



JOÃO MIGUEL CRISPIM ALPALHÃO **O PREÇO DO COMBATE À
POBREZA ENERGÉTICA: O CASO
DAS MORADIAS ESTILO EMIGRANTE**

Relatório de Projeto do Mestrado em
Engenharia e Gestão de Energia na Indústria e
Edifícios

JÚRI

Presidente: Professor Doutor Paulo Fontes,
ESTS/IPS

Orientador: Professor Doutor Rogério Duarte,
ESTS/IPS

Vogal: Professor Doutor João Francisco Fernandes,
ESTS/IPS

Novembro 2022

Agradecimentos

Agradeço a todos os que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho e, em particular:

- Ao Professor Rogério Duarte pela orientação, ensinamentos compartilhados e incentivo para a realização do trabalho;
- Aos professores do Curso de Mestrado pela dedicação e atenção dispensadas durante as aulas, com especial atenção ao Professor João Francisco que demonstrou sempre disponibilidade ao longo do mestrado;
- Aos colegas que me acompanham desde o início do percurso académico, pelas amizades formadas e experiências compartilhadas;
- À minha namorada por toda a motivação e apoio incondicional;
- Aos meus pais que sem eles nada disto era possível.

Resumo

Nas últimas décadas tem-se verificado uma melhoria nas condições de vida da população e uma preocupação crescente com o bem-estar e a saúde dos indivíduos. Assegurados os cuidados primários de saúde, em sociedades onde os recursos abundam, outros fatores tornam-se objeto de atenção das políticas públicas, nomeadamente, o conforto térmico nas habitações. No entanto, reunir as condições necessárias para garantir um nível de conforto térmico satisfatório significa, na maioria dos casos, um investimento elevado e um aumento do consumo de energia. Um cenário com elevada agravante se considerarmos a fraca qualidade das soluções construtivas que caracterizam o edificado nacional anterior aos anos 1990.

O conceito de pobreza energética introduzido em 1991 por Brenda Boardman tem ganho a atenção de políticos e da opinião pública europeia, realçando o elo que existe entre saúde, conforto térmico nas habitações, poder de compra e custo da energia (um “bem” essencial).

Existe a tendência para situar a problemática da pobreza energética nas habitações sociais e nos estratos mais pobres da população. Contudo, face à fraca qualidade da construção nacional anterior a 1990, em Portugal, pode dizer-se que a pobreza energética é muito mais comum do que se possa pensar. Neste documento iremos tratar o caso concreto de moradias ao estilo emigrante. Um tipo de moradias muito abundante no norte de Portugal, moradias construídas até aos anos 1990, sobredimensionadas, habitadas em geral por pensionistas (emigrantes), hoje em dia e, em muitos casos, descapitalizados.

Através de simulação dinâmica, utilizando o *software DesignBuilder*, caracteriza-se o conforto térmico através de um indicador de graus-hora de desconforto. Estudam-se diferentes cenários de reabilitação, que se associam a custos para compreender o esforço financeiro exigido para atingir um patamar decente de bem-estar e salubridade.

Os resultados obtidos apontam para uma forte probabilidade a pobreza energética nas moradias ao estilo emigrante. Com efeito, pela reabilitação térmica da envolvente exterior, pela adoção de sistemas de aquecimento centralizado, conseguem-se reduções significativas do desconforto nas habitações, porém, o custo associado torna improvável a reabilitação. Conclui-se ficar a redução da pobreza energética muito dependente de medidas de incentivo à reabilitação com subsídios ou benefícios fiscais.

Palavras-chave: Conforto térmico, Pobreza energética, Casas ao estilo emigrante, Modelação do comportamento térmico de edifícios, Reabilitação, Aquecimento central.

Abstract

In recent decades there has been an improvement in the living conditions of the population and a growing concern with the well-being and health of individuals. With primary health care assured, in societies where resources abound, other factors become the object of attention of public policies, namely, thermal comfort in homes. However, meeting the necessary conditions to guarantee a satisfactory level of thermal comfort means, in most cases, a high investment and an increase in energy consumption. A highly aggravating scenario if we consider the poor quality of the constructive solutions that characterize Portuguese buildings prior to the 1990s.

The concept of energy poverty introduced in 1991 by Brenda Boardman has gained the attention of politicians and European public opinion, highlighting the link between health, thermal comfort in homes, purchasing power and energy cost.

There is a tendency to place the problem of energy poverty in social housing and in the poorest strata of the population. However, given the poor quality of national construction prior to 1990, in Portugal, it can be said that energy poverty is much more common than one might think. In this document we will deal with the specific case of emigrant-style housing. A very abundant type of housing in the north of Portugal, houses built until the 1990s, oversized, inhabited in general by pensioners (emigrants), nowadays and, in many cases, undercapitalized.

Through dynamic simulation, using DesignBuilder software, thermal comfort is characterized through an indicator of degrees-hour of discomfort. Different scenarios and rehabilitation are studied, which are associated with costs to understand the financial effort required to reach a decent health and well-being.

The results obtained point to a strong probability of energy poverty in emigrant-style housing. Indeed, through the thermal rehabilitation of the exterior envelope, through the adoption of centralized heating systems, significant reductions in discomfort are achieved in the dwellings, however, the associated cost makes rehabilitation unlikely. It is concluded that the reduction of energy poverty is very dependent on measures to encourage rehabilitation with subsidies or tax benefits.

Keywords: Thermal comfort, Energy poverty, Emigrant style houses, Building energy simulation, Façade retrofitting, Central heating systems.

Índice

Agradecimentos	i
Resumo.....	ii
Abstract	iii
Índice	iv
Lista de Figuras	vi
Lista de Tabelas.....	viii
Lista de Siglas e Acrónimos	ix
1. Introdução.....	1
2. Revisão de conceitos	6
2.1 Conceito de pobreza energética	6
2.2 Conceito de conforto térmico	7
2.2.1 Balanço térmico no corpo humano	8
2.2.2 Abordagem de Fanger versus conforto térmico adaptativo	13
2.3 A arquitetura ao estilo emigrante	14
3. Estudo de caso.....	17
3.1 Situação de referência.....	17
3.2 Alterações à situação de referência	20
3.2.1 Alteração #1a): Substituição dos vãos envidraçados	20
3.2.2 Alteração #1b): Reabilitação total da envolvente	20
3.2.3 Alteração #2: Sistema de aquecimento central	20
4. Metodologia e modelação	23
4.1 Metodologia	23
4.2 DesignBuilder	23

4.3	Dados climáticos	25
4.4	Configuração dos espaços	26
4.5	Sistema de aquecimento	26
5.	Resultados e discussão	28
5.1	Situação de referência	30
5.1.1	Conforto térmico	30
5.1.2	Custos	35
5.2	Alteração #1a) – Reabilitação dos vãos envidraçados.....	35
5.2.1	Conforto térmico	35
5.2.2	Custos	41
5.3	Alteração #1b) – Reabilitação total da envolvente	41
5.3.1	Conforto térmico	41
5.3.2	Custos	47
5.4	Alteração #2 – Sistema de aquecimento central.....	48
5.4.1	Temperaturas	49
5.4.2	Consumos	50
5.4.3	Custos	50
6.	Conclusões.....	52
	Bibliografia	55
	Anexos.....	58
	Anexo A – Envolvente	58
	Anexo B – Cargas Internas	60

Lista de Figuras

Figura 1.1 Mecanismos através dos quais o conforto térmico nas habitações afeta a saúde dos ocupantes (Faculty of Public Health, s/d).....	2
Figura 1.2 O crescendo de qualidade da energia usada nas habitações, função do poder de compra (Wikipedia, 2022).	3
Figura 2.1 Balanço térmico no corpo humano (THESUS-FE, s/d).....	9
Figura 2.2 Exemplos de arquitetura ao estilo emigrante. Fotografias de César (1996, p.51)..	16
Figura 3.1 Perspetiva da habitação em análise.	17
Figura 3.2 Planta da habitação. a) piso 0; b) piso 1.	18
Figura 3.3 Esquema de princípio do sistema de climatização.	22
Figura 4.1 Diagrama representativo do EnergyPlus (Almeida, 2010)	24
Figura 4.2 Síntese de dados meteorológicos CLIMAS-SCE	25
Figura 4.3 Temperatura mensal; média, mínimo e máximos (°C).....	26
Figura 5.1 Vista em perspetiva. a) sala 01; b) quarto 01.	28
Figura 5.2 Caso de referência: Temperaturas horárias (°C). a) quarto 01; b) sala 01.	31
Figura 5.3 Caso de referência: Médias mensais para Viseu. a) da velocidade do vento (m/s) e b) direção do vento (°).	32
Figura 5.4 Caso de referência: Temperaturas médias diárias (°C) quarto 01 sala 01.	33
Figura 5.5 Caso de referência: Graus-hora mensais: quarto 01 e sala 01	34
Figura 5.6 Caso de referência: Índice PMV: quarto 01 e sala 01.....	35
Figura 5.7 Caso #1a): Temperaturas horárias (°C). a) quarto 01; b) sala 01.....	36
Figura 5.8 Caso #1a): Temperaturas médias diárias (°C) quarto 01 sala 01.....	37
Figura 5.9 Caso #1a): Graus-hora mensais: quarto 01 e sala 01	38
Figura 5.10 Caso #1a): Índice PMV quarto 01 e sala 01.	39
Figura 5.11 Temperaturas médias diárias (°C) para solução de referência e reabilitação de vãos envidraçados a) quarto 01 b) sala 01.	40

Figura 5.12 Caso #1b) Temperatura horária (°C). a) quarto 01; b) sala 01.	43
Figura 5.13 Caso #1b) Temperaturas médias diárias (°C) quarto 01 sala 01.....	44
Figura 5.14 Caso #1b) Graus-hora mensais: quarto 01 e sala 01	45
Figura 5.15 Caso #1b) Índice PMV quarto 01 e sala 01.....	46
Figura 5.16 Temperatura média diária (°C) para as soluções de referência e reabilitação total da envolvente a) quarto 01; b) sala 01.	47
Figura 5.17 Temperaturas horárias (°C) nos espaços da moradia considerando sistema de aquecimento central.	49
Figura 5.18 Consumos mensais de energia para aquecimento (kWh).	50
Figura 5.19 Desagregação mensal do consumo de pellets (€).....	51
Figura 6.1 Comparação de graus-hora anuais de aquecimento (com setpoint de 21°C) para situação de referência, substituição de vãos envidraçados e reabilitação total da envolvente.	53
Figura A 1 – Janela “construction” Design Builder.	58

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 Exemplos de atividades e respectivas taxas de metabolismo (Curado, 2014)	10
Tabela 2.2 Resistência térmica do vestuário (Curado, 2014)	11
Tabela 2.3 Escala de sensação térmica PMV, adaptado de ISO 7730.....	13
Tabela 3.1 Características térmicas da envolvente e ventilação/infiltrações: Solução de referência.	18
Tabela 3.2 Perfis ocupação.	19
Tabela 3.3 Alteração #1a) Características dos vãos envidraçados.	20
Tabela 3.4 Alteração #1b) Características térmicas dos elementos reabilitados da envolvente.	20
Tabela 5.1 Custos associados à reabilitação dos vãos envidraçados.	41
Tabela 5.2 Custos associados à reabilitação total da envolvente.....	47
Tabela 6.1 Resumo do impacto das medidas aplicadas.	53
 Tabela A 1 – Valores máximos de coeficientes de transmissão térmica em edifícios de habitação.	 59
Tabela A 2 – Lista de equipamentos e respectivas potências (W).	60
Tabela A 3 – Resultados do cálculo de iluminação.....	61

Lista de Siglas e Acrónimos

ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers</i>
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
ERSE	Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos
ETICS	<i>External Thermal Insulation Composite System</i>
GPL	Gases de Petróleo Liquefeito
HVAC	<i>Heating, Ventilation and Air Conditioning</i>
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
PMV	<i>Predicted Mean Vote</i>
PNEC	Plano Nacional de Energia e Clima
SCE	Sistema de Certificação Energética dos Edifícios
UTAN	Unidade de Tratamento de Ar Novo

1. Introdução

O desenvolvimento tecnológico e económico na Europa ao longo da última metade do século XX contribuíram para o desenvolvimento de políticas de aumento da qualidade de vida dos cidadãos que se traduziram, entre outros, na melhoria dos cuidados de saúde primários oferecidos à população, no aumento dos equipamentos desportivos e culturais disponibilizados e na melhoria das condições de habitabilidade das famílias, facultando habitação condigna. Mais recentemente, ganha visibilidade entre a opinião pública europeia o combate à pobreza energética^{1, 2}; ou seja, possuir o poder de compra necessário para garantir o acesso de energia “de qualidade”, leia-se, energia elétrica às habitações, assegurando o conforto térmico e a salubridade (bem-estar/ saúde) destas (nestas).

A Figura 1.1 evidencia a relação entre casas adequadamente isoladas e aquecidas, a salubridade e saúde dos ocupantes, reforçando o impacto dos fatores económicos, construtivos e ambientais na construção de um ambiente saudável.

¹ Ver Boardman (2010). Fixing fuel poverty: Challenges and solutions. Earthscan.

² Na literatura em língua inglesa (especialmente no Reino Unido) faz-se a distinção entre as designações “fuel poverty” e “energy poverty”. No presente estudo não se faz esta distinção como sucede frequentemente nos países da Europa Continental.

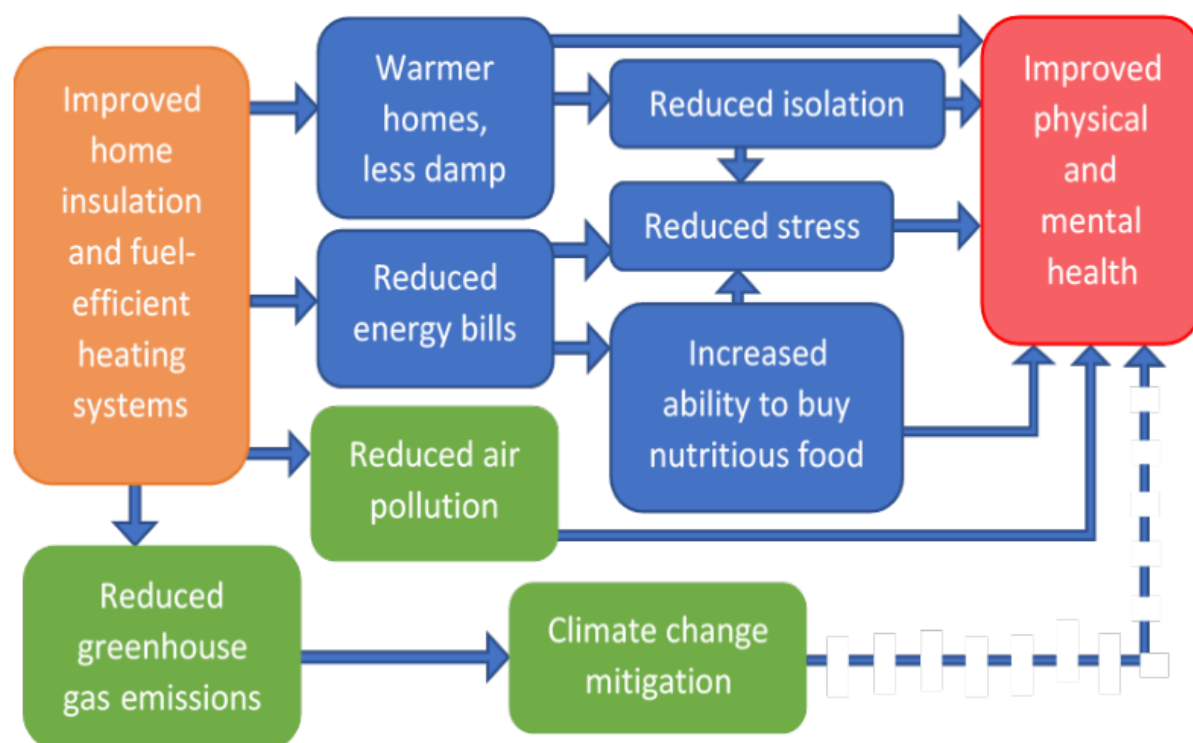


Figura 1.1 Mecanismos através dos quais o conforto térmico nas habitações afeta a saúde dos ocupantes (Faculty of Public Health, s/d).

