, a altitude, entre outros.

Ao conforto térmico está associado um custo energético, que se traduz num gasto económico, que é tanto mais significativo quanto maior for a necessidade de climatização do espaço, a qual, por sua vez, será tanto maior quanto mais severo for o clima. É neste contexto que é utilizado neste trabalho o conceito de Custo Anual Equivalente (CAE) do ciclo de vida completo (construção + exploração + demolição) de um edifício.

No presente estudo leva-se em consideração a qualidade construtiva dos elementos da envolvente (opaca e transparente) dos edifícios. Este aspeto está diretamente relacionado com o clima do local de implantação do edifício, visto que o clima é um parâmetro de enorme relevância no que diz respeito ao custo efetivo do isolamento térmico da envolvente opaca, como também na necessidade de energia para aquecimento e para arrefecimento dos espaços interiores. Porém, para estimar corretamente a temperatura do ar no interior de um edifício, teremos de considerar todo um circuito térmico, descrito por Raimundo (2008), o qual engloba as trocas de calor com o ambiente exterior, a radiação solar incidente, as perdas de calor por radiação infravermelha para a abóbada celeste, a renovação do ar interior, as cargas térmicas internas e os fluxos de calor associados a diferenças de temperatura entre diferentes zonas do edifício. Trata-se de um sistema dinâmico transiente, pelo que é necessário conjugar os parâmetros anteriores com o perfil de utilização e com os de funcionamento dos sistemas ativos do edifício.

Os valores apresentados neste trabalho foram obtidos recorrendo ao *software SEnergEd*, que simula o comportamento térmico, energético e económico de edifícios, em regime de monozona, recorrendo ao circuito térmico do modelo 5R1C descrito na norma ISO 13790 (2006). O programa recorre à metodologia proposta pelo Despacho nº 15793-K/2013 (2013) de forma a quantificar o fluxo de calor associado à radiação solar que atravessa os envidraçados do edifício, conhecido na climatização como “ganhos solares”. Porém, este método é apenas válido para determinados percursos solares típicos do território português. Logo, a programação do *SEnergEd* teve de ser modificada, para que o mesmo calcule os ganhos solares para outros percursos associados a outras latitudes.

A geometria solar tem um papel fulcral nesta adaptação, visto que através da mesma será possível determinar o posicionamento do Sol relativamente ao edifício e a cada uma das suas fachadas, o que permite a determinação do aquecimento do espaço devido à radiação solar incidente nos envidraçados.

Neste trabalho o conforto térmico é representado pelo PMV (voto médio previsto, *predicted mean vote*), conforme definido na norma ISO 7730 (2005). A determinação deste parâmetro baseia-se num balanço térmico ao corpo humano, o qual leva em consideração as condições intrínsecas à pessoa (nível de atividade, trabalho externo e características do vestuário) e as condições ambientais (temperatura, humidade e velocidade do ar e temperatura média radiante da envolvente). Através do PMV é possível estimar a

percentagem de pessoas insatisfeitas (PPD). Segundo a norma ISO 7730 (2005), um espaço não apresenta condições ideais de conforto térmico se pelo menos 10% dos ocupantes declararem insatisfação com o mesmo.

Em suma e para concluir, as propostas de redução do consumo da energia em climatização da UE devem ter em conta as reais necessidades de conforto térmico, os edifícios e o seu tipo de uso e o ambiente térmico que os rodeia. Assim, pretende-se avaliar a viabilidade dos edifícios e dos seus sistemas, visando a evolução da eficiência energética para cada região da Europa. Este trabalho não tem como objeto de estudo o clima, mas sim a relação entre as suas características e o custo energético e económico a suportar para obter condições de conforto térmico no interior de um edifício.

## **1.2. Revisão Bibliográfica**

Primeiramente, será feito um levantamento dos trabalhos anteriores que de alguma forma se interligam com o estudo desenvolvido. Sendo um trabalho de continuidade, começemos por referir os estudos anteriores.

Com base num trabalho de campo que envolveu o gasto de aquisição e instalação e a correspondente constituição de 81 janelas diferentes de 17 fabricantes, Rebelo (2016) recorreu aos *softwares Calumen II e Guardian Configurator* para determinar as propriedades das mesmas. Seguidamente, recorreu à versão 300 do *software SEnergEd* para identificar a tipologia de janela que levava ao menor custo anual equivalente (CAE) de 4 edifícios (apartamento, moradia, clínica e escola) quando localizados em 3 locais representativos do clima em Portugal. Rebelo (2016) identificou as janelas da classe C- como as economicamente mais vantajosas para aplicar no edificado português. Trata-se de uma janela com caixilho em alumínio com corte térmico (em PVC ou em madeira) e vidro duplo incolor (vidro exterior de 6 mm+ 11 mm de espaço de ar + vidro interior de 4 mm).

Saraiva (2017) estudou o impacto económico da aplicação de isolamento térmico nos elementos opacos da envolvente dos edifícios portugueses. Para isso, começou por efetuar um levantamento dos preços de venda dos materiais isolantes térmicos passíveis de serem aplicados em edifícios. Seguidamente recorreu ao *Gerador de preços Cype* (da Cype Ingenieros, 2017) para obter os gastos de construção de cada solução construtiva opaca e à folha de cálculo *CalProTerm* (Raimundo, 2016) para determinar as propriedades termofísicas da mesma. Com base na informação anterior, Saraiva (2017) identificou o EPS

(poliestireno expandido) como o material isolante térmico economicamente mais vantajoso para a construção de edifícios novos e para reabilitação dos existentes. Considerando 5 edifícios (apartamento, moradia, clínica, escola e supermercado) supostamente localizados em 3 locais representativos do clima português, e recorrendo à versão 320 do *software SEnergEd*, Saraiva (2017) realizou uma avaliação sistemática com vista a identificar a espessura de isolamento térmico e a sua posição em relação ao elemento opaco (pelo interior, pelo exterior, ou no meio na caixa-de-ar) economicamente mais vantajosas. Identificou que a posição preferível era “no meio na caixa-de-ar” e que a espessura ótima de EPS depende da tipologia de uso do edifício, sendo recomendadas espessuras superiores para os edifícios residenciais face aos restantes.

Em 2020, Raimundo, Saraiva, e Oliveira reanalisaram as soluções de isolamento térmico ideais para edifícios localizados em Portugal identificadas por Saraiva (2017) e determinaram vários dos parâmetros económico-financeiros utilizados no presente estudo.

Tendo em consideração os mesmos edifícios, as mesmas zonas climáticas e as soluções construtivas opacas identificadas como ótimas por Saraiva (2017) e as janelas com mais viabilidade identificadas por Rebelo (2016), Costa (2018) analisou o custo do conforto térmico no interior dos edifícios portugueses. Para o efeito, recorreu ao *software SEnergEd* e ao conceito de custo anual equivalente (CAE) do ciclo de vida de um edifício. No entanto, a versão do *SEnergEd* que existia na altura só permitia controlar o funcionamento dos sistemas de climatização por *setpoints* da temperatura do ar interior. Como para a prossecução do seu estudo era importante controlar os sistemas de climatização também por *setpoints* de PMV (voto médio previsto, *predicted mean vote*), Costa (2018) complementou o *SEnergEd* com a alternativa de o controlo da climatização também poder ser efetuado por *setpoints* de PMV, o qual é obtido seguindo o algoritmo proposto pela norma ISO 7730:2005 (2005). No seu estudo considerou 6 classes de conforto térmico (excelente, boa, razoável, baixa, muito baixa e sem sistema de climatização). Costa (2018) constatou que o CAE dos edifícios aumenta com a classe de conforto térmico requerida e com o aumento da intensidade do clima. Verificou ainda que, para a mesma qualidade de conforto térmico e mesma zona climática, o CAE dos edifícios com ocupação permanente (apartamento, moradia e clínica) é superior ao dos com ocupação intermitente (escola e supermercado). Identificou a escola como o edifício com menor CAE e constatou que no caso dos edifícios

com ocupação intermitente localizados na zona climática mais suave (I1-V1 do SCE, 2013) pode ser economicamente mais vantajoso não isolar os elementos opacos da envolvente.

Este estudo pretende dar continuidade ao trabalho de Costa (2018), expandindo-o de modo a abranger todos os tipos de clima do continente europeu. Adicionalmente, em vez de a análise ser baseada no “custo anual equivalente do edifício” será efetuada com base no “custo do conforto térmico” durante o ciclo de vida do edifício, o qual não leva em consideração os investimentos e os gastos com aspetos que não têm influência sobre a qualidade do conforto térmico no interior dos edifícios. O estudo será alargado de modo a incluir também as necessidades de energia térmica para aquecimento e para arrefecimento.

Todo o trabalho desenvolvido na área da eficiência energética dos edifícios tem como objetivo evoluir a qualidade térmica dos mesmos com o intuito de os aproximar do padrão *nZEB* (*near Zero Energy Buildings*). Os *nZEB* são edifícios de tal forma eficientes que necessitam apenas de pequenas quantidades de energia para o seu funcionamento. Estes edifícios preservam a energia neles inserida e produzem localmente energia a partir de fontes renováveis. Porém, a construção deste tipo de edifícios pode requerer elevados custos de construção (Raimundo, 2012).

O elevado interesse e relevância da eficiência energética dos edifícios levou a que exista uma vasta gama de trabalhos publicados sobre o assunto. O facto de este assunto envolver várias vertentes e alguma complexidade levou a que ainda existam muitos aspetos por analisar. Na impossibilidade de efetuar uma revisão bibliográfica exaustiva, segue-se um resumo dos estudos publicados com relação direta com o presente trabalho, no qual não são incluídos aqueles aos quais se pretende dar continuidade.

Las Heras Casas et al. (2021) realizaram uma avaliação do impacto energético, ambiental e económico da qualidade da envolvente opaca exterior de um edifício de apartamentos quando supostamente localizado em 24 cidades representativas dos climas quente e moderado de Espanha através do custo do seu ciclo de vida. Rodrigues et al. (2018) procuraram interligar as regulamentações impostas pelos países europeus para envolventes com baixa transmissão térmica com as diretrizes tradicionais de projeto de edifícios. Para isso, os autores recorreram a um software específico que lhes permitiu gerar 96 000 edifícios residenciais unifamiliares com valores de  $U$  aleatórios, supostamente localizados em 8 localidades europeias, isto de forma a estimar a melhor geometria construtiva, para cada clima da Europa. Sfakianaki et al. (2011) estimou a variação do consumo de energia em

função das várias classes de conforto térmico especificadas na norma europeia EN 15251 (2007) para 28 edifícios de diferentes tipos (escritórios, hospitais, escolas e residências) supostamente localizados em 5 países do continente europeu (Áustria, Grécia, Itália, Reino Unido e Portugal). Zeferina et al. (2021) examinaram a influência do tipo de clima na necessidade de arrefecimento de um grande edifício de escritórios quando supostamente localizado em 6 cidades (Atenas, Cairo, Lisboa, Londres, Pequim, Singapura) representativas dos vários climas, analisando os valores médios anuais e se existem picos de necessidade que possam causar um impacto crítico nas capacidades de projeto do sistema e na operação da rede de energia elétrica. Sun et al. (2017) avaliaram a influência de obstruções externas na disponibilidade de luz natural e no consumo em climatização.

Os trabalhos acabados de citar correspondem apenas uma pequena parte do vasto número de estudos publicados sobre a eficiência energética dos edifícios e o seu impacto sobre as necessidades e os consumos de energia pelos mesmos, assim como sobre os custos económicos que lhe estão associados. Em contrapartida, o número de trabalhos publicados sobre os custos energéticos e económicos da qualidade do conforto térmico é reduzido. Deste modo, de entre os trabalhos mencionados, apenas o de Costa (2018), por abordar o mesmo assunto, e os de Rebelo (2016), Saraiva (2017) e Raimundo, Saraiva e Oliveira (2020), por assentarem nos mesmos conceitos e recorrerem ao mesmo *software*, são considerados no desenvolvimento do presente trabalho.

### **1.3. Objetivos**

Este trabalho está centrado em dois objetivos principais: a melhoria do *software* *SEnergEd*, para que o mesmo simule o comportamento térmico, energético e económico de edifícios localizados em qualquer latitude do hemisfério Norte; e a avaliação do custo do conforto térmico no interior dos edifícios europeus, em termos de necessidades de energia, de consumo de energia e de custo económico.

A consubstanciação do primeiro objetivo consistiu na modificação da versão 411 do *SEnergEd* (Raimundo e Costa, 2018) de modo que este *software* passe a utilizar, na determinação do sombreamento dos envidraçados, modelos matemáticos genéricos de geometria solar relativos ao hemisfério Norte.

Para concretizar o segundo objetivo consideraram-se 5 graus de qualidade de conforto térmico (excelente, boa, razoável, baixa, e sem sistema de climatização), os quais

foram especificados tendo em conta as classes de conforto definidas pela norma EN 16798-1:2019 (2019). Recorreu-se ao número de graus-dia de aquecimento e de graus-dia de arrefecimento para seleccionar 5 localidades que no seu conjunto representam os diferentes climas do continente europeu (quente, moderado, frio, muito frio e extremamente frio). O edificado europeu foi representado por 6 edifícios pertencentes a 4 tipologias de uso: residencial (apartamento e moradia); serviços com funcionamento permanente (clínica); serviços com funcionamento intermitente (escola e agência bancária); e comércio com funcionamento intermitente (supermercado). Foram consideradas 2 alternativas para os elementos opacos da envolvente dos edifícios (sem isolamento térmico e com a espessura recomendada de isolante térmico) (Raimundo, Saraiva, e Oliveira 2020). Assumiu-se que o sistema de AVAC podia estar equipado com um *chiller*-bomba de calor da classe A+ ou da classe A+++ , com as eficiências energéticas sazonais em modo de aquecimento (ESCOP) e em modo de arrefecimento (ESEER) definidas de acordo com o Regulamento Europeu (EU) 626/2011 (EC, 2011). Deste modo, foi necessário simular com a nova versão do *SEnergEd*, a versão 508, 600 casos. Para além disto, foi necessário adequar os ficheiros climáticos dos locais fora de Portugal ao formato aceite pelo *SEnergEd*, visto que este só continha ficheiros climáticos dos concelhos do território português. Deste modo, foi possível relacionar as necessidades de energia para aquecimento e para arrefecimento, o consumo de energia com a climatização e o custo do conforto térmico nos edifícios europeus com a classe de conforto térmico pretendida, com a tipologia de uso do edifício, com o tipo de clima, com a qualidade das soluções construtivas opacas e com a eficiência energética do sistema de climatização.

## 2. METODOLOGIAS DE CÁLCULO

Este capítulo tem como propósito detalhar o funcionamento do *software* de simulação e expor os métodos considerados nas alterações seguintes. A versão 411 do *SEnergEd* assegura o cálculo das cargas térmicas necessárias para atingir determinados valores de temperatura do ar interior ou do índice de conforto térmico PMV, dependendo dos *setpoints* impostos. Considerando o ciclo de vida completo do edifício, este *software* é ainda capaz de calcular o Custo Anual Equivalente (CAE) do mesmo, um parâmetro que permite analisar económica e financeiramente o edifício como projeto de investimento.

O *software* recorre aos dados térmicos, energéticos e financeiros do edifício para realizar os cálculos previamente mencionados. Para isso, o utilizador necessita introduzir informação relativa aos elementos construtivos do edifício, aos sistemas nele aplicados e à utilização do espaço.

A versão a que se teve acesso do *SEnergEd* (versão 411) recorre ao Despacho nº 15793-K/2013 (2013) de forma a calcular o sombreamento dos envidraçados. Este método de cálculo de ganhos solares é apenas aplicável a regiões na mesma gama de latitude que Portugal. Assim, para desenvolver o estudo que se pretende realizar é necessário melhorar previamente este programa para que o mesmo possa ser utilizado na simulação de edifícios localizados em qualquer latitude do hemisfério Norte. Inclusivamente, será necessário criar ficheiros climáticos para as situações a analisar, visto que o programa contém apenas informação climática para localidades portuguesas. Para além destas, foram efetuadas melhorias de menor relevância, as quais são descritas no final deste capítulo.

### 2.1. *SEnergEd* – versão 411

O programa desenvolvido por Raimundo (2008) e posteriormente adaptado por Costa (2018) simula o comportamento energético, térmico e económico dos edifícios.

A nível energético, a climatização do espaço interior é controlada alternativamente através de *setpoints* de temperatura do ar ou de PMV (Voto Médio Previsto), sendo ainda possível impor *setpoints* de humidade relativa. O *software* recorre aos dados horários contidos em ficheiros climáticos.

A nível de análise económica, é calculado o Custo Anual Equivalente do ciclo de vida do edifício através dos investimentos como a construção do edifício, a aquisição do terreno ou a instalação dos sistemas energéticos e sanitários, dos rendimentos e dos gastos associados.

Serão indicados nesta secção os dados que necessitam ser introduzidos para efetuar cada simulação e os resultados que o programa dispõe. Para terminar, iremos analisar a versão 411, averiguando a aplicabilidade dos resultados do programa e as restrições que o *software* impõe ao estudo apresentado, isto de forma a identificar as alterações necessárias.

### **2.1.1. Simulação do Comportamento Térmico e Energético de Edifícios**

O *SEnergEd* é um programa cuja metodologia de cálculo se baseia no modelo 5R1C da norma ISO 13790 (2006), descrita por Raimundo (2008), de forma a simular de forma dinâmica, horária e em regime de monozona o comportamento térmico e energético do edifício. O modelo subdivide a simulação dinâmica em 8 760 intervalos, que representam cada hora de um ano.

Os dados de cada mês são estimados através de meses típicos, isto é, meses de cada ano em que o comportamento climático do local foi semelhante ao dos restantes anos. Assim, a informação climática de cada ano é constituída por dados mensais de vários anos, formando assim um ano de referência (*TRY – Test Reference Year*).

O modelo 5R1C assenta numa analogia entre o funcionamento térmico de um edifício e um circuito elétrico com 5 resistências e 1 condensador: a resistência térmica entre as superfícies interiores e o ar interior ( $R_{is}$ ), a resistência térmica entre a massa térmica e as superfícies interiores dos elementos opacos ( $R_{ms}$ ), a resistência térmica entre o exterior e a massa térmica dos elementos opacos ( $R_{em}$ ), a resistência térmica dos vãos envidraçados entre o ar exterior e o ar interior ( $R_w$ ), a resistência térmica associada ao caudal de ar novo introduzido no espaço e, por último, a massa de inércia concentrada no interior dos elementos opacos da envolvente ( $C_m$ ) que é vista como um condensador.

O circuito térmico enfrenta os fluxos de calor gerados pela radiação solar incidente ( $I_{solar}$ ), pelos ganhos internos de calor originados pela ocupação, pela iluminação, etc., e pelas diferenças de temperatura entre as diferentes zonas do domínio do modelo. São consideradas a temperatura do ar interior do espaço útil ( $T_i$ ), a temperatura média das

superfícies da envolvente em contacto com o ar interior ( $T_s$ ), a temperatura média da massa térmica ( $T_m$ ), a temperatura dos locais não-climatizados ( $T_{LNA}$ ) e a temperatura do ar exterior ( $T_e$ ).

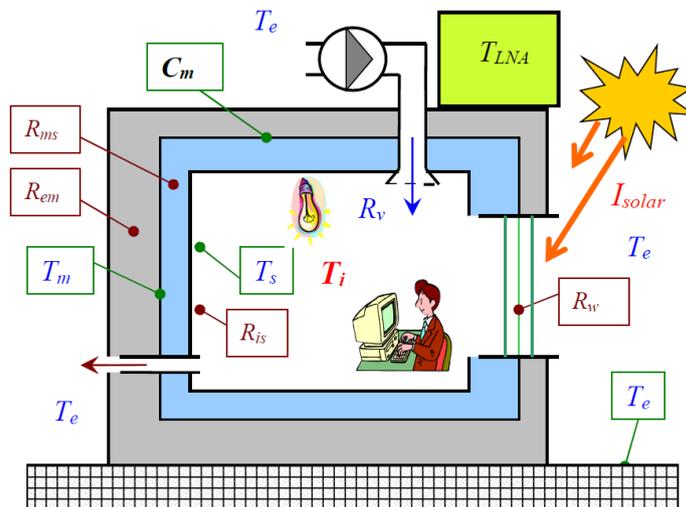


Figura 2.1. Esquema de princípio do modelo 5R1C (Raimundo, 2008)

De todos os fluxos de calor envolvidos no modelo 5R1C, o que terá mais relevância para o desenvolvimento deste estudo é o que é gerado pela radiação solar incidente ( $I_{solar}$ ). O efeito de aquecimento associado à radiação solar pode ser subdividido em duas parcelas: ganhos radiativos através da envolvente opaca e ganhos solares através dos vãos envidraçados. Tanto para a envolvente opaca como para a envidraçada, este efeito está dependente do sombreamento causado por obstruções. Para a envolvente opaca, a influência do sombreamento é um dado a introduzir, mas para a envolvente envidraçada é um parâmetro que é calculado pelo próprio programa através da descrição do posicionamento das obstruções em relação aos vãos envidraçados do edifício.

Os ganhos solares dependem não só da radiação solar, mas também do próprio envidraçado e podem ser obtidos através da área total do vão envidraçado ( $A$ ), da radiação global incidente ( $I_{solar}$ ), do fator de obstrução ( $F_s$ ), da fração envidraçada ( $F_g$ ), do fator de correção da seletividade angular do envidraçado ( $F_w$ ) e do fator solar do vão envidraçado ( $g_{\perp}$ ) (Raimundo, 2008).

$$Q_s = A \cdot I_{solar} \cdot F_s \cdot F_g \cdot F_w \cdot g_{\perp} \quad (2.1)$$

O Despacho nº 15793-K/2013 (2013) define fração envidraçada como a redução da transmissão da energia solar associada à existência da caixilharia, sendo dada pela relação entre a área envidraçada e a área total do vão envidraçado. O mesmo documento define fator de correção seletividade angular como a redução dos ganhos solares causada pela variação das propriedades do vidro com o ângulo de incidência da radiação solar direta. O fator solar é o valor que representa a relação entre a energia solar transmitida para o interior através de um elemento construtivo em relação à radiação solar incidente na direção perpendicular ao mesmo.

O fator de obstrução ( $F_s$ ) representa a redução de incidência de radiação solar direta por ação do sombreamento provocado por obstruções, mais especificamente: obstruções exteriores ao edifício; e obstruções criadas por elementos do próprio edifício. Este valor pode ser obtido através de:

$$F_s = F_h \cdot F_o \cdot F_f \quad (2.2)$$

em que ( $F_h$ ) representa o fator de sombreamento do horizonte provocado por obstruções longínquas, ( $F_o$ ) o fator de sombreamento por elementos horizontais próximos e ( $F_f$ ) representa o fator de sombreamento por elementos verticais próximos, estando este subdividido em dois fatores: elementos verticais à esquerda ( $F_{fE}$ ) e à direita ( $F_{fD}$ ) do envidraçado. Quando um envidraçado está totalmente exposto à radiação solar, o seu fator de obstrução ( $F_s$ ) toma o valor de 1, isto é, toda a radiação global com essa orientação é assumida como radiação incidente no envidraçado. Se o envidraçado estiver totalmente sombreado, o fator de obstrução assume um valor mínimo, que corresponde à incidência de apenas radiação difusa e radiação refletida pelo solo (albedo), estando totalmente privado de radiação solar direta.

Em Portugal, a legislação recorre ao Despacho nº 15793-K/2013 (2013) para calcular os fatores de sombreamento associados a obstruções na periferia do edifício, em função de ângulos médios de sombreamento, quer estas sejam obstruções longínquas (sombreamento do horizonte), quer sejam devidas a elementos horizontais ou verticais próximos. Este documento define ângulo do horizonte ( $\alpha_h$ ) como o maior dos ângulos estabelecido entre o plano horizontal que passa pelo centro geométrico do envidraçado e o extremo da obstrução, que fique localizada entre dois planos verticais que passam no centro do envidraçado e formam ângulos de 60° para cada um dos lados da normal ao plano do envidraçado. Cada fator de sombreamento por elementos próximos depende de um ângulo

designado por ângulo da pala. Para elementos horizontais, o ângulo da pala designa-se por  $\alpha_o$  e é definido pela reta vertical que passa pelo centro geométrico do envidraçado e o extremo da obstrução. Para elementos verticais, esse ângulo é formado pela reta horizontal que passa pelo centro geométrico do envidraçado e o extremo da obstrução, designando-se por  $\beta_E$  no caso de elementos à esquerda e por  $\beta_D$  no caso de elementos à direita. Apresentam-se nas Tabelas 2.1, 2.2 e 2.3 os fatores de sombreamento especificados pelo Despacho nº 15793-K/2013 (2013) para Portugal continental e para os Açores para ângulos de sombreamento específicos e para a estação de aquecimento (inverno). O mesmo despacho apresenta também valores tabelados para a estação de arrefecimento (verão), havendo também tabelas equivalentes para a Madeira.

**Tabela 2.1:** Fator de sombreamento do horizonte para Portugal Continental e para a Região Autónoma dos Açores na estação de aquecimento (Despacho nº 15793-K/2013)

Ângulo do horizonte	Portugal Continental e RAA Latitude de 39°					
	H	N	NE/ NW	E/W	SE/ SW	S
0°	1	1	1	1	1	1
10°	0,99	1	0,96	0,94	0,96	0,97
20°	0,95	1	0,96	0,84	0,88	0,90
30°	0,82	1	0,85	0,71	0,68	0,67
40°	0,67	1	0,81	0,61	0,52	0,50
45°	0,62	1	0,80	0,58	0,48	0,45

**Tabela 2.2:** Fator de sombreamento por elementos horizontais próximos para Portugal Continental e para a Região Autónoma dos Açores na estação de aquecimento (Despacho nº 15793-K/2013)

Ângulo da pala horizontal	Portugal Continental e RAA Latitude de 39°				
	N	NE/ NW	E/W	SE/ SW	S
0°	1	1	1	1	1
30°	1	0,94	0,84	0,76	0,73
45°	1	0,90	0,74	0,63	0,59
60°	1	0,85	0,64	0,49	0,44

**Tabela 2.3:** Fator de sombreamento por elementos verticais próximos para Portugal Continental e para a Região Autónoma dos Açores na estação de aquecimento (Despacho nº 15793-K/2013)

Posição da pala	Ângulo	N	NE	E	SE
Pala à esquerda	0°	1	1	1	1
	30°	1	1	1	0,97
	45°	1	1	1	0,95
	60°	1	1	1	0,91
Pala à direita	0°	1	1	1	1
	30°	1	0,89	0,87	0,91
	45°	1	0,84	0,8	0,86
	60°	1	0,8	0,72	0,79

A versão 411 do *SEnergEd* recorre aos valores tabelados no Despacho nº 15793-K/2013 (2013) para, com recurso a interpolação e a extrapolação, obter os correspondentes valores para qualquer ângulo de sombreamento.

Para terminar a descrição do funcionamento do algoritmo térmico-energético, é de referir que a climatização do espaço útil pode ser gerida através de *setpoints* de temperatura do ar ou de PMV, sendo possível alterar o tipo de controlo para cada simulação através de um interruptor. Esta melhoria foi realizada por Costa (2018) através de uma função no *Microsoft Visual Basic for Applications* que determina o voto médio previsto (PMV) pelos ocupantes. O método de obtenção dos valores de PMV será abordado mais adiante, no subcapítulo 3.1, Classes de Conforto Térmico.

### 2.1.2. Custo Anual Equivalente do Ciclo de Vida dos Edifícios

O *software SEnergEd* simula o custo do ciclo de vida completo do edifício através do Custo Anual Equivalente (CAE). A metodologia utilizada para o cálculo deste parâmetro encontra-se descrita em Raimundo et al. (2020). O cálculo deste parâmetro necessita da determinação prévia do *cash-flow* ( $CF_k$ ) em cada ano através do balanço entre os rendimentos ( $R_k$ ), poupanças fiscais ( $ST_k$ ) e custos económicos ( $C_k$ ).

$$CF_k = R_k + ST_k - C_k \quad (2.3)$$

Os rendimentos associados ao edifício podem advir da venda de energia ou do aluguer de espaços. As poupanças fiscais correspondem à redução do valor do imposto a pagar pela atividade profissional do detentor do edifício devida aos gastos relacionados com o mesmo. Os custos podem ser determinados por:

$$C_k = CT_k + CR_k + CM_k + CW_k + CE_k + CO_k \quad (2.4)$$

que inclui impostos derivados da propriedade do edifício ( $CT_k$ ), investimentos relacionados com a substituição de equipamentos ( $CR_k$ ), gastos de manutenção das construções e dos sistemas ( $CM_k$ ), despesas com água, esgoto e coleta de resíduos ( $CW_k$ ), custo da energia consumida ( $CE_k$ ), e outros gastos ( $CO_k$ ), como quotas de condomínio (caso do apartamento).

O Valor Líquido Atual ( $VLA$ ) representa a rentabilidade global de um determinado projeto de investimento e é obtido a partir do somatório dos valores atualizados para o instante inicial dos investimentos ( $I_k$ ), dos *cash-flows* ( $CF_k$ ) e do valor residual ( $VR$ ), vindo

$$VLA = \frac{VR}{(1+i)^n} - \sum_{k=0}^n \frac{I_k - CF_k}{(1+i)^k} \quad (2.5)$$

em que  $k$  é um índice que representa cada ano dos  $n$  anos do período em análise,  $i$  corresponde à taxa de atualização e  $VR$  é o valor residual do edifício, correspondente à diferença entre o valor do terreno e os custos de fim de vida, no final do período em análise.

Com todos os dados necessários, o Custo Anual Equivalente ( $CAE$ ) do edifício por área climatizada é obtido recorrendo à equação:

$$CAE = -\frac{VLA}{A_{cl}} \cdot \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (2.6)$$

onde  $A_{cl}$  representa a área útil do pavimento dos espaços climatizados do edifício.

De realçar que, neste trabalho, não chega o conhecimento do  $CAE$  de cada edifício, sendo necessário obter a partir deste o Custo do Conforto Térmico ( $CC$ ), para o poder relacionar com a tipologia de uso do edifício, com as condições climáticas, com a qualidade do conforto térmico e com a eficiência energética dos sistemas de AVAC. O valor do  $CC$  só inclui os gastos diretamente relacionados com os sistemas passivos e ativos com impacto sobre a qualidade do conforto térmico.

### 2.1.3. Inputs

O programa desenvolvido por Raimundo (2008) e posteriormente adaptado por Costa (2018), aplica o modelo 5R1C, tal como foi referido na secção 2.1.1. Antes das adaptações de Costa, o *software* necessitava da seguinte informação:

- Localização, posição e orientação do edifício;

- 
- Base de dados climáticos horários para o local de implantação do edifício;
  - Layout de implantação do edifício (para efeitos de radiação solar e sombreamentos);
  - Características geométricas do espaço climatizado;
  - Características geométricas e propriedades termofísicas e solares da envolvente exterior opaca;
  - Características geométricas e propriedades termofísicas e solares dos vãos envidraçados;
  - Caracterização dos espaços vizinhos considerados como não climatizados (coeficiente  $\tau$ , definido segundo os pressupostos do SCE);
  - Características geométricas e propriedades termofísicas da envolvente interior (de separação da zona climatizada dos espaços não climatizados);
  - Características geométricas e propriedades termofísicas dos elementos internos ao espaço climatizado, para efeitos de massa térmica (inércia);
  - Ganhos (ou perdas) de calor por fontes internas (ocupantes, iluminação, equipamentos, etc.);
  - Eficiência dos sistemas de recuperação de energia e suas características de funcionamento;
  - Características de funcionamento dos sistemas do tipo *free-cooling*;
  - Características de funcionamento dos sistemas de produção de AQS;
  - Contribuição de energias renováveis;
  - Taxas de renovação de ar (caudal de ar novo);
  - Perfis de utilização (ocupação, equipamentos, iluminação, etc.);
  - Características e perfis de funcionamento dos sistemas AVAC;
  - Características e perfis de funcionamento dos espaços complementares (não climatizados), como cozinha, lavandaria, garagens, armazéns, etc.;
  - Características e perfis de funcionamento de equipamentos específicos (que não tenham sido incluídos nas categorias anteriores);
  - Características e perfis de funcionamento da iluminação exterior;
  - Potência máxima de aquecimento dos equipamentos instalados ( $P_{h,max}$ );
  - Potência máxima de arrefecimento dos equipamentos instalados ( $P_{c,max}$ );
  - *Setpoint* para a temperatura mínima do ar interior ( $T_{min}$ );
  - *Setpoint* para a temperatura máxima do ar interior ( $T_{max}$ );
  - *Setpoint* para a humidade relativa mínima do ar interior ( $RH_{min}$ );
  - *Setpoint* para a humidade relativa máxima do ar interior ( $RH_{max}$ ).

Após as melhorias implementadas por Costa (2018), o funcionamento do *SEnergEd* requer ainda o conhecimento de:

- Informação sobre os ocupantes (intensidade da sua atividade, vestuário e sua variabilidade ao longo de cada hora do ano);
- Velocidade média do ar interior;
- *Setpoint* para o PMV mínimo;
- *Setpoint* para o PMV máximo.

Para que o *SEnergEd* consiga determinar o Custo Anual Equivalente (CAE) do edifício é necessário fornecer-lhe informação relativa aos:

- Investimentos iniciais ( $I_0$ );
- Valor residual no fim do período de análise ( $VR$ );
- Rendimentos associados ao edifício ( $R$ );
- Taxa anual média de inflação no período ( $i$ );
- Consumo diário de água da rede e de AQS;
- Taxas de manutenção dos elementos passivos, dos sistemas de AVAC, dos sistemas de preparação de AQS, dos sistemas de captação de energia renovável, dos sistemas de iluminação e de outros aparelhos domésticos;
- Coeficientes para efeito de cálculo do imposto associado à propriedade do edifício (IMI);
- Capitais alheios utilizados e respetivas taxas de juro;
- Impostos associados ao edifício como a taxa de IVA, IRC, etc;
- Tarifa de compra de cada tipo de energia consumida no edifício (em €/kWh);
- Outros gastos, taxas ou indicadores relevantes ao cálculo do Custo Anual Equivalente.