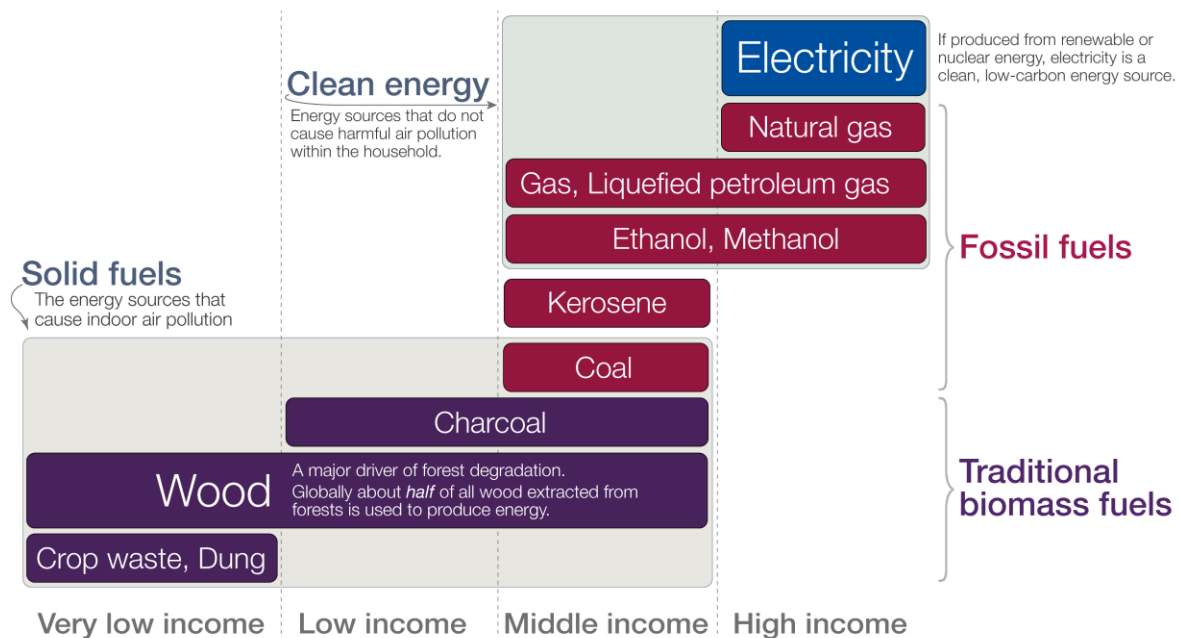
Na Figura 1.2 representa-se o crescendo da qualidade de energia usada nas habitações e como isto se relaciona com o poder de compra. O ponto de vista que se sustenta é aquele da convergência entre o aumento do poder de compra e o uso de “energia limpa”, que permita reduzir emissões de gases com efeito de estufa (CO₂) dando resposta à situação de “emergência climática”³.

³ <https://www.unep.org/explore-topics/climate-action/facts-about-climate-emergency> (consultado a 18 de setembro de 2022)

The 'Energy Ladder'

The dominant energy source for cooking and heating, by level of income

Our World
in Data



Based on: WHO – Fuel for life: household energy and health.

OurWorldinData.org – Research and data to make progress against the world's largest problems.

Licensed under CC-BY by the author Max Roser

Figura 1.2 O crescendo de qualidade da energia usada nas habitações, função do poder de compra (Wikipedia, 2022).

Na atualidade, com instabilidade nos mercados energéticos decorrente da invasão da Rússia em território ucraniano, políticas que visem a redução do consumo de combustíveis fósseis na Europa fazem ainda mais sentido, adicionando-se às razões de natureza ambiental, aquelas relativas à segurança de abastecimento energético. Porém, e independentemente da invasão a decorrer, os vetores principais da política energética europeia (entre os quais se encontram a promoção da eficiência energética e de energias renováveis) estão há muito definidos, enquadrando-se numa visão ecológico-macro-económica que procura aliar a redução das emissões de CO₂ e o fomento de novos setores industriais e de serviços energéticos. Em concreto e, no setor do AVAC, que é o foco do presente documento, com o desenvolvimento de tecnologias associadas a bombas de calor, painéis solares (térmicos e fotovoltaicos), entre outras.

No que diz respeito ao aquecimento das habitações nacionais, segundo os dados divulgados a 6 de janeiro de 2020 pelo Eurostat⁴, Portugal consta como o quinto país da União Europeia onde as pessoas têm menos condições económicas para manter as casas devidamente aquecidas; sendo que aproximadamente 1/5 dos portugueses vivem em situação de pobreza energética.

Estes dados não causam surpresa para quem conhece as características do parque edificado nacional. É sabido que Portugal possui um clima temperado e que admite soluções construtivas de reduzido isolamento térmico, a consequência do uso destas soluções é que, apesar do clima temperado, nas casas portuguesas se experimenta desconforto com frio nos meses de inverno potenciando esta situação patologias nas vias respiratórias, esqueléticas, etc.

Tradicionalmente, o frio é combatido (de forma ineficaz) nas habitações nacionais com lareiras, salamandras, aquecedores elétricos, ou a gás (GPL). Ao longo das últimas décadas os governos nacionais, impelidos por diretivas europeias, têm promovido através de regulamentação (DGEG, 2021) a melhoria das características térmicas da envolvente dos edifícios, o uso de bombas de calor para aquecimento ambiente⁵ e, simultaneamente, tem sido incentivada a substituição de envidraçados de fraca qualidade⁶.

É expectável que, em face dos dados de pobreza energética acima mencionados, estas exigências regulamentares e incentivos persistam ou sejam, inclusive, reforçadas. Tal contribuirá, seguramente, para o conforto e bem-estar dos cidadãos e para o desenvolvimento do setor AVAC nacional.

Mas nas condições específicas portuguesas, com clima temperado, qual será o real custo deste combate à pobreza energética? Esta é uma questão de resposta difícil, especialmente se se quiser confrontar custos com benefícios por redução de problemas de saúde como sinusites, rinites alérgicas, artrite, reumático, entre muitas outras, agravadas pelo frio experimentado nas habitações nacionais. E, o incentivo de soluções de aquecimento central (onde ele não existe

⁴ Ver <https://ec.europa.eu/eurostat/en/web/products-eurostat-news/-/ddn-20210106-1?redirect=/eurostat/en/news/whats-new> (consultado a 8 de setembro de 2022)

⁵ Ver https://www.ehpa.org/fileadmin/red/03_Media/Position_papers/EHPA_position_paper_fit_for_55.pdf a propósito do objetivo “Fit for 55” (consultado a 30 de setembro de 2022).

⁶ <https://casaeficiente2020.pt/> (consultado a 15 de setembro de 2022).

de todo sendo apenas necessário poucos meses por ano) não promoverá o aumento exagerado de emissões de CO₂?

O presente trabalho não pretende, naturalmente, “A Resposta” definitiva a estas questões⁷. Visa somente aflorar, numa análise preliminar, respostas para uma tipologia concreta: as moradias ao estilo emigrante. Procura-se associar, através de resultados obtidos por modelação numérica desconforto térmico com os respetivos custos. Estudam-se duas soluções de reabilitação de envolvente e uma solução ativa.

Este documento encontra-se estruturado do seguinte modo. Após esta introdução, no Capítulo 2, introduzem-se os conceitos de pobreza energética, de conforto térmico e do que se compreende por estilo emigrante. No Capítulo 3 apresenta-se o Estudo de Caso; a moradia unifamiliar para a qual se obterão resultados numéricos de desempenho térmico no inverno com a reabilitação térmica da envolvente e com sistema de aquecimento centralizado. No Capítulo 4 descrevem-se aspetos essenciais da modelação numérica (alguns detalhes são remetidos para anexo). Resultados indicativos de conforto e custos (de exploração e totais) são comparados no Capítulo 5. O documento termina com a apresentação das conclusões, no Capítulo 6.

⁷ O aumento das emissões de CO₂ não será abordado no presente documento. Trata-se de uma análise simples para o caso das emissões pelo sistema de aquecimento central. Contudo, consiste numa análise bem mais complexa se se quiser analisar - sob a perspetiva de ciclo de vida - as emissões por reabilitação da envolvente e manufatura do equipamento de climatização.

2. Revisão de conceitos

2.1 Conceito de pobreza energética

Pobreza energética caracteriza a falta de acesso a serviços energéticos modernos. Nos países em vias de desenvolvimento decorre sobretudo da inexistência dos serviços; nos países desenvolvidos resulta, essencialmente, da incapacidade financeira das famílias para contratar os serviços existentes; ou seja, do preço da energia e equipamentos e do poder de compra das famílias.

O conceito de pobreza energética foi introduzido por Brenda Boardman com o livro “Fuel Poverty: From Cold Homes to Affordable Warmth”, de 1991, dando relevo à necessidade de um questionamento político na interseção entre políticas de alojamento, de saúde e de energia. Passados 30 anos, este questionamento encontra-se já refletido na política europeia, em diretivas sobre o mercado interno da eletricidade e do gás natural, pela criação de um Observatório Europeu da Pobreza Energética⁸ e na política nacional, por exemplo, no PNEC 2030, quando se procura precaver as famílias mais vulneráveis, promover estratégias locais (envolvendo juntas de freguesia) e disseminar informação⁹. O *Policy Brief* de Horta e Schmidt (Horta, 2021) faculta uma caracterização recente e (em nosso entender) esclarecedora da pobreza energética em Portugal e relação com as características das edificações nacionais.

Ao longo dos últimos 30 anos têm também surgido inúmeros estudos que têm como objetivo confirmar as relações sugeridas na Figura 1.1. Concretamente, a relação entre o desconforto com frio (e humidade) nas habitações e baixos rendimentos das famílias, preços da energia, qualidade da construção e eficiência dos equipamentos, por um lado e, por outro lado, a relação entre desconforto e saúde dos habitantes.

Quanto à relação entre desconforto com frio e saúde, estudos de Howden-Chapman (2004), Osman (2008) e Ormandy (2012) sugerem a importância de manter ambientes interiores a 21°C quando se observem patologias crónicas de obstrução pulmonar, tendo Rudge (2005)

⁸ Ver igualmente os artigos Thomson (2013) e Dubois (2016).

⁹ Ver <https://www.dgeg.gov.pt/pt/areas-transversais/politicas-de-protecao-ao-consumidor-de-energia/pobreza-energetica/o-pnec-e-a-pobreza-energetica/>.

encontrado uma relação entre níveis mais elevados de doenças respiratórias entre idosos e habitações com mau comportamento térmico no inverno. Liddell (2010) e Marmot (2011) concluem, adicionalmente, que o desconforto com frio agrava problemas de artrite e reumatismo. Numa revisão do método de cálculo do indicador de excesso de mortes no inverno (*Excess Winter Deaths*, EWD), Liddell (2016), usando dados de países europeus entre 1980 e 2013, conclui serem os valores mais elevados deste indicador observados em países do sul da Europa, nomeadamente, em Portugal e Espanha. Liddell refere que este resultado contraintuitivo está relacionado com diferenças na duração da estação de aquecimento entre países, sendo apesar disso interessante registar a atribuição pelo investigador do elevado número de mortes no inverno em Portugal a problemas construtivos nas habitações e à desadequação do comportamentos dos indivíduos perante o clima (vestuário pouco adequado, hábitos desadequados), em lugar dos motivos observados no Reino Unido e Irlanda, que consistem no elevado preço da energia ou na reduzida eficiência energética de equipamentos de aquecimento.

Pelo que foi referido, compreende-se agora um pouco melhor a relevância de associar conforto térmico com custos de energia e qualidade construtiva nas habitações. Na próxima secção define-se conforto térmico; conceito que, a par da qualidade da construção e da eficiência de sistemas de aquecimento é indispensável para a avaliação do preço do conforto térmico.

2.2 Conceito de conforto térmico

Conforto térmico é definido pela ASHRAE - *American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE, 2020) como: “Uma condição mental que expressa satisfação com as condições térmicas do ambiente que é avaliado de forma subjetiva pelo indivíduo”.

Por ser subjetiva a percepção humana do conforto térmico é distinta entre diferentes sujeitos, mesmo estando expostos ao mesmo ambiente, podendo o conforto térmico alterar-se abruptamente quando é alterada alguma das variáveis que o determina, designadamente, temperatura, humidade e velocidade do ar ambiente e radiação solar incidente (Frota, 2001).

Estudos mostram, no entanto, que apesar das diferenças entre indivíduos, estas não são, em geral, estatisticamente significativas; sendo legítimo desenvolver modelos de conforto térmico assentes em correlações estatísticas (e, em simultâneo, princípios físicos); correlações estas representativas da sensação de conforto térmico de indivíduos representados na amostra.

Exemplo de correlações deste tipo consistem, por exemplo, no modelo de Fanger (1970). Este modelo é aplicável a espaços climatizados mecanicamente, tendo por base opiniões subjetivas obtidas de indivíduos no interior de um ambiente controlado (câmara de teste) e considerando o modelo de balanço térmico no corpo humano que se descreve de forma abreviada de seguida.

2.2.1 Balanço térmico no corpo humano

Segundo Frota (2001), o homem é um animal homeotérmico cujo organismo é mantido a uma temperatura interna sensivelmente constante. Num organismo saudável, essa temperatura é mantida entre 36,1 e 37,2°C. O corpo humano estabelece trocas higrótérmicas com o ambiente que o rodeia (ver Figura 2.1) sendo as trocas de calor sensível por condução, convecção e radiação entre o corpo humano e as superfícies envolventes ou o ar que o rodeia, associadas a fenómenos de transferência de calor determinados por variação de temperatura, enquanto as trocas de calor latente por respiração e evaporação da pele estão associadas a fenómenos de transferência de massa associados à produção de vapor de água e consequente mudança de fase (Curado, 2014).

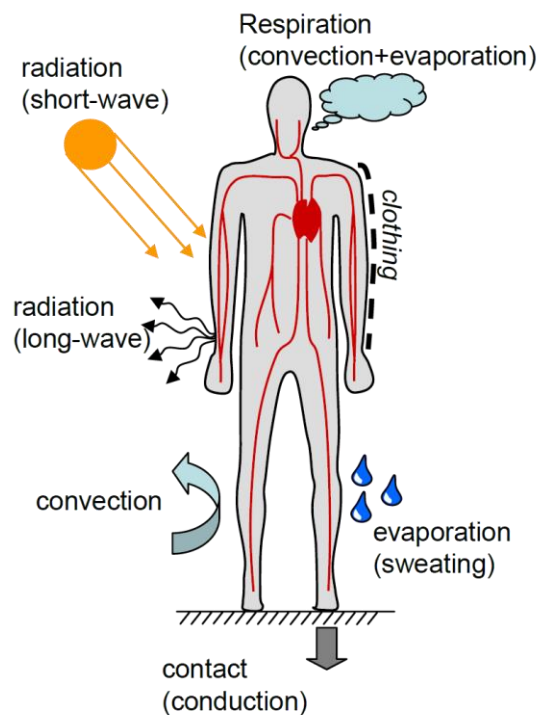


Figura 2.1 Balanço térmico no corpo humano (THESUS-FE, s/d).

Sendo o corpo humano uma fonte de constante transferência de calor com o meio ambiente, o equilíbrio térmico torna-se fundamental, este equilíbrio é obtido quando a taxa de produção de calor iguala a taxa de calor cedida ao ambiente envolvente. A sensação de conforto térmico está associada a um estado de neutralidade térmica, condicionada pelos fatores individuais e ambientais, descritos de seguida.

Fatores Individuais:

- Nível de atividade física desempenhada

A atividade desempenhada pela pessoa determina a quantidade de calor gerado pelo organismo. As tabelas de taxas metabólicas em função da atividade estão nas normas ISO 7730:2005, ISO 8996:2021 e ASHRAE (2020, cap.8).

Através da Tabela 2.1, adaptada da ISO 7730:2005, podem determinar-se valores de referência da taxa de metabolismo para diferentes atividades.

Tabela 2.1 Exemplos de atividades e respetivas taxas de metabolismo (Curado, 2014)

Atividade	Metabolismo Energético	
	[W/m ²]	[met]
Repouso, deitado	46	0.8
Repouso, sentado	58	1.0
Atividade sedentária	70	1.2
Atividade ligeira	93	1.6
Atividade média	116	2.0
Caminhada em terreno plano:		
2 Km/h	110	1.9
3 Km/h	140	2.4
4 Km/h	165	2.8
5 Km/h	200	3.4

Nota: 1 met = 58,15 W/m², área média do corpo humano A = 1,80 m²

- Isolamento térmico do vestuário

O isolamento térmico das roupas é determinado através de medições em manequins aquecidos ou determinado diretamente pelas tabelas constantes nos normas ISO 7730:2005, ISO 9920:2007 e ASHRAE (2020, cap.8).

A resistência térmica do vestuário, adaptada da ISO 7730:2005, está de acordo com o expresso na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 Resistência térmica do vestuário (Curado, 2014)

Tipo de vestuário	Resistência Térmica	
	[m ² °C/W]	[clo]
Nu	0	0
Calções	0.1	0.016
Vestuário tropical	0.3	0.047
Vestuário leve, de verão	0.5	0.078
Vestuário de trabalho	0.7	0.124
Vestuário de inverno	1.0	0.155
Fato completo	1.5	0.233

$$1 \text{ clo} = 0.155 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

Fatores Ambientais:

Os fatores ambientais são grandezas físicas caracterizáveis por métodos e instrumentos de medição descritos na norma ISO 7726:1998.

- Temperatura do ar (°C);

A temperatura do ar refere-se à temperatura que rodeia o corpo humano e é medida através de sensores de temperatura.

- Temperatura radiante média (°C);

A temperatura radiante média é definida pela temperatura uniforme de um ambiente imaginário, no qual a transferência de calor por radiação do corpo humano é igual à transferência de calor por radiação num ambiente real não uniforme. A temperatura radiante pode ser medida com um termômetro de globo.

- Velocidade do ar (m/s);

A velocidade do ar é definida pela sua direção e intensidade, que pode ser medida através de um anemómetro.

- Humidade relativa do ar, (%);

A humidade relativa do ar é a relação entre a quantidade de vapor de água do ar e a pressão máxima de vapor de água a uma determinada temperatura e pode ser medida com um higrómetro, ou com um termohigrómetro.

O balanço térmico entre o corpo humano e o ambiente que o rodeia, atendendo aos aspetos fisiológicos, é traduzido, conforme proposto por Fanger (1970), pela Equação (2.1):

$$S = (M - W) - (\dot{Q}_{sk} + \dot{Q}_{res}) \quad (2.1)$$

em que:

S : Taxa de calor acumulado no corpo humano - [W/m²]

M : Taxa de metabolismo - [W/m²]

W : Taxa de trabalho mecânico realizado - [W/m²]

$\dot{Q}_{sk}$: Taxa total de calor perdido pela pele - [W/m²]

$\dot{Q}_{res}$: Taxa total de calor perdido pela respiração - [W/m²]

Partindo da Equação (2.1) e de ensaios em câmaras de teste, Fanger define PMV "*Predicted Mean Vote*", um indicador quantitativo que traduz a sensibilidade humana ao frio e ao calor. Valores de PMV e respetiva sensação térmica encontram-se descritos na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 Escala de sensação térmica PMV, adaptado de ISO 7730.

Valor de PMV	Sensação Térmica
3	Muito calor
2	Calor
1	Leve sensação de calor
0	Neutralidade térmica
-1	Leve sensação de frio
-2	Frio
-3	Muito frio

2.2.2 Abordagem de Fanger versus conforto térmico adaptativo

Considerando a expressão de balanço de energia apresentada na secção anterior, de acordo com o modelo de Fanger associa-se desconforto ao desvio do estado de equilíbrio térmico (Fanger, 1970). Apesar do equilíbrio térmico depender, para além dos fatores ambientais do espaço interior e da atividade, do ambiente térmico exterior, até aos anos 10 do século XXI era comum não considerar o efeito do ambiente térmico exterior. Contudo, trabalhos científicos de Humphreys e Nicol (ver Humphreys, 2007; Brager, 1998), entre outros investigadores, resultaram num acumular de evidências contrariando o modelo que excluía a adaptação dos indivíduos ao ambiente exterior. Desde essa data coexistem, portanto (enquanto normas internacionais), duas abordagens diferentes para a avaliação do conforto térmico:

- - A abordagem analítica (modelo de Fanger), caracterizada pelos seus índices resultarem essencialmente de estudos que recorrem a câmaras climatizadas, nas quais são ajustados diversos fatores ambientais (temperatura, velocidade do ar, temperatura das superfícies e humidade); procedendo-se, depois, ao registo das

sensações térmicas experimentadas pelos indivíduos quando sujeitos, no seu interior, a diferentes combinações das variáveis ambientais.

- - A abordagem adaptativa, baseada na definição de critérios de conforto definidos através de pesquisas de campo, em que as variáveis ambientais são medidas diretamente nos ambientes reais onde as pessoas desenvolvem as suas atividades de lazer ou trabalho e se procede à recolha das sensações térmicas dos utilizadores dos edifícios analisados.

A principal diferença entre as abordagens reside no facto de na abordagem adaptativa, o ocupante desempenhar um papel decisivo na criação do seu próprio ambiente térmico, interagindo com o meio envolvente, modificando comportamentos e revendo hábitos, e adaptando as suas expectativas às condições ambientais exteriores. Tipicamente, adota-se o modelo adaptativo em espaços ventilados naturalmente e o modelo analítico em espaços climatizados com sistemas mecânicos (onde é possível definir um valor de ajuste de temperatura, humidade, etc.).

Neste estudo estudar-se-ão soluções de reabilitação de uma moradia ao estilo emigrante que assentam na ventilação natural dos espaços interiores. Neste sentido, aplicando-se o modelo de conforto adaptativo, que depende em grande medida das condições exteriores, um indicador de graus-hora de aquecimento (como será usado adiante) apesar de simples é, em nossa opinião, ajustado para caracterizar variações relativas no conforto térmico experimentado pelos ocupantes.

2.3 A arquitetura ao estilo emigrante

Na caracterização da arquitetura ao estilo emigrante apoiámo-nos na tese de mestrado de César (1996) que faz uma caracterização arquitetónica da “casa do emigrante português”. De acordo com César (1996, pp.11-12) os emigrantes “trazem uma nova ‘linguagem’. As casas manifestam efusivamente a rutura com a austeridade da habitação popular [pré anos 1960], que anos antes deixaram para trás e onde as lições de sobriedade volumétrica, cromática, construtiva e material, foram sempre sinónimo de desconforto (...)”.

Paradoxalmente, face à fraca qualidade dos materiais empregues, volvidos 30 a 50 anos da sua construção, para os padrões atuais, são estas casas, hoje, igualmente desconfortáveis. Especialmente se atendermos à dinâmica demográfica que levou à migração das populações do interior para o litoral e dos meios rurais onde se situam estas casas para as urbes. Estas casas encontram-se hoje vazias de vida e sem qualquer reabilitação térmica.

No campo conceptual, de acordo com César (1996, pp.14-15), o estilo emigrante “apresenta uma desigualdade aparente, bastante igual na realidade, quase todas se podendo caracterizar por:

- Desencontro de formas salientes e reentrantes;
- Multiplicidade de varandas e escadas - muitas com lançamentos ondulantes e espiralados;
- Uma profusão de cores e de materiais não estruturais no revestimento de paredes;
- (...)
- Inclinação excessiva da cobertura, revestida por vezes com telha marselha pintada de cor preta ou de tela asfáltica;
- (...)
- Quase sempre de dois ou três pisos, sendo o piso térreo diferentemente revestido dos outros;
- Caixilharias de alumínio anodizado, por vezes dourado, ou de madeira, com portadas exteriores;
- (...)
- Presença inevitável de construções anexas;
- Múltiplas divisões, geralmente mais do que as necessárias;
- Grandes áreas de construção;
- Supremacia dimensional de cozinhas e salas.”

Das inúmeras ilustrações fotográficas incluídas em César (1996) selecionamos aquelas da Figura 2.2.

Neste documento para efeitos de modelação térmica, retivemos da excelente caracterização realizada por César, sobretudo, a volumetria destas habitações e os elementos construtivos típicos dos anos 1970 e 1980.



Figura 2.2 Exemplos de arquitetura ao estilo emigrante. Fotografias de César (1996, p.51).

3. Estudo de caso

3.1 Situação de referência

Para caracterizar o conforto térmico numa moradia ao estilo emigrante estudou-se a moradia unifamiliar que se representa na Figura 3.1.



Figura 3.1 Perspetiva da habitação em análise.

Trata-se de uma moradia com dois pisos. No piso 0 é possível encontrar uma cozinha, uma instalação sanitária, hall de entrada, dois quartos ambos equipados com instalações sanitárias e uma sala. O piso 1 é constituído por um quarto mestre, uma zona de circulação e uma instalação sanitária. A distribuição destes espaços pode ser observada em planta na Figura 3.2.

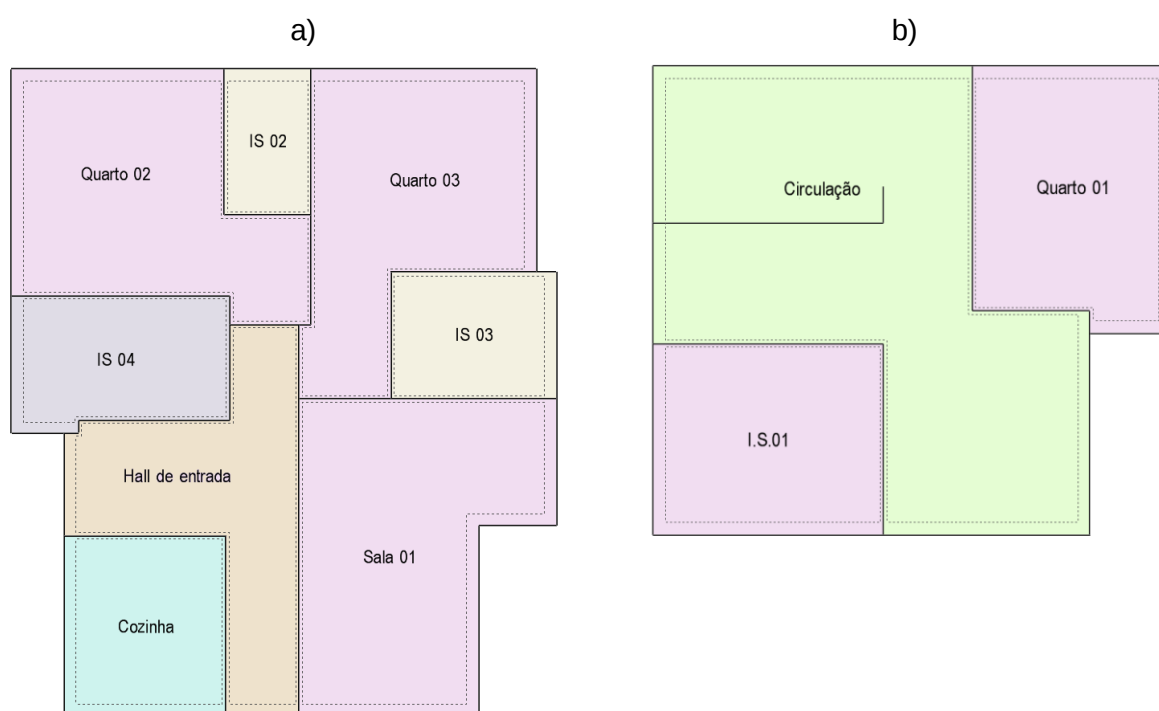


Figura 3.2 Planta da habitação. a) piso 0; b) piso 1.

Considerou-se a moradia localizada no distrito de Viseu, onde é possível encontrar com abundância casas ao estilo emigrante.

A Tabela 3.1 apresenta características consideradas para os elementos construtivos da envolvente e ventilação natural/infiltrações.

Tabela 3.1 Características térmicas da envolvente e ventilação/infiltrações: Solução de referência.

Vãos envidraçados:
Caixilharia em alumínio sem corte térmico + vidro simples 6. $U=3,779 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$; $G=0,720$
Paredes em contacto com o exterior:
Reboco tradicional +Tijolo cerâmico 22 cm + Estuque tradicional, $U=1,384 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$
Paredes interiores:
Estuque tradicional + tijolo furado de 11 cm + Estuque tradicional, $U=1,724 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$
Cobertura inclinada:
Telha de argila + Betão de alta densidade + Estuque tradicional, $U=5,263 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$
Pavimento em contacto com o solo:
Betão c/ 1% de armadura + Betão de alta densidade + Madeira semi-densa. $U=2,679 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$

Pavimentos:

Gesso cartonado + Betão c/ 1% de armadura + Betão de alta densidade + madeira semi-densa, $U=1,932 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$

Para a ocupação dos espaços atribuíram-se os perfis descritos na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 Perfis ocupação.

Cozinha, Até: 31 Dez, Para: Dias de semana Até: 07:00, 0, Até: 10:00, 1, Até: 19:00, 0, Até: 21:30, 1, Até: 24:00, 0, Para: Fins de semana e feriados, Até: 07:00, 0, Até: 10:00, 1, Até: 19:00, 0.5, Até: 21:30, 1, Até: 24:00, 0,	Sala 01, Até: 31 Dez, Para: Dias de semana, Até: 07:00, 0, Até: 10:00, 1, Até: 17:00, 0, Até: 23:00, 1, Até: 24:00, 0, Para: Fins de semana e feriados, Até: 07:00, 0, Até: 08:00, 1, Até: 17:00, 0, Até: 18:00, 1, Até: 24:00, 0,	Quartos, Até: 31 Dez, Para: Dias de semana Até: 07:00, 1, Até: 23:00, 0, Até: 24:00, 1, Para: Fins de semana e feriados, Até: 07:00, 1, Até: 23:00, 0, Até: 24:00, 1,
--	---	--

No que diz respeito às potências dos equipamentos recorreu-se às tabelas presentes em (ASHRAE, 2021). O Anexo B inclui uma tabela com os valores concretos considerados.

No referente à iluminação dos espaços, para simplificação da escolha das soluções de iluminação foram simuladas através do *software DIALUX* (DIAL, 2022) cozinha, sala 01, hall de entrada, I.S.0.1, quarto 01 (recordar Figura 3.2) e, através das soluções obtidas para estes espaços, foram adaptados os dados de iluminação para os restantes espaços da habitação. O *software DIALUX* é a ferramenta mais utilizada na indústria para o dimensionamento, simulação e design de projetos de iluminação.

3.2 Alterações à situação de referência

Para avaliar o preço do combate à pobreza energética consideraram-se três alterações à situação de referência, atrás descrita. Duas alterações relativas à reabilitação da envolvente e uma por introdução de um sistema de aquecimento central.

3.2.1 Alteração #1a): Substituição dos vãos envidraçados

Na Tabela 3.3 especificam-se os vãos envidraçados que substituem aqueles da situação de referência.

Tabela 3.3 Alteração #1a) Características dos vãos envidraçados.

Vãos envidraçados: Caixilharia em alumínio com corte térmico+ caixa de ar 13mm + vidro duplo 6 mm. $U=1,960 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$; $G=0,691$

3.2.2 Alteração #1b): Reabilitação total da envolvente

Na Tabela 3.4 são apresentadas as soluções construtivas da envolvente para o caso em que para além dos vãos envidraçados se reabilitam os elementos opacos nomeadamente paredes, lajes em contacto com o solo e cobertura inclinada.

Tabela 3.4 Alteração #1b) Características térmicas dos elementos reabilitados da envolvente.

Vãos envidraçados: Caixilharia em alumínio com corte térmico+ caixa de ar 13mm + vidro duplo 6 mm. $U=1,960 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$; $G=0,691$
Paredes em contacto com o exterior: Reboco tradicional + EPS +Tijolo cerâmico 22 cm + Estuque tradicional, $U=0,396 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$
Cobertura inclinada: Telha de argila + Lã mineral 12 cm + Betão de alta densidade + Estuque tradicional, $U=0,328 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$
Pavimento em contacto com o solo: Betão c/ 1% de armadura + Betão de alta densidade + EPS 6 cm + Madeira semi-densa. $U=0,490 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$

3.2.3 Alteração #2: Sistema de aquecimento central

Partindo da alteração #1b), definiu-se um sistema de aquecimento central que permitisse assegurar o *setpoint* de temperatura de 21°C na estação de aquecimento em alguns espaços

da moradia. Isto porque, como foi observado no capítulo 2, 21°C é a temperatura mínima aconselhada numa habitação para evitar problemas de saúde.

Considerou-se um sistema com a arquitetura genérica indicada na Figura 3.3 (figura extraída do programa *DesignBuilder* (*DesignBuilder Software*, 2022)). Trata-se de um sistema com gerador de água quente, caldeira a pellets, e com radiadores nos espaços da moradia a aquecer.

Na Figura 3.3, pode observar-se, na parte superior, o ciclo de fornecimento de água quente composto por uma caldeira, um controlador de *setpoint* e uma bomba de circulação. Na parte inferior do esquema observam-se os radiadores que recebem a água quente e aquecem o espaço.