#### **2.1.4. Outputs**

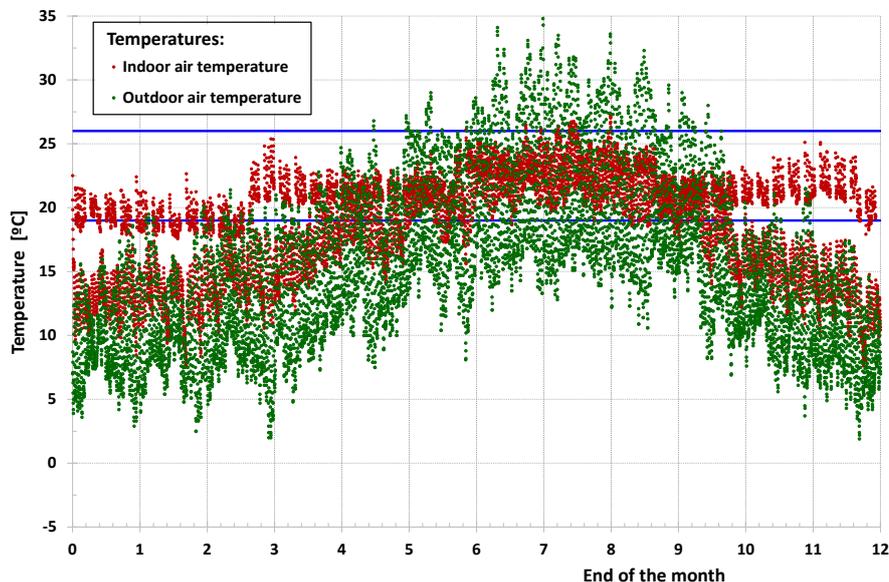
Após a introdução de todos os dados necessários, o programa recorre à informação climática presente nos ficheiros da sua base de dados de forma a estimar para cada hora do ano a temperatura e humidade média exterior da região onde se encontra e a radiação incidente na envolvente do edifício. Seguidamente, é iniciado um processo iterativo que determina as potências térmicas necessárias ao cumprimento dos *setpoints* utilizados e à mitigação da necessidade de energia do edifício durante todo o ano. Conhecendo a

eficiência energética de todos os sistemas instalados, essa necessidade é transformada em consumo, que posteriormente pode ser convertida em custo, através do preço da energia.

Depois de efetuar a simulação térmica e energética, o *software* efetua uma análise económico-financeira ao edifício. Nesta, o edifício é equiparado a um projeto de investimento. Finalizadas as simulações, o programa apresenta os resultados para:

- A necessidade e o consumo anual de energia global do edifício, que são subdivididos em energia para aquecimento, para arrefecimento, para ventilação e bombagem, para equipamentos (não-AVAC), para iluminação; para preparação de AQS; para os espaços complementares e para outros consumidores de energia no edifício
- As componentes sensível e latente da necessidade e do consumo do sistema de climatização;
- A potência térmica necessária fornecida (ou retirada) pelos sistemas de aquecimento e de arrefecimento;
- As horas em funcionamento do sistema de climatização
- O peso ponderal de cada consumo no consumo global do edifício;
- O gasto associado ao consumo de energia, discriminado por tipo de consumo;
- O peso ponderal de cada gasto em consumo no gasto total;
- O Custo Anual Equivalente, apresentando também o correspondente *Cash-Flow* operacional, Imposto sobre o Rendimento (IRC + Derrama ou IRS), *Cash-Flow* económico-financeiro, TIR (Taxa Interna de Rentabilidade), Índice de Rentabilidade e Valor Líquido Atual;
- Outros cálculos económico-financeiros (Investimentos totais do projeto, Custo total em renovações de sistemas AVAC, de preparação de AQS e de produção de energia renovável, Valor Residual total do projeto, Rendimentos totais, Gastos anuais em água, esgotos e recolha de resíduos, Gastos anuais em manutenção; Outros gastos; Imposto anual sobre a propriedade do edifício)
- A evolução horária da potência térmica útil necessária;
- A evolução horária da temperatura média do ar no interior do espaço útil e no exterior (Ver Figura 2.2);
- A evolução horária do PMV;
- A evolução horária do PPD;

Na figura abaixo está representada a evolução horária da temperatura média do ar no interior do espaço útil e no exterior de um edifício escolar.



**Figura 2.2:** *Outputs* do programa: gráfico de variação da temperatura exterior e interior, utilizando *setpoints de PMV*

### 2.1.5. Potencialidades e limitações

A versão 411 do *SEnergEd* contém imensa informação útil para o desenvolvimento do estudo. Todo o processo iterativo baseado no modelo 5R1C será necessário para determinar a variação da necessidade energética de climatização perante a mudança de clima. A adaptação do programa ao controlo por PMV, realizado por Costa (2018), também será de extrema relevância para a imposição das classes de conforto térmico da norma EN 16798-1:2019 (2019). O método de obtenção do *CAE* também permanecerá inalterado, pois as diferenças entre os climas em nada afetam o seu cálculo, sendo também útil para a determinação do *CC*.

No entanto, o programa foi idealizado com o objetivo de realizar simulações a edifícios localizados no território nacional. A *folha* “FSombra”, que é um dos separadores ocultos do *SEnergEd*, contém um algoritmo de cálculo de sombreamentos que extrapola os valores presentes nas tabelas do Despacho nº 15793-K/2013 (2013) para todos os possíveis ângulos médios de sombreamento. Esta metodologia é apenas válida para zonas com a mesma latitude que a do território nacional.

Além disso, a informação climática incorporada na versão 411 estava também restringida a localidades portuguesas. Isto deve-se a que os ficheiros climáticos desta versão

do *SEnergEd* foram gerados por uma ferramenta disponibilizada pela entidade gestora do Sistema Nacional de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), a ADENE, a qual abrange todos os concelhos do território nacional. Prevê-se recorrer aos ficheiros climáticos do *site* do *EnergyPlus* (EnergyPlus, 2021) para as localidades, a considerar neste estudo, fora do território português. No entanto, estes não estão no formato requerido e apresentam a informação com menos detalhe do que é necessário, nomeadamente sobre a radiação solar incidente nas superfícies verticais exteriores do edifício. Para além disto, os dados requeridos para a análise económico-financeira terão de ser reajustados para os outros países. A economia de cada país influencia bastante o valor do *CAE*. Assim, terão de ser adaptados os custos de mão-de-obra associados à construção do edifício, o IVA, que também varia de país para país, e o preço da energia, que será fulcral na determinação dos custos associados à climatização.

A impossibilidade de utilização da versão 411 do *software* para edifícios localizados em outros países é a principal restrição apresentada ao estudo que se pretende realizar. Desse modo, terá de ser criada uma nova versão do programa, capaz de simular o comportamento térmico, energético e económico de um edifício localizado em qualquer região da Europa.

## **2.2. *SEnergEd* – versão 508**

A nova versão do *SEnergEd* pretende resolver os problemas associados à imprecisão do algoritmo na determinação de sombreamentos e à adaptação deste a outras latitudes. Foram desenvolvidas funções no *software* que permitem simular o comportamento térmico, energético e económico de um edifício situado em qualquer zona do hemisfério Norte.

Para além disso, foi necessário adaptar os ficheiros climáticos específicos para as regiões analisadas localizadas fora de Portugal. Nesse contexto, foi desenvolvida uma nova ferramenta de cálculo, designada “Converte-FC”, que converte ficheiros climáticos para o formato compatível com o *SEnergEd*.

Seguidamente, separou-se a transmissibilidade térmica do envidraçado em situação diurna da situação noturna, permitindo, assim, que o programa se adapte a amplitudes térmicas superiores.

### 2.2.1. Geometria Solar

A posição relativa do Sol foi um fator de extrema relevância a considerar no desenvolvimento deste estudo, quer para o cálculo do sombreamento dos envidraçados, quer para a criação dos ficheiros climáticos dos locais em análise.

A altitude solar ( $\alpha$ ) e o azimute solar ( $\psi$ ) são dois ângulos que descrevem o trajeto solar em relação ao observador. A altitude solar, também conhecida como elevação solar, é descrita por Iqbal (1983) como a “altura angular do Sol acima do horizonte celestial do observador”, ou seja, se traçarmos um segmento de reta desde o observador até ao centro do Sol, a altitude solar é o ângulo formado entre este segmento de reta e o plano horizontal. O azimute solar pode ser descrito como o ângulo entre a projeção no plano horizontal da direção dos raios solares e a orientação sul (Kalogirou, 2009). O ângulo azimutal segue diversas convenções. Alguns autores medem o ângulo de azimute segundo a orientação norte, principalmente quando as regiões em análise são no hemisfério Sul. Existem ainda autores que convencionam que o azimute solar é crescente no sentido este-oeste e outros aplicam a convenção inversa. Neste estudo, o ângulo azimutal tem origem na orientação sul e é crescente no sentido este-oeste. Assim, até às 12 horas *TST* (tempo solar verdadeiro, *true solar time*) o ângulo azimutal tem um valor negativo e a partir dessa hora positivo. Outro ângulo relevante é conhecido como ângulo de zénite, também conhecido como zénite solar, que corresponde ao ângulo formado entre o Sol e o eixo vertical ao observador, que no sentido ascendente, é chamado de zénite local (Iqbal, 1983). Portanto, se analisarmos os ângulos altitude solar e zénite solar, percebemos que estes são complementares, isto é, somados formam um ângulo reto.

Segundo Iqbal (1983), os ângulos de altitude solar ( $\alpha$ ) e de azimute solar ( $\psi$ ) podem ser obtidos através das equações (2.7) e (2.8)

$$\sin \alpha = \sin \delta \cdot \sin \phi + \cos \delta \cdot \cos \phi \cdot \cos \omega \quad (2.7)$$

$$\cos \psi = (\sin \alpha \cdot \sin \phi - \sin \delta) / (\cos \alpha \cdot \cos \phi) \quad (2.8)$$

contudo são dependentes de outros ângulos conhecidos na área da astrometria, nomeadamente da latitude local ( $\phi$ ), do ângulo horário ( $\omega$ ) e da declinação solar ( $\delta$ ). Todos os ângulos envolvidos nas equações (2.7) e (2.8) estão em graus [°].

A definição mais correta de latitude, segundo o dicionário português, é “a distância angular de um determinado lugar ao equador da Terra”. O ângulo horário é medido

entre o plano do meridiano do observador e o meridiano solar (Iqbal, 1983) e varia  $15^\circ$  por cada hora solar verdadeira ( $TST$ ). O ângulo entre a linha que une os centros do Sol e da Terra e o plano equatorial é conhecido como declinação solar e o seu valor varia ao longo do ano. De modo a simplificar o procedimento de cálculo, e visto que o erro introduzido é desprezável, é aceitável considerar que durante o mesmo dia a declinação solar é a mesma. Representando cada dia do ano pelo seu número ( $n_d$ ), sendo  $n_d = 1$  o dia 1 de janeiro e  $n_d = 365$  o dia 31 de dezembro, os ângulos horário ( $\omega$ ) e o da declinação solar ( $\delta$ ) podem ser obtidos recorrendo às seguintes expressões:

$$\omega = (TST - 12) * 15 \quad [^\circ] \quad (2.9)$$

$$\delta = 23,45 \operatorname{sen} \left( 365 \times \left( \frac{284 + n_d}{365} \right) \right) \quad [^\circ] \quad (2.10)$$

Utilizando a nomenclatura de Kalogirou (2009), a radiação global incidente numa superfície horizontal pode ser decomposta em duas parcelas: radiação direta ( $G_B$ ) e radiação difusa ( $G_D$ ). Para superfícies inclinadas, o autor introduz a letra “t” de “*tilted*” para distinguir a radiação global incidente numa superfície inclinada (ou vertical) da que incide numa superfície horizontal. A radiação global incidente numa superfície inclinada pode ser subdividida em: radiação direta ( $G_{Bt}$ ), difusa ( $G_{Dt}$ ) e ainda por albedo do solo ( $G_{Gt}$ ), pois uma superfície inclinada recebe radiação refletida pelo solo. O ângulo de incidência representa o ângulo entre a direção dos raios solares e a normal à superfície. Para o calcular necessitamos de saber a orientação da mesma, conhecendo o azimute da superfície ( $\psi_s$ ), isto é, o ângulo formado pela projeção da normal no plano horizontal e a orientação sul. Para superfícies verticais, o ângulo de incidência dos raios solares ( $\theta$ ) pode ser determinado recorrendo à equação:

$$\cos \theta = -\cos \phi \cos \psi_s \operatorname{sen} \delta + \operatorname{sen} \phi \cos \psi_s \cos \delta \cos \omega + \cos \delta \cos \psi_s \operatorname{sen} \omega \quad (2.11)$$

em que todos os ângulos envolvidos na equação (2.11) estão em graus [ $^\circ$ ].

Conhecendo o ângulo de incidência ( $\theta$ ), podemos calcular a primeira parcela da radiação global incidente numa superfície inclinada, a radiação direta ( $G_{Bt}$ ), através da radiação direta normal ( $G_{Bn}$ ), que é definida como a radiação direta incidente numa superfície normal aos raios solares.

$$G_{Bt} = G_{Bn} \cos \theta \quad (2.12)$$

Para completar a caracterização da radiação global incidente, necessitamos conhecer a radiação difusa e a radiação refletida que incide nas superfícies inclinadas. Segundo o modelo isotrópico de Liu e Jordan, a radiação difusa incidente numa superfície vertical ( $G_{Dt}$ ) corresponde a metade da radiação difusa incidente numa superfície horizontal ( $G_D$ ), independentemente da orientação da mesma e que a radiação refletida pelo solo ( $G_{Gt}$ ) é diretamente proporcional à radiação global incidente numa superfície horizontal ( $G$ ).

$$G_{Dt} = \frac{G_D}{2} \quad (2.13)$$

$$G_{Gt} = \rho_G G = \rho_G (G_B + G_D) \quad (2.14)$$

em que  $\rho_G$  representa o albedo do solo. Este fator pode variar entre 0 e 1. O albedo do solo é de 0,1 – 0,2 para solos rugosos de cor escura e 0,4 – 0,5 para solos lisos de cor clara (Dobos, 2011). Nos livros, é utilizado com frequência o valor de 0,2 para representar o albedo do solo, e foi o valor utilizado no decorrer do estudo.

É um modelo de simples compreensão, porém um pouco rudimentar. As radiações difusa e refletida pelo solo que incidem numa superfície inclinada só podem ser consideradas independentes da orientação da mesma quando o céu está totalmente encoberto. A obstrução completa do céu provocada pela presença das nuvens torna a radiação direta desprezável e a radiação difusa isotrópica, isto é, a radiação difusa atua da mesma forma em todas as direções. Desta forma, nestas condições meteorológicas, a radiação refletida por albedo do solo também se distribui pelas orientações de forma isotrópica.

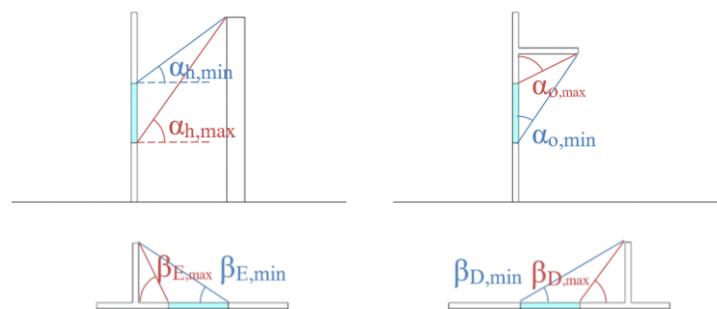
Quando o céu está limpo, as radiações difusa e refletida por albedo não se distribuem uniformemente para todas as direções. A radiação direta torna-se relevante e a esta vem associada uma radiação difusa circumsolar. Neste contexto insere-se o modelo circumsolar que assume que a radiação difusa está dependente da radiação direta e é mais significativa nas orientações defronte ao Sol.

Um dos modelos que calcula de forma precisa a radiação difusa incidente numa superfície inclinada arbitrariamente orientada, em qualquer situação meteorológica, é o modelo anisotrópico de Hay e Davis. O autor incorporou um parâmetro denominado de índice de anisotropia ( $A$ ) de forma a interligar os dois modelos acima mencionados. Se o céu estiver totalmente encoberto,  $A$  toma o valor de 0, convertendo-se no modelo isotrópico. Em situações de céu limpo,  $A$  equivale-se a 1, transformando-se no modelo circumsolar.

Contudo, o modelo adotado para a estimativa das radiações difusa e refletida pelo solo foi o modelo isotrópico, tanto pela facilidade de aplicação como pela ausência de dados suficientes nos ficheiros climáticos disponíveis no site do *EnergyPlus* (EnergyPlus, 2021).

### 2.2.2. Cálculo dos fatores de sombreamento dos envidraçados

As definições presentes no Despacho nº 15793-K/2013 (2013) são definições de ângulos médios de sombreamento que consideram para todos os casos que os ângulos são formados com origem no centro geométrico do envidraçado. Isto deve-se ao facto de ser considerado apenas um ângulo para descrever a posição relativa da obstrução. Silva e Henriques (2012) constataram que a utilização de um só ângulo médio é insuficiente para descrever adequadamente o posicionamento de uma obstrução relativamente ao envidraçado, pois não tem em conta a distância ao elemento e torna os fatores de sombreamento imprecisos. Por conseguinte, para descrever devidamente o sombreamento de um envidraçado, são necessários dois ângulos para cada fator: um ângulo mínimo e um ângulo máximo que indiquem o respetivo início da exposição do envidraçado à radiação solar direta e o fim do sombreamento. Para isso, teremos de redefinir os ângulos do horizonte ( $\alpha_h$ ), ângulos da pala horizontal ( $\alpha_o$ ) e ângulos da pala vertical à esquerda ( $\beta_E$ ) e à direita ( $\beta_D$ ) através dos limites do envidraçado e não centro geométrico, tal como representado na Figura 2.3:



**Figura 2.3.** Obtenção dos ângulos limite de sombreamento

Se conhecermos a posição do sol, é possível conhecer a área sombreada de um envidraçado, pois os ângulos solares são relacionáveis com os ângulos de sombreamento. Podemos observar através da Figura 2.4 que, no caso de envidraçados verticais, o ângulo do horizonte coincide com a altitude solar ( $\alpha$ ).

$$\alpha_h = \alpha \quad (2.15)$$

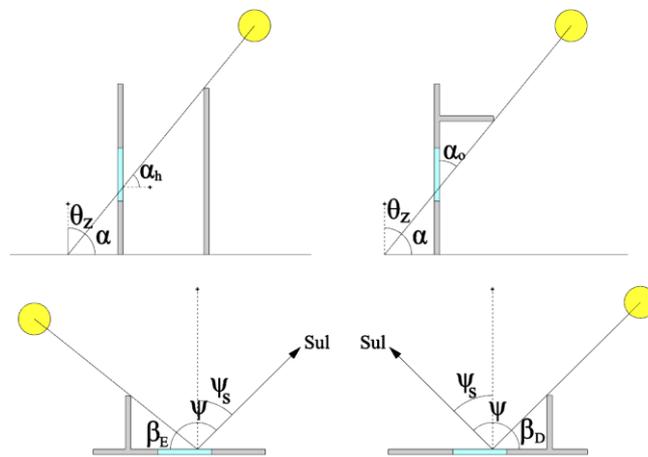
Para palas horizontais sombreando envidraçados verticais o funcionamento é inverso (ver Figura 2.4), pois o ângulo tem origem no plano do envidraçado, logo, conseguimos verificar que o ângulo da pala horizontal coincide com o ângulo de zênite ( $\theta_z$ ).

$$\alpha_o = \theta_z \quad (2.16)$$

Para terminar, para palas verticais sombreando envidraçados verticais (ver Figura 2.4), o ângulo da pala pode ser relacionado com o azimute solar ( $\psi$ ) e com o azimute de superfície ( $\psi_s$ ).

$$\beta_E = 90 + \psi + \psi_s \quad (2.17)$$

$$\beta_D = 90 + \psi - \psi_s \quad (2.18)$$



**Figura 2.4:** Relação entre os ângulos de sombreamento e os ângulos solares

Através das relações descritas nas equações (2.15) a (2.18) e representadas na Figura 2.4, é possível calcular os fatores de sombreamento e o respetivo fator de obstrução de envidraçados verticais. Contudo, é de lembrar que os fatores de sombreamento dependem do local considerado, sendo necessária a respetiva latitude para a sua obtenção.

Recordando que o fator de obstrução representa a quantidade de radiação que incide numa superfície em relação à que ela receberia se não estivesse sombreada, no caso de um envidraçado vertical calcula-se o valor mínimo ( $F_{s,min}$ ) para cada orientação vertical como:

$$F_{s,min} = \frac{G_t - G_{Bt}}{G_t} = \frac{G_{Dt} + G_{Gt}}{G_t} \quad (2.19)$$

em que  $G_{Bt}$  representa a radiação direta,  $G_{Dt}$  a difusa e  $G_{Gt}$  a refletida para superfícies inclinadas. O numerador da equação anterior (= radiação difusa + refletida) pode ser assumido como equivalente à radiação global menos intensa de todas as orientações verticais

devido à ausência de radiação direta incidente, que no caso do hemisfério Norte corresponde normalmente à radiação global incidente numa superfície vertical voltada a norte.

$$G_{Dt} + G_{Gt} = \min(G_t) \quad (2.20)$$

Para superfícies horizontais, a radiação refletida por albedo do solo não incide no envidraçado e, para além disso, o ficheiro climático indica explicitamente a separação entre radiação direta ( $G_B$ ) e difusa ( $G_D$ ).

$$F_{s,min} = \frac{G_D}{G_t} \quad (2.21)$$

Obviamente que, seja qual for a orientação do envidraçado, o fator de obstrução máximo é  $F_{s,max} = 1.0$ .

Na adaptação do cálculo de sombreamentos do *SEnergEd*, o primeiro passo foi estimar os fatores mínimos de obstrução. Para isso, criou-se uma nova coluna no separador do Clima com o valor mínimo em cada hora do ano da soma da radiação difusa com o albedo em todos os planos verticais. O principal foco de melhoria do *software* era a *folha* “FSombra”, que foi totalmente reconfigurada. Através da equação (2.19) e (2.21) definiram-se os fatores mínimos de sombreamento para todas as orientações padrão do *SEnergEd* (norte, nordeste, este, sudeste, sul, sudoeste, oeste, noroeste e horizontal).

Em seguida, calculou-se o ângulo horário ( $\omega$ ) e a declinação solar ( $\delta$ ) para todas as horas do ano com base nas equações (2.9) e (2.10). As horas utilizadas nos cálculos estão em TST (*True Solar Time*), isto significa que não é necessário converter as horas para outros fusos horários ou ter em conta os países que usam DST (*Daylight Saving Time*).

Na secção sobre geometria solar apresentaram-se as expressões que permitem determinar o azimute ( $\psi$ ) e a altitude solar ( $\alpha$ ) a partir de três ângulos solares: a latitude ( $\phi$ ), que é um dos dados do ficheiro climático, o ângulo horário ( $\omega$ ) e a declinação solar ( $\delta$ ).

Apesar das equações (2.7) e (2.8) descreverem adequadamente o processo de cálculo da altitude solar e do ângulo azimutal, não definem corretamente os limites dos ângulos. A altitude solar nunca pode ser negativa, portanto, ajustou-se a equação (2.7) para que o valor mínimo da altitude solar fosse  $0^\circ$ . A equação (2.8) não indica o sinal do ângulo azimutal, pois, para um determinado valor de  $\cos \psi$ , o azimute pode ser positivo ou negativo. O ângulo de azimute é negativo quando a altitude solar é crescente, ou seja, desde o nascer do sol até ao meio-dia solar. Após o meio-dia solar, o azimute fica positivo e a altitude solar começa a decrescer até o sol se pôr. Assim, criou-se a função AZIMUTE utilizando o

*Microsoft Visual Basic for Applications* que calcula o valor do azimute estimando o seu sinal através da taxa de crescimento horária da altura solar.

O passo seguinte foi relacionar os ângulos solares calculados com os ângulos de sombreamento. Como já foi referido, o ângulo do horizonte ( $\alpha_h$ ) e o ângulo da pala horizontal ( $\alpha_o$ ) estão diretamente relacionados com ângulos solares conhecidos. Todavia, para palas verticais há que ter em conta a orientação da superfície e a posição relativa da pala. É neste contexto que se insere a função BETAE e BETAD que calcula o ângulo da pala vertical à esquerda ( $\beta_E$ ) e à direita ( $\beta_D$ ) para cada hora do ano e para todas as orientações padrão do *SEnergEd*.

Conhecendo assim a variação de todos os ângulos de sombreamento, introduziu-se a função FOBST, que determina o fator de obstrução de um envidraçado calculando todos os fatores de sombreamento. Para finalizar a linha de código, criou-se a função PWS que calcula os ganhos solares para cada hora do ano pelo envidraçado em questão. O algoritmo implementado está detalhado no “ANEXO A – Funções criadas em VBA para MS Excel”.

Para concluir, no “ANEXO B – Influência do grau de sombreamento e da orientação nos ganhos solares de um vão envidraçado” encontra-se a representação gráfica de 3 exemplos da aplicação do algoritmo de cálculo de sombreamentos para envidraçado: sem sombreamento, mediamente sombreado e totalmente sombreado. Neste anexo estão representadas as variações dos 4 fatores de sombreamento, do fator de obstrução e dos ganhos solares dos envidraçados ao longo do dia. O dia selecionado como exemplo foi o equinócio de primavera (21 de março) e a localidade selecionada foi Coimbra.

Embora estejam apresentados no “ANEXO B – Influência do grau de sombreamento e da orientação nos ganhos solares de um vão envidraçado” apenas os casos de envidraçados orientados para os quatro pontos cardiais principais (N, E, S e W), também foram realizados gráficos da influência do sombreamento para as orientações intermédias (NE, SE, SW e NW) e para um envidraçado horizontal.

A título de exemplo, apresenta-se na Figura 2.5 a evolução do valor do fator de obstrução ( $F_s$ ) para envidraçados voltados para as várias orientações padrão do *SEnergEd*, para o caso de Coimbra no dia 21 de março e para as situações de envidraçado: sem sombreamento, mediamente sombreado e totalmente sombreado.

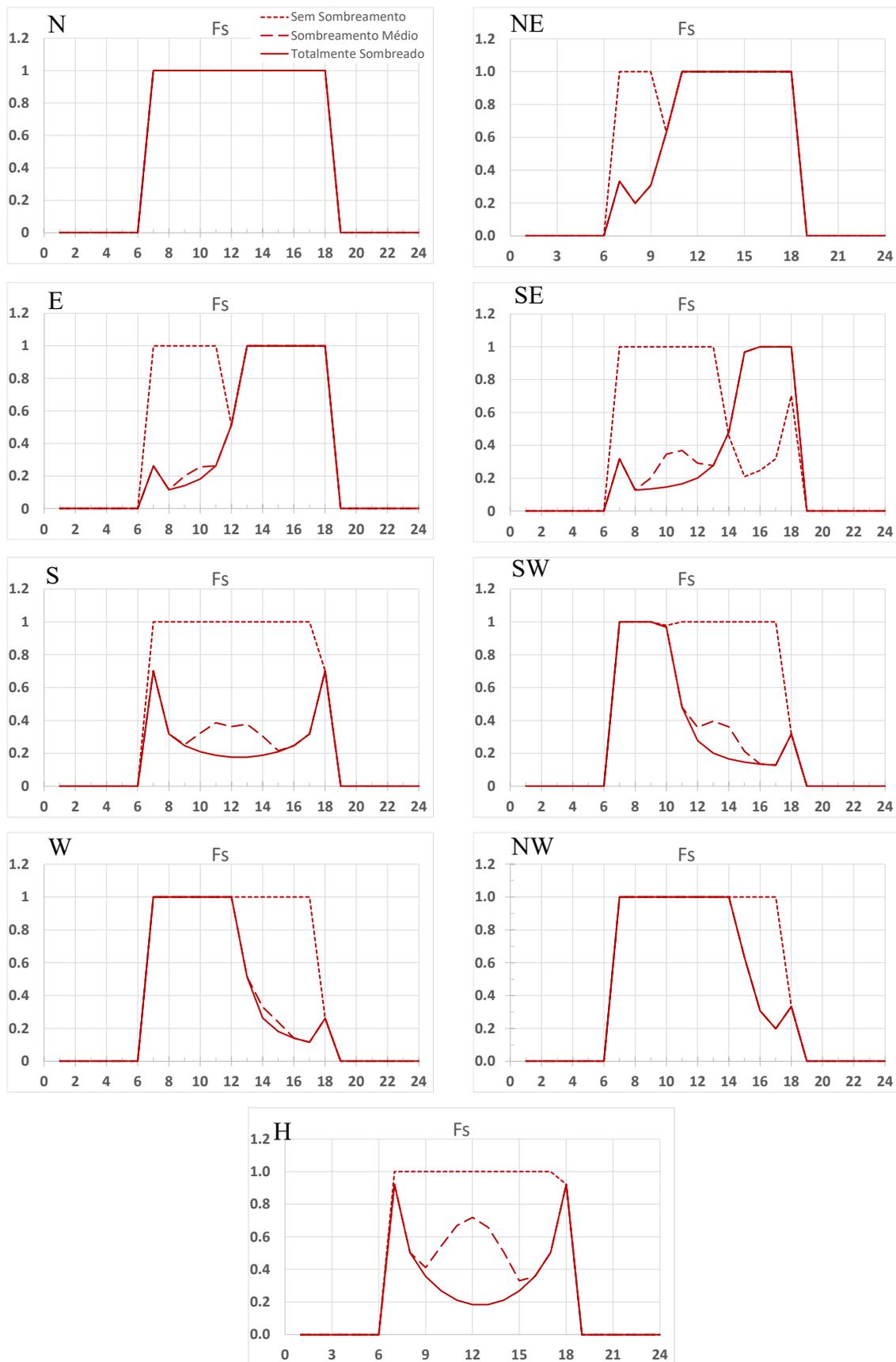


Figura 2.5: Influência do grau de sombreamento e da orientação no fator de obstrução do envidraçado

Segundo as representações gráficas criadas, podemos observar que, para envidraçados voltados a norte, as obstruções não afetam o fator de obstrução, pois estes não recebem radiação direta. À medida que nos voltamos para o sul, fica cada vez mais notável a influência das obstruções no sombreamento dos envidraçados. Para envidraçados orientados a sul, próximo do meio-dia solar, o envidraçado totalmente sombreado tem um  $F_s$  quase nulo. No entanto, o fator de obstrução nunca toma o valor de 0 porque o envidraçado, apesar de estar sombreado, recebe radiação difusa e radiação refletida devido ao albedo do solo. Para um envidraçado sem sombreamento, o fator de obstrução toma sempre o valor unitário, visto que recebe toda a radiação global incidente.

### **2.2.3. Criação dos ficheiros climáticos**

A nova versão do *SEnergEd* tem como objetivo a simulação do comportamento energético, térmico e económico de edifícios construídos em qualquer local do hemisfério Norte. Os ficheiros climáticos utilizados foram retirados do *site* do *EnergyPlus* (EnergyPlus, 2021). No entanto, estes necessitavam de algumas alterações para serem aceites pelo *SEnergEd*. Além disso, os ficheiros climáticos incluíam dados sobre as radiações globais para planos horizontais, mas a radiação global incidente em superfícies verticais teria de ser calculada. Para tal, foi necessário criar uma ferramenta de cálculo que fosse capaz de determinar, para as restantes 8 orientações padrão do *SEnergEd*, qual era a radiação global incidente.

A ferramenta criada “Converte-FC” permite converter os ficheiros climáticos do *EnergyPlus* em ficheiros funcionais para o *SEnergEd*, estimando a radiação global incidente em todas as superfícies verticais. O conversor determina a radiação direta incidente, através do cálculo do ângulo de incidência e da radiação direta normal, e estima a quantidade de radiação difusa e refletida incidente, aplicando o modelo isotrópico. Para conseguir converter os ficheiros, o utilizador necessita introduzir todo o conteúdo do ficheiro climático do *EnergyPlus*, no formato EPW, e como resultado obtém um ficheiro climático, no formato SCE, adaptado e pronto a ser introduzido no *SEnergEd*.

#### 2.2.4. Outras Adaptações e Melhorias

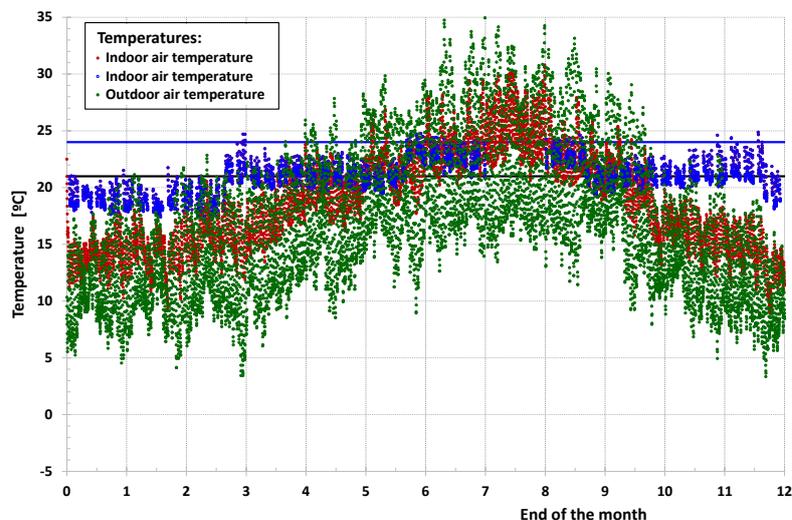
A versão 508 do *SEnergEd* conta ainda com outras adaptações e melhorias menos relevantes, porém fundamentais à precisão dos resultados e à interpretação dos mesmos por parte do utilizador.