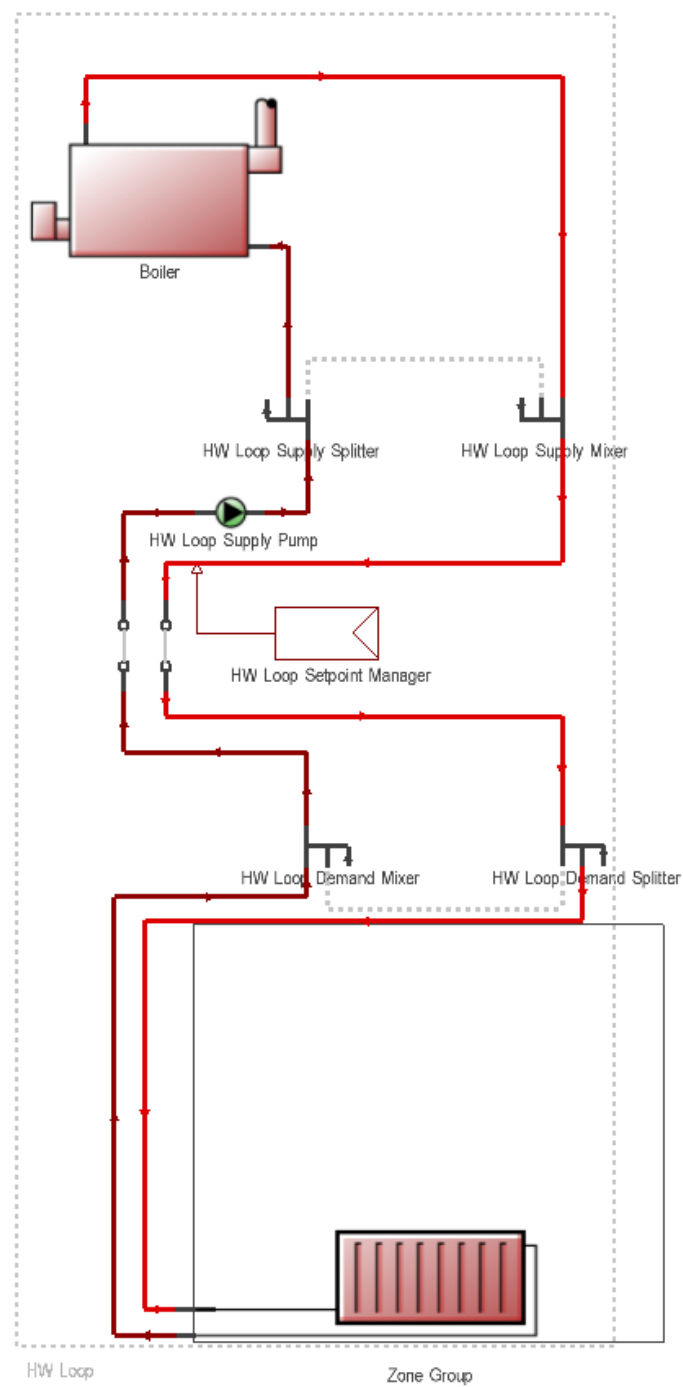


Figura 3.3 Esquema de princípio do sistema de climatização.

4. Metodologia e modelação

4.1 Metodologia

Inicialmente procurou-se escolher a geometria de uma habitação que se enquadrasse no estudo a ser realizado e implementar essa geometria no programa *DesignBuilder* bem como os elementos construtivos que compõem a habitação. Procurou-se implementar definições arquitetónicas que representassem as casas de emigrantes (volumetria, demasiadas divisões, etc.) construídas nas décadas de 1970 e 1980 tendo-se usado, para a situação de referência, as soluções construtivas mais comuns nessas décadas.

Estudaram-se, portanto, as seguintes situações:

- - Situação de referência, caracterizada por soluções construtivas dos anos 1970 e 1980, sem isolamento térmico, com caixilhos de alumínio sem corte térmico e vidro simples, sem sistema de aquecimento central.
- - Alteração #1a), com substituição de vãos envidraçados por outros com caixilhos de alumínio com corte térmico e vidro duplo.
- - Alteração #1b), que acrescenta à alteração #1a) a reabilitação da envolvente opaca com o isolamento térmico usando soluções do tipo ETICS (Cappotto), isolamento da cobertura inclinada e laje em contacto com o solo.
- - Alteração #2, que acrescenta à alteração #1b) a instalação de aquecimento central com caldeira (a pellets) e radiadores.

4.2 DesignBuilder

Para a realização da simulação foi utilizado o software *DesignBuilder* que funciona como interface gráfica para o programa *EnergyPlus* (*EnergyPlus*, 2022). O *DesignBuilder* permite a simulação dinâmica do comportamento térmico de edifícios atendendo aos materiais de construção, sua massa térmica, tipos e posição de envidraçados, sombreamentos, soluções de AVAC, e permite realizar análises de conforto térmico e análises financeiras.

A estrutura da modelação utilizando este software é ilustrada na Figura 4.1.

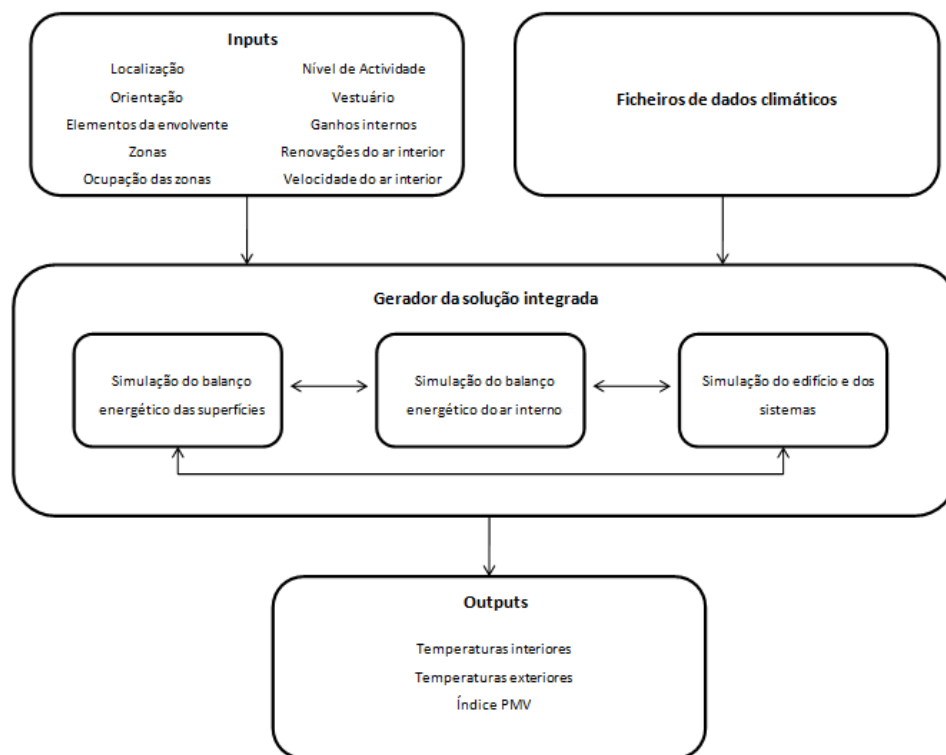


Figura 4.1 Diagrama representativo do EnergyPlus (Almeida, 2010)

Na primeira fase do trabalho são introduzidos dados relevantes para as características climáticas da habitação; de seguida é desenhada a geometria da habitação e através de vários separadores na interface de trabalho podem-se definir os intervalos de temperatura que se pretende, as características construtivas do edifício, o valor dos ganhos energéticos e a introdução de equipamentos.

A simulação pode ser realizada numa base de tempo horária, para diferentes zonas térmicas e condições climáticas de um ano de referência, com variação horária das cargas internas, diferenciadas em ocupação, iluminação e equipamentos.

4.3 Dados climáticos

A construção do projeto inicia-se com a introdução dos dados meteorológicos. A habitação está localizada em Viseu e para efeitos de simulação existe a necessidade de fazer a importação de um ficheiro de síntese de dados meteorológicos. Para obter este ficheiro foi utilizada a ferramenta CLIMAS-SCE do LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil - ver Figura 4.2.

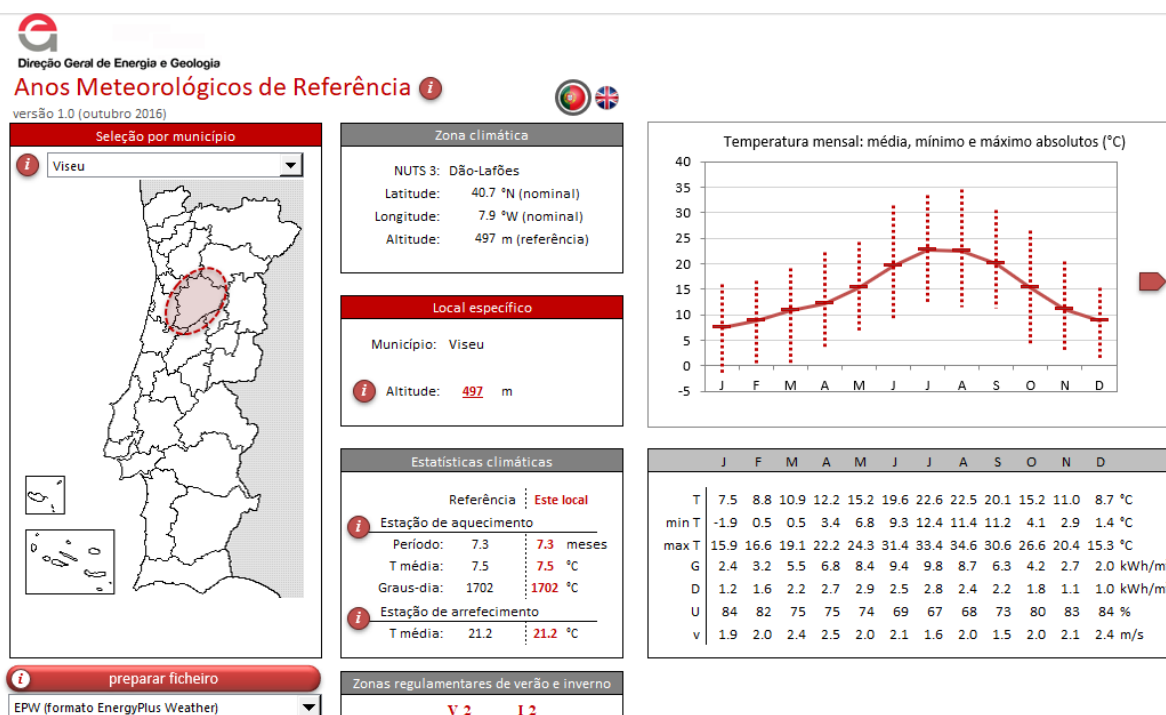


Figura 4.2 Síntese de dados meteorológicos CLIMAS-SCE

Foi selecionado o município de Viseu e uma altitude aproximada de 497m. A ferramenta CLIMAS-SCE produz uma tabela bem como os respetivos gráficos com informação relativa às temperaturas mensais médias, mínimas e máximas - ver Figura 4.3.

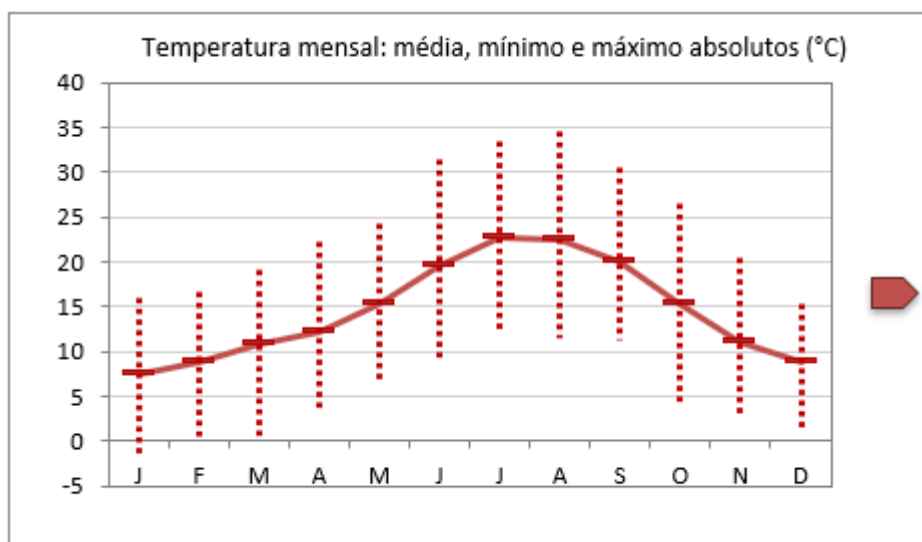


Figura 4.3 Temperatura mensal; média, mínimo e máximos (°C)

Na Figura 4.3 é possível observar uma amplitude térmica anual elevada (36,5°C), com uma temperatura mínima de -1,9°C em janeiro e uma temperatura máxima de 34,6°C em agosto.

4.4 Configuração dos espaços

Construída a geometria do edifício e de cada espaço foi necessário introduzir no *software DesignBuilder* as soluções construtivas para as paredes exteriores, envidraçados, portas, coberturas, pavimentos e envolvente interior (recordar tabela 3.1), bem como as cargas internas dos espaços incluindo a iluminação, ocupação e equipamentos existentes. Mais detalhes da modelação podem ser encontrados nos Anexos A e B.

Atendendo ao foco deste estudo considerou-se que a habitação era partilhada por um casal.

4.5 Sistema de aquecimento

Modelou-se o sistema apresentado na secção 3.2.3. Utilizou-se uma *template* já disponível no *software DesignBuilder*, sendo o dimensionamento realizado, numa primeira fase, em *autosize*.

Esta função permite o dimensionamento das potências dos componentes do sistema de aquecimento cumprindo com as especificações de *setpoints* definidos nos espaços da moradia. Numa primeira fase de dimensionamento admitiu-se que a caldeira possuía um rendimento de 89% (valor mínimo regulamentado para edifícios novos ou intervencionados, (DGE, 2021) e que o sistema de aquecimento central estava sempre pronto a funcionar, garantindo uma temperatura mínima de 21°C nos espaços utilizados diariamente, quarto 01 e sala 01 (ver Figura 3.2). Apesar da I.S.01 não ser alvo deste estudo, visto que esta encontra-se inserida dentro do quarto 01 pressupõe-se uma utilização moderada e foi também ela climatizada a 21°C.

Como se referiu na secção 2.3, a arquitetura ao estilo emigrante caracteriza-se por um sobredimensionamento das divisões. Por exemplo, sendo a moradia ocupada por um casal, os quartos 02 e 03 são raramente utilizados. No entanto, porque se pretende manter o conforto na generalidade da casa, assumiu-se aquecimento também nessas divisões bem como na instalação sanitária 04 visto que é comum a todo o piso 0, mas com um *setpoint* mais baixo, de apenas 18°C, estando as restantes divisões essencialmente desocupadas e não se prevendo aquecimento na cozinha.

Após realizar o dimensionamento do sistema de aquecimento e obtidas as potências dos componentes, foi possível, por consulta de instaladores, reunir informações detalhadas sobre investimentos a realizar. Foi igualmente possível simular consumos de energia ao longo do ano.

5. Resultados e discussão

Usando a modelação descrita no Capítulo 4, obtiveram-se resultados de simulação para um ano. Neste capítulo apresentam-se os resultados do quarto 01 do piso 1 orientado a norte e da sala 01 do piso 0 orientada a sul. Escolheram-se estes espaços admitindo que durante o inverno seriam os mais utilizados da habitação. Por estar o quarto 01 orientado a norte e no piso superior, permite avaliar uma situação particularmente grave de desconforto térmico.

Na Figura 5.1 a) e b) apresenta-se uma vista em perspetiva do piso 0 e do piso 1, com identificação do quarto 01 e sala 01.

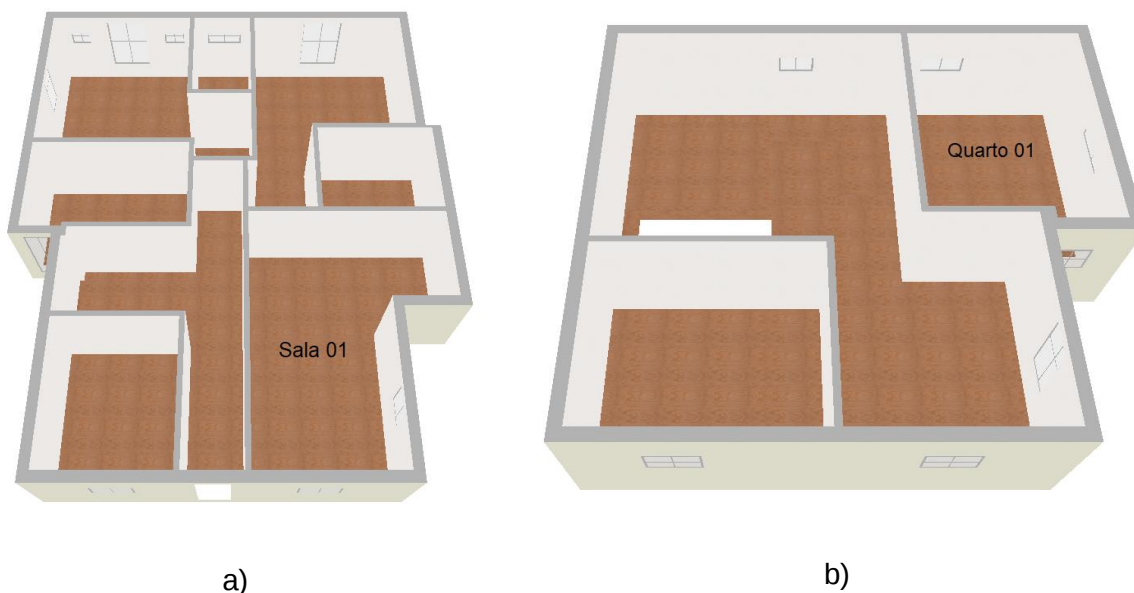


Figura 5.1 Vista em perspetiva. a) sala 01; b) quarto 01.

O software *DesignBuilder* gera muitos resultados referentes ao ambiente térmico nos espaços, neste documento e para efeitos de comparação entre a solução de referência e as alternativas em estudo considerámos os seguintes indicadores.

Conforto térmico

Para avaliar o conforto usou-se graus hora de aquecimento tendo por referência a temperatura de 21°C – como referido no capítulo 2 a temperatura que minimiza doenças de natureza respiratória. A expressão do cálculo de graus hora, $Gh(t)$, é,

$$Gh(t) = \sum_{t=1}^{8760} gh(t) \quad \text{com} \quad gh(t) = \begin{cases} 21 - T(t) & \text{se } T(t) < 21^{\circ}\text{C} \\ 0 & \text{se } T(t) \geq 21^{\circ}\text{C} \end{cases}, \quad (5.1)$$

onde $T(t)$ é a temperatura obtida com o *DesignBuilder* no espaço em análise na hora, t .

Este indicador permite comparações com base em agregações de dados anuais.

Usou-se ainda o indicador PMV *predicted mean vote* obtido pelo *DesignBuilder* hora a hora que traduz de forma eficaz a sensação de desconforto nos espaços.

Custos anualizados e custos de exploração

Para comparar soluções de reabilitação da envolvente e de instalação do sistema de aquecimento central optou-se pela anualização, a , do investimento num ano zero, I_0 , admitindo uma taxa de juro (líquida de inflação), i , de 5% e uma duração do investimento, T , de 15 anos (Duarte, 2022).

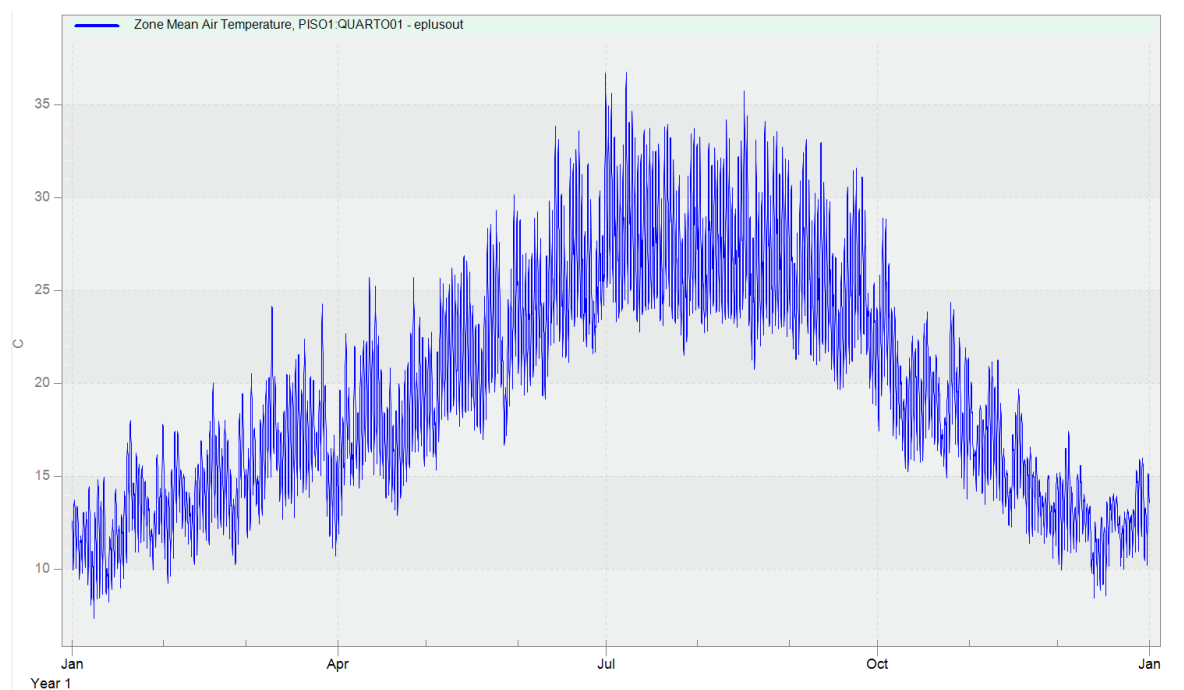
$$a = I_0 \frac{i(1+i)^T}{(1+i)^T - 1}. \quad (5.2)$$

Para avaliar o consumo de energia na alternativa #2, que implementa um sistema de aquecimento central, determinou-se com o *DesignBuilder* o consumo de energia anual que se associou a um custo de exploração anual (acrescido ao valor da anualização do investimento).

5.1 Situação de referência

5.1.1 Conforto térmico

Na Figura 5.2 a) e b) apresentam-se os resultados de temperatura numa base de tempo horária no quarto 01 e sala 01.



a)

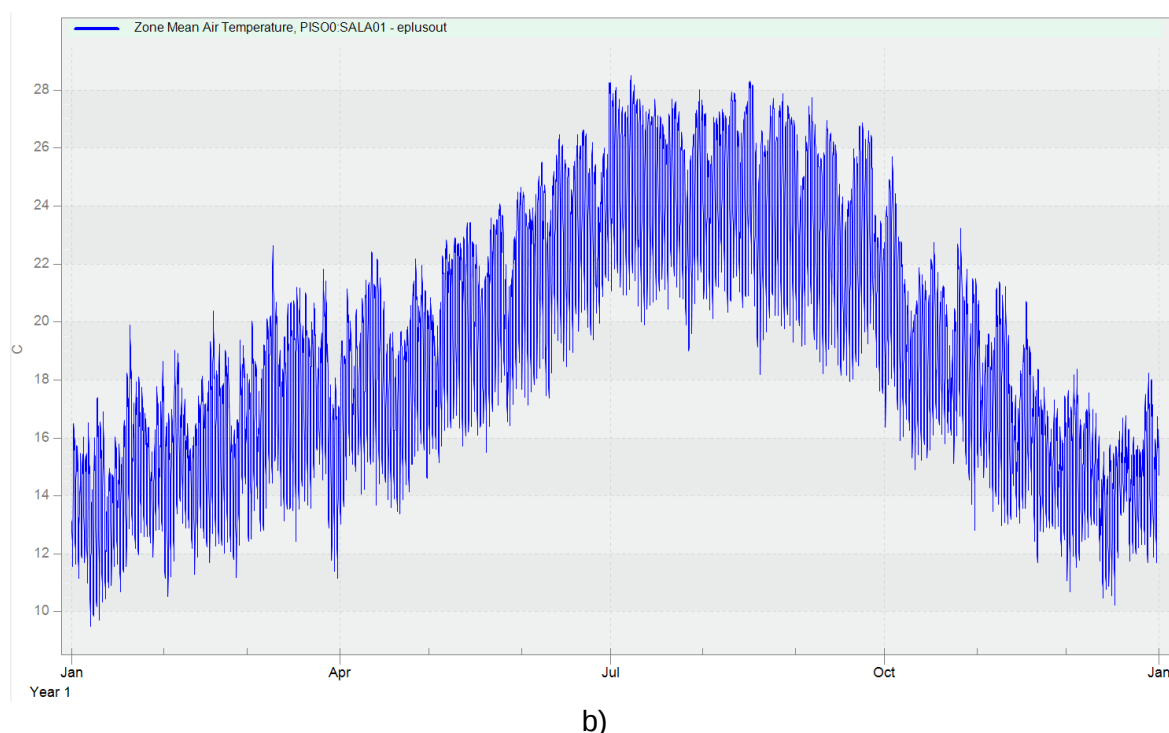


Figura 5.2 Caso de referência: Temperaturas horárias (°C). a) quarto 01; b) sala 01.

Na Figura 5.2 a) e b) são notórias as baixas temperaturas no interior da habitação na estação de aquecimento entre outubro e abril. Neste período registam-se temperaturas inferiores a 21°C sendo o mínimo registado no quarto 01 de 7,3 °C e na sala 01 de 9,7°C.

Comparando a Figura 5.2 a) e b), como esperado, observam-se temperaturas mais altas na sala 01. Isto resulta da sala 01 se encontrar no piso intermédio e orientada a sul, logo, não perdendo tanto calor (pela cobertura) e recebendo radiação solar (ao contrário do quarto 01, a norte, que não recebe radiação). No final de março início de abril verifica-se uma descida acentuada nas temperaturas de ambos os espaços. Isto deve-se ao facto de se verificar um aumento nas renovações de ar para estes dias, relacionado com o aumento da velocidade do vento definida no ficheiro meteorológico. A Figura 5.3 apresenta médias mensais da velocidade e orientação do vento (medida desde os 0°, norte, no sentido horário) tal como definido no ficheiro meteorológico TRY de Viseu. Repare-se como no mês de abril se alia às elevadas velocidades de vento a direção do vento norte, 0°.

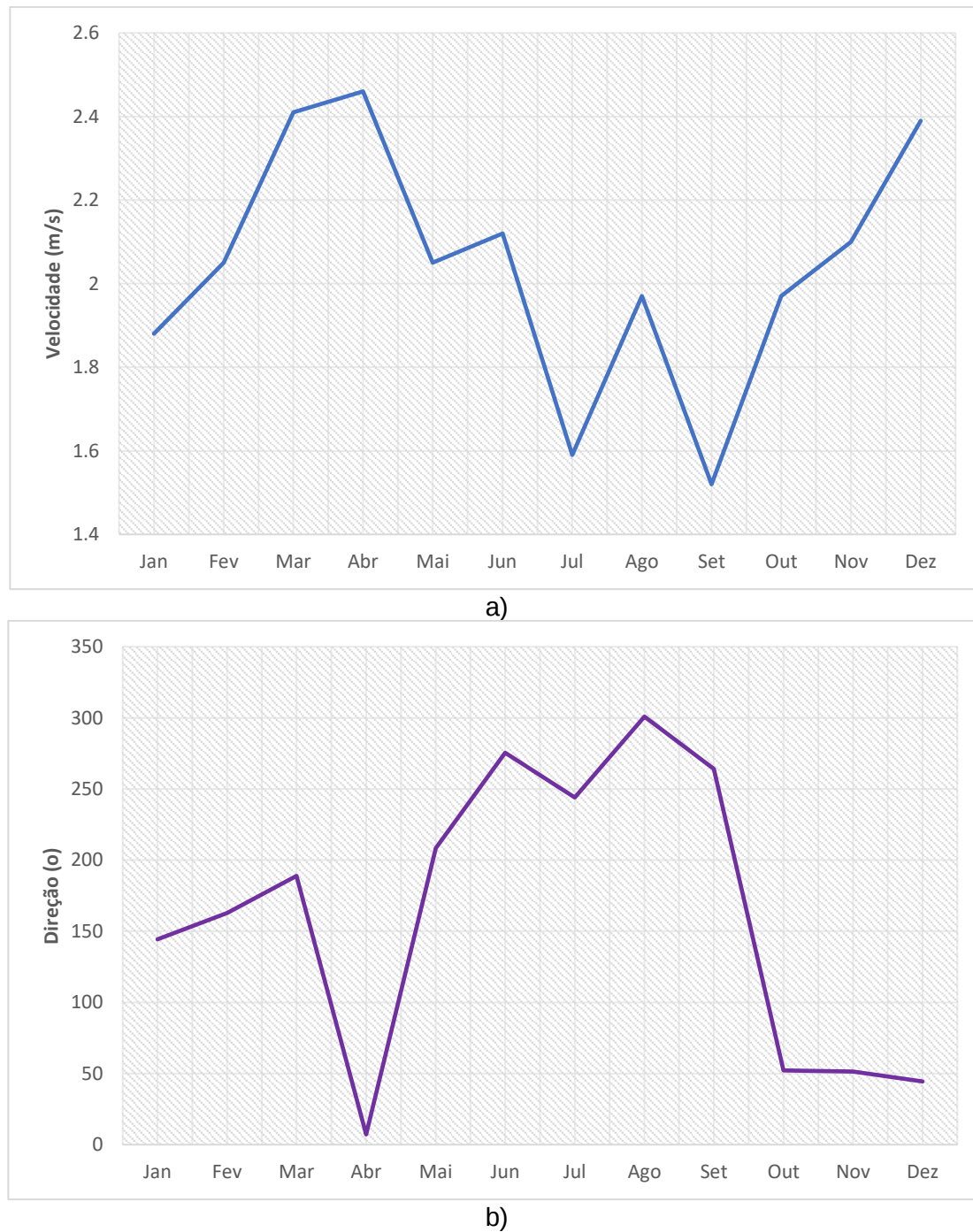


Figura 5.3 Caso de referência: Médias mensais para Viseu. a) da velocidade do vento (m/s) e b) direção do vento (°).

A Figura 5.4 compara as temperaturas médias diárias no quarto 01 e sala 01. Facilmente se pode verificar que o quarto 01 se destaca por possuir temperaturas mais baixas.

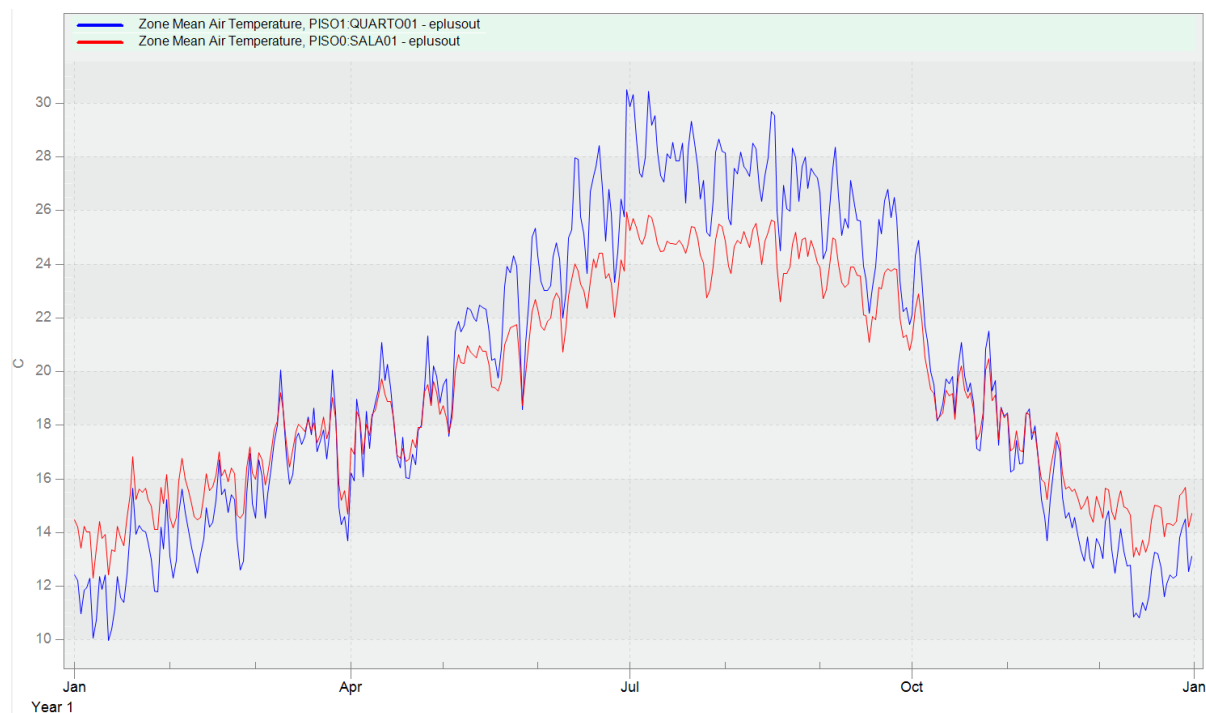


Figura 5.4 Caso de referência: Temperaturas médias diárias (°C) quarto 01 sala 01.

Na Figura 5.5 apresentam-se os valores de graus-hora mensais de aquecimento no quarto 01 e sala 01. Os graus-hora anuais para o quarto 01 e sala 01 são 31367 °C h e 26733 °C h, respetivamente.

A Figura 5.5 torna óbvio que o desconforto devido a baixas temperaturas é elevado em ambos os espaços, sendo superior no quarto 01 onde, na estação de aquecimento, se observa um grande aumento dos graus-hora de aquecimento em relação ao *setpoint* de 21°C.