De todas as restantes modificações, a mais relevante foi a adaptação dos coeficientes de transmissão térmica dos envidraçados. Para climas mais severos, a amplitude térmica pode ser elevada. Por esta razão, criou-se a distinção entre coeficiente de transmissão térmica para a situação diurna e para a situação noturna, adaptando a introdução dos respetivos valores e reorganizando em conformidade com isto a metodologia de cálculo.

Para além de calcular os graus-dia/ano de aquecimento com base 18°C, o programa passou também a calcular os graus-dia/ano de arrefecimento com base 24°C de forma a indicar ao leitor o tipo de clima que está a ser simulado.

Os gráficos do PMV e do PPD introduzidos por Costa (2018) também sofreram algumas adaptações. Para perceber com mais clareza se o PMV e o PPD estavam a cumprir os *setpoints* definidos, os gráficos passaram a apresentar valores apenas para as horas em que o edifício está ocupado por pessoas.

Por último, evidenciou-se no gráfico das temperaturas do ar exterior e do ar interior a distinção entre os períodos com ocupação e os sem ocupação. Apresenta-se na Figura 2.6 a representação gráfica das temperaturas do ar para o mesmo edifício e mesma situação que se encontra representada na Figura 2.2. Por comparação destas duas figuras pode ser constatada a utilidade desta melhoria.



**Figura 2.6:** Temperatura do ar exterior (a verde), do ar interior com ocupação (a azul) e sem ocupação (a vermelho)

### 3. CONFORTO, CLIMAS, EDIFÍCIOS E CONDIÇÕES

O presente capítulo tem como objetivo descrever todo o material base do estudo, as 6 tipologias de edifício, os 5 tipos de clima e as 4 das classes de conforto térmico, as quais foram especificadas tendo em consideração os níveis de conforto térmico definidos na norma EN 16798-1:2019 (2019). Para além disso, são detalhados os pressupostos do problema, entre eles: o isolamento térmico considerado, as características dos envidraçados, a transformação dos ângulos de sombreamento, a ocupação e outros parâmetros que afetam a necessidade de energia para climatização dos espaços interiores do edifício.

São ainda apresentados os dados económico-financeiros do problema. Sobre este aspeto, realça-se que cada país tem a sua própria economia, sendo muito difícil estimar com rigor todos os parâmetros económico-financeiros requeridos. Assim sendo, alteraram-se apenas os custos da mão-de-obra, a taxa de IVA e o preço de compra da energia.

#### 3.1. Classes de Conforto Térmico

As normas ASHRAE 55 (2010) e ISO 7730 (2005) definem conforto térmico como uma condição mental que exprime satisfação com o ambiente térmico. Todavia, é um conceito que gera divergência, pois varia de pessoa para pessoa, sendo difícil satisfazer simultaneamente um elevado número de indivíduos presentes num determinado espaço. Estas normas quantificam o nível de conforto térmico através de um índice, designado por PMV (voto médio previsto, *predicted mean vote*), assente numa escala de 7 indicadores de sensação térmica (ver Tabela 3.1), o qual representa o voto médio previsível de um grande número de pessoas quando expostas ao ambiente térmico em questão.

**Tabela 3.1:** Escala de classificação do conforto térmico por PMV (ISO 7730, 2005)

+3	Muito Quente
+2	Quente
+1	Ligeiramente Quente
0	Neutro
-1	Ligeiramente Frio
-2	Frio
-3	Muito Frio

A determinação do PMV está dependente do conhecimento de 7 variáveis, 3 relacionadas com a pessoa e 4 com o ambiente térmico. Os parâmetros relacionados com a pessoa são: o tipo de vestuário utilizado ( $I_{cl}$ ), a atividade metabólica ( $M$ ) e o trabalho mecânico exterior ( $W_e$ ). Os relacionados com o ambiente são: as características do ar interior (temperatura ( $T_i$ ), humidade relativa ( $RH$ ) e velocidade relativa do ar ( $v_{ar}$ )), e a temperatura média radiante das superfícies pertencentes ao espaço em questão ( $\bar{T}_r$ ).

Adicionalmente, as normas ASHRAE 55 (2010) e ISO 7730 (2005) definem também PPD como um índice que pode ser relacionado com o PMV e que estabelece uma previsão quantitativa da percentagem de pessoas não satisfeitas com o ambiente térmico. A insatisfação térmica pode ser medida pela sensação de aquecimento ou de arrefecimento do corpo como um todo. Assim, o PMV pode servir como parâmetro de controlo dos sistemas AVAC. Costa (2018) criou no *SEnergEd* a opção de controlar o funcionamento destes sistemas através de *setpoints* de PMV.

Os tipos de controlo do funcionamento dos sistemas AVAC por PMV foram escolhidos tendo em consideração os níveis de conforto térmico definidos na norma EN 16798-1:2019 (2019). Apresenta-se na Tabela 3.2 a gama de *setpoints* de PMV considerados para definir cada classe de conforto térmico. A classe A é equivalente ao nível I desta norma, a B ao nível II, a C ao nível III e a D ao nível IV. A classe NHS representa a situação em que o edifício não está equipado com um sistema de AVAC. Esta última situação é simulada no *SEnergEd* impondo a potências disponíveis (sensíveis e latentes) para aquecimento e para arrefecimento nulas.

**Tabela 3.2:** Classes de Conforto térmico utilizadas (EN 16798-1:2019)

Classe de Conforto	Controlo dos sistemas AVAC	
<b>A</b>	$-0,25 \leq PMV \leq +0,25$	PPD $\leq 6,3\%$
<b>B</b>	$-0,50 \leq PMV \leq +0,50$	PPD $\leq 10,2\%$
<b>C</b>	$-0,75 \leq PMV \leq +0,75$	PPD $\leq 16,8\%$
<b>D</b>	$-1,00 \leq PMV \leq +1,00$	PPD $\leq 26,1\%$
<b>NHS</b>	Sem Sistema AVAC ( <i>No HVAC system</i> )	

### 3.2. Tipos de Clima

O sistema mais conhecido de determinação dos tipos de clima é a classificação climática de Köppen, desenvolvida pelo botânico-climatologista alemão Wladimir Köppen em 1990. O seu objetivo era subdividir o mapa mundo em biomas (Arnfield, 2020), ou seja, identificar os espaços geográficos em que os ecossistemas são semelhantes. O principal problema desta classificação, do ponto de vista do nosso estudo, é que esta não tem apenas em conta a temperatura média sazonal do local, mas também a precipitação e a vegetação natural, que não são fatores diretamente relacionados com o conforto térmico no interior de um edifício.

Segundo o Despacho no 15793-F/2013 (2013), que classifica o território português por zonas climáticas, uma zona que tenha menos que 1 300 graus-dia/ano de aquecimento, é considerada do tipo II, ou seja, inverno ameno no contexto climático português e uma zona com mais de 1800 graus-dia/ano de aquecimento é classificada como I3, inverno rigoroso. Para classificar o tipo de clima no verão, o Despacho recorre à temperatura média da estação de arrefecimento. Para temperaturas médias abaixo de 20 °C, o verão é considerado suave (V1), acima de 22 °C é considerado intenso (V3). As zonas que obtenham classificações intermédias, quer no verão quer no inverno, são classificadas como V2 e I2, respetivamente.

No âmbito das condições climáticas no continente europeu, o clima português pode ser qualificado como temperado ou como mediterrânico. Através do Despacho nº 15793-F/2013 (2013), a regulamentação portuguesa do SCE classifica o território nacional em termos de rigor da estação de aquecimento (inverno) com base no número de graus-dia/ano de aquecimento ( $GD_{aq}$ ) e em termos de rigor da estação de arrefecimento (verão) em função da temperatura média do ar exterior nesse período ( $T_{ext}$ ). No entanto, a temperatura média da estação de arrefecimento não é um bom indicador do clima sazonal de uma determinada região, sendo preferível o recurso ao número de graus-dia/ano de arrefecimento ( $GD_{ar}$ ) e/ou ao número de Watts-hora-dia/ano de radiação solar global incidente em cada  $m^2$  de superfície horizontal durante a estação de arrefecimento ( $WhD_{ar}$ ).

O número de graus-dia/ano pode ser determinado recorrendo às expressões:

$$GD_{aq} = \frac{\sum_{i=1}^{n=8760} \max[0; (T_b - T_e)]}{24} = \frac{\sum_{i=1}^{n=8760} \max[0; (18 - T_e)]}{24} \quad (3.1)$$

$$GD_{ar} = \frac{\sum_{i=1}^{n=8760} \max[0; (T_e - T_b)]}{24} = \frac{\sum_{i=1}^{n=8760} \max[0; (T_e - 24)]}{24} \quad (3.2)$$

sendo  $T_b$  é a temperatura base de referência e  $T_e$  é a temperatura do ar exterior. Neste caso está a considerar-se uma temperatura de referência  $T_b = 18$  °C como base para o aquecimento e  $T_b = 24$  °C como base para o arrefecimento.

A necessidade de arrefecimento resulta do sobreaquecimento dos espaços, o qual é devido essencialmente à entrada de radiação solar através dos envidraçados e aos ganhos térmicos internos. Assim, deve ter-se também em conta o fluxo de calor derivado da incidência de radiação solar. Recordando o funcionamento do modelo 5R1C, este modelo assume que o circuito térmico enfrenta os fluxos de calor gerados pela radiação solar incidente, pelos ganhos internos de calor e pelas diferenças de temperatura entre as diferentes zonas do domínio do modelo. Assumindo que os ganhos internos não variam consoante o tipo de clima, criou-se uma unidade de medida que mede a intensidade da radiação solar em Watts-hora-Dia/ano. Esta medida é definida da mesma forma que os graus-dia/ano de arrefecimento, mas recorrendo à radiação global horizontal e utilizando uma base de 400 Wh/m<sup>2</sup>.

Resumindo, a metodologia adotada para classificação dos tipos de climas em estudo teve como base os graus-dia/ano de aquecimento (de base 18 °C),  $GD_{aq}$ , e de arrefecimento (de base 24 °C),  $GD_{ar}$ , do local em questão. No entanto, foram também representados os Watts-hora-Dia/ano (de base 400 Wh/m<sup>2</sup>) com o intuito de relacionar a radiação solar incidente com o efeito de aquecimento dos espaços. Para o estudo elaborado neste trabalho, achou-se adequado representar o clima do continente europeu através de 5 tipos de clima (quente, moderado, frio, muito frio, e extremamente frio). Através de uma espécie de extrapolação das características das zonas climáticas definidas pelo SCE para o território português, foi possível identificar uma cidade europeia para representante de cada um dos tipos de clima anteriores.

Um clima é tanto mais frio quanto maiores forem os graus-dia/ano de aquecimento e quanto menores forem os graus-dia/ano de arrefecimento. Assim, estabeleceram-se valores de referência de forma a conseguir classificar os climas de forma adequada. Admitiu-se que os valores 1250, 2500, 3750 e 5000 graus-dia/ano de aquecimento e 150, 100, 50 e 0 graus-dia/ano de arrefecimento seriam valores de referência adequados para classificar os climas como moderado, frio, muito frio e extremamente frio,

respetivamente. Como situação complementar, adicionou-se ainda um clima quente de forma a abranger todas as situações da Europa. O critério de determinação deste clima foi ter aproximadamente 200 graus-dia/ano de arrefecimento e uns graus-dia/ano de aquecimento muito inferiores a 1 250, o mais próximo de 0 possível. Apresentam-se na Figura 3.1 e na Tabela 3.3 as cidades selecionadas para representar o clima do continente europeu. Na Tabela 3.3 indicam-se também a latitude das mesmas, o seu número de graus-dia/ano de aquecimento ( $GD_{aq}$ ) e de arrefecimento ( $GD_{ar}$ ) e o seu número de Watts-hora-dia/ano de radiação solar global incidente em cada  $m^2$  de superfície horizontal durante a estação de arrefecimento ( $WhD_{ar}$ ).

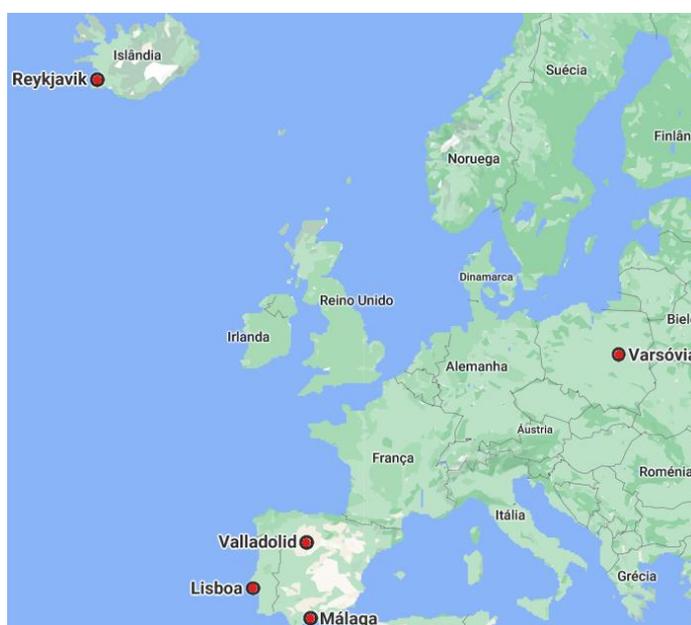


Figura 3.1. Regiões em análise (Google Maps, 2021)

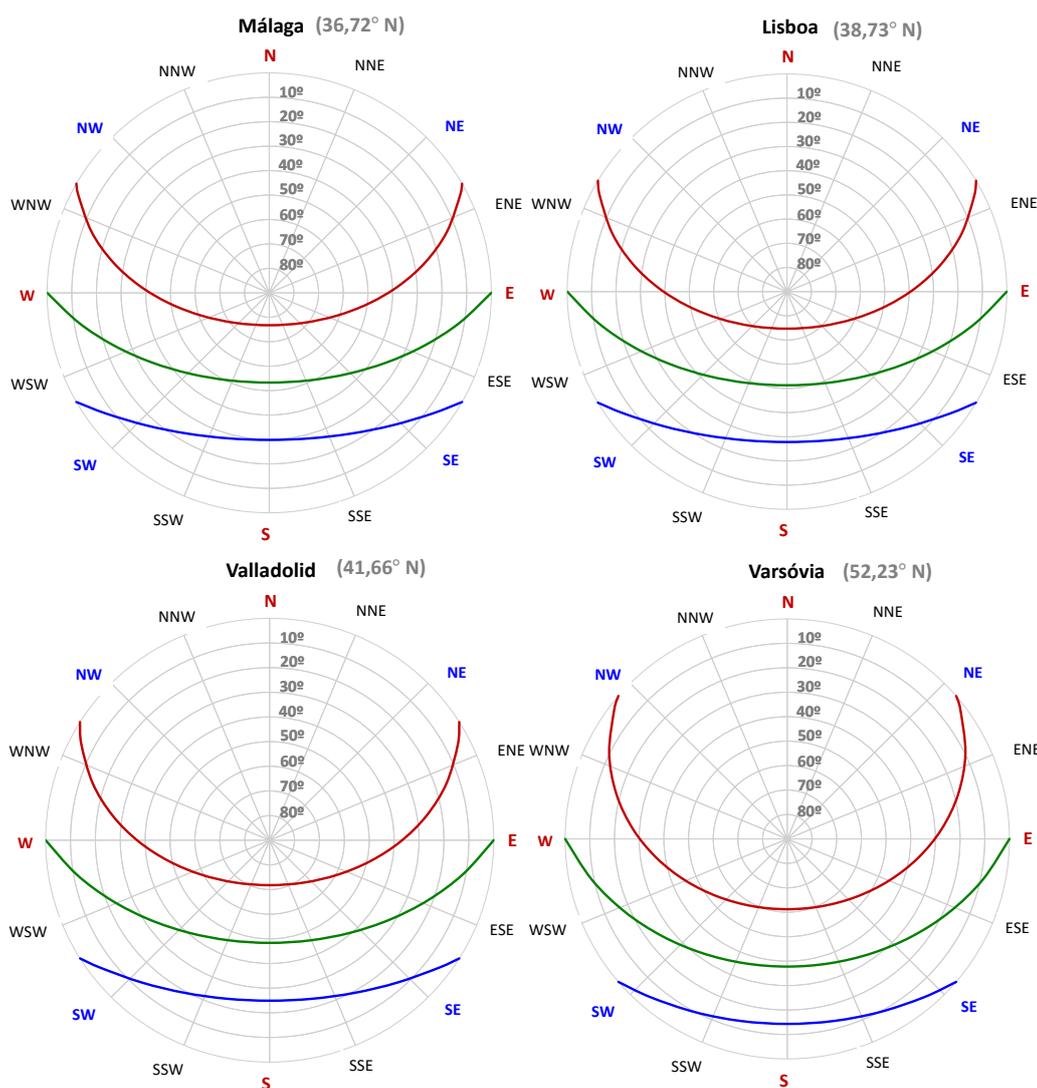
Tabela 3.3: Climas e localidades em estudo

Tipo de Clima	Cidade	Latitude	$GD_{aq}$	$GD_{ar}$	$WhD_{ar}$
Quente	Málaga	36,72° N	906	202	20 810
Moderado	Lisboa	38,73° N	1 254	142	19 134
Frio	Valladolid	41,66° N	2 565	126	17 061
Muito Frio	Varsóvia	53,23° N	3 697	23	6 187
Extremamente Frio	Reykjavik	64,14° N	4 917	0	2 680

A Figura 3.1 e a Tabela 3.3 evidenciam a influência da latitude na temperatura do ar exterior de cada local em análise. A radiação solar incidente é tanto mais intensa quanto

menor for o ângulo de incidência. Para uma superfície horizontal, o ângulo de incidência é equivalente ao zénite solar. Se assumirmos que a superfície terrestre de um determinado local pode ser aproximada a um plano horizontal, conseguimos então facilmente entender que quanto mais baixo estiver o Sol, menos intensa será a radiação solar incidente. Assim, podemos concluir que a latitude tem um papel fulcral na determinação da altitude solar e consequentemente da temperatura média exterior de um local. Foram criadas as cartas solares de cada localidade em análise, as quais se apresentam na Figura 3.2, de forma a realçar a redução da altitude solar com a variação da latitude no sentido do Pólo Norte.

É ainda de referir que outros parâmetros geográficos, como a pressão atmosférica ou a altitude, têm imensa influência na sensação térmica de um local. Daí não ser possível relacionar diretamente os graus-dia/ano do local com a latitude.



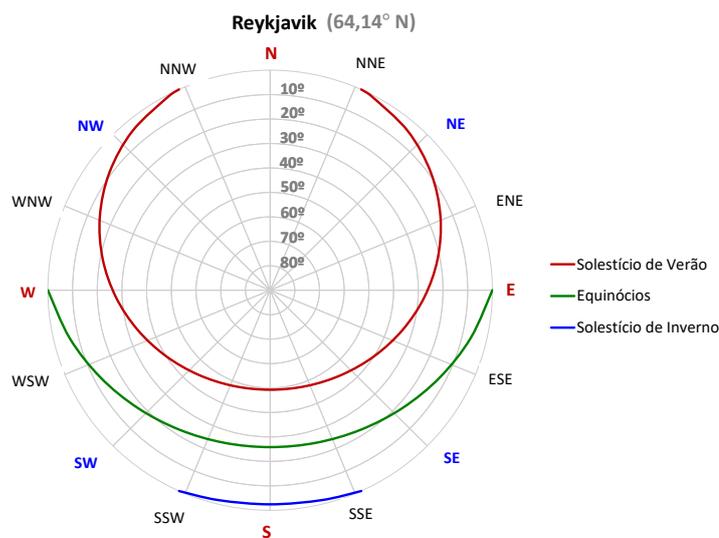
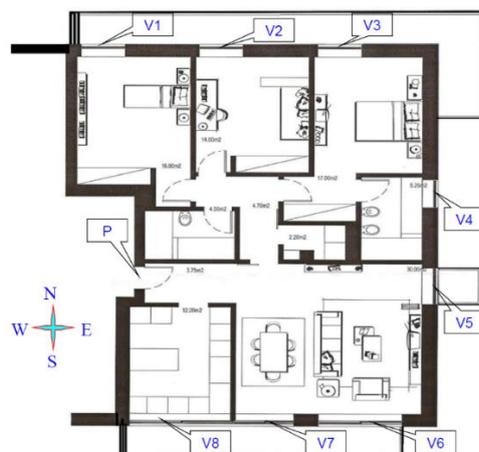


Figura 3.2. Cartas solares das regiões em análise

### 3.3. Edifícios

No âmbito deste estudo, utilizar-se-á um grupo de edifícios, de diferentes tipologias de uso, identificando assim as diferenças entre as suas necessidades e consumos de energia e custo do conforto térmico. Os edifícios considerados são edifícios residenciais (um apartamento e uma moradia), um edifício de serviços com ocupação permanente (uma clínica privada com internamento), dois edifícios de serviços com ocupação intermitente (uma escola privada e uma agência bancária) e um edifício de comércio com utilização intermitente (um supermercado). Assim, espera-se reproduzir com alguma fiabilidade a diversidade de edifícios mais comuns de uma determinada região.

O primeiro edifício a caracterizar é descrito por Raimundo et al. (2011a) como um apartamento do tipo T3 localizado no segundo piso de um edifício multifamiliar de 5 andares. Está subdividido em uma sala, uma cozinha, duas instalações sanitárias, três quartos, um vestíbulo, um espaço de circulação, um espaço de arrumos e três varandas exteriores, tal como está indicada na planta representada na Figura 3.3. No global, perfaz uma área líquida de pavimento de 109,4 m<sup>2</sup>, com um pé direito de 2,62 m.



**Figura 3.3:** Planta do apartamento (Raimundo et al., 2011a)

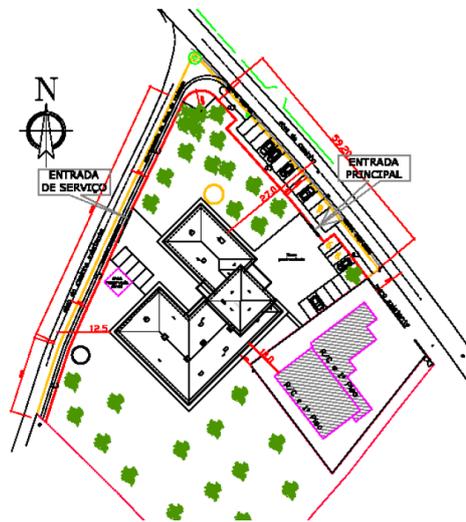
A moradia isolada, descrita em Raimundo et al. (2011b), e representada na Figura 3.4, possui uma área líquida de pavimento de 167,1 m<sup>2</sup> distribuídos por 3 pisos, e tem um pé direito médio de 2,96 m. No piso 0 existem apenas espaços destinados a arrumos. O piso 1 está compartimentado em hall de entrada, circulação interior, cozinha, sala, escritório, 2 quartos e 2 instalações sanitárias. O último piso contém uma zona em mezanino para a sala e uma zona de arrumos (esta última não climatizada).



**Figura 3.4:** Moradia isolada e terreno circundante (Raimundo et al., 2011b)

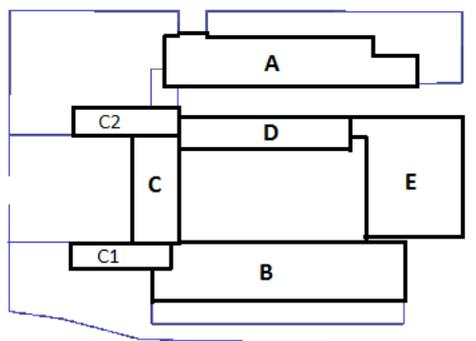
Raimundo et al. (2011c) descreveram a clínica privada como um edifício de dois pisos que tem uma área líquida de pavimento de 926,7 m<sup>2</sup> e um pé-direito médio de 3,72 m. Apresenta-se na Figura 3.5 um esquema da sua implantação no terreno. Na ala nordeste do primeiro piso encontram-se a receção e respetiva sala de espera, lavandaria, cozinha, sala de jantar e as instalações sanitárias. A sudeste estão salas de tratamento, para diferentes patologias, um gabinete médico, um ginásio para fisioterapia, salas destinadas à terapia e à desinfeção de doentes, um armazém, uma sala técnica e umas instalações sanitárias. Na

última ala, a sudoeste, existem 8 quartos com instalações sanitárias próprias para o internamento de doentes. No segundo piso existem 4 gabinetes administrativos, sala de reuniões, 2 espaços de instalações sanitárias e zonas de circulação.



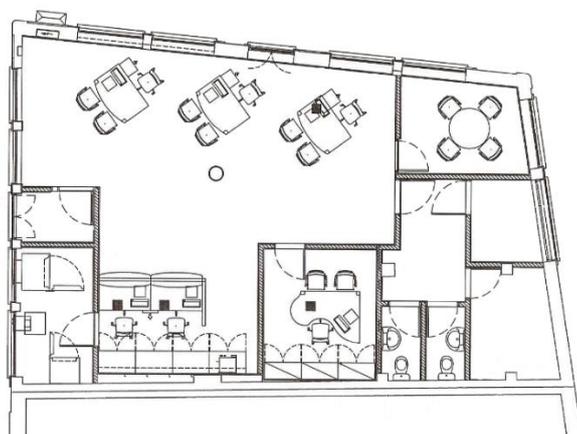
**Figura 3.5:** Clínica privada e obstáculos vizinhos (Raimundo et al., 2011c)

A escola privada tem uma arquitetura semelhante à escola do ensino secundário localizada na cidade de Coimbra, a Escola Secundária Avelar Brotero (a qual pertence ao ensino público) e da qual se apresenta na Figura 3.6 um esquema da sua repartição por blocos. Esta escola foi alvo de estudo por Claro (2015). A escola está dividida em 7 grandes blocos (A, B, C, C1, C2, D e E), tem uma área líquida de pavimento de 11 246 m<sup>2</sup> e um pé-direito médio ponderado de 3,84 m. Os blocos A e B têm 3 pisos, sendo o primeiro piso constituído por salas de aula, instalações sanitárias e circulações. O bloco C, de 1 só piso, contém um hall de entrada amplo, instalações sanitárias e circulações de acesso aos restantes blocos. Nos blocos C1 e C2, com 4 pisos cada um, existem a biblioteca, o anfiteatro polivalente, salas para os diretores de turma, laboratórios, o bar/cantina com cozinha, instalações sanitárias e circulações. O bloco D tem também 1 só piso e inclui as salas para professores e os balneários de apoio ao pavilhão gimnodesportivo. O último bloco, o Bloco E, abrange o campo de jogos do pavilhão gimnodesportivo, o qual se encontra aberto lateralmente ao exterior. Os blocos contêm ainda alguns espaços não mencionados, tais como arquivos, arrumos, armazéns e espaços técnicos, todos eles não climatizados.



**Figura 3.6:** Divisão da escola por blocos (Claro, 2015)

A agência bancária em estudo, cuja planta se apresenta na Figura 3.7, foi descrita por Raimundo et al. (2007) como uma fração autónoma localizada no piso térreo de um edifício de 4 andares, sendo constituída por nove espaços climatizados e um não climatizado (a sala de equipamentos de AVAC). A zona climatizada tem 111,4 m<sup>2</sup> de área de pavimento e um pé-direito de 2,6 m. Está subdividida em hall de entrada, zona de atendimento ao público, gabinete, sala de reuniões, circulação, arquivo, sala do cofre, ATM e ainda dispõe de duas instalações sanitárias. As paredes este e oeste são semienterradas, a parede a sul separa esta fração das garagens e a norte existe uma praça.



**Figura 3.7:** Planta da agência bancária (Raimundo et al., 2007)

Por fim, teremos em análise um supermercado que foi estudado por Vidigueira, (2013) e do qual se apresenta na Figura 3.8 a respetiva planta. O edifício tem apenas um piso térreo, inclui uma zona climatizada e dois espaços não climatizados (um armazém e uma sala de máquinas). Tem 1 035 m<sup>2</sup> de área bruta de pavimento e um pé-direito de 3,6 m. A

zona climatizada é subdividida em zona de vendas, 4 lojas independentes, um escritório, um talho, uma cafetaria e 2 instalações sanitárias.

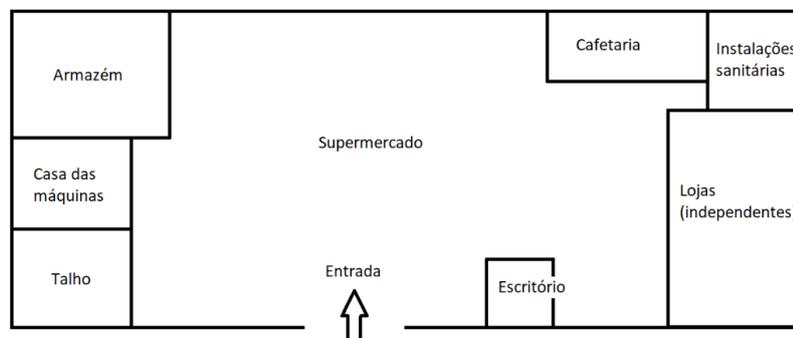


Figura 3.8: Planta do supermercado (Vidigueira, 2013)

### 3.4. Ocupantes

Os ocupantes podem também ser uma fonte de calor considerável e relevante quer para as necessidades de energia para aquecimento quer para as de arrefecimento. Nesta secção tenciona-se apresentar as condições de estadia dos ocupantes no interior do edifício, descrevendo o período de ocupação, a atividade metabólica dos mesmos e o vestuário utilizado. No “ANEXO C – Características dos edifícios” estarão representados o perfil de ocupação e de atividade metabólica assim como o isolamento médio do vestuário, para cada situação e para cada edifício. Tal como no estudo desenvolvido por Costa (2018), utilizou-se a norma ISO 8996:1990 (1990) para quantificar a atividade metabólica dos ocupantes em função do tipo de uso do espaço em que se encontram e da atividade que praticam. Recorreu-se ainda à norma ISO 9920:2007 (2007) para estimar o isolamento térmico do vestuário que varia consoante a estação do ano e o momento do dia. Na Tabela 3.4 encontra-se um resumo da informação considerada.

Visto terem o mesmo tipo de uso (residências) e terem o mesmo número de quartos, consideram-se os mesmos perfis de ocupação e de funcionamento para o apartamento e para a moradia. Nestes edifícios moram 4 pessoas durante todo o ano, exceto na primeira quinzena de agosto, em que se supõe que a ocupação se ausentará para férias. Estes edifícios estão ocupados por uma pessoa durante o período diurno e por quatro durante a noite e nos fins-de-semana. Assumiu-se que os ocupantes, durante o dia estão em atividade muito moderada e que durante a noite estão em período de sono. O vestuário utilizado é leve durante o dia, mas durante a noite torna-se mais quente, devido à roupa de cama.

A clínica tem uma ocupação máxima de 152 pessoas. Presume-se que os pacientes ocupam o espaço durante todo o ano, a todas as horas do dia, mas que grande parte dos funcionários se ausenta durante o período da noite. Apesar dos pacientes estarem em situação de descanso, os funcionários da clínica estão em trabalho físico moderado, o que leva a taxas médias metabólicas relativamente elevadas. O vestuário utilizado é também semelhante ao apartamento e à moradia, pois, não obstante ser um edifício de serviços, grande parte dos ocupantes pernoita no interior do espaço.

A capacidade máxima da escola é 1 100 ocupantes, funcionando a 100 % durante todo o ano à exceção dos períodos de férias escolares. Em abril, o edifício só está ocupado 30% do tempo, considerando-se que os restantes dias do mês são férias da Páscoa. Está ocupado 70% do tempo em junho porque os alunos que não têm exames têm direito a férias neste mês. Em julho, a ocupação é de 50%, por corresponder ao período de exames de segunda fase. Não tem qualquer ocupação em agosto devido às férias do verão que se prolongam até setembro, estando a escola ocupada neste mês apenas 70% do tempo. A ocupação diária da escola varia bastante de hora para hora, mas a atividade metabólica é sempre elevada e o vestuário é semelhante ao utilizado durante o dia nos casos anteriores.

A agência bancária é um edifício que funciona sem interrupções durante todo o ano. Tem uma lotação máxima de 12 pessoas com uma atividade metabólica relativamente baixa. Porém, o vestuário é ligeiramente mais quente que nos restantes casos, por os funcionários usarem roupa mais formal.

Em último, o supermercado também funciona sem interrupções todo o ano, mas tem perfis de ocupação diários mais prolongados que a agência. A sua capacidade máxima é 194 ocupantes que estão em atividade metabólica elevada com vestuário muito quente no inverno, mas fresco no verão, pois é assumido que as pessoas usam o mesmo vestuário que usam no exterior.

**Tabela 3.4:** Isolamento térmico do vestuário utilizado, nível de atividade, e velocidade do ar interior

	Estação do ano	Período do dia	Isolamento térmico do vestuário [clo]	Nível de atividade [met]	Velocidade do ar interior [m/s]
<b>Apartamento &amp; Moradia</b>	Inverno	Dia / Noite	1,3 / 2,6		
	Primavera & Outono	Dia / Noite	1,0 / 2,0	1,2 / 0,8	0,2
	Verão	Dia / Noite	0,7 / 1,4		
<b>Clínica</b>	Inverno	Dia / Noite	1,3 / 2,0		
	Primavera & Outono	Dia / Noite	1,0 / 2,0	1,4 / 0,8	0,2
	Verão	Dia / Noite	0,7 / 1,4		
<b>Escola</b>	Inverno	Dia	1,3		
	Primavera & Outono	Dia	1,0	1,4	0,3
	Verão	Dia	0,7		
<b>Agência Bancária</b>	Inverno	Dia	1,4		
	Primavera & Outono	Dia	1,2	1,2	0,2
	Verão	Dia	1,0		
<b>Supermercado</b>	Inverno	Dia / Noite	1,5 / 1,5		
	Primavera & Outono	Dia / Noite	1,2 / 1,2	1,5 / 1,5	0,3
	Verão	Dia / Noite	0,7 / 0,7		

### 3.5. Iluminação, Equipamento interno, Águas Quentes Sanitárias e Ventilação

O presente relatório visa quantificar o consumo de energia e o gasto em climatização de cada edifício para cada tipo de clima. No entanto, os edifícios também têm outro tipo de consumos não relacionados com a climatização. A iluminação, o equipamento interno (excluindo os sistemas AVAC), o consumo de água quente sanitária (AQS) e a ventilação são os consumos que são abordados nesta secção. Apresenta-se na Tabela 3.5 a densidade instalada para cada uma das funções anteriores. Os perfis de iluminação e de equipamentos são apresentados no “ANEXO C – Características dos edifícios”. É ainda de referir que foi utilizado o programa *SolTerm* (Solterm 5.3, 2017) para quantificar a energia produzida por sistemas solares térmicos para a preparação de AQS.