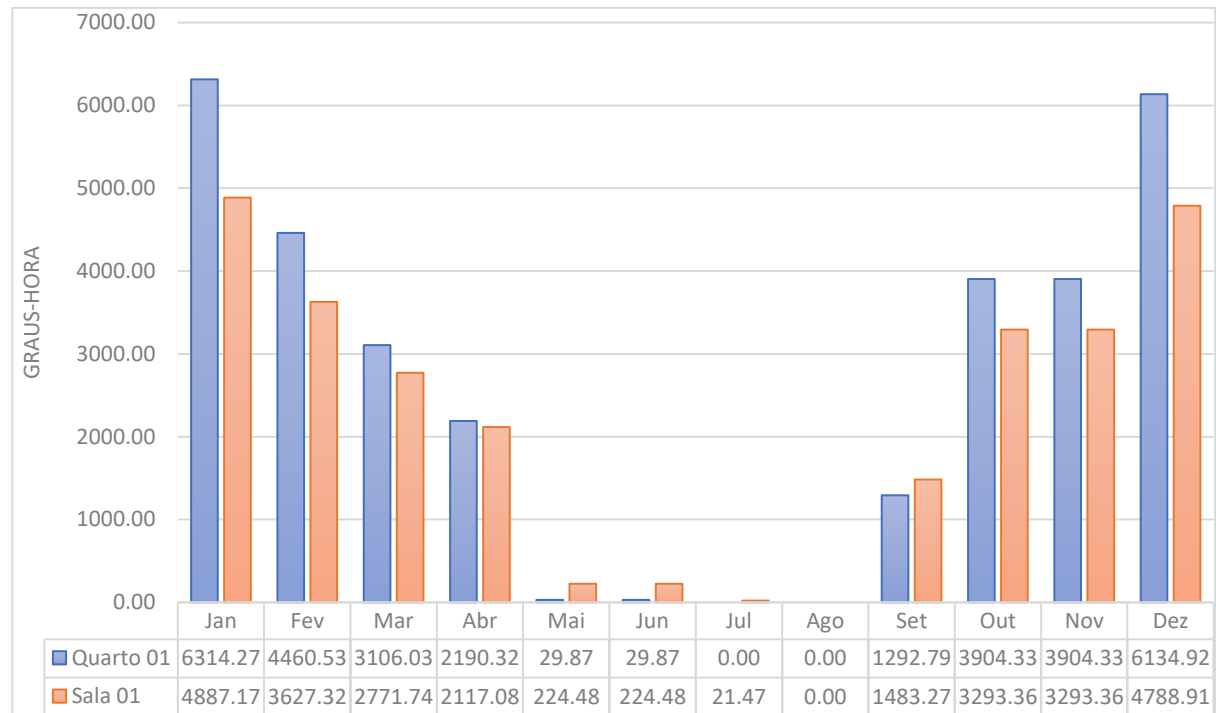


Figura 5.5 Caso de referência: Graus-hora mensais: quarto 01 e sala 01

Na Figura 5.6 observam-se as médias mensais do indicador PMV para o quarto 01 e sala 01.

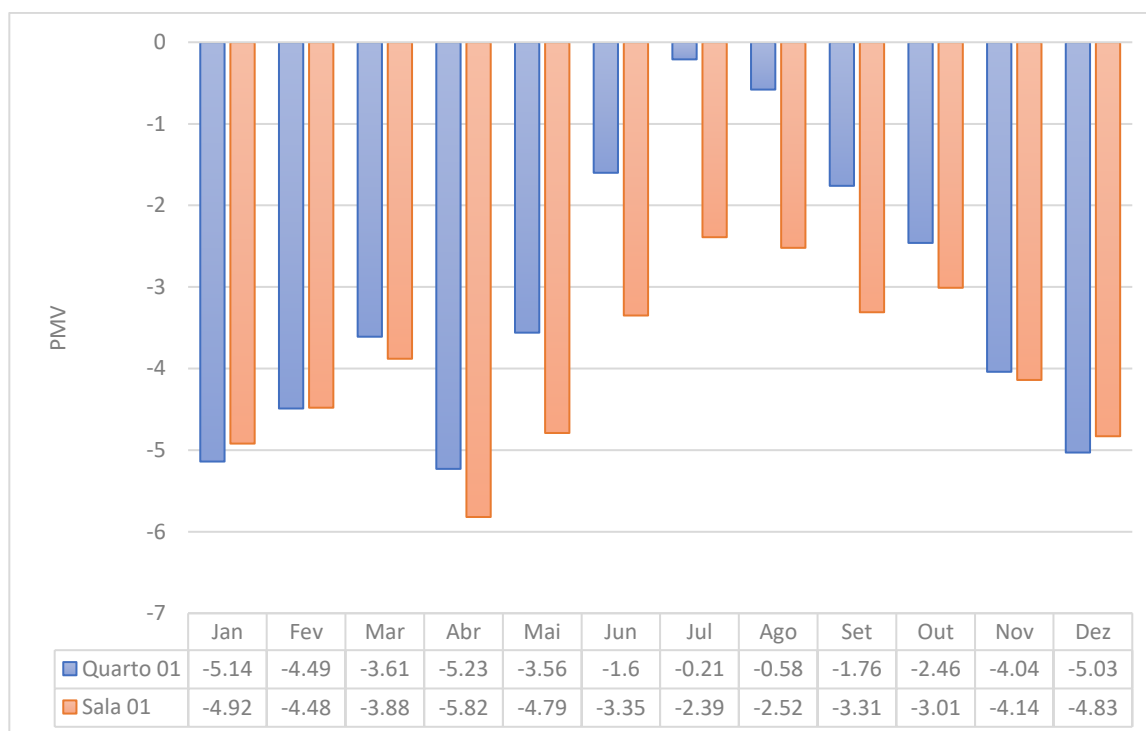


Figura 5.6 Caso de referência: Índice PMV: quarto 01 e sala 01.

Através deste indicador confirma-se que durante o ano a sensação térmica é de muito desconforto com frio. Mais uma vez é possível verificar as consequências do aumento das renovações de ar para o mês de abril e maio no desconforto térmico.

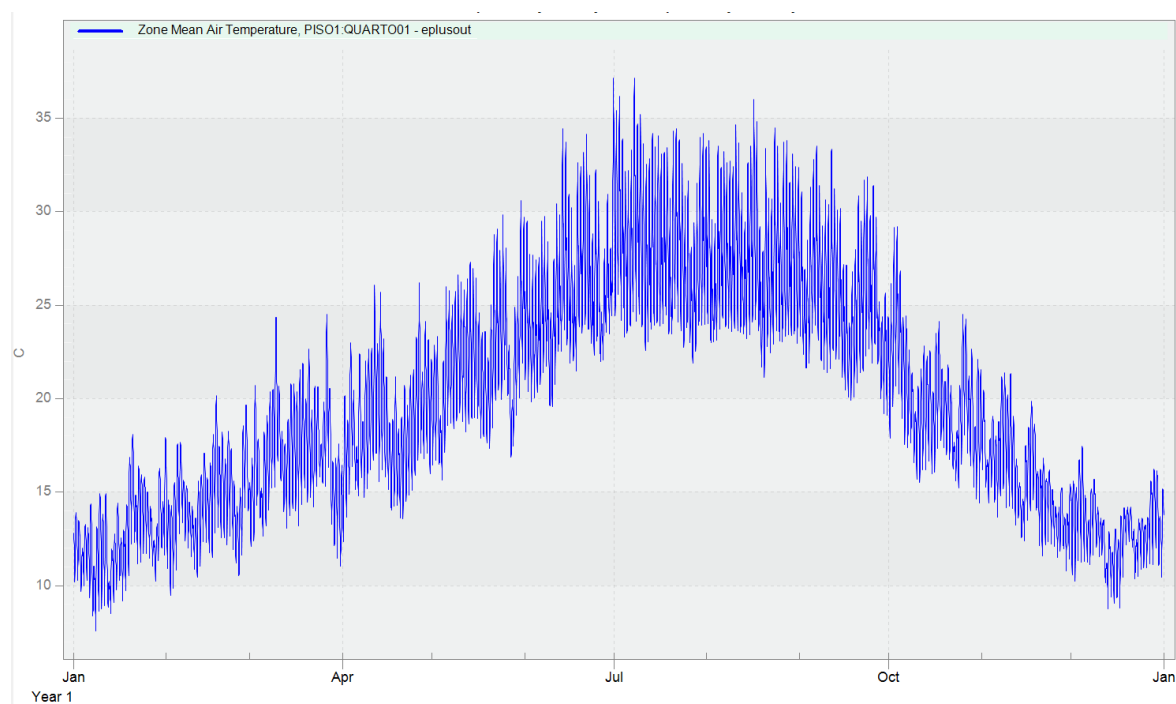
5.1.2 Custos

Tratando-se da situação de referência não se consideram custos.

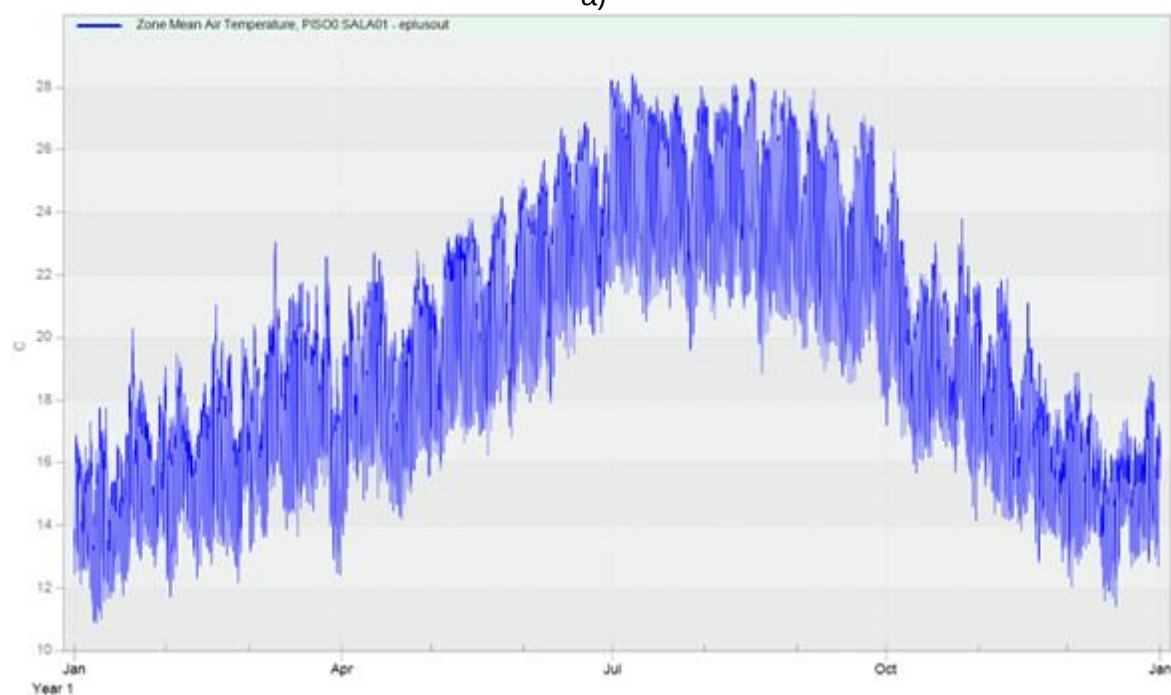
5.2 Alteração #1a) – Reabilitação dos vãos envidraçados

5.2.1 Conforto térmico

Na Figura 5.7 a) e b) apresentam-se os resultados de temperatura numa base de tempo horária no quarto 01 e sala 01.



a)



b)

Figura 5.7 Caso #1a): Temperaturas horárias (°C). a) quarto 01; b) sala 01.

Na Figura 5.7 verificam-se de forma geral temperaturas mais altas quando comparadas com a solução de referência na estação de aquecimento. Neste período continuam a registar-se temperaturas inferiores a 21°C sendo o mínimo registado no quarto 01 de 7,56 °C e na sala 01 de 10,93 °C.

A Figura 5.8 apresenta as temperaturas médias diárias para ambos os espaços.

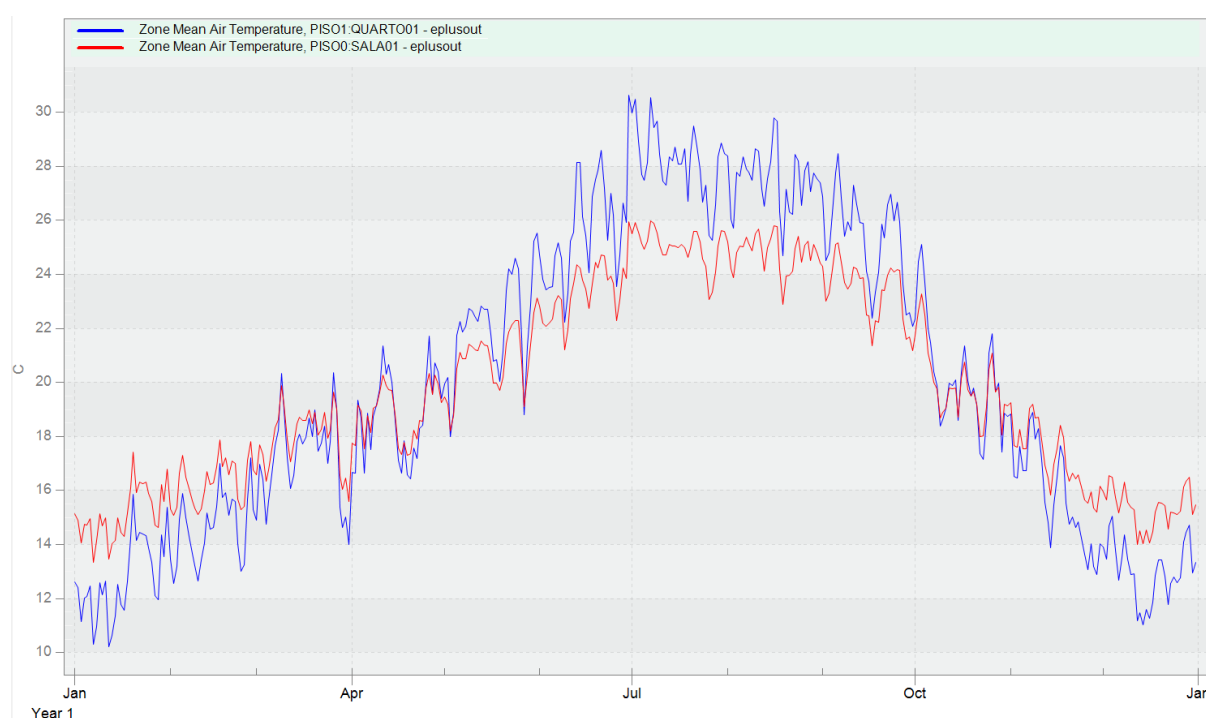


Figura 5.8 Caso #1a): Temperaturas médias diárias (°C) quarto 01 sala 01.

A análise das curvas na Figura 5.8 revela existir um maior impacto da reabilitação dos vãos envidraçados na sala 01, que apresenta um maior aumento nas suas temperaturas médias diárias na estação de aquecimento.

Na Figura 5.9 apresentam-se os valores de graus-hora mensais de aquecimento no quarto 01 e sala 01. Os graus-hora anuais para o quarto 01 e sala 01 são 29789 °C h e 22732 °C h, respetivamente. Isto representa uma diminuição de 5% e 15% graus-hora para o quarto 01 e sala 01, respetivamente, refletindo a eficiência e impacto da reabilitação dos vãos envidraçados, especialmente na sala 01.

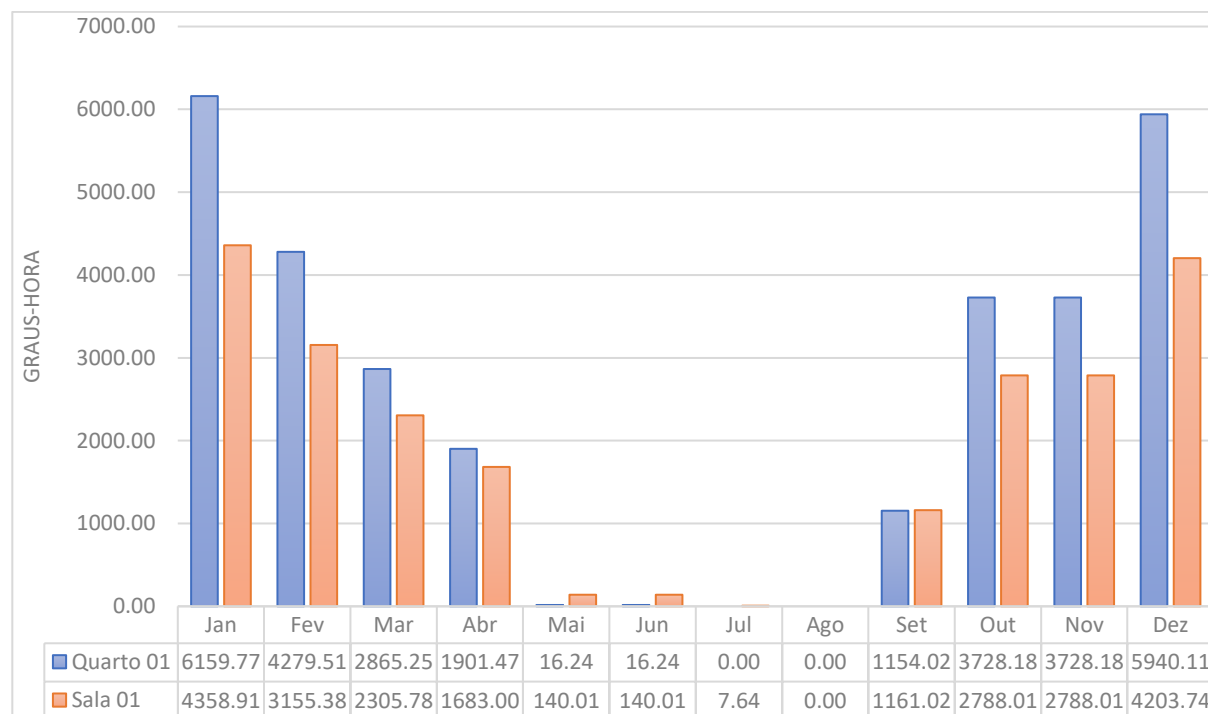


Figura 5.9 Caso #1a): Graus-hora mensais: quarto 01 e sala 01

Através da Figura 5.10, verifica-se uma ligeira redução da sensação térmica de frio para ambos os espaços ao longo do ano, mantendo-se, no entanto, valores de desconforto térmico bastante elevados.

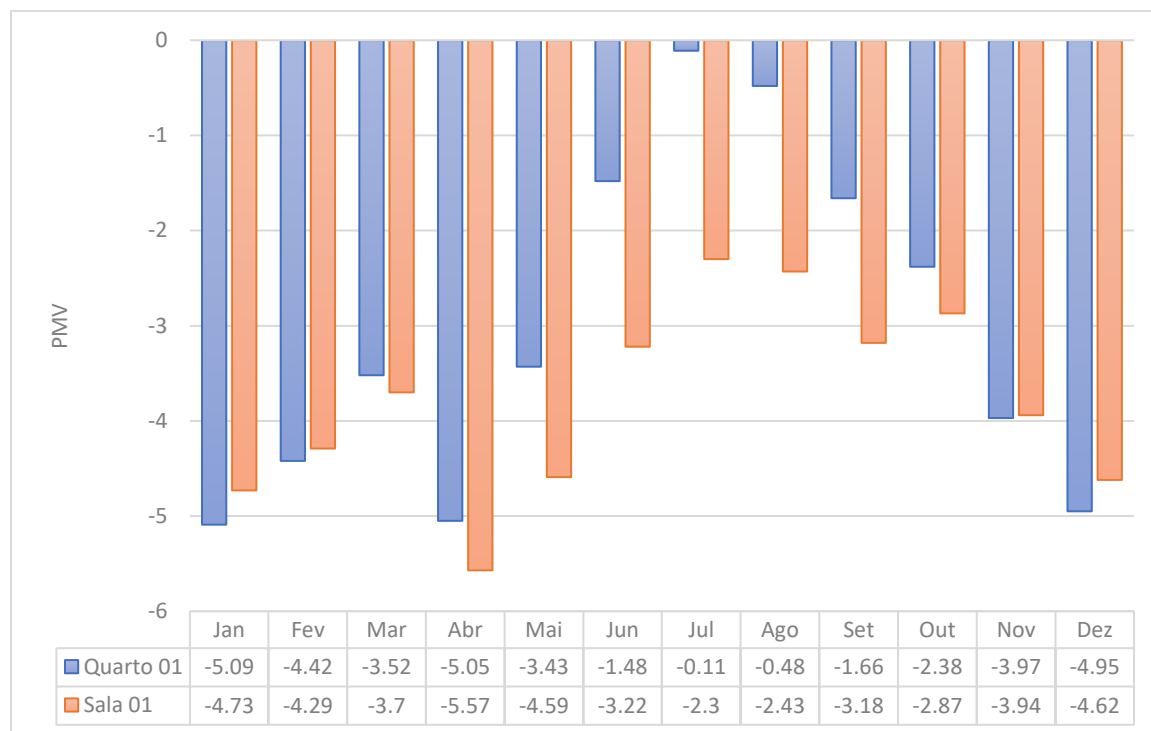
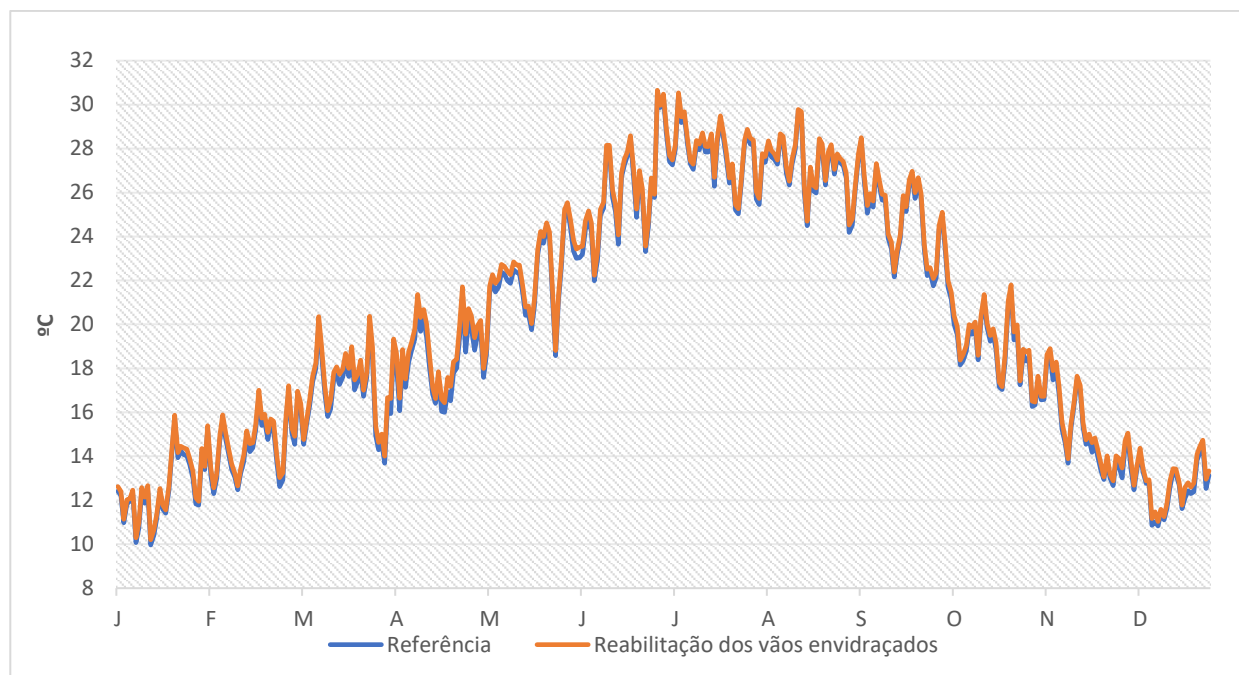
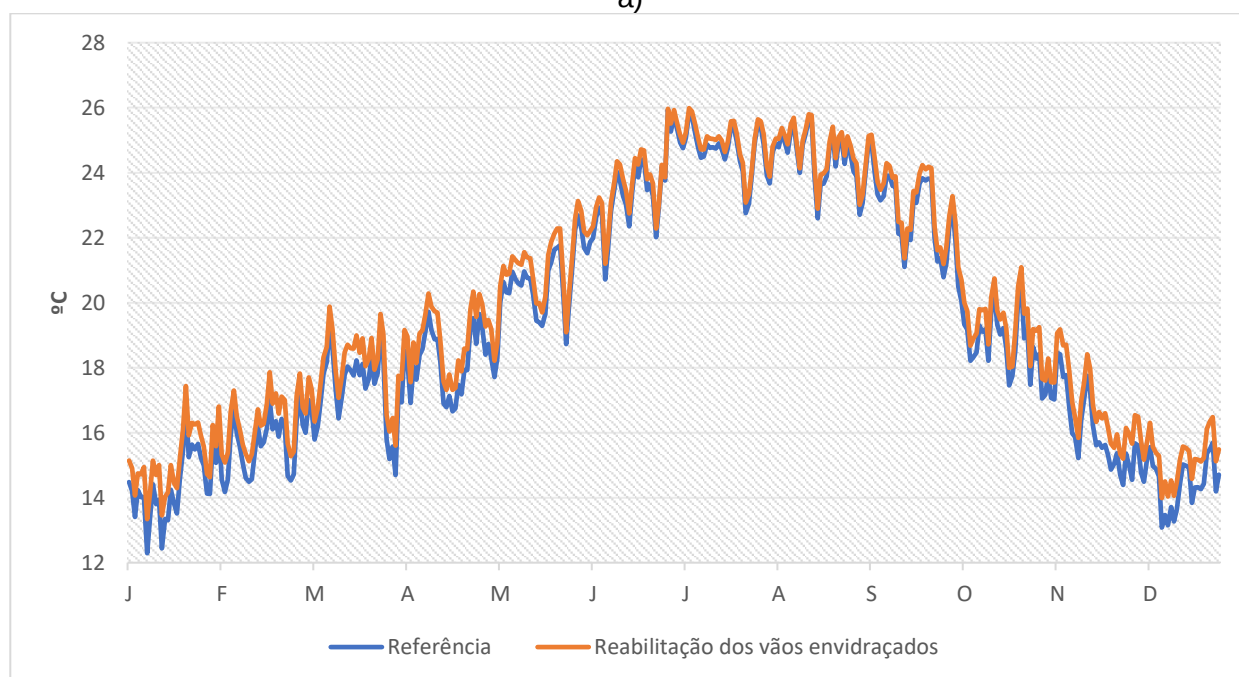


Figura 5.10 Caso #1a): Índice PMV quarto 01 e sala 01.

Uma comparação direta entre o cenário de referência e a reabilitação dos vãos envidraçados para cada um dos espaços encontra-se ilustrada na Figura 5.11 a) e b) onde podem ser vistas as temperaturas médias diárias dos espaços. Facilmente se verifica que houve um aumento das temperaturas para a sala 01 enquanto o quarto 01 apresenta aumentos muito ligeiros.



a)



b)

Figura 5.11 Temperaturas médias diárias (°C) para solução de referência e reabilitação de vãos envidraçados a) quarto 01 b) sala 01.

5.2.2 Custos

A Tabela 5.1 apresenta os custos associados à reabilitação dos vãos envidraçados (gerador de preços CYPE).

Tabela 5.1 Custos associados à reabilitação dos vãos envidraçados.

Descrição	Preço por unidade	Preço	Obs
Substituição de vãos envidraçados por caixilho de alumínio com corte térmico e vidro duplo.	Caixilharia	Caixilharia	Gerador de Preços CYPE. Admite-se Janela de alumínio, gama média, com ruptura de ponte térmica vidro exterior incolor de 4 mm, caixa de de 6 mm e vidro interior de 4 mm acedido a 14/09/2022
	(L (mm) * A (mm))	18*478,03= 8 604,54	
	900*700 478,03 €/un	3*780,49= 2 341,47	
	800*1900 780,49 €/un	3*815,64= 2 446,92	
	1200*1900 815,64 €/un	Vidro	
	Vidro	17,39 [m ²] * 36,30 [€/m ²] =	
	36,30 €/m ²	631,26€	
		Total: 14 024,19€	

Com base na Equação (5.2) obtém-se a seguinte anualização do investimento por reabilitação dos vãos envidraçados: ~1351 €/ano.

Esta reabilitação não envolve custos de exploração (a 15 anos).

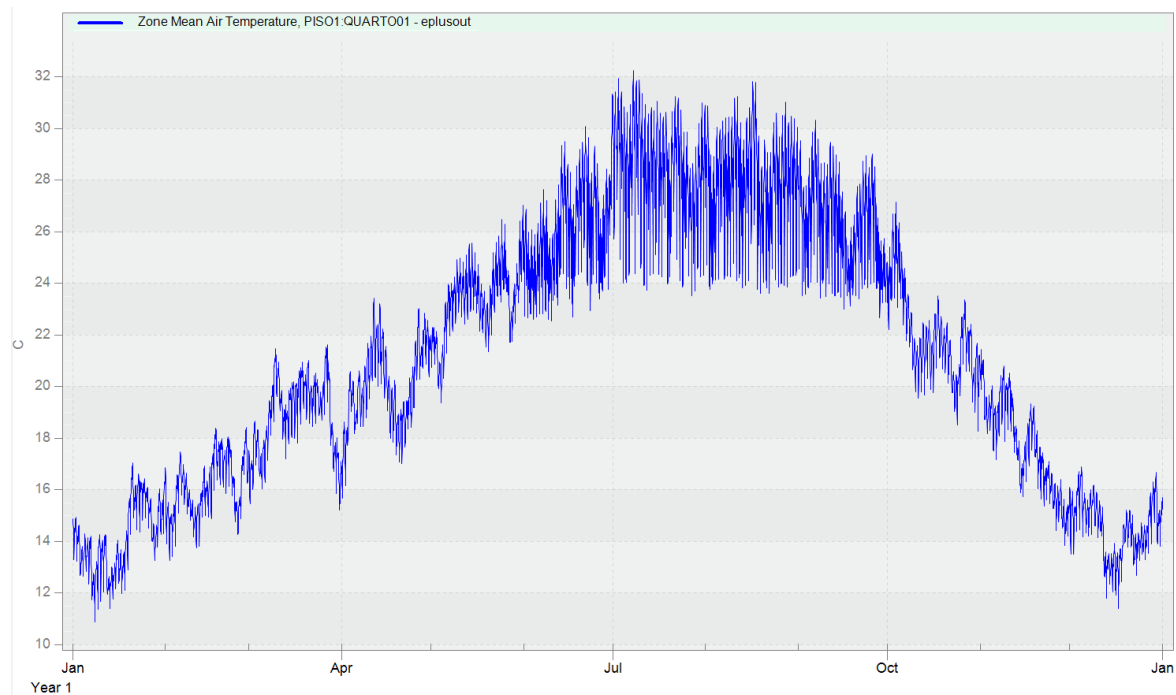
5.3 Alteração #1b) – Reabilitação total da envolvente

5.3.1 Conforto térmico

Na Figura 5.12 a) e b) apresentam-se os resultados de temperaturas numa base de tempo horária no quarto 01 e sala 01.

Verificam-se de forma geral, como esperado, temperaturas mais altas quando comparadas com a solução de referência na estação de aquecimento. Neste período continuam a registar-se

temperaturas inferiores a 21°C sendo o mínimo registado no quarto 01 de 10,8 °C e na sala 01¹⁰ de 9,7 °C.



a)

¹⁰ Este valor é inferior àquele obtido para o caso #1a). Isto deve-se ao isolamento pelo exterior das paredes eliminar a acumulação de calor (radiação solar) nestas durante o dia, calor este que no caso #1a) é libertado para o ar da sala ao longo da noite.

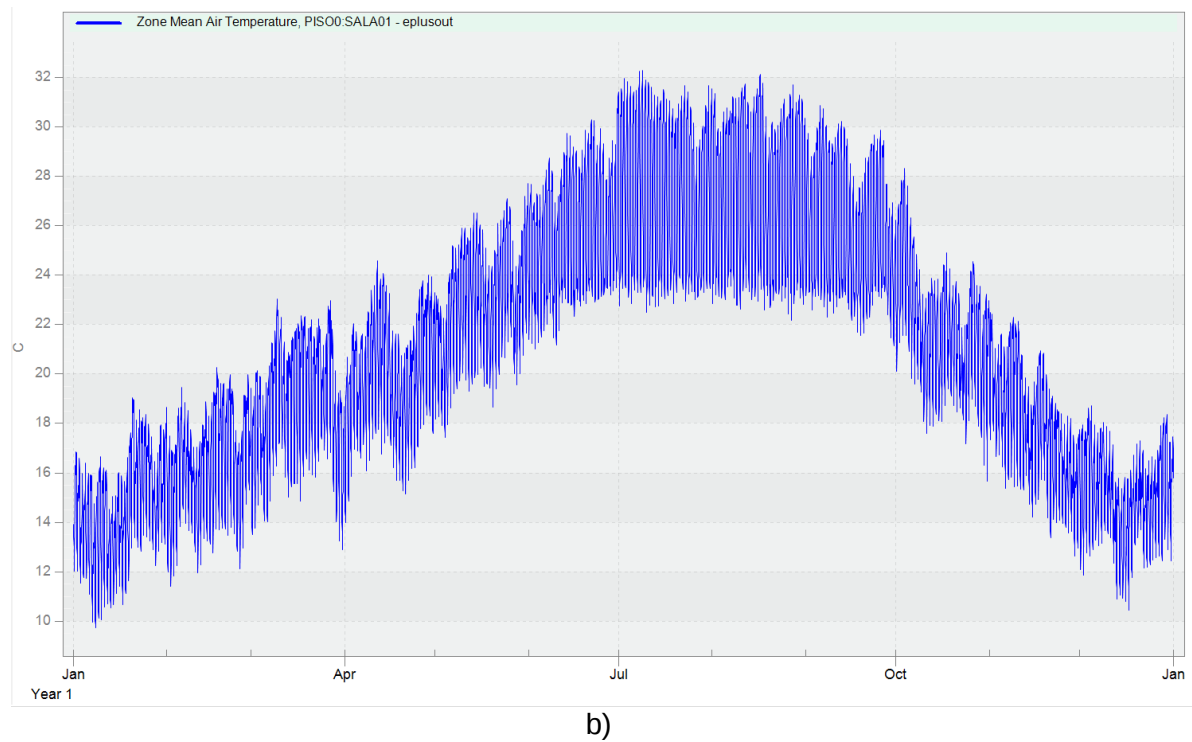


Figura 5.12 Caso #1b) Temperatura horária (°C). a) quarto 01; b) sala 01.