**Tabela 3.5:** Resumo da informação considerada

		Apart.	Moradia	Clínica	Escola	Agência	Super.
<b>Iluminação</b>	Necessidade [W/m <sup>2</sup> ]:	10	10	6	7	10	14,8
	Contribuição de energias renováveis [W/m <sup>2</sup> ]:	0	0	0	0	0	0
<b>Eq. Interno</b>	Necessidade [W/m <sup>2</sup> ]:	2	2	4,2	5	10	14,2
	Contribuição de energias renováveis [W/m <sup>2</sup> ]:	0	0	0	0	0	0
<b>AQS</b>	Consumo médio de AQS [l/dia.consumidor]:	40	40	15,57	11,2	0	500
	Contribuição de energias renováveis [kWh/ano]:	2424	2380	17454	36255	0	7000
<b>Ventilação</b>	Caudal de ar renovado pelo sistema mecânico [m <sup>3</sup> /h]:	200	300	7825	25912	1600	9030
	Caudal de ar renovado pela ventilação natural [m <sup>3</sup> /h]:	200	300	2068	25912	800	2236
	Necessidade [kWh/ano]	195,79	293,685	10117,8	5470,92	1064,7	11114,25

### 3.6. Sistemas de Climatização

Todos os sistemas de climatização instalados assentam num *Chiller*-Bomba de calor por ciclo de compressão-expansão. Testaram-se em alternativa equipamentos da classe A+ e da A+++ , definidos de acordo com o regulamento EC 2011, porque a classe A + é a que melhor representa o equipamento atualmente em instalação e a classe A+++ corresponde aos dispositivos com melhor eficiência energética disponíveis no mercado. O ESEER representa o valor europeu de eficiência energética sazonal em modo de arrefecimento e o ESCOP representa o valor europeu do coeficiente de performance sazonal em modo de aquecimento. São estes dois parâmetros que determinam a classe energética de um sistema AVAC. Na Tabela 3.6 estão representados os valores utilizados e o custo de investimento que cada um dos sistemas representa para os edifícios em análise.

**Tabela 3.6:** Valores europeus das eficiências SCOP e SEER e custos em AVAC de cada edifício

	Classe	A+	A+++
Eficiência de Arrefecimento Considerado	ESEERmin	8,50	5,60
	ESEERmax	9,20	6,10
	ESEERmédia	8,85	5,85
Eficiência Aquecimento Considerado	ES COPmin	5,10	4,00
	ES COPmax	5,60	4,60
	ES COPmean	5,35	4,30
Custos de Investimento [€] dos sistemas AVAC (s/ IVA)	Apart.	8 000 €	6 000 €
	Moradia	25 000 €	21 000 €
	Clínica	249 000 €	208 000 €
	Escola	1 070 000 €	890 000 €
	Agência	38 000 €	32 000 €
	Super.	185 000 €	154 000 €

### 3.7. Características dos Vãos Envidraçados

Um envidraçado é constituído pela janela, pela proteção interior (cortina, etc.) e pela proteção exterior (portada, estore, etc.). Rebelo (2016) analisou a viabilidade económica das janelas, considerando que não existia proteção interior e que a proteção exterior era um estore elétrico de réguas horizontais em plástico. Esta autora concluiu que a janela que originava um Custo Anual Equivalente (CAE) mais reduzido seria, segundo a classificação proposta por ela mesma, a da classe C-, a qual é constituída por caixilho em alumínio com corte térmico (em PVC ou em madeira) e vidro duplo incolor (vidro exterior de 6 mm + espaço de ar + vidro interior de 4 mm), com um custo (sem IVA) de 125,00 €/m<sup>2</sup>. O custo

total do envidraçado ascende a 185,00 €/m<sup>2</sup> devido ao custo do estore elétrico. Apresentam-se na Tabela 3.7 as características térmicas indicadas por Rebelo (2016) para um vão envidraçado incorporando uma janela da classe C-.

**Tabela 3.7:** Características técnicas dos envidraçados (Rebelo, 2016)(retirado de Saraiva, 2017)

Subclasse energética	$U_{wdn}$ [W/m <sup>2</sup> .K]	$g_{\perp\text{vidro}}$	$g_{\perp 100}$	Custo médio dos Envidraçados s/IVA	
C-	2,465	0,786	0,05	185,00	€/m <sup>2</sup>

Contudo, o coeficiente de transmissão térmica médio dia-noite dos envidraçados ( $U_{wdn}$ ) foi dividido de forma a quantificar melhor a energia térmica transmitida durante o período diurno e período noturno. Considerando que durante o período diurno o estore exterior está recolhido, vem:

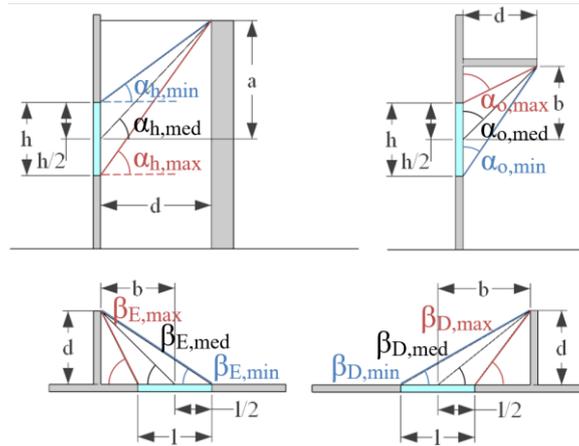
$$U_d = U_w \quad (3.3)$$

e que durante a noite tem a proteção exterior ativada, podemos considerar que:

$$U_{wdn} = \frac{U_w + U_n}{2} \Leftrightarrow U_n = 2 U_{wdn} - U_w \quad (3.4)$$

Face ao exposto, concluiu-se que para os envidraçados da classe energética identificada por Rebelo (2016) como a economicamente mais favorável o coeficiente de transmissibilidade térmica em situação diurna ( $U_d$ ) corresponde a 3,4 W/m<sup>2</sup> °C e para situação noturna ( $U_n$ ) equivale a 1,6 W/m<sup>2</sup> °C.

A alteração do modo como no *SEnergEd* são definidos os envidraçados para efeitos de sombreamento levou à necessidade de desdobramento de cada ângulo de sombreamento em dois ângulos, os quais representam os limites do envidraçado. Isto causou a necessidade de converter os ângulos utilizados em trabalhos anteriores. O método de transformação recorre às dimensões dos envidraçados e de outros pressupostos, tais como comprimento de palas, de telhados e distâncias de arruamentos. Na Figura 3.9 está representada a relação entre o ângulo médio (considerado nas versões anteriores do programa) e os ângulos limite (necessário na nova versão do mesmo), para cada tipo de obstrução.

**Figura 3.9:** Relações trigonométricas entre os ângulos de sombreamento


Para o sombreamento do horizonte, o ângulo médio pode ser determinado por:

$$\tan \alpha_{h,med} = \frac{a}{d} \quad (3.5)$$

mas analisando as relações trigonométricas representadas na Figura 3.9, conseguimos concluir que

$$\tan \alpha_{h,min} = \frac{a - h/2}{d} \quad (3.6)$$

$$\tan \alpha_{h,max} = \frac{a + h/2}{d} \quad (3.7)$$

Se reorganizarmos a equação (3.5), temos que:

$$a = d \times \tan \alpha_{h,med} \quad (3.8)$$

e podemos concluir que os ângulos limite de sombreamento podem ser obtidos através de:

$$\tan \alpha_{h,min} = \frac{d \times \tan \alpha_{h,med} - h/2}{d} = \tan \alpha_{h,med} - \frac{h/2}{d} \quad (3.9)$$

$$\tan \alpha_{h,max} = \frac{d \times \tan \alpha_{h,med} + h/2}{d} = \tan \alpha_{h,med} + \frac{h/2}{d} \quad (3.10)$$

Os ângulos das palas, verticais e horizontais, seguem uma lógica inversa pois a origem do ângulo não é no eixo normal, mas sim o plano do envidraçado. Utilizaremos o ângulo da pala horizontal ( $\alpha_o$ ) para exemplo, mas para os ângulos de palas verticais ( $\beta_E$  e  $\beta_D$ ), utilizam-se as mesmas expressões. Analisando novamente a Figura 3.9:

$$\tan \alpha_{o,med} = \frac{d}{b} \quad (3.11)$$

em que se pode concluir que:

$$b = \frac{d}{\tan \alpha_{o,med}} \quad (3.12)$$

Como os ângulos das palas seguem a lógica inversa do ângulo de sombreamento, as expressões de obtenção resultam em:

$$\tan \alpha_{o,min} = \frac{d}{\frac{d}{\tan \alpha_{o,med}} + h/2} = \left( \frac{1}{\tan \alpha_{o,med}} + \frac{h/2}{d} \right)^{-1} \quad (3.13)$$

$$\tan \alpha_{o,max} = \frac{d}{\frac{d}{\tan \alpha_{o,med}} - h/2} = \left( \frac{1}{\tan \alpha_{o,med}} - \frac{h/2}{d} \right)^{-1} \quad (3.14)$$

Estas foram as equações utilizadas para adaptar os ângulos de sombreamento. Quando não existia informação, estimaram-se ângulos em função da distância aparente representada nas plantas dos edifícios.

### 3.8. Soluções Construtivas Opacas

Saraiva (2017) e Raimundo et al. (2020) identificaram como solução economicamente mais viável, para os edifícios localizados em Portugal, o recurso ao EPS (poliestireno expandido) para material isolante térmico e a sua colocação no meio (na caixa-de-ar) do elemento construtivo opaco. Identificaram ainda que a espessura ótima a de EPS depende da tipologia de uso do edifício e da região climática em que está localizado. A constituição das soluções construtivas opacas a considerar neste trabalho baseia-se nas identificadas como economicamente ótimas nestes dois trabalhos, nomeadamente é assumida a mesma constituição base.

Tal como a escola, a agência bancária é um edifício de serviços com ocupação intermitente. Este edifício não fez parte dos analisados por Saraiva (2017) e por Raimundo et al. (2020), como tal não existia uma sugestão para a espessura de isolamento térmico economicamente mais viável. Devido à semelhança de uso, considerou-se para a agência bancária a mesma espessura que para a escola.

Apesar do clima de Lisboa, para os graus-dia/ano de aquecimento considerados, ser considerado um clima do tipo II-V2, o isolamento recomendado pelos autores para climas I2-V2 parece ser adequado. O clima de Málaga é suave no inverno, mas intenso no verão e o de Valladolid é intenso no inverno e suave no verão. Dessa forma, assumiu-se que

a espessura de isolamento recomendada pelos autores mencionados para os climas I1-V1 e I3-V3 era adequada a edifícios situados em Málaga e em Valladolid, respetivamente. Porém, para os restantes climas teve de se recorrer a uma estimativa. Assumiu-se que em Varsóvia os edifícios necessitavam do dobro do isolamento da situação I3-V3 e Reykjavik o triplo. Apresenta-se na Tabela 3.8 as espessuras de EPS assumidas para os elementos opacos da envolvente, para cada um dos 6 edifícios quando supostamente localizados em cada uma das 5 cidades.

**Tabela 3.8:** Espessura de EPS considerada (em cm)

Localidade	Apart.	Moradia	Clínica	Escola	Agência	Super.
Málaga	5	8	0	0	0	0
Lisboa	8	8	5	0	0	3
Valladolid	8	10	6	4	4	5
Varsóvia	16	20	12	8	8	10
Reykjavik	24	30	18	12	12	15

Tratando-se de um trabalho de continuidade, o custo das soluções construtivas passivas e ativas do edifício foi obtido a partir da consulta dos trabalhos antecessores (Rebelo 2016, Saraiva 2017, Costa 2018 e Raimundo et al. 2020). No entanto, estes valores são válidos apenas quando os edifícios estão supostamente localizados em Portugal, tendo sido necessário adaptá-los para a realidade económica dos restantes países envolvidos. Para o efeito, assumiu-se que o custo de aquisição dos materiais e dos equipamentos é o mesmo independentemente do país e que o custo da mão-de-obra era proporcional ao ordenado mínimo desse país. Na ausência de melhor informação, considerou-se que 70% do custo é devido aos materiais e 30% à mão-de-obra. Adicionalmente, foi levado ainda em consideração a diferença, de país para país, das tarifas de compra de energia.

Foram criados ficheiros de cálculo para cada tipologia de uso e para cada espessura de isolamento aplicado. No entanto, os custos de mão-de-obra inseridos teriam de ser reajustados para ter em conta a economia de cada país.

Estimaram-se os custos de mão-de-obra com base no ordenado mínimo de cada país. Os respetivos valores foram obtidos por consulta do *site* da Eurostat (Eurostat 2021c) e dizem respeito ao final do ano 2020, os quais foram normalizados para uma base de 12 meses por ano. Como a Islândia não tem salário mínimo e não faz parte da União Europeia, este parâmetro foi deduzido recorrendo ao valor do ordenado médio, assumindo que a relação entre o salário mínimo e o médio é semelhante à dos restantes países envolvidos no

estudo. Apresenta-se na Tabela 3.9 o valor do ordenado mínimo normalizado obtido para cada um dos países envolvidos.

**Tabela 3.9:** Ordenados mínimos considerados (Eurostat, 2021c)

País	Ordenado Mínimo
Portugal	740,83 €
Espanha	1 050,00 €
Polónia	610,79 €
Islândia	2 070,00 €

O custo por m<sup>2</sup> dos elementos construtivos opacos dos edifícios para cada país ( $p_D$ ) foi, então, obtido a partir do correspondente valor para Portugal ( $p_P$ ) com recurso à seguinte expressão:

$$p_D = 0,7 p_P + 0,3 p_P \frac{OM_D}{OM_P} \quad (3.15)$$

em que  $OM_D$  representa o ordenado mínimo normalizado para o país em questão e  $OM_P$  o ordenado mínimo normalizado em Portugal.

### 3.9. Tarifas da Energia

O preço de compra da energia varia consoante o país em questão. Para obter o seu valor para cada país envolvido consultou-se o *site* da *Eurostat* (Eurostat, 2021b). No entanto, esta plataforma não indicava o custo do gás natural na Islândia, tendo-se assumido que este combustível custa o mesmo que a eletricidade, visto que nos países nórdicos, os preços são semelhantes. Apresenta-se na Tabela 3.10 a tarifa de compra de eletricidade e de gás natural nos países considerados, quer para o setor residencial quer para o de comércio e o de serviços. Nenhuma das tarifas apresentadas inclui o IVA, pois o modo como o mesmo é incluído no cálculo do CAE do edifício depende do enquadramento fiscal do detentor do edifício em análise.

**Tabela 3.10:** Preços da energia em €/kWh para os diferentes casos em estudo (Eurostat, 2021b)

Tipologia	Cidade	Eletricidade	Gás Natural
Residências	Portugal	0,177	0,078
	Espanha	0,198	0,097
	Polónia	0,112	0,043
	Islândia	0,114	0,114
Serviços & Comércios	Portugal	0,115	0,061
	Espanha	0,110	0,047
	Polónia	0,083	0,042
	Islândia	0,058	0,058

### 3.10. Parâmetros Económico-Financeiros

Os parâmetros económico-financeiros considerados foram os mesmos que os utilizados por Raimundo et al. (2020). Pressupôs-se que os titulares dos edifícios residenciais são pessoas singulares e que os restantes pertencem a empresas privadas, sendo a clínica uma entidade vocacionada para a prestação de cuidados de saúde, a escola direcionada para o ensino e o supermercado ao comércio de retalho.

Para incluir o impacto dos impostos na avaliação económico-financeira de um edifício localizado num país da União Europeia é necessário levar em consideração 3 tipos de imposto: o imposto anual derivado da propriedade do edifício; a poupança fiscal profissional, isto é, a redução do valor do imposto pago em cada ano relativo à atividade profissional do proprietário, devido às despesas anuais atribuíveis ao edifício; e o IVA (Imposto de Valor Acrescentado), que é um imposto sobre o consumo.

Em Portugal, o imposto derivado da propriedade de um edifício é denominado de IMI (Imposto Municipal sobre os Imóveis) e é calculado aplicando uma taxa entre 0,3 e 0,5% do valor fiscal do edifício (valor atribuído ao edifício pela autoridade tributária). No presente estudo, estes valores foram mantidos apesar de os edifícios em Espanha, na Polónia ou na Islândia serem avaliados por outras entidades. Para determinar o valor fiscal de cada edifício, é considerado o tipo de uso, mas não o tipo de proprietário.

A poupança fiscal profissional depende do enquadramento fiscal do detentor do edifício. As pessoas singulares pagam imposto sobre os seus rendimentos, pelo que os gastos com os edifícios não afetam o valor a pagar. Logo, no caso dos edifícios residenciais (apartamento e moradia) a poupança fiscal profissional é nula. Os detentores dos restantes edifícios (clínica, escola, agência bancária, e supermercado) são empresas privadas, as quais pagam imposto sobre o lucro (= rendimentos – gastos). Logo, para estas existe poupança fiscal profissional devida aos gastos com os edifícios. Para contabilizar assumiu-se que estas empresas estão sujeitas a uma taxa de imposto sobre os lucros de 25%.

A taxa de IVA (ou VAT em inglês) varia de país para país. Consultou-se a taxa de IVA máxima para cada país e concluiu-se que para Portugal e para a Polónia a taxa máxima é de 23%, para Espanha é de 21% e para a Islândia é de 24%.

As atividades prestadas pela clínica e pela escola estão isentas de IVA, uma vez que o IVA não é cobrado pela prestação de serviços ou pela venda de produtos. Logo, também não existe recuperação do IVA pago conjuntamente com os gastos com estes

edifícios. Assim, o IVA deve ser adicionado a todos os investimentos e a todas as despesas relacionadas com a clínica e com a escola (incluindo despesas com compra de energia). O preço dos produtos vendidos nos supermercados e o dos serviços prestados pelos bancos inclui o IVA. Logo, também existe capacidade para recuperar o IVA pago conjuntamente com os gastos com estes edifícios. Consequentemente, tanto os investimentos quanto as despesas relativas ao supermercado e à agência bancária não incluem o IVA.

Para todos os edifícios, considerou-se um período de análise económica ( $n$ ) de 50 anos por ser frequentemente considerado na literatura como o tempo decorrido até que seja necessária uma intervenção profunda nos elementos construtivos do edifício.

Tal como no estudo de Raimundo et al. (2020) e de Costa (2018), assumiu-se uma análise a preços constantes, ou seja, todos os parâmetros serão remetidos ao instante de origem a uma taxa de atualização constante e igual à taxa de inflação, que foi considerada por ambos os autores como sendo de 3 %/ano. A taxa de juros utilizada foi também de 3 %/ano apesar de aparentemente ser um valor baixo.

Tal como foi referido por Raimundo et al. (2020), o investimento inicial de um edifício vai depender dos sistemas de climatização instalados, isto é, da existência ou não de um sistema AVAC e da sua classe e da solução de isolamento térmico aplicada aos elementos opacos. Para o presente trabalho, o custo do investimento em soluções construtivas varia de país para país. No final da sua vida útil, um edifício tem ainda valor residual correspondente à diferença entre o valor do terreno e os custos de demolição e de remoção de destroços. Não foram considerados rendimentos para nenhuma tipologia de edifício.

Pressupôs-se que iriam existir intervenções de manutenção dos elementos passivos do edifício, que correspondem a um gasto de 1%/ano do respetivo custo de construção. Considerou-se uma vida útil dos sistemas de AVAC, de AQS e de energias renováveis de 25 anos, com despesas de manutenção de 4 %/ano do seu custo total inicial. Para os sistemas de iluminação e os outros equipamentos assumiu-se que os gastos com a manutenção também correspondiam a 4 %/ano do seu custo total inicial. Para finalizar, foi assumido uma taxa de 0,4 %/ano correspondente ao IMI (Imposto Municipal sobre Imóveis).

Este trabalho tem uma elevada variabilidade de parâmetros económico-financeiros. Dessa forma, no “ANEXO D – Dados da simulação económico-financeira” estão apresentados, para cada localidade em análise, os parâmetros económico-financeiros utilizados.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com vista a avaliar o custo energético e económico do conforto térmico no interior dos edifícios europeus, neste trabalho realizou-se uma avaliação da relação entre a qualidade do conforto térmico assegurada e as necessidades de energia para climatização e o correspondente Custo Anual Equivalente. As necessidades de energia para climatização foram avaliadas globalmente e separadamente para aquecimento e para arrefecimento. O Custo Anual Equivalente do conforto térmico (*CC*) engloba basicamente duas parcelas, uma relativa ao investimento nos sistemas de climatização e outra relacionada com os gastos anuais em energia e com a manutenção.

Para representar o clima europeu selecionaram-se 5 cidades, cada uma representante de um clima diferente: Málaga (clima quente); Lisboa (clima moderado); Valladolid (clima frio); Varsóvia (clima muito frio) e Reykjavik (clima extremamente frio). O parque edificado é representado por 6 edifícios: Apartamento; Moradia; Clínica; Escola; Agência bancária; e Supermercado. Considerou-se que os elementos opacos da envolvente dos edifícios poderiam estar, em alternativa, não termicamente isolados ou isolados com uma espessura próxima da economicamente ótima. Testaram-se sistemas de climatização equipados com um *chiller*-bomba de calor de duas classes energéticas diferentes: A+ e A+++ , definidos de acordo com o regulamento europeu EC 2011. Foram considerados 5 níveis de conforto térmico, definidos de acordo com os índices de qualidade especificados na norma EN 16798-1:2019 (2019). Assim, para obter os resultados apresentados neste capítulo foram necessárias 600 simulações ( $= 5 \times 6 \times 2 \times 2 \times 5$ ).

Um clima apenas pode ser considerado frio se apresentar um número de graus-dia/ano de aquecimento elevado e um número de graus-dia/ano de arrefecimento reduzido. Desse modo, é espectável que a necessidade de energia para aquecimento seja crescente e que a necessidade de energia para arrefecimento seja decrescente, do clima menos frio para o mais frio. No seguimento do constatado no estudo de Raimundo et al. (2020), é espectável que, com exceção do supermercado, as necessidades de energia para climatização sejam dominadas pelas necessidades de calor para aquecimento. Logo, com exceção deste edifício, é possível que o custo do conforto térmico (*CC*) aumente quando se passa para um clima mais frio.

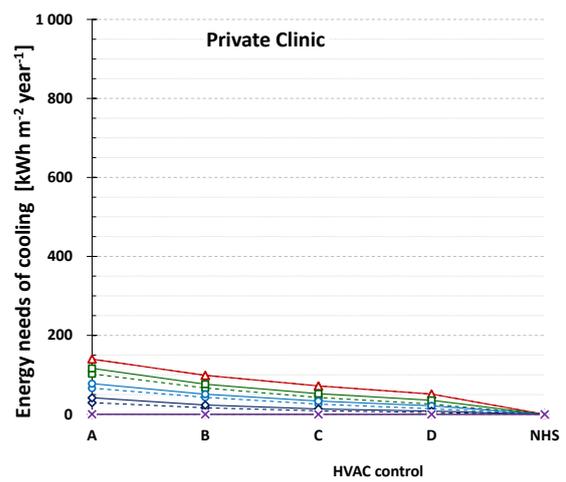
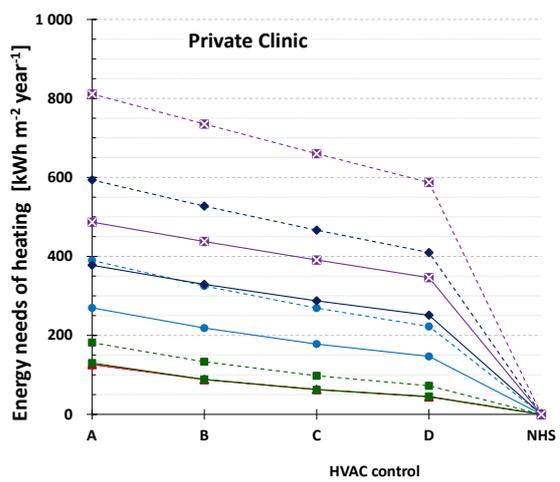
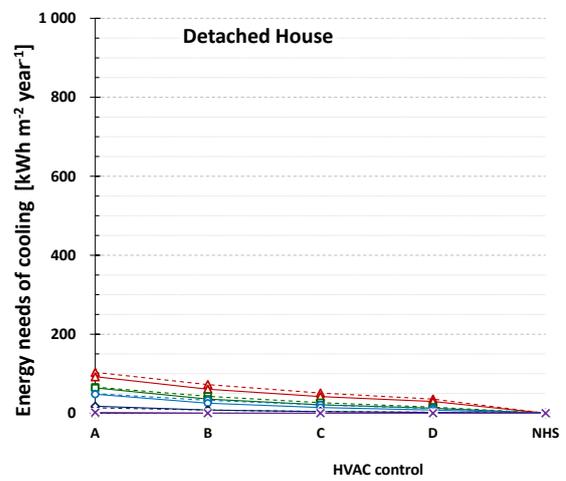
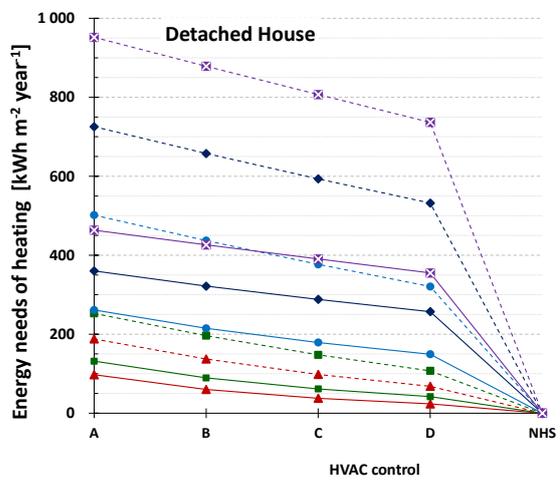
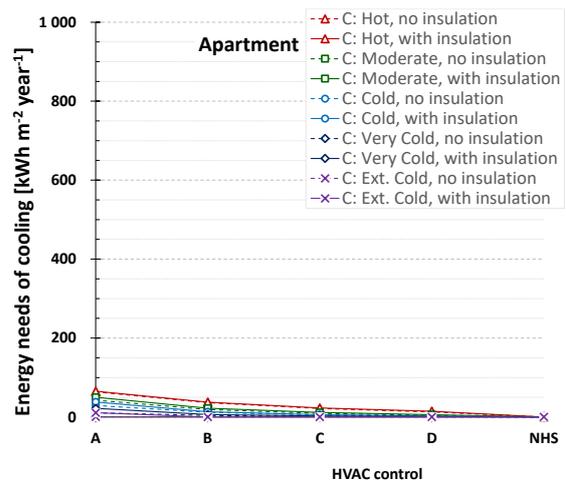
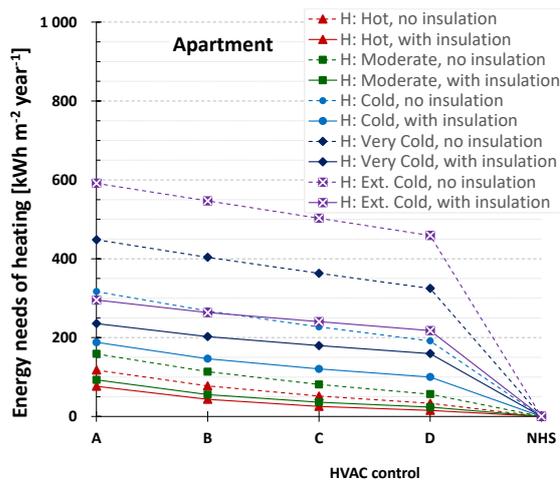
O fator de forma de um edifício representa a sua exposição ao ambiente exterior, e é definido pela relação entre a área da envolvente exterior e o volume climatizado do edifício. Assim sendo, a necessidade de energia de um edifício estará certamente interligada com o seu fator de forma, pois quanto mais elevado este for, maiores serão as trocas de calor com o exterior. É ponto assente entre os trabalhos sobre eficiência energética nos edifícios que, para além do clima, o fator de forma, as cargas térmicas internas e o tipo de isolamento térmico têm influência sobre as necessidades de calor para aquecimento e que as cargas térmicas internas e os ganhos solares pelos envidraçados determinam as necessidades de energia para arrefecimento (Raimundo et al., 2020). Apresenta-se na Tabela 4.1 os fatores de forma dos edifícios considerados, sendo de realçar o baixo valor do fator de forma do apartamento e da clínica e o elevado valor do fator de forma da moradia, da agência bancária e do supermercado. Por seu lado, a escola apresenta um valor de fator de forma intermédio.

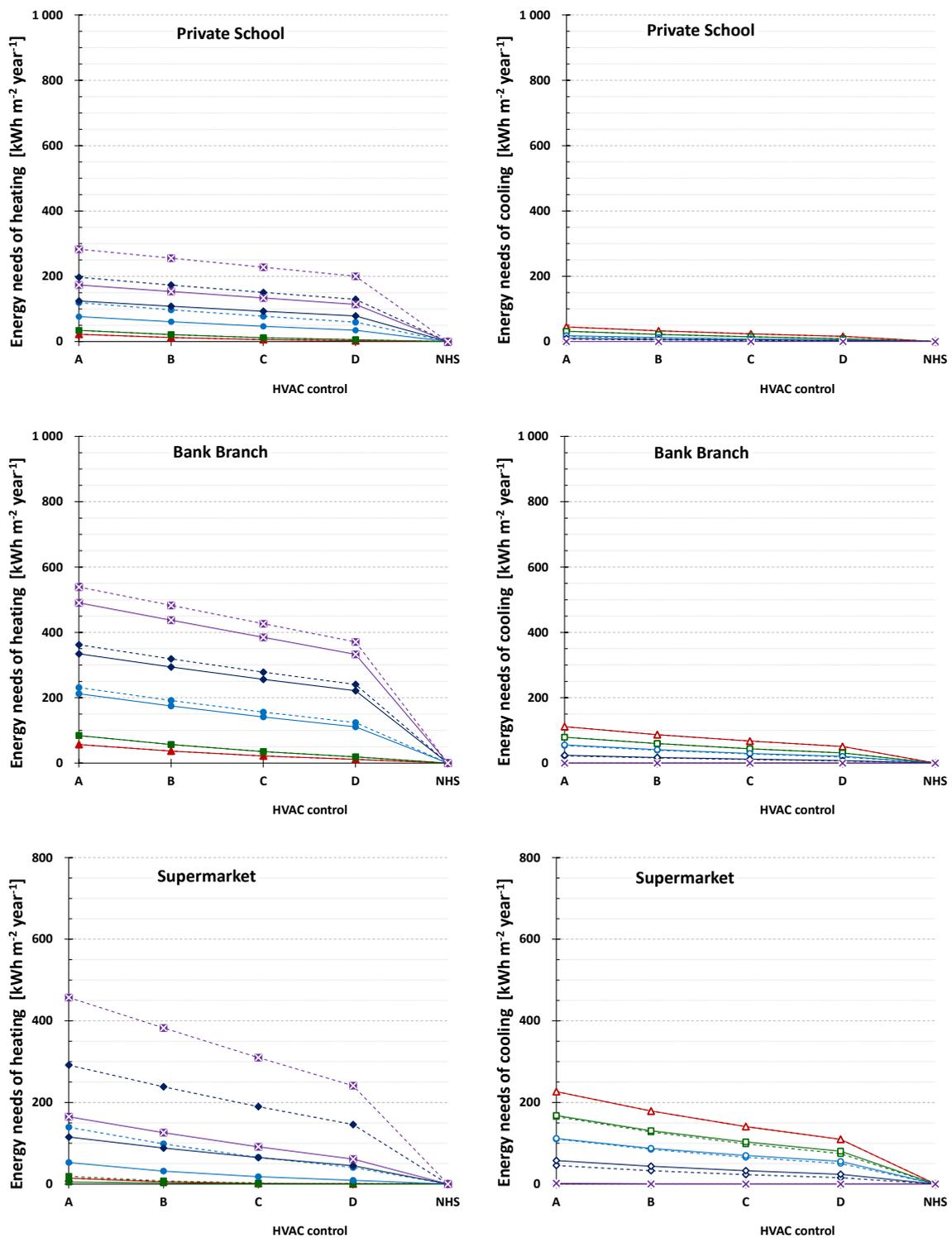
**Tabela 4.1:** Fator de Forma dos edifícios em análise

	Apartamento	Moradia Isolada	Clínica Privada	Escola Privada	Agência Bancária	Supermercado
<i>FF</i> [m <sup>-1</sup> ]	0.28	0.79	0.27	0.59	0.75	0.79

#### 4.1. Necessidades de Energia para Aquecimento e para Arrefecimento

Apresentam-se na Figura 4.1 gráficos representativos das necessidades de energia para climatização dos 6 edifícios considerados, quando supostamente localizados em cada um dos 5 tipos de clima e nas situações alternativas de os elementos opacos da envolvente possuírem isolamento térmico e de não estarem termicamente isolados. Apresentam-se separadamente as necessidades de energia para aquecimento (gráficos do lado esquerdo) e as necessidades de energia para arrefecimento (gráficos do lado direito). Os valores apresentados estão normalizados por m<sup>2</sup> de área útil de pavimento dos espaços climatizados.





**Figura 4.1:** Necessidades de energia para aquecimento e para arrefecimento de cada edifício, com e sem isolamento térmico, e para os 5 tipos de clima considerados.

Os resultados representados na Figura 4.1 demonstram que quer as necessidades de calor para aquecimento quer as necessidades de energia para arrefecimento estão muito ligadas à tipologia de uso do edifício. Mesmo assim, não se evidencia uma relação direta

óbvia entre as necessidades de energia para climatização e o fator de forma do edifício. Em termos globais, as necessidades de calor para aquecimento aumentam com a qualidade pretendida de conforto térmico e com o número de graus-dia de aquecimento, e são superiores quando os elementos opacos não possuem isolamento térmico. Tal como o constatado por Raimundo et al. (2020), exceto no caso do supermercado e no caso dos climas quente (Málaga) e moderado (Lisboa), as necessidades de energia para arrefecimento são substancialmente inferiores às para aquecimento. Em termos genéricos, as necessidades de energia para arrefecimento aumentam com a qualidade pretendida de conforto térmico e com o número de graus-dia de arrefecimento, e são praticamente insensíveis ao facto de os elementos opacos possuírem isolamento térmico.

Como era espectável, no caso do apartamento, a necessidade de calor para aquecimento cresce de forma quase proporcional dos climas mais quentes para os mais frios. Sendo um edifício residencial de ocupação permanente, o apartamento apresenta cargas térmicas de aquecimento relativamente elevadas, em comparação às restantes tipologias de edifício. O isolamento térmico recomendado por Saraiva (2017) e posteriormente por Raimundo et al. (2020) revelou-se suficiente para os três tipos de climas menos frios. Apesar de não ter sido realizado um estudo sobre a espessura ótima de isolamento para climas muito frios e extremamente frios, é observável no gráfico que a espessura utilizada, para ambos os casos, reduz significativamente a necessidade de energia para aquecimento. A necessidade de energia para arrefecimento é muito reduzida em comparação com a de aquecimento. O tipo de clima revela ser pouco influente nas cargas de arrefecimento devido às baixas cargas térmicas internas e ao baixo fator de forma deste edifício.

A moradia é a tipologia de edifício que apresenta necessidades de calor para aquecimento mais elevadas. Isto deve-se ao facto de ser um edifício de ocupação permanente, com um fator de forma bastante elevado e com baixas cargas térmicas internas. Um elevado fator de forma resulta numa maior troca de energia com o exterior, o que aumenta por si só as necessidades de energia térmica do edifício. Mais uma vez, o isolamento aplicado aparenta ser eficaz para todos os tipos de clima. Apresenta cargas de arrefecimento mais elevadas que o apartamento, apesar de serem de uma ordem de grandeza muito inferior às de aquecimento. Para este caso, o tipo de clima revela ter alguma influência na necessidade de arrefecimento, sendo ligeiramente superior para os climas mais quentes.

A clínica é um edifício de serviços com ocupação permanente. As suas necessidades de calor para aquecimento são da mesma ordem de grandeza das do apartamento e da moradia, embora sejam ligeiramente superiores às do apartamento e ligeiramente inferiores às da moradia. Isto deve-se a estes 3 edifícios terem ocupação permanente. No entanto, os fatores de forma da clínica e do apartamento são ambos baixos e muito inferiores ao da moradia. O isolamento térmico aplicado aparenta ter a espessura correta, porém, a influência do isolamento não revela ser tão relevante como nos dois edifícios anteriores. Com exceção dos climas quente (Málaga) e ameno (Lisboa), as necessidades de energia para arrefecimento da clínica são substancialmente inferiores às de aquecimento. De entre os três edifícios com ocupação permanente, a clínica revela ser o que tem maiores necessidades de energia para arrefecimento, que são devidas às suas ligeiramente superiores cargas térmicas internas.

A escola é um edifício de serviços com ocupação intermitente. Sendo um edifício de ocupação apenas diurna, com elevado número de ocupantes com uma atividade metabólica elevada, a escola privada demonstra ser o edifício que necessita de menos energia térmica para aquecimento. Por essa razão, o isolamento térmico revela ser menos significativo para garantir o conforto térmico pretendido. As necessidades de energia para arrefecimento são substancialmente inferiores às de aquecimento, exceto na situação de clima quente e de clima moderado. É o edifício que menos necessita de energia para arrefecimento por estar encerrado durante o mês mais quente (agosto), ter ocupação intermitente e em que há baixas cargas térmicas internas. Tanto a atividade metabólica elevada como o tipo de clima aparentam ter pouca importância na produção de ganhos térmicos excessivos.

Tal como a escola, a agência bancária é um edifício de serviços com ocupação intermitente. Isto levou a que tivesse sido considerada para ambos a mesma solução de isolamento térmico dos elementos opacos. A agência tem um número de ocupantes muito mais reduzido com uma atividade metabólica menos intensa, para além de ter um fator de forma superior ao da escola. Todos estes fatores explicam a razão da espessura de isolamento térmico considerada na agência ser aparentemente insuficiente para compensar o gasto em energia térmica de aquecimento. À exceção dos climas quente e moderado, as necessidades de energia para arrefecimento são significativamente inferiores às para aquecimento. Ainda assim, as necessidades de energia para arrefecimento da agência bancária são muito

superiores às da escola. Isto deve-se ao facto dos ocupantes da agência apresentarem uma resistência térmica do vestuário superior (devido ao uso de roupa formal por parte dos funcionários).

Por último, temos um edifício de comércio com ocupação diurna e parcialmente noturna, o supermercado. O tipo de clima afeta fortemente a necessidade de aquecimento do supermercado. Para climas moderados e quentes, as cargas térmicas de aquecimento são quase nulas, mas para climas mais frios, a necessidade de energia para aquecimento toma valores elevados. O isolamento térmico considerado aparenta ser bastante eficaz para os 3 climas mais frios, tornando-se pouco importante para os climas moderado e quente. O supermercado é o edifício que necessita de maiores quantidades de energia para arrefecimento. Isto está relacionado com a sua elevada densidade populacional, a sua ocupação diurna e parcialmente noturna, e a atividade metabólica relativamente alta dos seus ocupantes. Nos casos dos climas quente, moderado e frio, as necessidades de energia para arrefecimento são mais elevadas que as para aquecimento. Nitidamente, as necessidades de energia para climatização do supermercado têm um padrão bastante diferente do dos outros edifícios.

## 4.2. Custo do Conforto Térmico

Após a análise energética dos resultados, segue-se a dos resultados da simulação económico-financeira. Nesta secção, será analisado o custo do conforto térmico ( $CC$ ), analisando os fatores que afetam este parâmetro: o investimento inicial (num sistema de climatização e em isolamento térmico); e os gastos anuais (com a energia consumida e em manutenção dos sistemas de climatização). Por fim, será verificado se compensa utilizar um sistema de climatização mais eficiente, como a classe A+++.

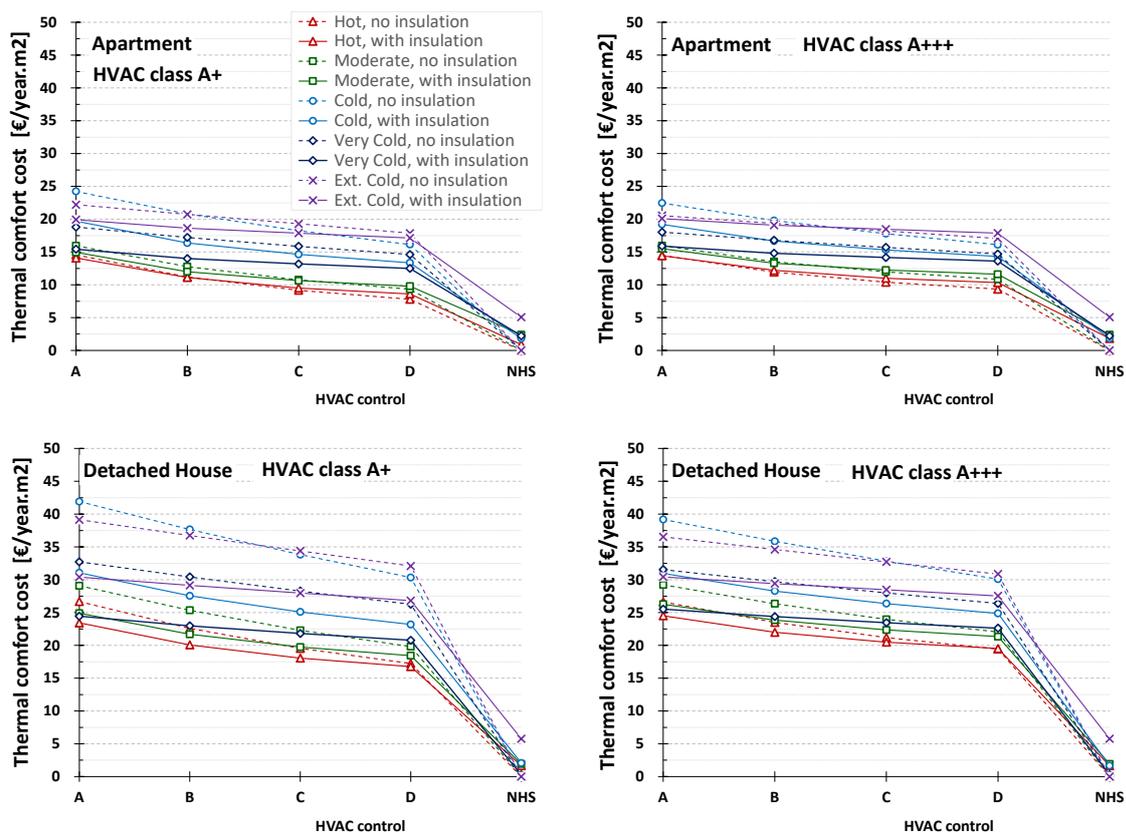
Um custo do conforto térmico reduzido é o que melhor garante a viabilidade económica dos investimentos em sistemas ativos e passivos de climatização.

Da análise económico-financeira realizada pelo software *SEnergEd* resulta o cálculo do Custo Anual Equivalente do edifício ( $CAE$ ) e não do valor do Custo do Conforto térmico ( $CC$ ). A determinação do valor de  $CC$  exigiu então o recurso à seguinte relação:

$$CC = CAE - CAE_{base} \quad (4.1)$$

em que  $CAE_{base}$  é o Custo Anual Equivalente desse edifício na situação de o mesmo não possuir sistema de climatização (NHS) e de os seus elementos opacos não incorporarem isolamento térmico.

Apresentam-se na Figura 4.2 gráficos representativos do Custo do Conforto térmico (CC) para climatização dos 6 edifícios considerados, quando supostamente localizados em cada um dos 5 tipos de clima e nas situações alternativas de os elementos opacos da envolvente possuírem isolamento térmico e de não estarem termicamente isolados. Apresenta-se paralelamente o valor do CC para duas classes energéticas do *Chiller*-bomba de calor, para o qual se assumiu as eficiências sazonais (SCOP e SEER) definidas no regulamento europeu de classificação de equipamentos baseados no ciclo de compressão-expansão (EC, 2011): *Chiller*-bomba de calor da classe A+ (gráficos do lado esquerdo); e *Chiller*-bomba de calor da classe A+++ (gráficos do lado direito). Os valores apresentados estão normalizados por  $m^2$  de área útil de pavimento dos espaços climatizados.



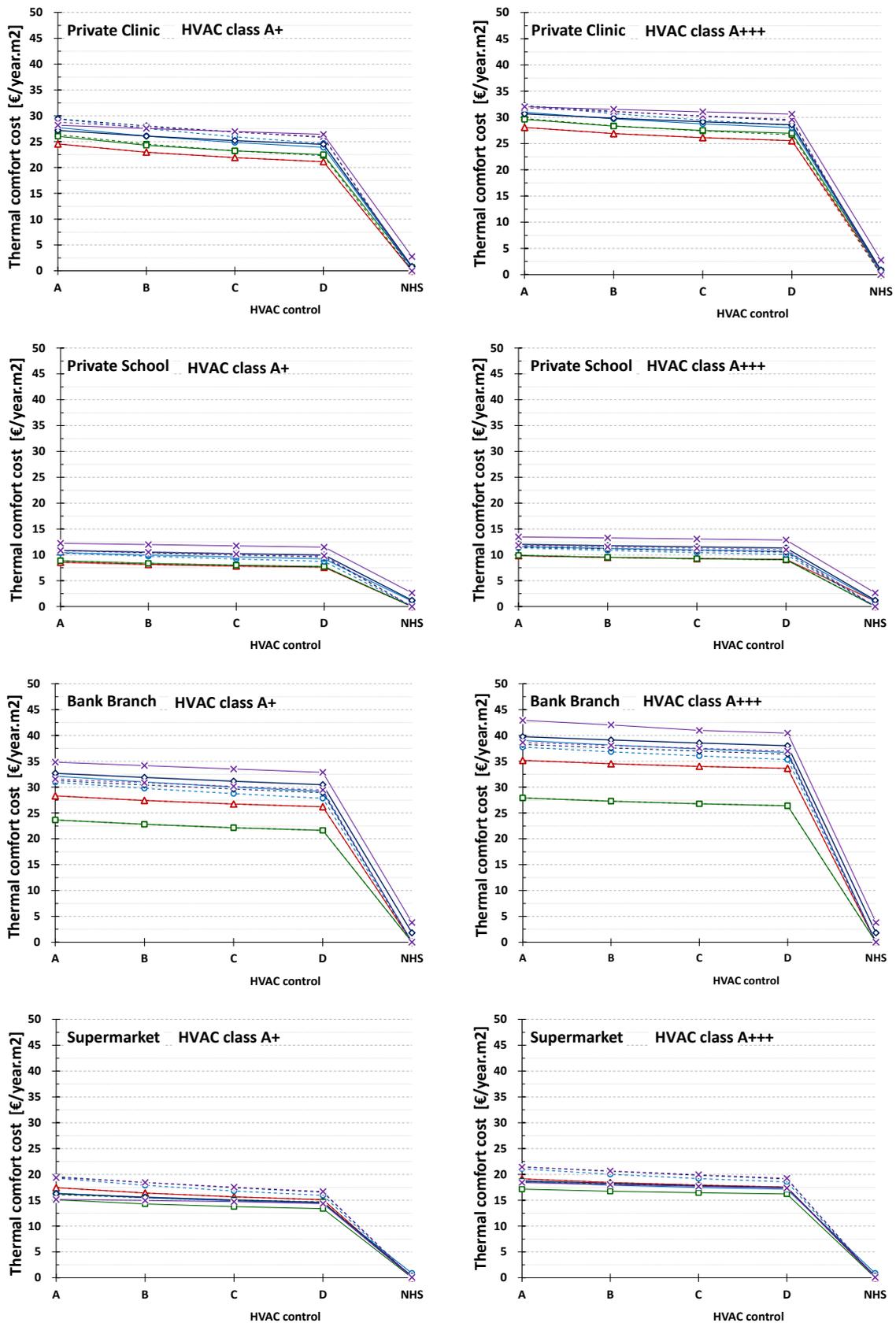


Figura 4.2. Custo do conforto térmico para sistemas AVAC da classe A+ e A+++ , para cada tipologia de edifício, com e sem isolamento térmico, e para os 5 tipos de clima considerados

Em termos genéricos, verifica-se que, para todos os edifícios e para todos os tipos de clima, a parcela do *CC* relativa ao investimento inicial (num sistema de climatização e em isolamento térmico) é muito significativa no caso dos edifícios residenciais (chegando a ultrapassar 50% do valor do *CC*) e é dominante no caso dos edifícios de serviços e de comércio (chegando a ultrapassar 80% do valor do *CC*). Este facto só deixará de ocorrer se no futuro as tarifas de compra de energia aumentarem muito significativamente. A opção pelo sistema de climatização mais eficiente (o da classe A+++)<sup>3</sup> só é compensatório no caso dos edifícios residenciais (apartamento e moradia), sendo desfavorável no caso dos edifícios de comércio e de serviços (clínica, escola, agência bancária e supermercado). Genericamente e exceto no caso do supermercado, o valor do *CC* aumenta com o número de graus-dia de aquecimento, ou seja, aumenta no sentido dos climas mais frios. Embora o valor do *CC* aumente com a melhoria da qualidade do conforto térmico, este é suave no caso dos edifícios residenciais e muito suave no caso dos edifícios de serviços e no de comércio. O fator com mais impacto no valor do *CC* é a tipologia de uso do edifício.

O custo do conforto térmico do apartamento varia com o tipo de clima e com o *setpoint* de conforto utilizado, embora de modo pouco acentuado. Para quase todas as situações, a redução do gasto em energia consumida na climatização compensa o investimento em isolamento térmico. Apesar de a necessidade de energia para climatização em Reykjavik ser superior à de Valladolid, a diferença entre o preço da energia elétrica de Espanha e da Islândia faz com que o custo do conforto térmico em Valladolid seja superior ao de Reykjavik, isto para as classes de elevado conforto. A utilização de um sistema AVAC mais eficiente não representa uma redução significativa de custos, exceto para edifícios sem isolamento térmico em Espanha ou na Islândia, em que o custo da energia consumida é mais elevado.

Para a moradia, o custo do conforto térmico é semelhante ao do apartamento. É ainda de notar que, tanto para o apartamento como para a moradia, o *CC* em Varsóvia é muito mais baixo do que em Valladolid e em Reykjavik, quer para edifícios com os seus elementos opacos isolados quer sem isolamento térmico. O baixo preço da energia é uma das causas, mas o reduzido custo de mão-de-obra da aplicação do isolante térmico também justifica o facto de uma moradia isolada com 20 cm de EPS em Varsóvia representar um *CC* semelhante a uma moradia isolada com 8 cm de EPS em Lisboa. O investimento num sistema

---

AVAC da classe A+++ , à semelhança do apartamento, só compensa em moradias não isoladas em Espanha e na Islândia.

A clínica é uma tipologia de edifício em que o tipo de clima e a classe de conforto tem pouca influência no custo do conforto térmico. A maior discrepância entre valores ocorre da situação “edifício sem sistema AVAC” (NHS) para a classe de conforto térmico D. O clima quente necessita de pouca energia térmica para aquecimento e para arrefecimento, logo, podemos concluir que o investimento num sistema AVAC representa um custo elevado para a clínica. Portanto, a utilização de um sistema mais eficiente na clínica também não reduz o CC, antes pelo contrário.

Como era de esperar, o custo do conforto térmico da escola privada é baixo, em relação às restantes tipologias. Sendo o edifício que necessita de menos energia tanto para aquecimento como para arrefecimento, o tipo de clima, a classe de conforto e o isolamento térmico, ao que tudo indica, têm pouca influência nos custos com climatização da escola. Adicionalmente, o investimento num sistema de climatização mais eficiente (A+++ ) não é uma boa solução, visto que os valores de CC são um pouco superiores ao A+, apesar de muito próximos.

O tipo de clima tem uma influência forte sobre o custo do conforto térmico da agência bancária. Contrariamente às tipologias anteriores, o CC mais baixo é o de Lisboa (clima moderado), e não o de Málaga (clima quente). O preço da energia elétrica em Espanha é mais elevado que em Portugal e, para além disso, as cargas térmicas de arrefecimento em Málaga são superiores que as de aquecimento, gerando uma necessidade de energia por parte dos sistemas AVAC superior que em Lisboa. À semelhança das conclusões retiradas dos gráficos das necessidades de energia, podemos também concluir que o isolamento térmico aplicado não é suficiente para reduzir consideravelmente o CC. No caso da agência bancária, a aplicação de um *chiller*-bomba de calor da classe energética A+++ apresenta sempre um valor de CC substancialmente mais elevado do que da aplicação de um equipamento da classe A+. Logo, este último é economicamente mais vantajoso.

Quer o tipo de clima quer a classe de conforto térmico não afetam significativamente o custo do conforto térmico do supermercado. Também não é claramente óbvia a vantagem económica da aplicação de isolamento térmico nos elementos opacos. O valor do CC apresenta uma dependência muito suave da qualidade do conforto térmico. Como o consumo de energia com a climatização não representa um custo elevado para esta

tipologia de edifício, a utilização de um sistema AVAC da classe A+++ não compensa o investimento adicional. No caso do supermercado, a grande parcela do valor do CC é o investimento inicial no sistema de climatização.

### **4.3. Discussão**

Os gráficos apresentados nas Figuras 4.1 e 4.2 visam descrever influência do tipo de clima, da qualidade de conforto térmico e da classe energética dos sistemas de AVAC no custo do conforto térmico e nas necessidades de energia para climatização de 6 edifícios supostamente localizados no continente europeu. Contudo, existem outros tipos de fatores que podem influenciar estes parâmetros.

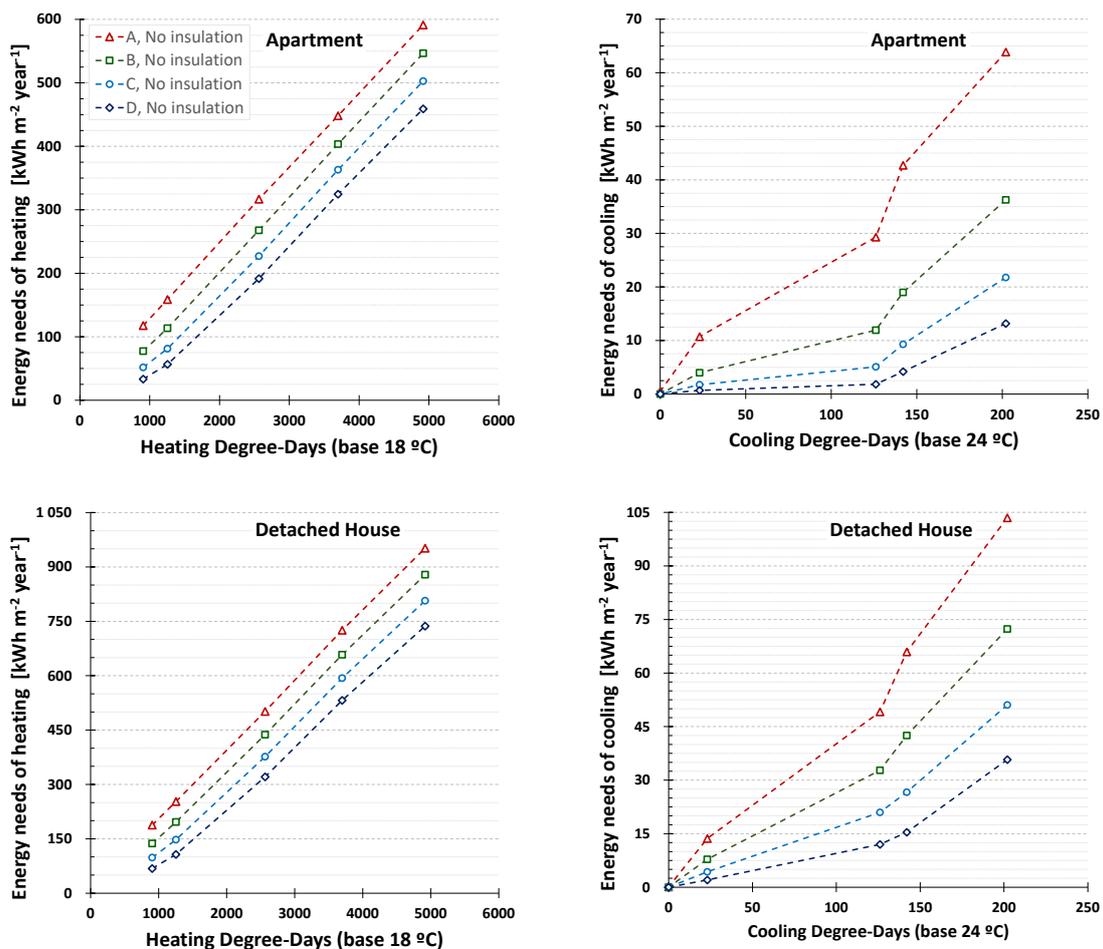
Começando pelo primeiro grupo de gráficos (Figura 4.1), constata-se que, em termos globais, a necessidade de energia para aquecimento é sempre superior à de arrefecimento, exceto no caso do supermercado e no caso dos outros edifícios quando o clima é quente (Málaga) ou moderado (Lisboa). O relativamente alto nível de atividade das pessoas, a elevada resistência térmica do seu vestuário no inverno e as intensas cargas térmicas internas levam a que o supermercado apresente necessidades de energia para arrefecimento consideráveis. No entanto, no caso de climas frios (frio, muito frio e extremamente frio) e quando os elementos opacos não possuem isolamento térmico, a necessidade de energia para aquecimento do supermercado é superior à de arrefecimento.

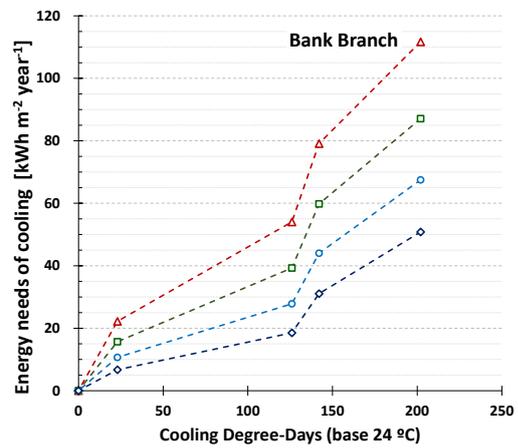
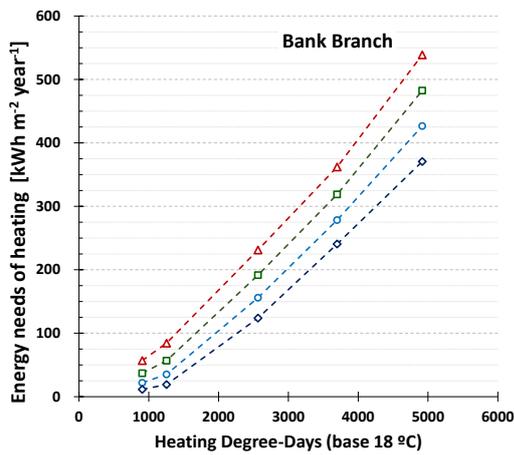
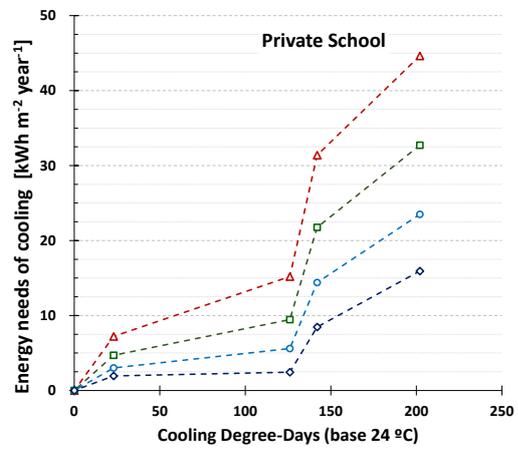
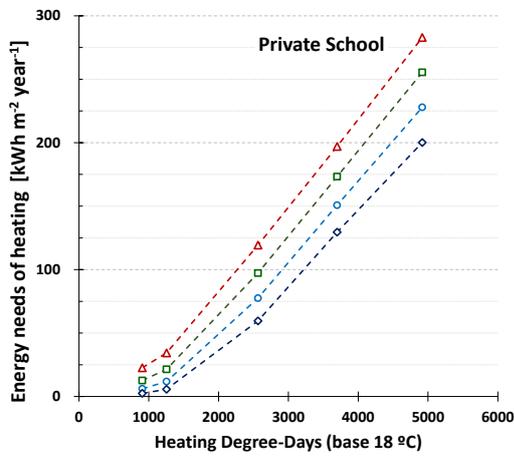
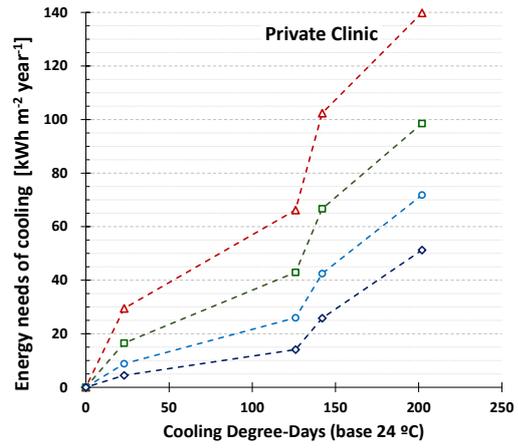
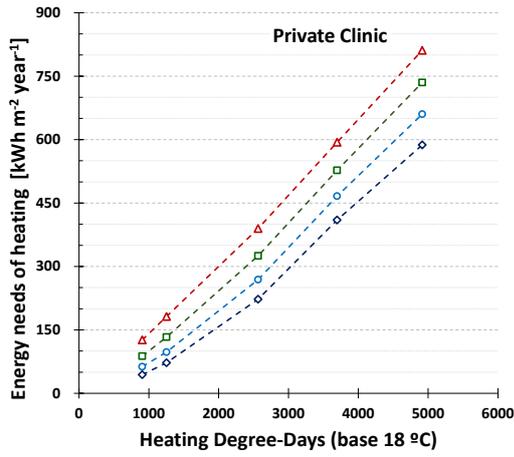
Observa-se que a aplicação de isolamento térmico leva a uma redução da necessidade de calor para aquecimento, principalmente no caso dos edifícios residenciais.

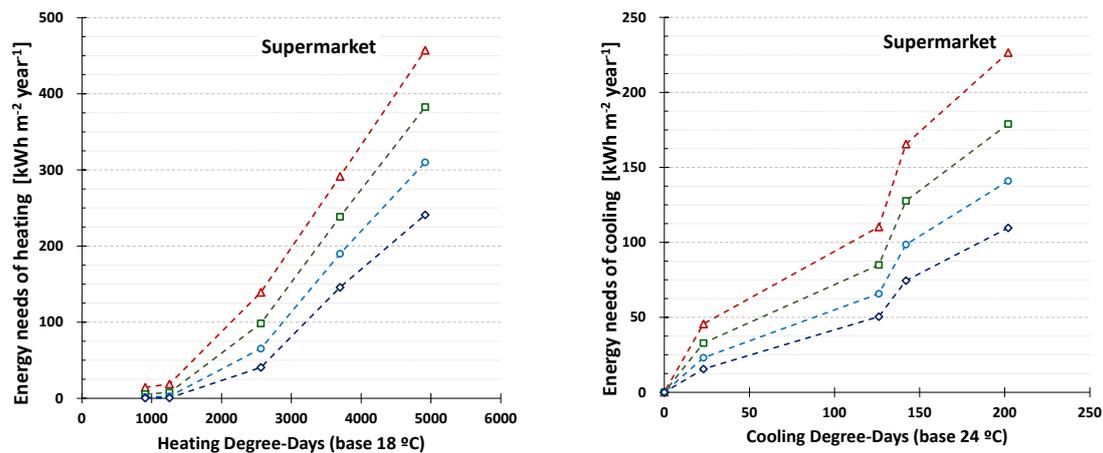
O nível de atividade e a resistência térmica do vestuário dos ocupantes são provavelmente os parâmetros com mais impacto sobre as necessidades de energia para climatização. Quanto mais elevado for o valor destes dois parâmetros maiores são as necessidades de energia para arrefecimento e menores são as para aquecimento. Isto é claramente demonstrado analisando os gráficos da Figura 4.1. Para casos como a escola e o supermercado, a atividade metabólica dos ocupantes torna a aplicação de isolamento térmico nos elementos opacos do edifício prescindível para os climas mais quentes. A única tipologia em que o isolamento térmico dos elementos opacos não gerou grandes reduções na necessidade de calor para aquecimento foi a agência, pois não foi utilizada uma espessura suficiente de isolamento térmico, dado que se desconhecia o seu valor recomendado.

Para todas as tipologias de uso dos edifícios, a necessidade de calor para aquecimento variou bastante em função do tipo de clima. Como foram utilizados climas frios muito severos, e não climas muito quentes, a necessidade de energia para aquecimento aumentou bastante à medida que o clima em análise era mais frio.

De modo a aferir a relação entre as necessidades de energia para aquecimento e para arrefecimento e os respetivos números de graus-dia/ano, apresentam-se na Figura 4.3, para as qualidades de conforto térmico A, B, C e D (definidas pelos *setpoints* especificados na Tabela 3.2) e para a situação de elementos opacos sem isolamento térmico, as necessidades de energia para aquecimento em função do número de graus-dia/ano de aquecimento (gráficos do lado esquerdo) e as necessidades de energia para arrefecimento em função do número de graus-dia/ano de arrefecimento (gráficos do lado direito). Os valores das necessidades de energia são por  $m^2$  de área de pavimento dos espaços climatizados.







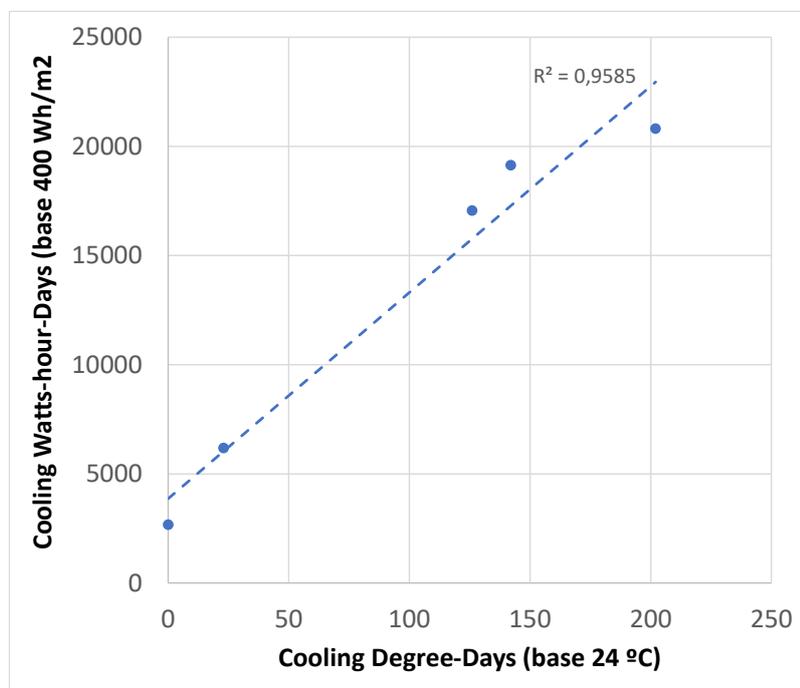
**Figura 4.3:** Proporcionalidade entre os graus-dia/ano e as necessidades de energia, para aquecimento e para arrefecimento

Analisando a Figura 4.3, constata-se que os gráficos à direita (das necessidades de energia para arrefecimento) começam na origem, enquanto para os da esquerda (das necessidades de calor para aquecimento) isso não acontece. Isto acontece porque como se considerou uma base de 24 °C para determinar o número de graus-dia/ano de arrefecimento, para Reykjavik obteve-se para este parâmetro um valor nulo.

A Figura 4.3 revela que existe uma relação de proporcionalidade linear direta entre os graus-dia/ano de aquecimento e as necessidades de calor para aquecimento. Para as necessidades de energia para arrefecimento também existe proporcionalidade direta, mas ela não é linear, pois as necessidades de energia para arrefecimento também dependem da radiação solar que incide nos envidraçados e da qualidade térmica dos mesmos.

De modo a clarificar a importância relativa da radiação solar incidente e da qualidade térmica dos envidraçados sobre as necessidades de energia para arrefecimento, construiu-se o gráfico representado na Figura 4.4, onde é relacionado o número de Watts-hora-dia/ano de arrefecimento com o número de graus-dia/ano de arrefecimento para os 5 climas considerados. Verifica-se a existência de proporcionalidade direta entre estes dois parâmetros, mas a mesma não é completamente linear. Em parte, mas não completamente, justifica a relação não linear entre as necessidades de energia para arrefecimento e o número de graus-dia/ano de arrefecimento. Pensa-se que a qualidade térmica dos envidraçados tem uma influência bem mais relevante, nomeadamente o grau de sombreamento dos envidraçados, o qual é muito dependente da latitude da localização do edifício. Só por si,

isto já justifica o esforço que se fez para melhorar a precisão e a abrangência do *SEnergEd* em termos de cálculo do sombreamento dos envidraçados.



**Figura 4.4:** Influência da radiação incidente nos graus-dia/ano de arrefecimento

Comparando os gráficos do custo do conforto térmico (Figura 4.2) com os das necessidades de energia para climatização (Figura 4.1), conclui-se que não existe uma relação direta entre estes dois parâmetros. A razão é que o valor do *CC* depende também da eficiência energética dos sistemas de climatização, da tarifa de compra de energia, dos gastos com a manutenção dos sistemas de AVAC e do montante que é necessário investir para equipar o edifício com um sistema de climatização. Aliás, de todos eles, a parcela relativa ao investimento inicial é dominante, chegando a atingir mais de 50% do *CC* no caso dos edifícios residenciais e mais de 80% no caso dos edifícios de comércio e de serviços.

Varsóvia e Reykjavik apresentam um custo de conforto térmico inferior ao esperado. Isto deve-se ao fato de a energia elétrica na Polónia e na Islândia ser substancialmente mais barata que em Portugal e em Espanha. Mesmo assim, constata-se que o *CC* na Islândia é quase sempre superior ao dos restantes países analisados, não só por ser sempre o caso que necessita de mais energia por parte do sistema de climatização, como também por ter um maior custo de mão de obra associado à aplicação de isolamento térmico.

A tipologia de uso do edifício tem uma importância determinante no valor do custo do conforto térmico, havendo uma clara distinção entre os edifícios com ocupação permanente (apartamento, moradia e clínica) e os edifícios com ocupação intermitente (escola, agência bancária e supermercado). A influência do clima sobre o valor do *CC* só é verdadeiramente relevante se os elementos opacos da envolvente do edifício não incluírem uma espessura apropriada de isolamento térmico, sendo isto mais notório no caso dos climas frio, muito frio e extremamente frio.

Em termos globais, a opção pelo sistema de climatização mais eficiente (o da classe A+++ ) só é compensatório no caso dos edifícios residenciais (apartamento e moradia). No caso dos edifícios de comércio e de serviços (clínica, escola, agência bancária e supermercado), a opção por um *Chiller*-bomba de calor da classe A+++ só compensa em situações muito particulares, pelo que a sua vantagem é muito duvidosa.

## 5. CONCLUSÕES

O estudo desenvolvido centrou-se na análise do comportamento energético e económico dos edifícios quando localizados em diferentes tipos de climas do continente europeu. Procurou-se relacionar as necessidades de energia para climatização e o custo económico do conforto térmico com a tipologia de uso do edifício, o tipo de clima, a qualidade energética das soluções construtivas passivas, a eficiência energética dos sistemas de climatização e a qualidade do conforto térmico.

Como ferramenta de cálculo recorreu-se ao *software SEnergEd*. No entanto, a versão que existia do mesmo só estava habilitada a determinar o sombreamento de envidraçados de edifícios localizados em Portugal, o que não era adequado à realização do estudo que se pretendia realizar. Para colmatar esta limitação, este *software* foi melhorado munindo-o com os algoritmos necessários ao cálculo do sombreamento de envidraçados de edifícios localizados em qualquer latitude do hemisfério Norte.

Foi ainda criada uma ferramenta de conversão de ficheiros climáticos, nomeada de “Converte-FC”, que transforma qualquer ficheiro climático do *EnergyPlus*, do tipo EPW, num ficheiro no formato SCE compatível com o *SEnergEd*.

A partir dos resultados obtidos não foi demonstrada uma relação direta óbvia entre as necessidades de energia para climatização ou o custo do conforto térmico e o fator de forma do edifício. Mesmo assim, ficou claro que estes parâmetros dependem fortemente da tipologia de uso do edifício, apresentando valores mais elevados no caso dos edifícios com ocupação permanente (apartamento, moradia e clínica) do que naqueles com ocupação intermitente (escola, agência bancária e supermercado). Quer as necessidades de energia para climatização quer o custo económico do conforto térmico aumentam com a melhoria da qualidade requerida para o conforto térmico.

Exceto no caso do supermercado e no caso dos climas quente e moderado, as necessidades de energia para arrefecimento são substancialmente inferiores às para aquecimento. A aplicação de isolamento térmico nos elementos opacos da envolvente dos edifícios leva a uma diminuição das necessidades de calor para aquecimento e tem uma influência desprezável sobre as necessidades de energia para arrefecimento.

Existe uma relação direta linear entre as necessidades de calor para aquecimento e o número de graus-dia de aquecimento. Entre as necessidades de energia para arrefecimento e o número de graus-dia de arrefecimento também existe uma relação direta,

mas a mesma não é linear, pois aquelas dependem também da radiação solar incidente e da qualidade térmica dos envidraçados.

Existe uma relação direta entre o custo do conforto térmico e as necessidades de energia para climatização, mas a mesma está muito longe de ser linear, pois o valor do *CC* depende também da eficiência energética dos sistemas de climatização, da tarifa de compra de energia, dos gastos com a manutenção dos sistemas de AVAC e do investimento inicial (num sistema de climatização e em isolamento térmico). Aliás, verifica-se que, para todos os edifícios e para todos os tipos de clima, a parcela do *CC* relativa ao investimento inicial é muito significativa no caso dos edifícios residenciais (chegando a ultrapassar 50% do valor do *CC*) e é dominante no caso dos edifícios de serviços e de comércio (chegando a ultrapassar 80% do valor do *CC*).

Foi ainda demonstrado que a opção pelo sistema de climatização mais eficiente (o da classe A+++)<sup>1</sup> só é economicamente viável no caso dos edifícios residenciais, sendo desfavorável no caso dos edifícios de comércio e de serviços.

Conclui-se com a realização deste trabalho que, apesar de a União Europeia ser um projeto comum, existem bastantes assimetrias climáticas e económicas entre os diferentes países membros, causando desequilíbrios na qualidade do conforto térmico dos seus povos.

## REFERÊNCIAS

- Arnfield, A. J. (2020). Köppen climate classification. *Encyclopedia Britannica*, Acedido a 18 de março de 2021. <https://www.britannica.com/science/Koppen-climate-classification>
- ASHRAE standard 55. (2010). Thermal Environment Conditions for Human Occupancy, 2004. *American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers, Inc*, Atlanta, 2004.
- Claro, J. A. (2015). Viabilidade da instalação em escolas secundárias de sistemas de geração em regime de produção para autoconsumo. *Tese de MiEM (Mestrado Integrado Em Engenharia Mecânica)*, Universidade de Coimbra, julho de 2015.
- Costa, L. (2018). Custo do conforto térmico em edifícios localizados em Portugal. *Tese de MiEM (Mestrado Integrado Em Engenharia Mecânica)*, Universidade de Coimbra, Setembro de 2018.
- Despacho (extrato) nº 15793-F/2013 (2013). Ministério da Economia e do Emprego. *Diário Da República, 2.ª Série-N.º 234, 35088-(26)-35088-(31)*.
- Despacho (extrato) nº 15793-K/2013 (2013). Ministério da Economia e do Emprego. *Diário Da República, 2.ª Série-N.º 234, 35088-(58)-35088-(87)*.
- Dobos, E. (2011). *Encyclopedia of Soil Science*, 2ª edição. *CRC Press*, [https://www.academia.edu/10299483/Encyclopedia\\_of\\_Soil\\_Science\\_Second\\_Edition\\_English\\_Version\\_](https://www.academia.edu/10299483/Encyclopedia_of_Soil_Science_Second_Edition_English_Version_)
- EC. (2011). European Commission, Commission Delegated Regulation (EU) 626/2011 of 4 May 2011 supplementing Directive 2010/30/EU with regard to energy labelling of air conditioners. *Offic. J. European Union L178*, 1–72.
- EN 15251. (2007). Indoor environmental input parameters for design and indoor air quality , thermal environment , lighting and acoustics. *Comité Européen de Normalisation*, 1–52.
- EN 16798-1. (2019). Energy performance of buildings - Part 1: Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics. *CEN (European Committee for Standardization)*, Brussels, 2019.
- EnergyPlus. (2021). *Weather Data - EnergyPlus*. Acedido em abril de 2021. <https://energyplus.net/weather>
- Eurostat. (2021a). *Energy savings statistics*. Acedido em maio de 2021. <https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php>
- Eurostat. (2021b). *European Union energy price statistics explained*. Acedido em março de 2021. <http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php>.
- Eurostat. (2021c). *Monthly minimum wages - bi-annual data*. Acedido em abril de 2021. [https://ec.europa.eu/eurostat/en/web/products-datasets/-/EARN\\_MW\\_CUR](https://ec.europa.eu/eurostat/en/web/products-datasets/-/EARN_MW_CUR)

- 
- Google Maps. (2021). *Mapa das localidades em análise*. Acedido em abril de 2021. <https://www.google.com/maps>
- Iqbal, M. (1983). *An Introduction to Solar Radiation*, 1ª edição. *Academic Press*, Vancouver.
- ISO 13790. (2006). *Energy performance of buildings - Calculation of energy use for space heating and cooling*. *International Standard Organization*.
- ISO 7730. (2005). *Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices*. *International Standard Organization*.
- ISO 8996. (1990). *Ergonomie - Détermination de la production de chaleur métabolique*. *International Standard Organization*.
- ISO 9920. (2007). *Ergonomics of the thermal environment – estimation of the thermal insulation and evaporative resistance of a clothing ensemble*. *International Standard Organization*.
- Kalogirou, S. A. (2009). *Solar Energy Engineering: Processes and Systems*, 1ª edição. *Academic Press*, UK.
- Las-Heras-casas, J., López-Ochoa, L. M., López-González, L. M., & Olasolo-Alonso, P. (2021). Energy renovation of residential buildings in hot and temperate mediterranean zones using optimized thermal envelope insulation thicknesses: The case of Spain. *Applied Sciences (Switzerland)*, *11*(1), 1–30. <https://doi.org/10.3390/app11010370>
- Origem da Palavra. (2021). *Origem da palavra “clima.”* Acedido em maio de 2021. <https://origemdapalavra.com.br/palavras/clima/>
- Raimundo, A. M. (2008). Cálculo do comportamento térmico de edifícios através do modelo dinâmico horário monozona 5R1C. *II Conferência Nacional de Métodos Numéricos Em Mecânica de Fluidos e Termodinâmica*, Universidade de Aveiro, 8-9 de maio de 2008.
- Raimundo, A. M. (2012). Exequibilidade dos edifícios com necessidades quase nulas de energia em clima mediterrânico. *Revista Climatização*, Nº79, pp. 68–72.
- Raimundo, A. M., Gaspar, A. R., & Lamas, F. B. (2011a). Projeto RCCTE de um apartamento (caso prático). *Cursos de Formação Sobre o SCE*, DEM-FCTUC, Universidade de Coimbra.
- Raimundo, A. M., Gaspar, A. R., & Lamas, F. B. (2011b). Projeto RCCTE de uma moradia (caso prático). *Cursos de Formação Sobre o SCE*, DEM-FCTUC, Universidade de Coimbra.
- Raimundo, A. M., Gaspar, A. R., & Lamas, F. B. (2011c). Projeto RSECE de um edifício de serviços (caso prático). *Cursos de Formação Sobre o SCE*, DEM-FCTUC, Universidade de Coimbra.
- Raimundo, A. M., Lamas, F. B., & Simões, N. V. (2007). Grande remodelação de fracção autónoma destinada a agência bancária localizada no interior da zona urbana de Bragança. *Cursos de Formação Sobre o SCE*, DEM-FCTUC, Universidade de Coimbra.
-

- Raimundo, A. M., Saraiva, N. B., & Oliveira, A. V. M. (2020). Thermal insulation cost optimality of opaque constructive solutions of buildings under Portuguese temperate climate. *Building and Environment*, 182 (2020).  
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107107>
- Rebelo, A. C. (2016). Ponto ótimo de rentabilidade económica dos envidraçados aplicados em edifícios localizados em Portugal. *Tese de MiEM (Mestrado Integrado Em Engenharia Mecânica)*, Universidade de Coimbra, fevereiro de 2016.
- Rodrigues, E., Fernandes, M. S., Soares, N., Gomes, Á., Gaspar, A. R., & Costa, J. J. (2018). The potential impact of low thermal transmittance construction on the European design guidelines of residential buildings. *Energy and Buildings*, 178, 379–390. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.08.009>
- Saraiva, N. (2017). Ponto ótimo de rentabilidade económica das soluções construtivas opacas de edifícios localizados em Portugal. *Tese de MiEM (Mestrado Integrado Em Engenharia Mecânica)*, Universidade de Coimbra, julho de 2017.  
<https://eg.uc.pt/handle/10316/82938>
- Sfakianaki, A., Santamouris, M., Hutchins, M., Nichol, F., Wilson, M., Pagliano, L., Pohl, W., Alexandre, J. L., & Freire, A. (2011). Energy consumption variation due to different thermal comfort categorization introduced by European standard EN 15251 for new building design and major rehabilitations. *International Journal of Ventilation*, 10(2), 195–204. <https://doi.org/10.1080/14733315.2011.11683948>
- Silva, J., e Henriques, P. (2012). Proposta de nova metodologia para o cálculo do fator de sombreamento de vãos envidraçados por elementos horizontais. *Atas Do Congresso Construção 2012 - 4º Congresso Nacional, Coimbra, Portugal*, 18-20 dezembro de 2012.
- Solterm 5.3 (2017). Laboratório Nacional de Energia e Geologia.  
<https://www.lneg.pt/service/informacao-tecnica/software/solterm5/>
- Sun, J., Li, Z., & Xiao, F. (2017). The influence of exterior obstruction on the integrated evaluation of daylight utilization during initial design stage. *Procedia Engineering*, 205, 2785–2792. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.09.882>
- Vidigueira, V. (2013). Influência da estratégia de ventilação no consumo energético dos edifícios de serviços com utilização intermitente e elevadas cargas térmicas internas. *Tese de MiEM (Mestrado Integrado Em Engenharia Mecânica)*, Universidade de Coimbra, janeiro de 2013.
- Zeferina, V., Wood, F. R., Edwards, R., & Tian, W. (2021). Sensitivity analysis of cooling demand applied to a large office building. *Energy and Buildings*, 235. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110703>

## ANEXO A – FUNÇÕES CRIADAS EM VBA PARA MS EXCEL

Encontram-se representadas no presente anexo as funções criadas em *Microsoft Visual Basic for Applications*. Foram criadas as funções AZIMUTE, que define o domínio da função representada na equação (2.8), BETA, que calcula o ângulo da pala vertical, tanto para palas à esquerda como à direita, FOBST, que calcula cada um dos fatores de sombreamento e através destes calcula o fator de obstrução, e PWS, que calcula os ganhos solares através da equação (2.1).

Dim AH, AHMIN, AHMAX, AO, AOMIN, AOMAX, BE, BEMIN, BEMAX, BD, BDMIN, BDMAX, FMIN As Double

### Função AZIMUTE em VBA para MS Excel

Function AZIMUTE(Altura As Double, Latitude As Double, Declinação As Double, Ângulo\_Horário As Double) As Double

A = Sin(Altura) \* Sin(Latitude) - Sin(Declinação)

B = Cos(Altura) \* Cos(Latitude)

C = WorksheetFunction.Acos(A / B)

If A >= B Then

AZIMUTE = 0

Else

If A <= -B Then

AZIMUTE = Pi

Else

If Ângulo\_Horário > 0 Then

AZIMUTE = C

Else

AZIMUTE = -C

End If

End If

End If

End Function

### Função BETA em VBA para MS Excel

Function BETA(AZIMUTE As Double, Orientação As String, Lado As String) As Double

```
If Orientação = "N" Then
Azs = -180
Else
If Orientação = "NW" Then
Azs = -135
Else
If Orientação = "W" Then
Azs = -90
Else
If Orientação = "SW" Then
Azs = -45
Else
If Orientação = "S" Then
Azs = 0
Else
If Orientação = "SE" Then
Azs = 45
Else
If Orientação = "E" Then
Azs = 90
Else
If Orientação = "NE" Then
Azs = 135

End If

If Lado = "Esquerda" Then
BETA = 90 + AZIMUTE + Azs
Else
If Lado = "Direita" Then
BETA = 90 - AZIMUTE - Azs
End If
End If
End Function
```

#### **Função FOBST em VBA para MS Excel**

Function FOBST(AH, AHMIN, AHMAX, AO, AOMIN, AOMAX, BE, BEMIN, BEMAX, BD, BDMIN, BDMAX, FMIN)

```
If AHMIN >= AHMAX Then
```

---

```

FH1 = 1
Else
FH1 = (AH - AHMIN) / (AHMAX - AHMIN)
End If
FH2 = WorksheetFunction.Min(FH1, 1)
Fh = WorksheetFunction.Max(FH2, 0)

```

```

If AOMIN >= AOMAX Then
FO1 = 1
Else
FO1 = (AO - AOMIN) / (AOMAX - AOMIN)
End If
FO2 = WorksheetFunction.Min(FO1, 1)
Fo = WorksheetFunction.Max(FO2, 0)

```

```

If BEMIN >= BEMAX Then
Ffe1 = 1
Else
Ffe1 = (BE - BEMIN) / (BEMAX - BEMIN)
End If
Ffe2 = WorksheetFunction.Min(Ffe1, 1)
Ffe = WorksheetFunction.Max(Ffe2, 0)

```

```

If BDMIN >= BDMAX Then
Ffd1 = 1
Else
Ffd1 = (BD - BDMIN) / (BDMAX - BDMIN)
End If
Ffd2 = WorksheetFunction.Min(Ffd1, 1)
Ffd = WorksheetFunction.Max(Ffd2, 0)

```

```

F1 = Fh * Fo * Ffe * Ffd
FOBST = F1 + FMIN * (1 - F1)
End Function

```

### **Função PWS em VBA para MS Excel**

Function PWS(A As Double, G As Double, Fs As Double, Fg As Double, Fw As Double, dn As Double, gi As Double, gv As Double) As Double

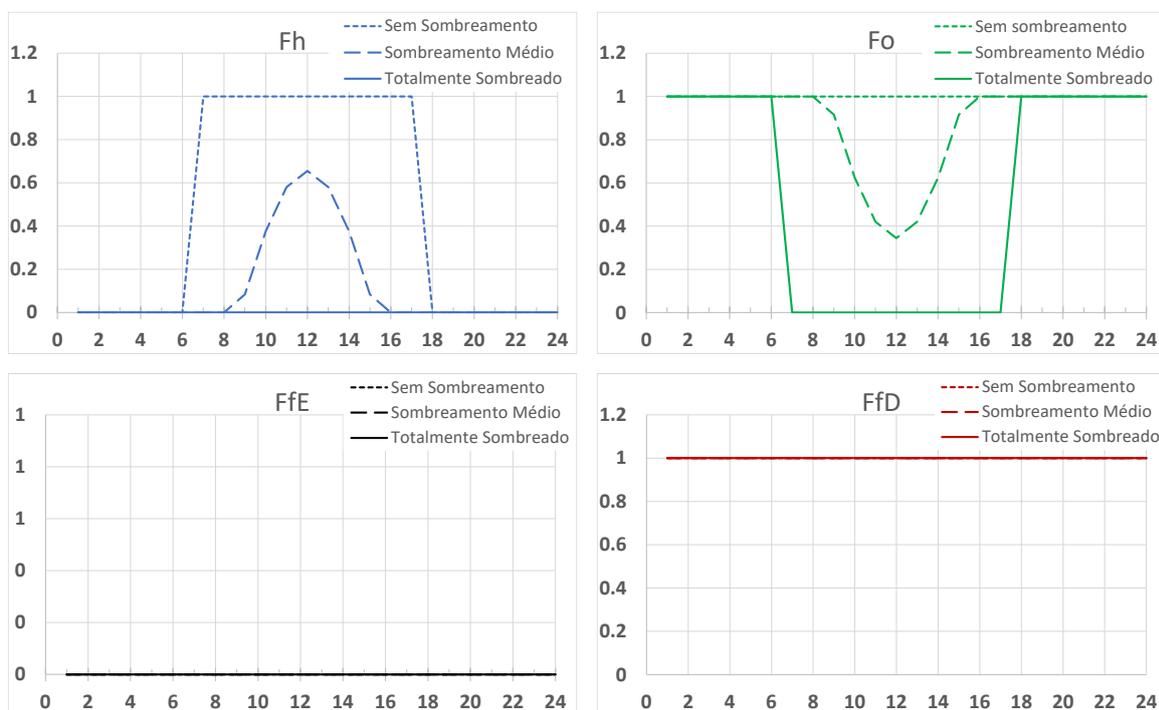
```

If dn < 172 And dn > 355 Then
PWS = A * G * Fs * Fg * Fw * gv
Else
PWS = A * G * Fs * Fg * Fw * gi
End If
End Function

```

## ANEXO B – INFLUÊNCIA DO GRAU DE SOMBREAMENTO E DA ORIENTAÇÃO NOS GANHOS SOLARES DE UM VÃO ENVIDRAÇADO

No presente anexo, pretende-se identificar não só a variação do fator de obstrução  $F_s$  consoante o grau de sombreamento e a orientação do envidraçado, mas também dos fatores de sombreamento (fator de sombreamento do horizonte  $F_h$ , fator de sombreamento por elementos horizontais próximos  $F_o$ , fator de sombreamento por elementos verticais à esquerda  $F_{fE}$  e à direita  $F_{fD}$  do envidraçado) provenientes do seu cálculo. Tomou-se como exemplo o dia 21 de março (equinócio de primavera) para a localidade de Coimbra. Apesar de ser um fator que depende da intensidade da radiação, está ainda representada a variação dos ganhos solares  $PWS$ . Apesar de não estarem representados, foram ainda produzidas as representações gráficas para as orientações intermédias (NE, SE, SW e NW).



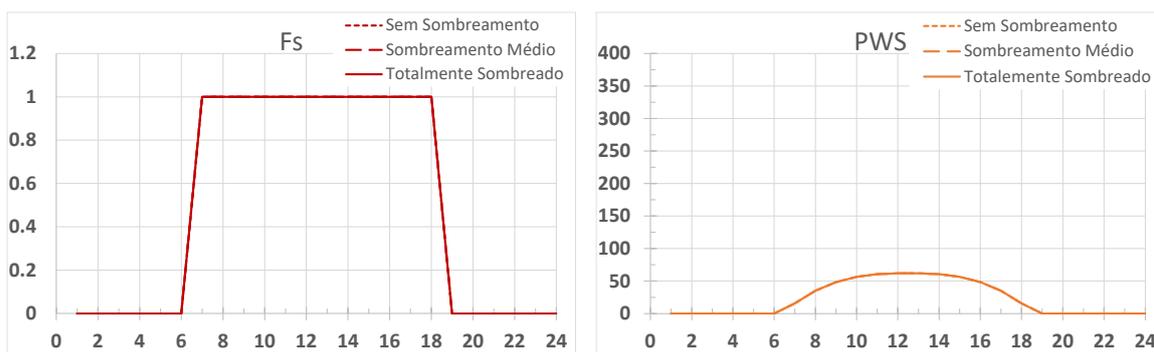


Figura 0.1: Influência do grau de sombreamento nos ganhos solares de um vão envidraçado voltado a norte

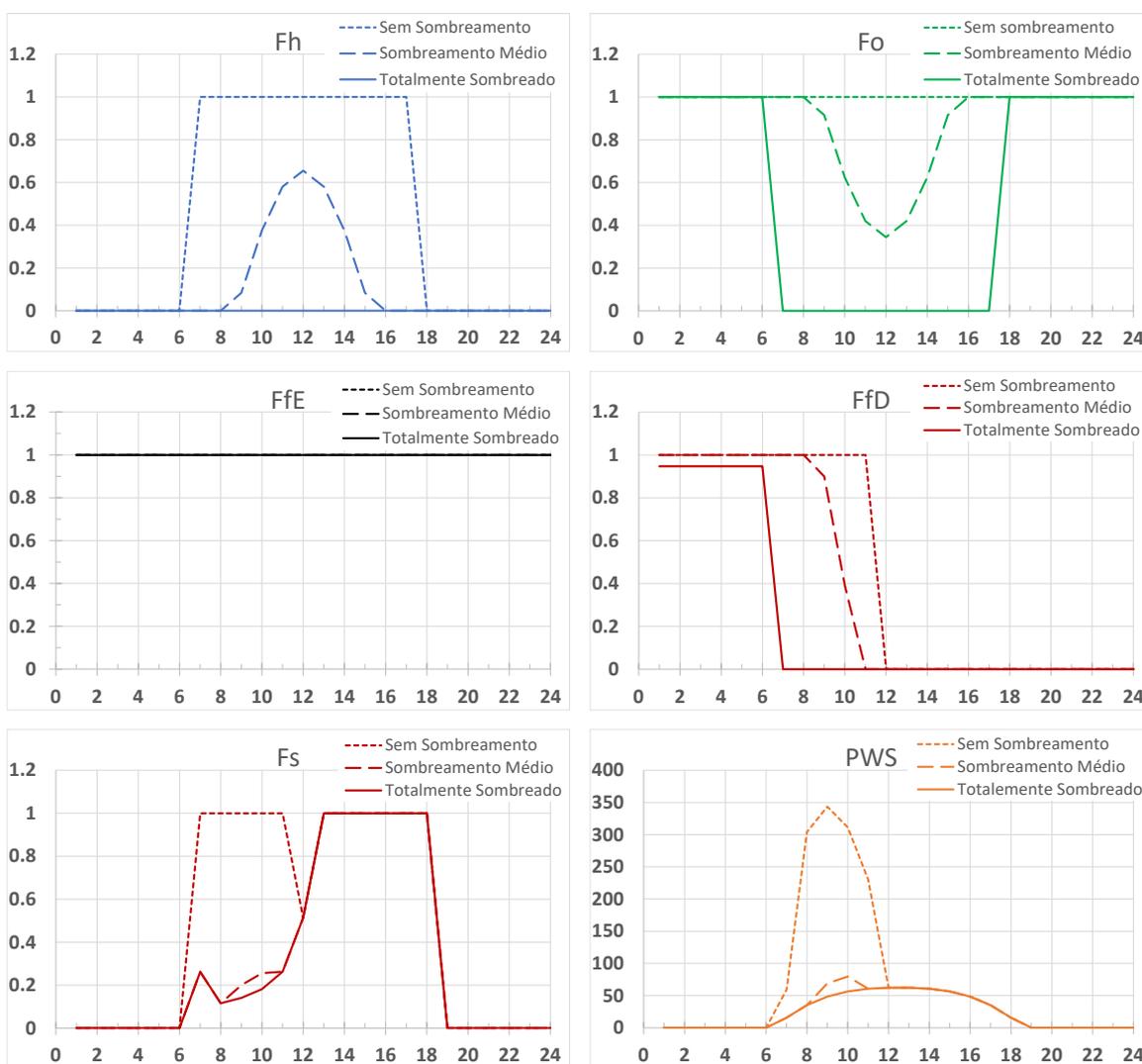


Figura 0.2: Influência do grau de sombreamento nos ganhos solares de um vão envidraçado voltado a este

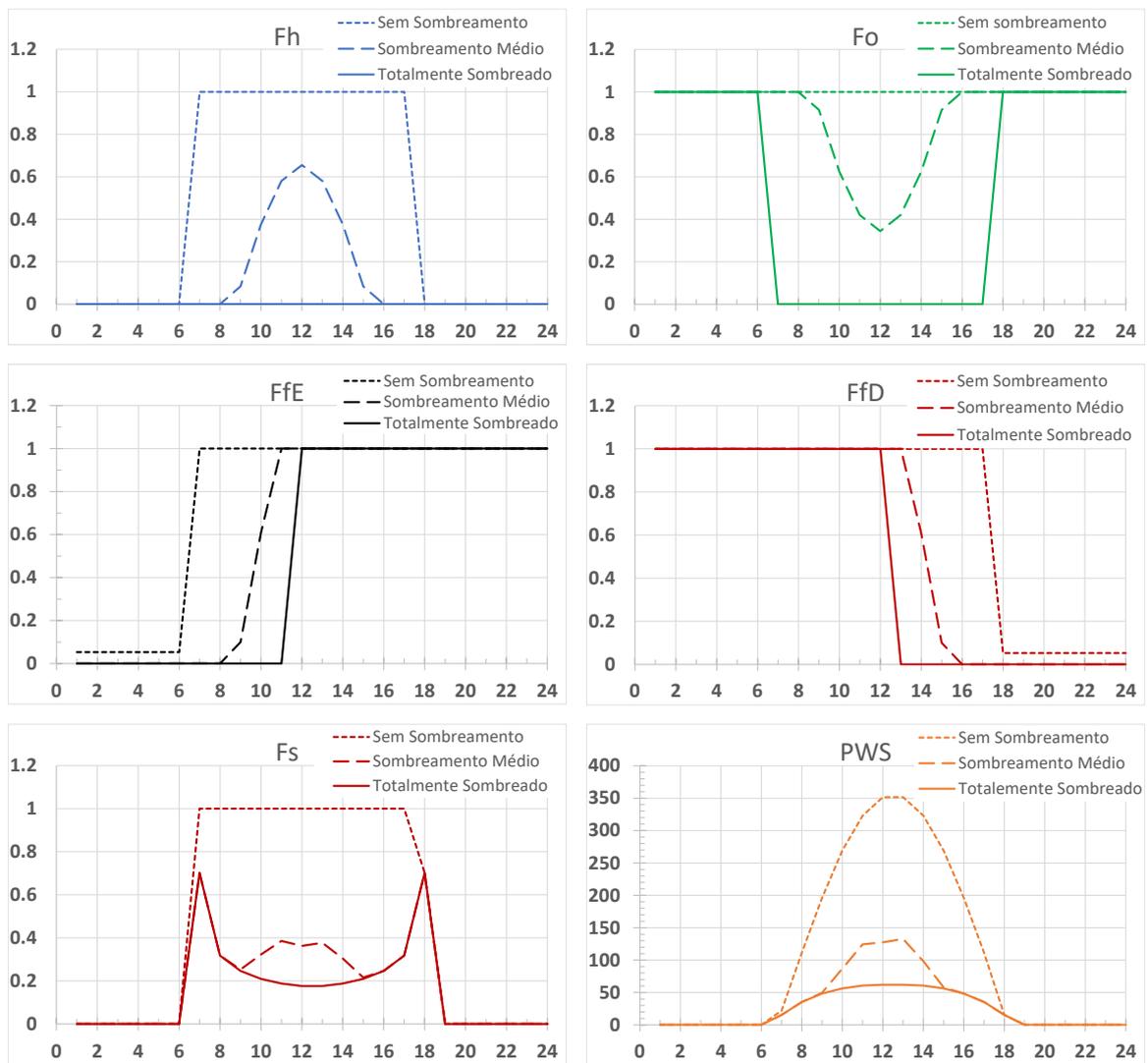


Figura 0.3: Influência do grau de sombreamento nos ganhos solares de um vão envidraçado voltado a sul

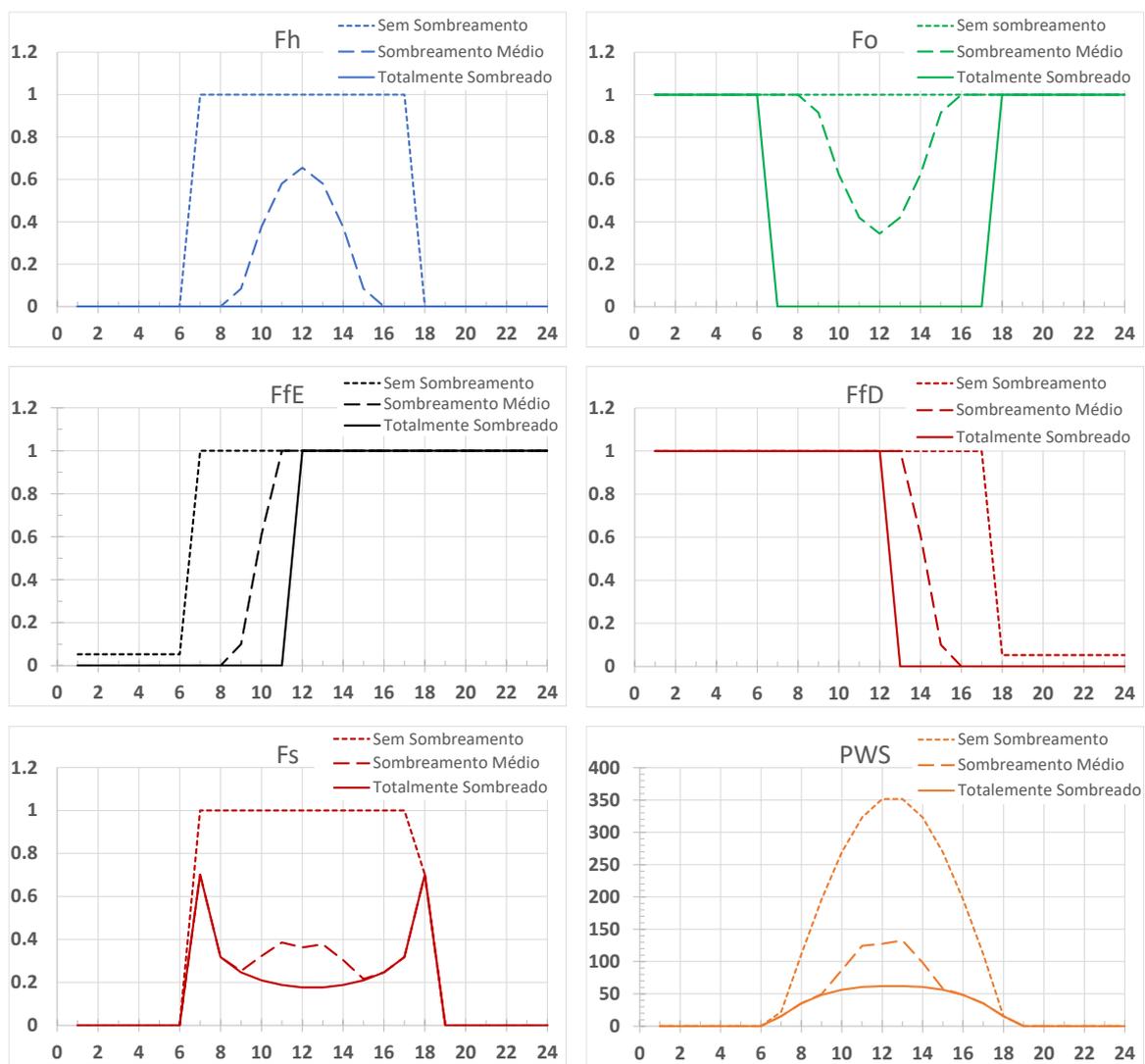


Figura 0.4: Influência do grau de sombreamento nos ganhos solares de um vão envidraçado voltado a oeste

## ANEXO C – CARACTERÍSTICAS DOS EDIFÍCIOS

O ANEXO C tem a finalidade de especificar os dados de cada simulação energética efetuada. Para cada tipologia de edifício serão representados esquemas que clarificam a geometria ou a área de inserção do edifício, o isolamento térmico do vestuário utilizado e os perfis de ocupação, de uso de equipamentos não-AVAC, de iluminação e de atividade metabólica.

### Apartamento

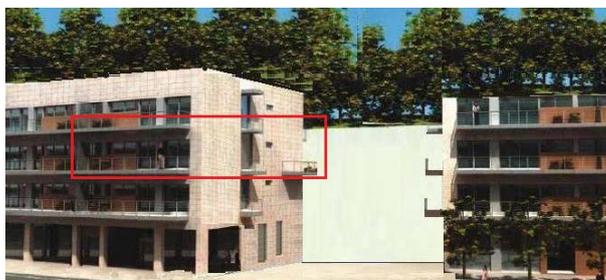


Figura 0.1: Edifício com a FA analisada em destaque (Raimundo et al. 2011a)

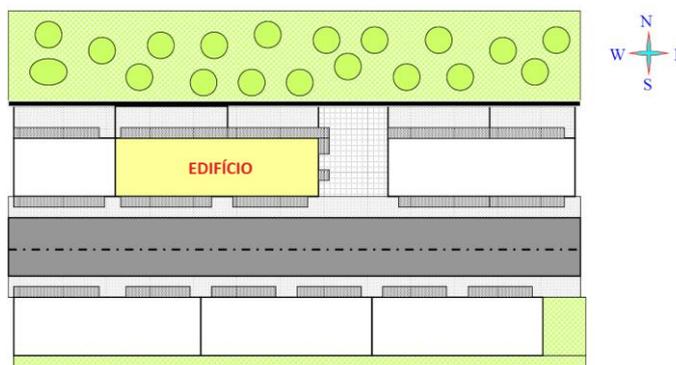


Figura 0.2: Esquema de inserção local do edifício (Raimundo et al. 2011a)

Tabela 0.1: Isolamento térmico do vestuário utilizado pelos ocupantes do apartamento

Vestuário:			
	Verão	Inverno	Prim/Out
<b>Dia:</b>	0.70 clo	1.30 clo	1.00 clo
Sugeridos:	0.60 clo	2.00 clo	1.20 clo
<b>Noite:</b>	1.40 clo	2.60 clo	2.00 clo
Sugeridos:	1.20 clo	2.40 clo	2.00 clo

**Tabela 0.2:** Perfil de ocupação do apartamento

Perfil de ocupação Para o edifício a funcionar a 100%					
2ª a 6ª feira		Sabados		Domingos	
Hora	Utilização (%)	Hora	Utilização (%)	Hora	Utilização (%)
0 - 1	100	0 - 1	100	0 - 1	100
1 - 2	100	1 - 2	100	1 - 2	100
2 - 3	100	2 - 3	100	2 - 3	100
3 - 4	100	3 - 4	100	3 - 4	100
4 - 5	100	4 - 5	100	4 - 5	100
5 - 6	100	5 - 6	100	5 - 6	100
6 - 7	100	6 - 7	100	6 - 7	100
7 - 8	60	7 - 8	100	7 - 8	100
8 - 9	40	8 - 9	100	8 - 9	100
9 - 10	0	9 - 10	75	9 - 10	50
10 - 11	0	10 - 11	75	10 - 11	50
11 - 12	0	11 - 12	100	11 - 12	100
12 - 13	30	12 - 13	100	12 - 13	100
13 - 14	30	13 - 14	100	13 - 14	100
14 - 15	0	14 - 15	50	14 - 15	25
15 - 16	0	15 - 16	50	15 - 16	25
16 - 17	0	16 - 17	50	16 - 17	25
17 - 18	50	17 - 18	50	17 - 18	25
18 - 19	100	18 - 19	50	18 - 19	25
19 - 20	100	19 - 20	100	19 - 20	100
20 - 21	100	20 - 21	100	20 - 21	100
21 - 22	100	21 - 22	100	21 - 22	100
22 - 23	100	22 - 23	100	22 - 23	100
23 - 24	100	23 - 24	100	23 - 24	100

**Tabela 0.3:** Perfil de uso de equipamentos não-AVAC no apartamento

Perfil de equipamentos (não incluindo os de AVAC) Para o edifício a funcionar a 100%					
2ª a 6ª feira		Sabados		Domingos	
Hora	Utilização (%)	Hora	Utilização (%)	Hora	Utilização (%)
0 - 1	20	0 - 1	20	0 - 1	20
1 - 2	10	1 - 2	10	1 - 2	10
2 - 3	5	2 - 3	5	2 - 3	5
3 - 4	5	3 - 4	5	3 - 4	5
4 - 5	5	4 - 5	5	4 - 5	5
5 - 6	5	5 - 6	5	5 - 6	5
6 - 7	20	6 - 7	20	6 - 7	20
7 - 8	20	7 - 8	20	7 - 8	20
8 - 9	20	8 - 9	20	8 - 9	20
9 - 10	5	9 - 10	30	9 - 10	30
10 - 11	5	10 - 11	30	10 - 11	30
11 - 12	5	11 - 12	30	11 - 12	30
12 - 13	25	12 - 13	30	12 - 13	30
13 - 14	25	13 - 14	30	13 - 14	30
14 - 15	5	14 - 15	30	14 - 15	30
15 - 16	5	15 - 16	30	15 - 16	30
16 - 17	5	16 - 17	30	16 - 17	30
17 - 18	40	17 - 18	40	17 - 18	40
18 - 19	50	18 - 19	50	18 - 19	50
19 - 20	60	19 - 20	60	19 - 20	60
20 - 21	60	20 - 21	60	20 - 21	60
21 - 22	60	21 - 22	60	21 - 22	60
22 - 23	60	22 - 23	60	22 - 23	60
23 - 24	40	23 - 24	40	23 - 24	40

**Tabela 0.4:** Perfil de iluminação do apartamento

Perfil de iluminação Para o edifício a funcionar a 100%					
2ª a 6ª feira		Sabados		Domingos	
Hora	Utilização (%)	Hora	Utilização (%)	Hora	Utilização (%)
0 - 1	20	0 - 1	20	0 - 1	20
1 - 2	5	1 - 2	5	1 - 2	5
2 - 3	5	2 - 3	5	2 - 3	5
3 - 4	5	3 - 4	5	3 - 4	5
4 - 5	5	4 - 5	5	4 - 5	5
5 - 6	5	5 - 6	5	5 - 6	5
6 - 7	20	6 - 7	20	6 - 7	20
7 - 8	20	7 - 8	20	7 - 8	20
8 - 9	30	8 - 9	30	8 - 9	30
9 - 10	0	9 - 10	30	9 - 10	30
10 - 11	0	10 - 11	30	10 - 11	30
11 - 12	0	11 - 12	30	11 - 12	30
12 - 13	10	12 - 13	30	12 - 13	30
13 - 14	10	13 - 14	30	13 - 14	30
14 - 15	0	14 - 15	30	14 - 15	30
15 - 16	0	15 - 16	30	15 - 16	30
16 - 17	0	16 - 17	30	16 - 17	30
17 - 18	20	17 - 18	20	17 - 18	20
18 - 19	30	18 - 19	30	18 - 19	30
19 - 20	50	19 - 20	50	19 - 20	50
20 - 21	50	20 - 21	50	20 - 21	50
21 - 22	50	21 - 22	50	21 - 22	50
22 - 23	50	22 - 23	50	22 - 23	50
23 - 24	40	23 - 24	40	23 - 24	40

**Tabela 0.5:** Perfil de atividade metabólica do apartamento

Perfil de atividade (média) Valores em Met, por pessoa					
2ª a 6ª feira		Sabados		Domingos	
Hora	Atividade (Met)	Hora	Atividade (Met)	Hora	Atividade (Met)
0 - 1	0.80	0 - 1	0.80	0 - 1	0.80
1 - 2	0.80	1 - 2	0.80	1 - 2	0.80
2 - 3	0.80	2 - 3	0.80	2 - 3	0.80
3 - 4	0.80	3 - 4	0.80	3 - 4	0.80
4 - 5	0.80	4 - 5	0.80	4 - 5	0.80
5 - 6	0.80	5 - 6	0.80	5 - 6	0.80
6 - 7	0.80	6 - 7	0.80	6 - 7	0.80
7 - 8	0.90	7 - 8	0.80	7 - 8	0.80
8 - 9	1.20	8 - 9	0.90	8 - 9	0.80
9 - 10	1.20	9 - 10	1.20	9 - 10	1.00
10 - 11	1.20	10 - 11	1.20	10 - 11	1.20
11 - 12	1.20	11 - 12	1.20	11 - 12	1.20
12 - 13	1.20	12 - 13	1.20	12 - 13	1.20
13 - 14	1.20	13 - 14	1.20	13 - 14	1.20
14 - 15	1.20	14 - 15	1.20	14 - 15	1.20
15 - 16	1.20	15 - 16	1.20	15 - 16	1.20
16 - 17	1.20	16 - 17	1.20	16 - 17	1.20
17 - 18	1.20	17 - 18	1.20	17 - 18	1.20
18 - 19	1.20	18 - 19	1.20	18 - 19	1.20
19 - 20	1.20	19 - 20	1.20	19 - 20	1.20
20 - 21	1.20	20 - 21	1.20	20 - 21	1.20
21 - 22	1.10	21 - 22	1.10	21 - 22	1.10
22 - 23	1.00	22 - 23	1.00	22 - 23	1.00
23 - 24	0.90	23 - 24	0.90	23 - 24	0.90

## Moradia

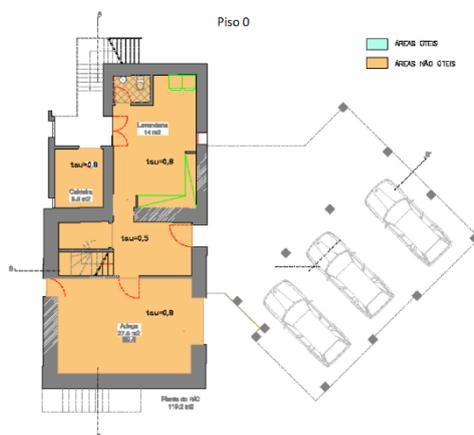


Figura 0.3: Planta da cave da moradia (Raimundo et al., 2011b)



Figura 0.4: Planta do piso intermédio da moradia (Raimundo et al., 2011b)

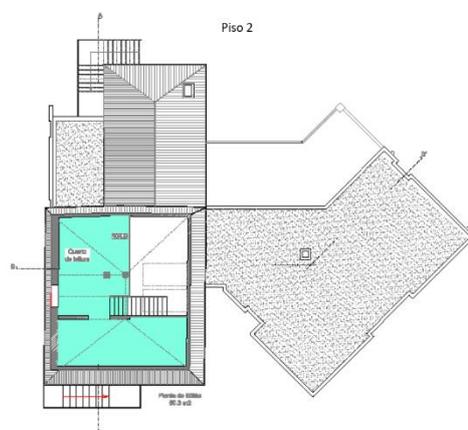


Figura 0.5: Planta do piso superior da moradia (Raimundo et al., 2011b)

**Tabela 0.6:** Isolamento térmico do vestuário utilizado pelos ocupantes da moradia

Vestuário:						
	Verão		Inverno		Prim/Out	
<b>Dia:</b>	0.70	clo	1.30	clo	1.00	clo
Sugeridos:	0.60	clo	2.00	clo	1.20	clo
<b>Noite:</b>	1.40	clo	2.60	clo	2.00	clo
Sugeridos:	1.20	clo	2.40	clo	2.00	clo

**Tabela 0.7:** Perfil de ocupação da moradia

Perfil de ocupação					
Para o edifício a funcionar a 100%					
2ª a 6ª feira		Sabados		Domingos	
Hora	Utilização (%)	Hora	Utilização (%)	Hora	Utilização (%)
0 - 1	100	0 - 1	100	0 - 1	100
1 - 2	100	1 - 2	100	1 - 2	100
2 - 3	100	2 - 3	100	2 - 3	100
3 - 4	100	3 - 4	100	3 - 4	100
4 - 5	100	4 - 5	100	4 - 5	100
5 - 6	100	5 - 6	100	5 - 6	100
6 - 7	100	6 - 7	100	6 - 7	100
7 - 8	60	7 - 8	100	7 - 8	100
8 - 9	40	8 - 9	100	8 - 9	100
9 - 10	0	9 - 10	75	9 - 10	50
10 - 11	0	10 - 11	75	10 - 11	50
11 - 12	0	11 - 12	100	11 - 12	100
12 - 13	30	12 - 13	100	12 - 13	100
13 - 14	30	13 - 14	100	13 - 14	100
14 - 15	0	14 - 15	50	14 - 15	25
15 - 16	0	15 - 16	50	15 - 16	25
16 - 17	0	16 - 17	50	16 - 17	25
17 - 18	50	17 - 18	50	17 - 18	25
18 - 19	100	18 - 19	50	18 - 19	25
19 - 20	100	19 - 20	100	19 - 20	100
20 - 21	100	20 - 21	100	20 - 21	100
21 - 22	100	21 - 22	100	21 - 22	100
22 - 23	100	22 - 23	100	22 - 23	100
23 - 24	100	23 - 24	100	23 - 24	100

**Tabela 0.8:** Perfil de uso de equipamentos não-AVAC na moradia

Perfil de equipamentos (não incluindo os de AVAC)					
Para o edifício a funcionar a 100%					
2ª a 6ª feira		Sabados		Domingos	
Hora	Utilização (%)	Hora	Utilização (%)	Hora	Utilização (%)
0 - 1	20	0 - 1	20	0 - 1	20
1 - 2	10	1 - 2	10	1 - 2	10
2 - 3	5	2 - 3	5	2 - 3	5
3 - 4	5	3 - 4	5	3 - 4	5
4 - 5	5	4 - 5	5	4 - 5	5
5 - 6	5	5 - 6	5	5 - 6	5
6 - 7	20	6 - 7	20	6 - 7	20
7 - 8	20	7 - 8	20	7 - 8	20
8 - 9	20	8 - 9	20	8 - 9	20
9 - 10	5	9 - 10	30	9 - 10	30
10 - 11	5	10 - 11	30	10 - 11	30
11 - 12	5	11 - 12	30	11 - 12	30
12 - 13	25	12 - 13	30	12 - 13	30
13 - 14	25	13 - 14	30	13 - 14	30
14 - 15	5	14 - 15	30	14 - 15	30
15 - 16	5	15 - 16	30	15 - 16	30
16 - 17	5	16 - 17	30	16 - 17	30
17 - 18	40	17 - 18	40	17 - 18	40
18 - 19	50	18 - 19	50	18 - 19	50
19 - 20	60	19 - 20	60	19 - 20	60
20 - 21	60	20 - 21	60	20 - 21	60
21 - 22	60	21 - 22	60	21 - 22	60
22 - 23	60	22 - 23	60	22 - 23	60
23 - 24	40	23 - 24	40	23 - 24	40

**Tabela 0.9:** Perfil de iluminação da moradia

Perfil de iluminação					
Para o edifício a funcionar a 100%					
2ª a 6ª feira		Sabados		Domingos	
Hora	Utilização (%)	Hora	Utilização (%)	Hora	Utilização (%)
0 - 1	20	0 - 1	20	0 - 1	20
1 - 2	5	1 - 2	5	1 - 2	5
2 - 3	5	2 - 3	5	2 - 3	5
3 - 4	5	3 - 4	5	3 - 4	5
4 - 5	5	4 - 5	5	4 - 5	5
5 - 6	5	5 - 6	5	5 - 6	5
6 - 7	20	6 - 7	20	6 - 7	20
7 - 8	20	7 - 8	20	7 - 8	20
8 - 9	30	8 - 9	30	8 - 9	30
9 - 10	0	9 - 10	30	9 - 10	30
10 - 11	0	10 - 11	30	10 - 11	30
11 - 12	0	11 - 12	30	11 - 12	30
12 - 13	10	12 - 13	30	12 - 13	30
13 - 14	10	13 - 14	30	13 - 14	30
14 - 15	0	14 - 15	30	14 - 15	30
15 - 16	0	15 - 16	30	15 - 16	30
16 - 17	0	16 - 17	30	16 - 17	30
17 - 18	20	17 - 18	20	17 - 18	20
18 - 19	30	18 - 19	30	18 - 19	30
19 - 20	50	19 - 20	50	19 - 20	50
20 - 21	50	20 - 21	50	20 - 21	50
21 - 22	50	21 - 22	50	21 - 22	50
22 - 23	50	22 - 23	50	22 - 23	50
23 - 24	40	23 - 24	40	23 - 24	40

**Tabela 0.10:** Perfil de atividade metabólica da moradia

Perfil de atividade (média)					
Valores em Met, por pessoa					
2ª a 6ª feira		Sabados		Domingos	
Hora	Atividade (Met)	Hora	Atividade (Met)	Hora	Atividade (Met)
0 - 1	0.80	0 - 1	0.80	0 - 1	0.80
1 - 2	0.80	1 - 2	0.80	1 - 2	0.80
2 - 3	0.80	2 - 3	0.80	2 - 3	0.80
3 - 4	0.80	3 - 4	0.80	3 - 4	0.80
4 - 5	0.80	4 - 5	0.80	4 - 5	0.80
5 - 6	0.80	5 - 6	0.80	5 - 6	0.80
6 - 7	0.80	6 - 7	0.80	6 - 7	0.80
7 - 8	0.90	7 - 8	0.80	7 - 8	0.80
8 - 9	1.20	8 - 9	0.90	8 - 9	0.80
9 - 10	1.20	9 - 10	1.20	9 - 10	1.00
10 - 11	1.20	10 - 11	1.20	10 - 11	1.20
11 - 12	1.20	11 - 12	1.20	11 - 12	1.20
12 - 13	1.20	12 - 13	1.20	12 - 13	1.20
13 - 14	1.20	13 - 14	1.20	13 - 14	1.20
14 - 15	1.20	14 - 15	1.20	14 - 15	1.20
15 - 16	1.20	15 - 16	1.20	15 - 16	1.20
16 - 17	1.20	16 - 17	1.20	16 - 17	1.20
17 - 18	1.20	17 - 18	1.20	17 - 18	1.20
18 - 19	1.20	18 - 19	1.20	18 - 19	1.20
19 - 20	1.20	19 - 20	1.20	19 - 20	1.20
20 - 21	1.20	20 - 21	1.20	20 - 21	1.20
21 - 22	1.10	21 - 22	1.10	21 - 22	1.10
22 - 23	1.00	22 - 23	1.00	22 - 23	1.00
23 - 24	0.90	23 - 24	0.90	23 - 24	0.90

## Clínica



Figura 0.6: Planta do piso inferior da clínica (Raimundo et al., 2011c)

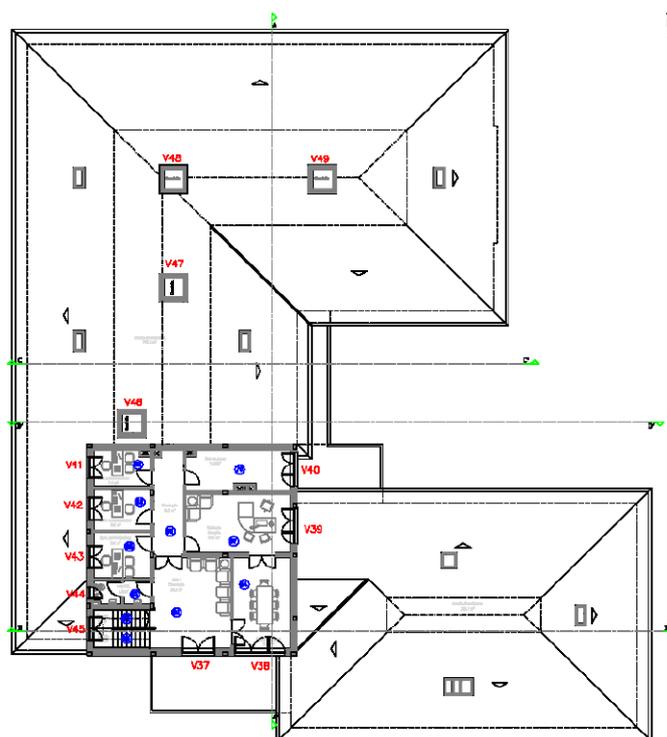


Figura 0.7: Planta do piso superior da clínica (Raimundo et al., 2011c)

**Tabela 0.11:** Isolamento térmico do vestuário utilizado na clínica

Vestuário:					
Verão		Inverno		Prim/Out	
<b>Dia:</b>	0.70 clo	1.30 clo	1.00 clo		
Sugeridos:	0.60 clo	2.00 clo	1.20 clo		
<b>Noite:</b>	1.40 clo	2.00 clo	2.00 clo		
Sugeridos:	1.20 clo	2.40 clo	2.00 clo		

**Tabela 0.12:** Perfil de ocupação da clínica

Perfil de ocupação Para o edifício a funcionar a 100%					
2ª a 6ª feira		Sabados		Domingos	
Hora	Utilização (%)	Hora	Utilização (%)	Hora	Utilização (%)
0 - 1	50	0 - 1	50	0 - 1	50
1 - 2	50	1 - 2	50	1 - 2	50
2 - 3	50	2 - 3	50	2 - 3	50
3 - 4	50	3 - 4	50	3 - 4	50
4 - 5	50	4 - 5	50	4 - 5	50
5 - 6	50	5 - 6	50	5 - 6	50
6 - 7	50	6 - 7	50	6 - 7	50
7 - 8	50	7 - 8	50	7 - 8	50
8 - 9	100	8 - 9	100	8 - 9	100
9 - 10	100	9 - 10	100	9 - 10	100
10 - 11	100	10 - 11	100	10 - 11	100
11 - 12	100	11 - 12	100	11 - 12	100
12 - 13	100	12 - 13	100	12 - 13	100
13 - 14	100	13 - 14	100	13 - 14	100
14 - 15	100	14 - 15	100	14 - 15	100
15 - 16	100	15 - 16	100	15 - 16	100
16 - 17	100	16 - 17	100	16 - 17	100
17 - 18	50	17 - 18	50	17 - 18	50
18 - 19	50	18 - 19	50	18 - 19	50
19 - 20	50	19 - 20	50	19 - 20	50
20 - 21	50	20 - 21	50	20 - 21	50
21 - 22	50	21 - 22	50	21 - 22	50
22 - 23	50	22 - 23	50	22 - 23	50
23 - 24	50	23 - 24	50	23 - 24	50

**Tabela 0.13:** Perfil de uso de equipamentos não-AVAC na clínica

Perfil de equipamentos (não incluindo os de AVAC) Para o edifício a funcionar a 100%					
2ª a 6ª feira		Sabados		Domingos	
Hora	Utilização (%)	Hora	Utilização (%)	Hora	Utilização (%)
0 - 1	35	0 - 1	35	0 - 1	35
1 - 2	35	1 - 2	35	1 - 2	35
2 - 3	35	2 - 3	35	2 - 3	35
3 - 4	35	3 - 4	35	3 - 4	35
4 - 5	35	4 - 5	35	4 - 5	35
5 - 6	35	5 - 6	35	5 - 6	35
6 - 7	35	6 - 7	35	6 - 7	35
7 - 8	50	7 - 8	50	7 - 8	50
8 - 9	100	8 - 9	100	8 - 9	100
9 - 10	100	9 - 10	100	9 - 10	100
10 - 11	100	10 - 11	100	10 - 11	100
11 - 12	100	11 - 12	100	11 - 12	100
12 - 13	100	12 - 13	100	12 - 13	100
13 - 14	100	13 - 14	100	13 - 14	100
14 - 15	100	14 - 15	100	14 - 15	100
15 - 16	100	15 - 16	100	15 - 16	100
16 - 17	100	16 - 17	100	16 - 17	100
17 - 18	100	17 - 18	100	17 - 18	100
18 - 19	50	18 - 19	50	18 - 19	50
19 - 20	35	19 - 20	35	19 - 20	35
20 - 21	35	20 - 21	35	20 - 21	35
21 - 22	35	21 - 22	35	21 - 22	35
22 - 23	35	22 - 23	35	22 - 23	35
23 - 24	35	23 - 24	35	23 - 24	35

**Tabela 0.14:** Perfil de iluminação da clínica

Perfil de iluminação Para o edifício a funcionar a 100%					
2ª a 6ª feira		Sabados		Domingos	
Hora	Utilização (%)	Hora	Utilização (%)	Hora	Utilização (%)
0 - 1	10	0 - 1	10	0 - 1	10
1 - 2	10	1 - 2	10	1 - 2	10
2 - 3	10	2 - 3	10	2 - 3	10
3 - 4	10	3 - 4	10	3 - 4	10
4 - 5	10	4 - 5	10	4 - 5	10
5 - 6	10	5 - 6	10	5 - 6	10
6 - 7	10	6 - 7	10	6 - 7	10
7 - 8	100	7 - 8	100	7 - 8	100
8 - 9	100	8 - 9	100	8 - 9	100
9 - 10	100	9 - 10	100	9 - 10	100
10 - 11	100	10 - 11	100	10 - 11	100
11 - 12	100	11 - 12	100	11 - 12	100
12 - 13	100	12 - 13	100	12 - 13	100
13 - 14	100	13 - 14	100	13 - 14	100
14 - 15	100	14 - 15	100	14 - 15	100
15 - 16	100	15 - 16	100	15 - 16	100
16 - 17	100	16 - 17	100	16 - 17	100
17 - 18	50	17 - 18	50	17 - 18	50
18 - 19	45	18 - 19	45	18 - 19	45
19 - 20	45	19 - 20	45	19 - 20	45
20 - 21	10	20 - 21	10	20 - 21	10
21 - 22	10	21 - 22	10	21 - 22	10
22 - 23	10	22 - 23	10	22 - 23	10
23 - 24	10	23 - 24	10	23 - 24	10

**Tabela 0.15:** Perfil de atividade metabólica da clínica

Perfil de atividade (média) Valores em Met, por pessoas					
2ª a 6ª feira		Sabados		Domingos	
Hora	Atividade (Met)	Hora	Atividade (Met)	Hora	Atividade (Met)
0 - 1	0.80	0 - 1	0.80	0 - 1	0.80
1 - 2	0.80	1 - 2	0.80	1 - 2	0.80
2 - 3	0.80	2 - 3	0.80	2 - 3	0.80
3 - 4	0.80	3 - 4	0.80	3 - 4	0.80
4 - 5	0.80	4 - 5	0.80	4 - 5	0.80
5 - 6	0.80	5 - 6	0.80	5 - 6	0.80
6 - 7	0.80	6 - 7	0.80	6 - 7	0.80
7 - 8	1.00	7 - 8	1.00	7 - 8	0.90
8 - 9	1.20	8 - 9	1.20	8 - 9	1.00
9 - 10	1.40	9 - 10	1.40	9 - 10	1.10
10 - 11	1.40	10 - 11	1.40	10 - 11	1.20
11 - 12	1.40	11 - 12	1.40	11 - 12	1.20
12 - 13	1.40	12 - 13	1.40	12 - 13	1.20
13 - 14	1.40	13 - 14	1.40	13 - 14	1.20
14 - 15	1.40	14 - 15	1.40	14 - 15	1.20
15 - 16	1.40	15 - 16	1.40	15 - 16	1.20
16 - 17	1.40	16 - 17	1.40	16 - 17	1.20
17 - 18	1.40	17 - 18	1.40	17 - 18	1.20
18 - 19	1.40	18 - 19	1.40	18 - 19	1.20
19 - 20	1.30	19 - 20	1.30	19 - 20	1.20
20 - 21	1.20	20 - 21	1.20	20 - 21	1.10
21 - 22	1.00	21 - 22	1.00	21 - 22	1.00
22 - 23	0.90	22 - 23	0.90	22 - 23	0.90
23 - 24	0.80	23 - 24	0.80	23 - 24	0.80

## Escola



Figura 0.8: Fachada da escola



Figura 0.9: Vista aérea da escola com a identificação dos blocos principais

Tabela 0.16: Isolamento térmico do vestuário utilizado na escola

Vestuário:			
	Verão	Inverno	Prim/Out
<b>Dia:</b>	0.70 clo	1.30 clo	1.00 clo
Sugeridos:	0.60 clo	2.00 clo	1.20 clo
<b>Noite:</b>	0.70 clo	1.30 clo	1.00 clo
Sugeridos:	1.20 clo	2.40 clo	2.00 clo

Tabela 0.17: Perfil de ocupação da escola

Perfil de ocupação Para o edifício a funcionar a 100%					
2ª a 6ª feira		Sabados		Domingos	
Hora	Utilização (%)	Hora	Utilização (%)	Hora	Utilização (%)
0 - 1	0	0 - 1	0	0 - 1	0
1 - 2	0	1 - 2	0	1 - 2	0
2 - 3	0	2 - 3	0	2 - 3	0
3 - 4	0	3 - 4	0	3 - 4	0
4 - 5	0	4 - 5	0	4 - 5	0
5 - 6	0	5 - 6	0	5 - 6	0
6 - 7	0	6 - 7	0	6 - 7	0
7 - 8	40	7 - 8	0	7 - 8	0
8 - 9	60	8 - 9	0	8 - 9	0
9 - 10	100	9 - 10	0	9 - 10	0
10 - 11	100	10 - 11	0	10 - 11	0
11 - 12	90	11 - 12	0	11 - 12	0
12 - 13	80	12 - 13	0	12 - 13	0
13 - 14	100	13 - 14	0	13 - 14	0
14 - 15	100	14 - 15	0	14 - 15	0
15 - 16	100	15 - 16	0	15 - 16	0
16 - 17	70	16 - 17	0	16 - 17	0
17 - 18	60	17 - 18	0	17 - 18	0
18 - 19	40	18 - 19	0	18 - 19	0
19 - 20	7	19 - 20	0	19 - 20	0
20 - 21	7	20 - 21	0	20 - 21	0
21 - 22	7	21 - 22	0	21 - 22	0
22 - 23	7	22 - 23	0	22 - 23	0
23 - 24	0	23 - 24	0	23 - 24	0

Tabela 0.18: Perfil de uso de equipamentos não-AVAC na escola

Perfil de equipamentos (não incluindo os de AVAC) Para o edifício a funcionar a 100%					
2ª a 6ª feira		Sabados		Domingos	
Hora	Utilização (%)	Hora	Utilização (%)	Hora	Utilização (%)
0 - 1	0	0 - 1	0	0 - 1	0
1 - 2	0	1 - 2	0	1 - 2	0
2 - 3	0	2 - 3	0	2 - 3	0
3 - 4	0	3 - 4	0	3 - 4	0
4 - 5	0	4 - 5	0	4 - 5	0
5 - 6	0	5 - 6	0	5 - 6	0
6 - 7	0	6 - 7	0	6 - 7	0
7 - 8	0	7 - 8	0	7 - 8	0
8 - 9	60	8 - 9	0	8 - 9	0
9 - 10	100	9 - 10	0	9 - 10	0
10 - 11	100	10 - 11	0	10 - 11	0
11 - 12	100	11 - 12	0	11 - 12	0
12 - 13	100	12 - 13	0	12 - 13	0
13 - 14	80	13 - 14	0	13 - 14	0
14 - 15	80	14 - 15	0	14 - 15	0
15 - 16	100	15 - 16	0	15 - 16	0
16 - 17	100	16 - 17	0	16 - 17	0
17 - 18	90	17 - 18	0	17 - 18	0
18 - 19	70	18 - 19	0	18 - 19	0
19 - 20	60	19 - 20	0	19 - 20	0
20 - 21	0	20 - 21	0	20 - 21	0
21 - 22	0	21 - 22	0	21 - 22	0
22 - 23	0	22 - 23	0	22 - 23	0
23 - 24	0	23 - 24	0	23 - 24	0

Tabela 0.19: Perfil de iluminação da escola

Perfil de iluminação Para o edifício a funcionar a 100%					
2ª a 6ª feira		Sabados		Domingos	
Hora	Utilização (%)	Hora	Utilização (%)	Hora	Utilização (%)
0 - 1	10	0 - 1	10	0 - 1	10
1 - 2	10	1 - 2	10	1 - 2	10
2 - 3	10	2 - 3	10	2 - 3	10
3 - 4	10	3 - 4	10	3 - 4	10
4 - 5	10	4 - 5	10	4 - 5	10
5 - 6	10	5 - 6	10	5 - 6	10
6 - 7	10	6 - 7	10	6 - 7	10
7 - 8	10	7 - 8	10	7 - 8	10
8 - 9	60	8 - 9	10	8 - 9	10
9 - 10	90	9 - 10	10	9 - 10	10
10 - 11	100	10 - 11	10	10 - 11	10
11 - 12	100	11 - 12	10	11 - 12	10
12 - 13	95	12 - 13	10	12 - 13	10
13 - 14	80	13 - 14	10	13 - 14	10
14 - 15	80	14 - 15	10	14 - 15	10
15 - 16	100	15 - 16	10	15 - 16	10
16 - 17	100	16 - 17	10	16 - 17	10
17 - 18	90	17 - 18	10	17 - 18	10
18 - 19	70	18 - 19	10	18 - 19	10
19 - 20	60	19 - 20	10	19 - 20	10
20 - 21	10	20 - 21	10	20 - 21	10
21 - 22	10	21 - 22	10	21 - 22	10
22 - 23	10	22 - 23	10	22 - 23	10
23 - 24	10	23 - 24	10	23 - 24	10

Tabela 0.20: Perfil de atividade metabólica da escola

Perfil de atividade (média) Valores em Met, por pessoa					
2ª a 6ª feira		Sabados		Domingos	
Hora	Atividade (Met)	Hora	Atividade (Met)	Hora	Atividade (Met)
0 - 1	1.40	0 - 1	1.40	0 - 1	1.40
1 - 2	1.40	1 - 2	1.40	1 - 2	1.40
2 - 3	1.40	2 - 3	1.40	2 - 3	1.40
3 - 4	1.40	3 - 4	1.40	3 - 4	1.40
4 - 5	1.40	4 - 5	1.40	4 - 5	1.40
5 - 6	1.40	5 - 6	1.40	5 - 6	1.40
6 - 7	1.40	6 - 7	1.40	6 - 7	1.40
7 - 8	1.40	7 - 8	1.40	7 - 8	1.40
8 - 9	1.40	8 - 9	1.40	8 - 9	1.40
9 - 10	1.40	9 - 10	1.40	9 - 10	1.40
10 - 11	1.40	10 - 11	1.40	10 - 11	1.40
11 - 12	1.40	11 - 12	1.40	11 - 12	1.40
12 - 13	1.40	12 - 13	1.40	12 - 13	1.40
13 - 14	1.40	13 - 14	1.40	13 - 14	1.40
14 - 15	1.40	14 - 15	1.40	14 - 15	1.40
15 - 16	1.40	15 - 16	1.40	15 - 16	1.40
16 - 17	1.40	16 - 17	1.40	16 - 17	1.40
17 - 18	1.40	17 - 18	1.40	17 - 18	1.40
18 - 19	1.40	18 - 19	1.40	18 - 19	1.40
19 - 20	1.40	19 - 20	1.40	19 - 20	1.40
20 - 21	1.40	20 - 21	1.40	20 - 21	1.40
21 - 22	1.40	21 - 22	1.40	21 - 22	1.40
22 - 23	1.40	22 - 23	1.40	22 - 23	1.40
23 - 24	1.40	23 - 24	1.40	23 - 24	1.40

## Agência

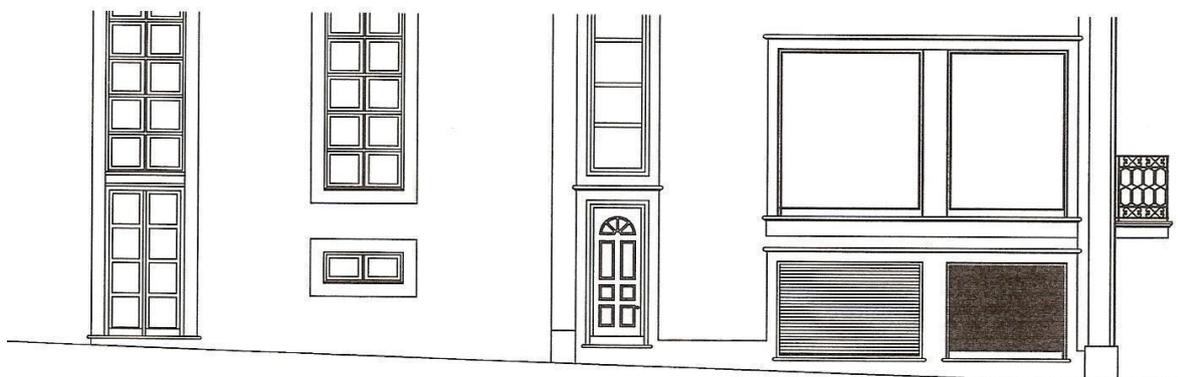


Figura 0.10: Alçado posterior (lado este) da agência (Raimundo et al., 2007)



Figura 0.11: Alçado lateral (lado norte) da agência (Raimundo et al., 2007)

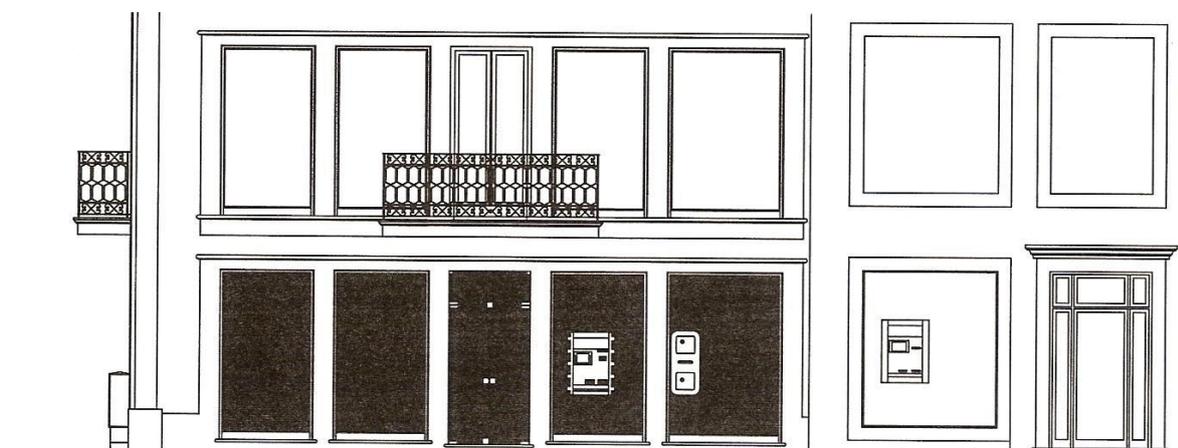


Figura 0.12: Alçado principal (lado oeste) da agência (Raimundo et al., 2007)

Tabela 0.21: Isolamento térmico do vestuário utilizado na agência

Vestuário:					
Verão		Inverno		Prim/Out	
<b>Dia:</b>	1.00 clo	1.40 clo	1.20 clo	1.20 clo	1.20 clo
Sugeridos:	0.60 clo	2.00 clo	1.20 clo	1.20 clo	1.20 clo
<b>Noite:</b>	1.00 clo	1.40 clo	1.20 clo	1.20 clo	1.20 clo
Sugeridos:	1.20 clo	2.40 clo	2.00 clo	2.00 clo	2.00 clo

Tabela 0.22: Perfil de ocupação da agência

Perfil de ocupação					
Para o edifício a funcionar a 100%					
2ª a 6ª feira		Sabados		Domingos	
Hora	Utilização (%)	Hora	Utilização (%)	Hora	Utilização (%)
0 - 1	0	0 - 1	0	0 - 1	0
1 - 2	0	1 - 2	0	1 - 2	0
2 - 3	0	2 - 3	0	2 - 3	0
3 - 4	0	3 - 4	0	3 - 4	0
4 - 5	0	4 - 5	0	4 - 5	0
5 - 6	0	5 - 6	0	5 - 6	0
6 - 7	0	6 - 7	0	6 - 7	0
7 - 8	0	7 - 8	0	7 - 8	0
8 - 9	60	8 - 9	0	8 - 9	0
9 - 10	100	9 - 10	0	9 - 10	0
10 - 11	100	10 - 11	0	10 - 11	0
11 - 12	100	11 - 12	0	11 - 12	0
12 - 13	60	12 - 13	0	12 - 13	0
13 - 14	100	13 - 14	0	13 - 14	0
14 - 15	100	14 - 15	0	14 - 15	0
15 - 16	100	15 - 16	0	15 - 16	0
16 - 17	70	16 - 17	0	16 - 17	0
17 - 18	60	17 - 18	0	17 - 18	0
18 - 19	40	18 - 19	0	18 - 19	0
19 - 20	0	19 - 20	0	19 - 20	0
20 - 21	0	20 - 21	0	20 - 21	0
21 - 22	0	21 - 22	0	21 - 22	0
22 - 23	0	22 - 23	0	22 - 23	0
23 - 24	0	23 - 24	0	23 - 24	0

Tabela 0.23: Perfil de uso de equipamentos não-AVAC na agência

Perfil de equipamentos (não incluindo os de AVAC)					
Para o edifício a funcionar a 100%					
2ª a 6ª feira		Sabados		Domingos	
Hora	Utilização (%)	Hora	Utilização (%)	Hora	Utilização (%)
0 - 1	30	0 - 1	30	0 - 1	30
1 - 2	30	1 - 2	30	1 - 2	30
2 - 3	30	2 - 3	30	2 - 3	30
3 - 4	30	3 - 4	30	3 - 4	30
4 - 5	30	4 - 5	30	4 - 5	30
5 - 6	30	5 - 6	30	5 - 6	30
6 - 7	30	6 - 7	30	6 - 7	30
7 - 8	30	7 - 8	30	7 - 8	30
8 - 9	80	8 - 9	30	8 - 9	30
9 - 10	100	9 - 10	30	9 - 10	30
10 - 11	100	10 - 11	30	10 - 11	30
11 - 12	100	11 - 12	30	11 - 12	30
12 - 13	100	12 - 13	30	12 - 13	30
13 - 14	100	13 - 14	30	13 - 14	30
14 - 15	100	14 - 15	30	14 - 15	30
15 - 16	100	15 - 16	30	15 - 16	30
16 - 17	100	16 - 17	30	16 - 17	30
17 - 18	90	17 - 18	30	17 - 18	30
18 - 19	80	18 - 19	30	18 - 19	30
19 - 20	60	19 - 20	30	19 - 20	30
20 - 21	30	20 - 21	30	20 - 21	30
21 - 22	30	21 - 22	30	21 - 22	30
22 - 23	30	22 - 23	30	22 - 23	30
23 - 24	30	23 - 24	30	23 - 24	30

Tabela 0.24: Perfil de iluminação da agência

Perfil de iluminação					
Para o edifício a funcionar a 100%					
2ª a 6ª feira		Sabados		Domingos	
Hora	Utilização (%)	Hora	Utilização (%)	Hora	Utilização (%)
0 - 1	10	0 - 1	10	0 - 1	10
1 - 2	10	1 - 2	10	1 - 2	10
2 - 3	10	2 - 3	10	2 - 3	10
3 - 4	10	3 - 4	10	3 - 4	10
4 - 5	10	4 - 5	10	4 - 5	10
5 - 6	10	5 - 6	10	5 - 6	10
6 - 7	10	6 - 7	10	6 - 7	10
7 - 8	60	7 - 8	10	7 - 8	10
8 - 9	90	8 - 9	10	8 - 9	10
9 - 10	100	9 - 10	10	9 - 10	10
10 - 11	100	10 - 11	10	10 - 11	10
11 - 12	100	11 - 12	10	11 - 12	10
12 - 13	100	12 - 13	10	12 - 13	10
13 - 14	100	13 - 14	10	13 - 14	10
14 - 15	100	14 - 15	10	14 - 15	10
15 - 16	100	15 - 16	10	15 - 16	10
16 - 17	100	16 - 17	10	16 - 17	10
17 - 18	100	17 - 18	10	17 - 18	10
18 - 19	10	18 - 19	10	18 - 19	10
19 - 20	10	19 - 20	10	19 - 20	10
20 - 21	10	20 - 21	10	20 - 21	10
21 - 22	10	21 - 22	10	21 - 22	10
22 - 23	10	22 - 23	10	22 - 23	10
23 - 24	10	23 - 24	10	23 - 24	10

Tabela 0.25: Perfil de atividade metabólica da agência

Perfil de atividade (média)					
Valores em Met, por pessoa					
2ª a 6ª feira		Sabados		Domingos	
Hora	Atividade (Met)	Hora	Atividade (Met)	Hora	Atividade (Met)
0 - 1	1.20	0 - 1	1.20	0 - 1	1.20
1 - 2	1.20	1 - 2	1.20	1 - 2	1.20
2 - 3	1.20	2 - 3	1.20	2 - 3	1.20
3 - 4	1.20	3 - 4	1.20	3 - 4	1.20
4 - 5	1.20	4 - 5	1.20	4 - 5	1.20
5 - 6	1.20	5 - 6	1.20	5 - 6	1.20
6 - 7	1.20	6 - 7	1.20	6 - 7	1.20
7 - 8	1.20	7 - 8	1.20	7 - 8	1.20
8 - 9	1.20	8 - 9	1.20	8 - 9	1.20
9 - 10	1.20	9 - 10	1.20	9 - 10	1.20
10 - 11	1.20	10 - 11	1.20	10 - 11	1.20
11 - 12	1.20	11 - 12	1.20	11 - 12	1.20
12 - 13	1.20	12 - 13	1.20	12 - 13	1.20
13 - 14	1.20	13 - 14	1.20	13 - 14	1.20
14 - 15	1.20	14 - 15	1.20	14 - 15	1.20
15 - 16	1.20	15 - 16	1.20	15 - 16	1.20
16 - 17	1.20	16 - 17	1.20	16 - 17	1.20
17 - 18	1.20	17 - 18	1.20	17 - 18	1.20
18 - 19	1.20	18 - 19	1.20	18 - 19	1.20
19 - 20	1.20	19 - 20	1.20	19 - 20	1.20
20 - 21	1.20	20 - 21	1.20	20 - 21	1.20
21 - 22	1.20	21 - 22	1.20	21 - 22	1.20
22 - 23	1.20	22 - 23	1.20	22 - 23	1.20
23 - 24	1.20	23 - 24	1.20	23 - 24	1.20

## Supermercado

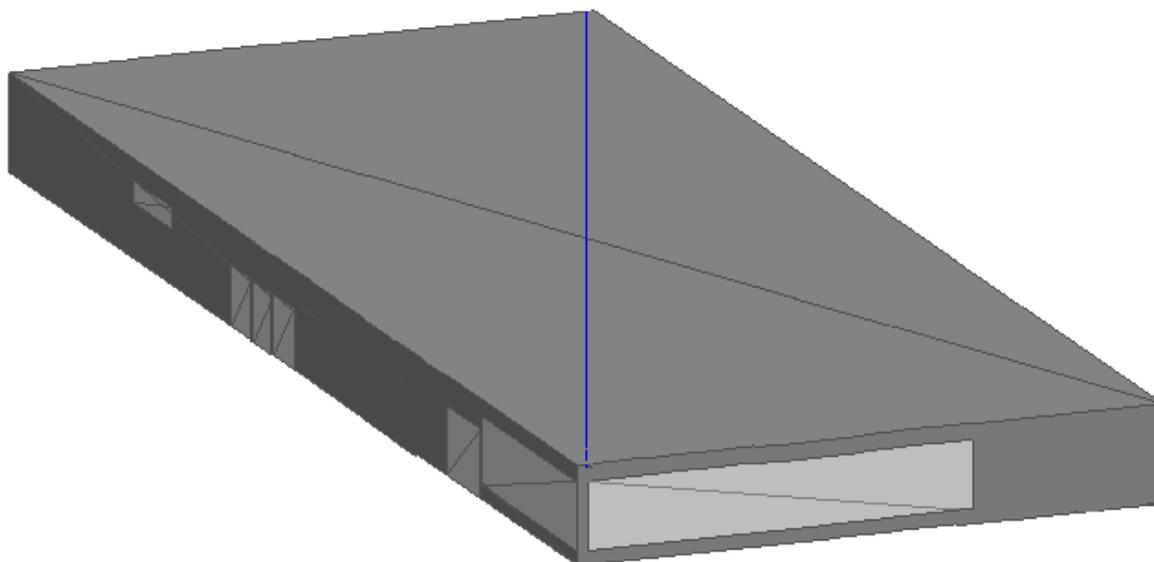


Figura 0.13: Representação exterior do supermercado (Vidigueira, 2013)

Tabela 0.26: Isolamento térmico do vestuário utilizado no supermercado

Vestuário:			
	Verão	Inverno	Prim/Out
<b>Dia:</b>	0.70 clo	1.50 clo	1.20 clo
Sugeridos:	0.60 clo	2.00 clo	1.20 clo
<b>Noite:</b>	0.70 clo	1.50 clo	1.20 clo
Sugeridos:	1.20 clo	2.40 clo	2.00 clo

Tabela 0.27: Perfil de ocupação do supermercado

Perfil de ocupação Para o edifício a funcionar a 100%					
2ª a 6ª feira		Sabados		Domingos	
Hora	Utilização (%)	Hora	Utilização (%)	Hora	Utilização (%)
0 - 1	0	0 - 1	0	0 - 1	0
1 - 2	0	1 - 2	0	1 - 2	0
2 - 3	0	2 - 3	0	2 - 3	0
3 - 4	0	3 - 4	0	3 - 4	0
4 - 5	0	4 - 5	0	4 - 5	0
5 - 6	0	5 - 6	0	5 - 6	0
6 - 7	0	6 - 7	0	6 - 7	0
7 - 8	0	7 - 8	0	7 - 8	0
8 - 9	10	8 - 9	10	8 - 9	10
9 - 10	30	9 - 10	30	9 - 10	30
10 - 11	60	10 - 11	50	10 - 11	50
11 - 12	60	11 - 12	80	11 - 12	80
12 - 13	60	12 - 13	80	12 - 13	80
13 - 14	60	13 - 14	80	13 - 14	80
14 - 15	60	14 - 15	80	14 - 15	80
15 - 16	60	15 - 16	80	15 - 16	80
16 - 17	60	16 - 17	80	16 - 17	80
17 - 18	70	17 - 18	90	17 - 18	90
18 - 19	80	18 - 19	100	18 - 19	100
19 - 20	60	19 - 20	70	19 - 20	70
20 - 21	50	20 - 21	60	20 - 21	60
21 - 22	30	21 - 22	40	21 - 22	40
22 - 23	0	22 - 23	0	22 - 23	0
23 - 24	0	23 - 24	0	23 - 24	0

Tabela 0.28: Perfil de uso de equipamentos não-AVAC no supermercado

Perfil de equipamentos (não incluindo os de AVAC) Para o edifício a funcionar a 100%					
2ª a 6ª feira		Sabados		Domingos	
Hora	Utilização (%)	Hora	Utilização (%)	Hora	Utilização (%)
0 - 1	20	0 - 1	20	0 - 1	20
1 - 2	20	1 - 2	20	1 - 2	20
2 - 3	20	2 - 3	20	2 - 3	20
3 - 4	20	3 - 4	20	3 - 4	20
4 - 5	20	4 - 5	20	4 - 5	20
5 - 6	20	5 - 6	20	5 - 6	20
6 - 7	20	6 - 7	20	6 - 7	20
7 - 8	20	7 - 8	20	7 - 8	20
8 - 9	20	8 - 9	20	8 - 9	20
9 - 10	20	9 - 10	20	9 - 10	20
10 - 11	40	10 - 11	50	10 - 11	50
11 - 12	70	11 - 12	80	11 - 12	80
12 - 13	70	12 - 13	80	12 - 13	80
13 - 14	70	13 - 14	80	13 - 14	80
14 - 15	70	14 - 15	80	14 - 15	80
15 - 16	70	15 - 16	80	15 - 16	80
16 - 17	70	16 - 17	80	16 - 17	80
17 - 18	80	17 - 18	90	17 - 18	90
18 - 19	90	18 - 19	100	18 - 19	100
19 - 20	70	19 - 20	80	19 - 20	80
20 - 21	60	20 - 21	70	20 - 21	70
21 - 22	40	21 - 22	50	21 - 22	50
22 - 23	20	22 - 23	20	22 - 23	20
23 - 24	20	23 - 24	20	23 - 24	20

Tabela 0.29: Perfil de iluminação do supermercado

Perfil de iluminação Para o edifício a funcionar a 100%					
2ª a 6ª feira		Sabados		Domingos	
Hora	Utilização (%)	Hora	Utilização (%)	Hora	Utilização (%)
0 - 1	20	0 - 1	20	0 - 1	20
1 - 2	20	1 - 2	20	1 - 2	20
2 - 3	20	2 - 3	20	2 - 3	20
3 - 4	20	3 - 4	20	3 - 4	20
4 - 5	20	4 - 5	20	4 - 5	20
5 - 6	20	5 - 6	20	5 - 6	20
6 - 7	20	6 - 7	20	6 - 7	20
7 - 8	20	7 - 8	20	7 - 8	20
8 - 9	60	8 - 9	60	8 - 9	60
9 - 10	60	9 - 10	60	9 - 10	60
10 - 11	100	10 - 11	100	10 - 11	100
11 - 12	100	11 - 12	100	11 - 12	100
12 - 13	100	12 - 13	100	12 - 13	100
13 - 14	100	13 - 14	100	13 - 14	100
14 - 15	100	14 - 15	100	14 - 15	100
15 - 16	100	15 - 16	100	15 - 16	100
16 - 17	100	16 - 17	100	16 - 17	100
17 - 18	100	17 - 18	100	17 - 18	100
18 - 19	100	18 - 19	100	18 - 19	100
19 - 20	100	19 - 20	100	19 - 20	100
20 - 21	100	20 - 21	100	20 - 21	100
21 - 22	100	21 - 22	100	21 - 22	100
22 - 23	20	22 - 23	20	22 - 23	20
23 - 24	20	23 - 24	20	23 - 24	20

Tabela 0.30: Perfil de atividade metabólica do supermercado

Perfil de atividade (média) Valores em Met, por pessoa					
2ª a 6ª feira		Sabados		Domingos	
Hora	Atividade (Met)	Hora	Atividade (Met)	Hora	Atividade (Met)
0 - 1	1.50	0 - 1	1.50	0 - 1	1.50
1 - 2	1.50	1 - 2	1.50	1 - 2	1.50
2 - 3	1.50	2 - 3	1.50	2 - 3	1.50
3 - 4	1.50	3 - 4	1.50	3 - 4	1.50
4 - 5	1.50	4 - 5	1.50	4 - 5	1.50
5 - 6	1.50	5 - 6	1.50	5 - 6	1.50
6 - 7	1.50	6 - 7	1.50	6 - 7	1.50
7 - 8	1.50	7 - 8	1.50	7 - 8	1.50
8 - 9	1.50	8 - 9	1.50	8 - 9	1.50
9 - 10	1.50	9 - 10	1.50	9 - 10	1.50
10 - 11	1.50	10 - 11	1.50	10 - 11	1.50
11 - 12	1.50	11 - 12	1.50	11 - 12	1.50
12 - 13	1.50	12 - 13	1.50	12 - 13	1.50
13 - 14	1.50	13 - 14	1.50	13 - 14	1.50
14 - 15	1.50	14 - 15	1.50	14 - 15	1.50
15 - 16	1.50	15 - 16	1.50	15 - 16	1.50
16 - 17	1.50	16 - 17	1.50	16 - 17	1.50
17 - 18	1.50	17 - 18	1.50	17 - 18	1.50
18 - 19	1.50	18 - 19	1.50	18 - 19	1.50
19 - 20	1.50	19 - 20	1.50	19 - 20	1.50
20 - 21	1.50	20 - 21	1.50	20 - 21	1.50
21 - 22	1.50	21 - 22	1.50	21 - 22	1.50
22 - 23	1.50	22 - 23	1.50	22 - 23	1.50
23 - 24	1.50	23 - 24	1.50	23 - 24	1.50

## ANEXO D – DADOS DA SIMULAÇÃO ECONÓMICO-FINANCEIRA

Por fim, teremos o anexo D, que informa quais foram os dados utilizados na simulação económico-financeira. Estão representados, para cada localidade em análise, os investimentos iniciais ( $I_0$ ), os custos de manutenção ( $CM$ ), os custos de substituição ao 25º ano dos sistemas de AVAC e de AQS ( $CR_{25}$ ), os custos associados ao consumo de água, ao esgoto e à recolha de lixo ( $CW$ ), outros custos ( $CO$ ), os impostos derivados da propriedade do edifício ( $CT$ ), as poupanças fiscais para a situação em que o sistema AVAC se encontra desligado ( $ST$ ) e o valor residual de cada edifício ( $VR$ ).

**Tabela 0.1:** Parâmetros económico-financeiros para os casos simulados em Málaga

MÁLAGA				Apart.	Moradia	Clínica	Escola	Agência	Super.
$I_0$ [€]	s/	A+	Não	147 508	404 230	2 327 403	11 222 313	173 550	1 108 299
		A+++	Não	149 508	408 230	2 368 403	11 402 313	179 550	1 139 299
	c/	A+	Não	150 645	410 403	2 327 403	11 222 313	173 550	1 108 299
		A+++	Não	152 645	415 403	2 368 403	11 402 313	179 550	1 139 299
CM [€]	s/	A+	Sim	1 984	4 419	37 752	167 773	3 140	21 008
		A+++	Sim	2 084	4 668	39 796	176 746	3 439	22 553
	c/	A+	Sim	2 023	4 496	37 752	167 773	3 140	21 008
		A+++	Sim	2 123	4 745	39 796	176 746	3 439	22 553
CR <sub>25</sub> [€/ano]	A+		Não	8 400	23 800	231 000	820 400	22 400	121 800
	A+++		Não	9 800	26 600	259 700	946 400	26 600	143 500
CW [€/ano]			Sim	265	265	7 002	14 574	318	2 570
CO [€/ano]			Sim	800	0	0	0	1 000	0
CT [€/ano]			---	570	653	3 762	60 869	674	4 585
ST [€/ano]			---	0	0	31 376	154 417	2 933	20 151
VR [€]			Não	10 000	70 000	350 000	1 500 000	15 000	130 000

**Tabela 0.2:** Parâmetros económico-financeiros para os casos simulados em Lisboa

LISBOA				Apart.	Moradia	Clínica	Escola	Agência	Super.
$I_0$ [€]	s/	A+	Não	138 877	393 418	2 255 082	10 513 458	164 863	1 031 344
		A+++	Não	140 877	397 418	2 296 082	10 693 458	170 863	1 062 344
	c/	A+	Não	142 516	398 904	2 267 378	10 513 458	164 863	1 059 537
		A+++	Não	144 516	402 904	2 308 378	10 693 458	170 863	1 090 537
CM [€]	s/	A+	Sim	1 907	4 393	37 460	161 566	3 082	16 569
		A+++	Sim	2 009	4 595	39 538	170 687	3 386	17 846
	c/	A+	Sim	1 953	4 462	37 616	161 566	3 082	16 859
		A+++	Sim	2 055	4 665	39 694	170 687	3 386	18 137
CR <sub>25</sub> [€/ano]	A+		Não	8 400	23 800	231 000	820 400	22 400	121 800
	A+++		Não	9 800	26 600	259 700	946 400	26 600	143 500
CW [€/ano]			Sim	269	269	7 118	14 815	263	2 124
CO [€/ano]			Sim	800	0	0	0	1 000	0
CT [€/ano]			---	570	653	3 762	60 869	674	4 585
ST [€/ano]			---	0	0	31 466	154 861	2 942	20 209
VR [€]			Não	10 000	70 000	350 000	1 500 000	15 000	130 000

**Tabela 0.3:** Parâmetros económico-financeiros para os casos simulados em Valladolid

VALLADOLID		isolamento	classe AVAC	inclui IVA	Apart.	Moradia	Clínica	Escola	Agência	Super.
I <sub>0</sub> [€]	s/	A+	Não	147 508	404 230	2 327 403	11 222 313	173 550	1 077 364	
		A+++	Não	149 508	408 230	2 368 403	11 402 313	179 550	1 108 364	
	c/	A+	Não	151 602	412 261	2 343 591	11 458 161	177 013	1 108 299	
		A+++	Não	153 602	416 261	2 384 591	11 638 161	183 013	1 139 299	
CM [€]	s/	A+	Sim	1 984	4 419	37 752	167 773	3 140	20 622	
		A+++	Sim	2 084	4 668	39 796	176 746	3 439	22 168	
	c/	A+	Sim	2 035	4 556	37 954	170 712	3 183	21 008	
		A+++	Sim	2 135	4 756	39 998	179 686	3 482	22 553	
CR <sub>25</sub> [€/ano]		A+	Não	8 400	23 800	231 000	820 400	22 400	121 800	
		A+++	Não	9 800	26 600	259 700	946 400	26 600	143 500	
CW [€/ano]			Sim	265	265	7 002	14 574	318	2 570	
CO [€/ano]			Sim	800	0	0	0	1 000	0	
CT [€/ano]			---	570	653	3 762	60 869	674	4 585	
ST [€/ano]			---	0	0	31 376	154 417	2 933	20 151	
VR [€]			Não	10 000	70 000	350 000	1 500 000	15 000	130 000	

**Tabela 0.4:** Parâmetros económico-financeiros para os casos simulados em Varsóvia

VARSÓVIA		isolamento	classe AVAC	inclui IVA	Apart.	Moradia	Clínica	Escola	Agência	Super.
I <sub>0</sub> [€]	s/	A+	Não	135 247	388 449	2 225 075	10 513 458	161 208	1 023 426	
		A+++	Não	137 247	392 449	2 266 075	10 693 458	167 208	1 054 426	
	c/	A+	Não	140 840	397 387	2 250 659	10 487 539	165 184	1 039 026	
		A+++	Não	142 840	401 387	2 291 659	10 667 539	171 184	1 070 026	
CM [€]	s/	A+	Sim	1 861	4 330	37 080	161 566	3 036	20 280	
		A+++	Sim	1 963	4 532	39 158	170 687	3 340	21 851	
	c/	A+	Sim	1 932	4 443	37 404	161 237	3 086	20 477	
		A+++	Sim	2 034	4 646	39 482	170 359	3 390	22 048	
CR <sub>25</sub> [€/ano]		A+	Não	8 400	23 800	231 000	820 400	22 400	121 800	
		A+++	Não	9 800	26 600	259 700	946 400	26 600	143 500	
CW [€/ano]			Sim	269	269	7 118	14 815	263	2 124	
CO [€/ano]			Sim	800	0	0	0	1 000	0	
CT [€/ano]			---	570	653	3 762	60 869	674	4 585	
ST [€/ano]			---	0	0	30 650	150 843	2 866	19 685	
VR [€]			Não	10 000	70 000	350 000	1 500 000	15 000	130 000	

**Tabela 0.5:** Parâmetros económico-financeiros para os casos simulados em Reykjavik

REYKJAVIK		isolamento	classe AVAC	inclui IVA	Apart.	Moradia	Clínica	Escola	Agência	Super.
I <sub>0</sub> [€]	s/	A+	Não	175 982	444 205	2 565 108	13 601 567	202 213	1 260 797	
		A+++	Não	177 982	448 205	2 606 108	13 781 567	208 213	1 291 797	
	c/	A+	Não	188 550	463 530	2 625 980	14 188 937	210 391	1 269 178	
		A+++	Não	190 550	467 530	2 666 980	14 368 937	216 391	1 300 178	
CM [€]	s/	A+	Sim	2 397	5 077	41 724	202 321	3 584	23 476	
		A+++	Sim	2 499	5 281	43 819	211 516	3 890	25 060	
	c/	A+	Sim	2 557	5 324	42 502	209 823	3 688	23 583	
		A+++	Sim	2 659	5 528	44 596	219 018	3 995	25 167	
CR <sub>25</sub> [€/ano]		A+	Não	8 400	23 800	231 000	820 400	22 400	121 800	
		A+++	Não	9 800	26 600	259 700	946 400	26 600	143 500	
CW [€/ano]			Sim	272	272	7 176	14 936	265	2 142	
CO [€/ano]			Sim	800	0	0	0	1 000	0	
CT [€/ano]			---	570	653	3 762	60 869	674	4 585	
ST [€/ano]			---	0	0	33 747	166 086	3 155	21 674	
VR [€]			Não	10 000	70 000	350 000	1 500 000	15 000	130 000	