A Figura 5.13 apresenta as temperaturas médias diárias para ambos os espaços. Onde anteriormente se podia observar uma diferença mais acentuada no desconforto térmico dos espaços, agora verifica-se que devido à reabilitação da cobertura o quarto 01 apresenta temperaturas médias diárias muito semelhantes às da sala 01 para a estação de aquecimento.

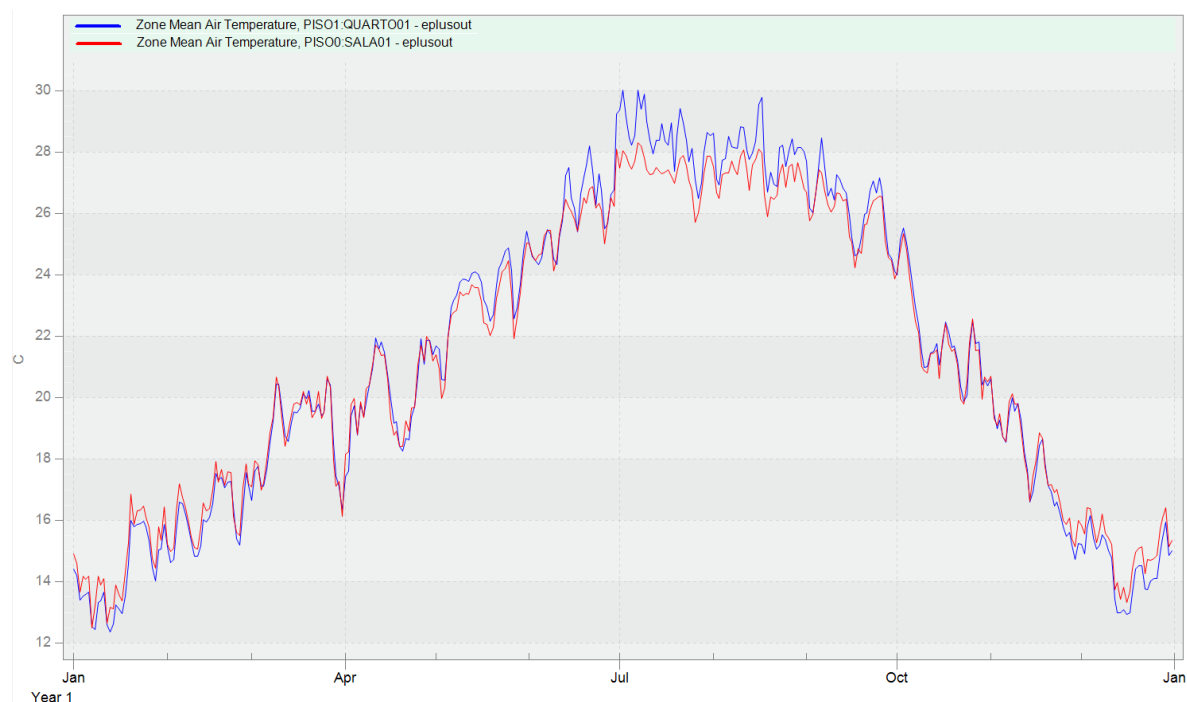


Figura 5.13 Caso #1b) Temperaturas médias diárias (°C) quarto 01 sala 01.

Na Figura 5.14 apresentam-se os valores de graus-hora mensais de aquecimento no quarto 01 e sala 01. Os graus-hora anuais para o quarto 01 e sala 01 são 20523 °C h e 19921 °C h, respetivamente. Isto representa uma diminuição de 34,6% e 25,5% graus-hora para o quarto 01 e sala 01, respetivamente, quando comparados com a situação de referência e de 31% e 12% quando comparados com os resultados obtidos pela substituição dos vãos envidraçados, refletindo a eficiência e impacto da reabilitação da cobertura no conforto sentido no quarto 01. Anteriormente, o quarto 01 apresentava-se indiscutivelmente como a divisão com um maior desconforto térmico, no entanto, agora apresenta uma diferença de graus-hora semelhante à sala 01.

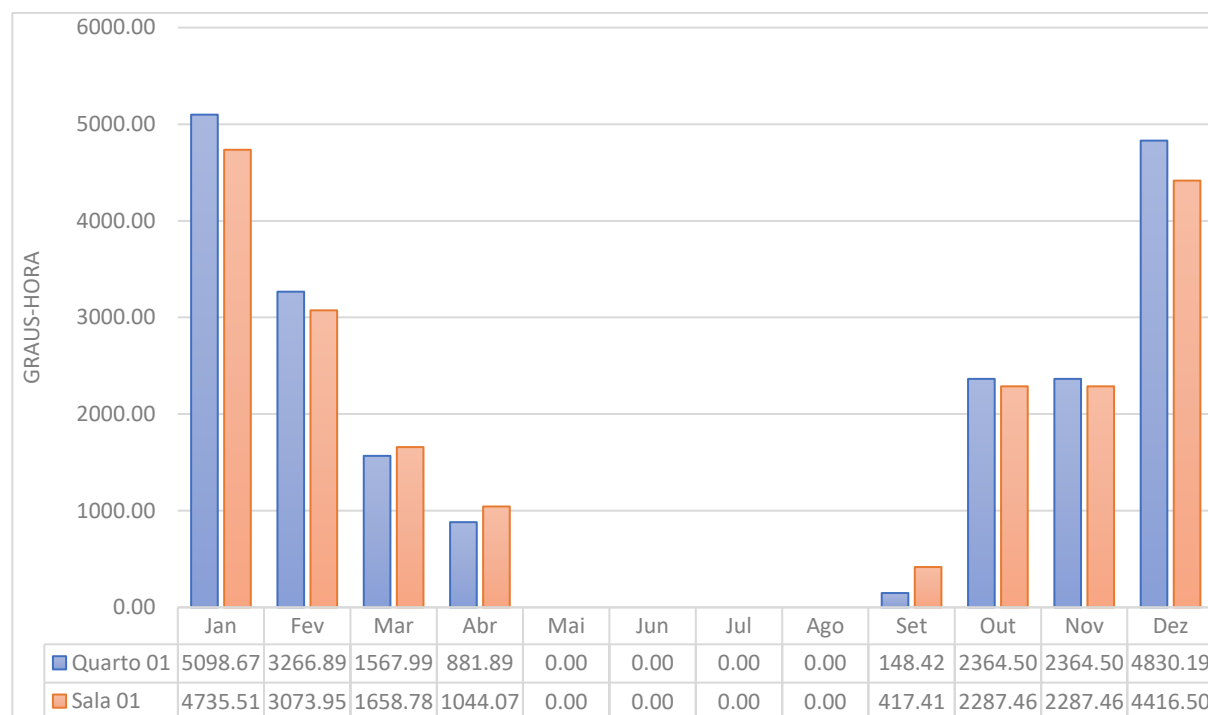


Figura 5.14 Caso #1b) Graus-hora mensais: quarto 01 e sala 01

Através da Figura 5.15 verifica-se uma ligeira redução da sensação térmica de frio para ambos os espaços ao longo do ano, mantendo-se, no entanto, valores de desconforto térmico bastante elevados.

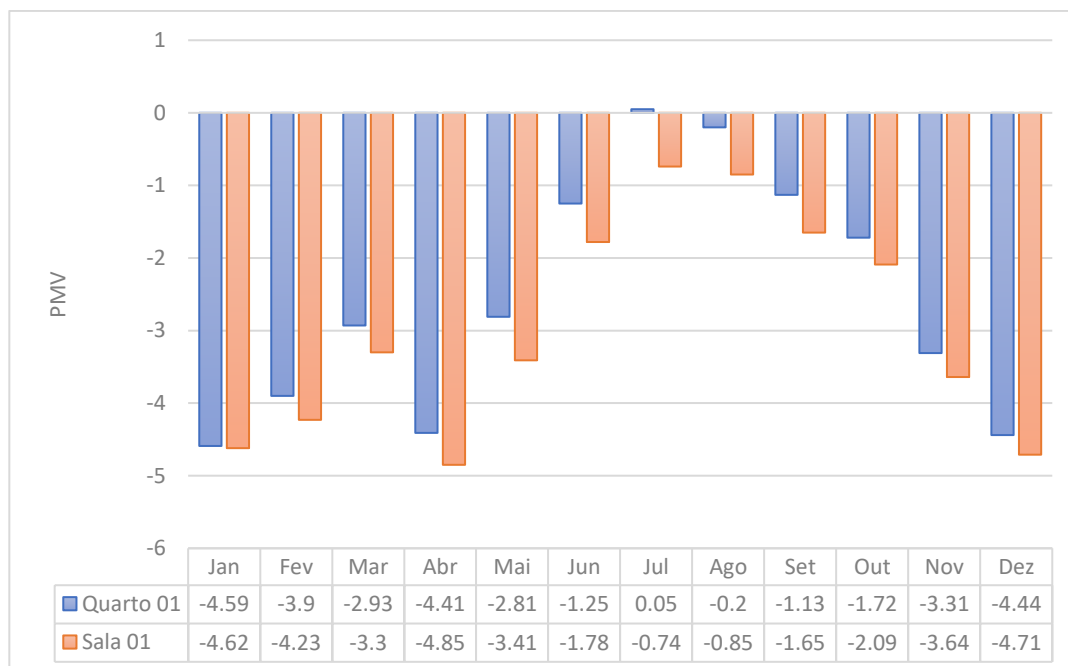
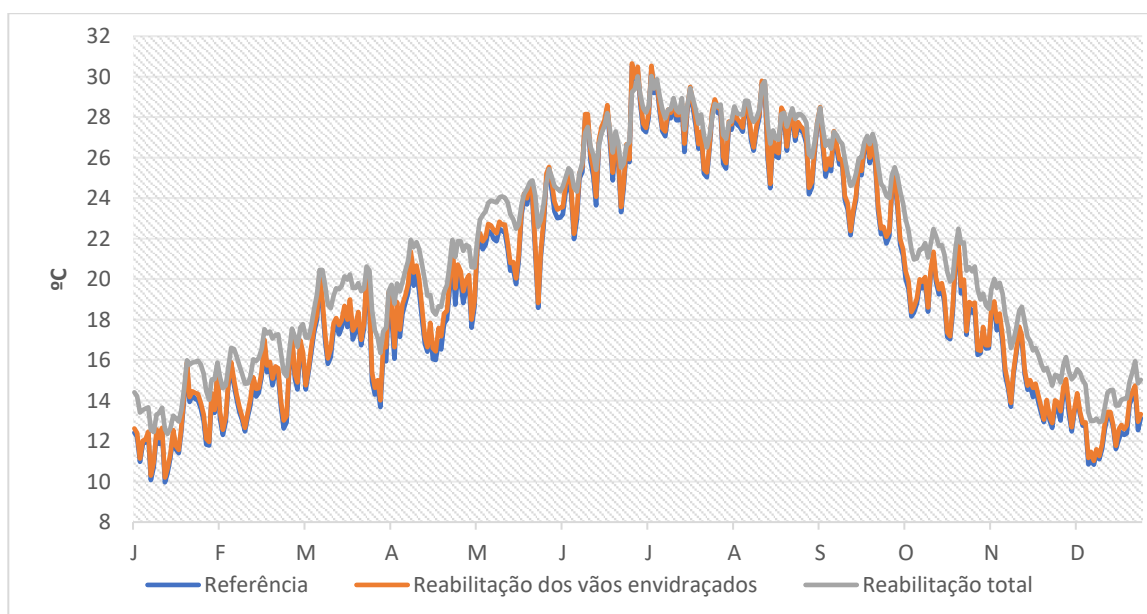
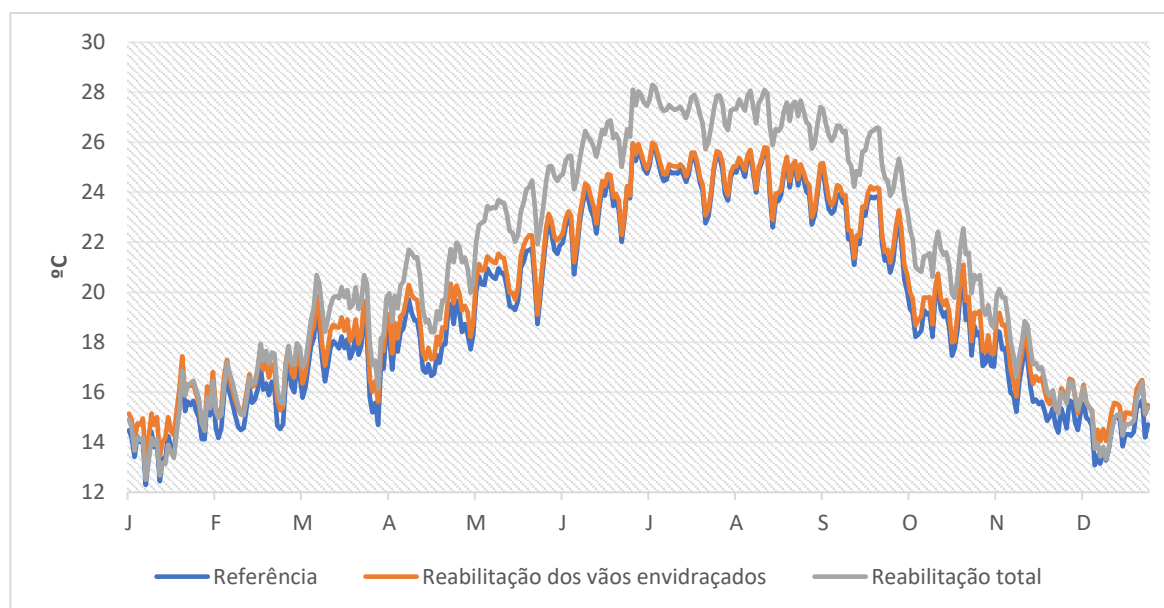


Figura 5.15 Caso #1b) Índice PMV quarto 01 e sala 01.

Uma comparação direta entre o cenário de referência e reabilitado para cada um dos espaços encontra-se ilustrada na Figura 5.16.



a)



b)

Figura 5.16 Temperatura média diária (°C) para as soluções de referência e reabilitação total da envolvente a) quarto 01; b) sala 01.

5.3.2 Custos

A Tabela 5.2 apresenta os custos de reabilitação da envolvente opaca (e vãos envidraçados) (gerador de preços CYPE).

Tabela 5.2 Custos associados à reabilitação total da envolvente.

Descrição	Preço por unidade	Preço	Obs
Isolamento parede exterior com sistema "ETICS weber.therm "WEBER CEMARKSA" de isolamento exterior de fachadas com revestimento acrílico".	60 €/m ²	205,92 [m ²] * 60 [€/m ²] = 12 355 €	Gerador de Preços CYPE. Admite-se preço com espessura de 4 cm de EPS acedido a 14/09/2022

Isolamento de pavimento em contacto com o solo "sistema de pavimentos flutuantes, com poliestireno expandido".	13,50 €/m ²	126,53 [m ²] * 13,50 [€/m ²] = 1 708 €	Gerador de Preços CYPE. Admite-se a espessura de 6 cm de EPS acedido a 14/09/2022
Isolamento da laje do desvão de cobertura ventilada.	6.95 €/m ²	126.53 [m ²] * 6.95 [€/m ²] = 879 €	Gerador de Preços CYPE. Admite-se a espessura de 8 cm de lã mineral acedido a 14/09/2022
Substituição de vãos envidraçados por caixilho de alumínio com corte térmico e vidro duplo.	Caixilharia (L (mm) * A (mm)) 900*700 478,03 €/un 800*1900 780,49 €/un 1200*1900 815,64 €/un Vidro 36,30 €/m ²	Caixilharia 18*478,03= 8 604,54 3*780,49= 2 341,47 3*815,64= 2 446,92 Vidro 17,39 [m ²] * 36,30 [€/m ²] = 631,26€	Gerador de Preços CYPE. Admite-se Janela de alumínio, gama média, com ruptura de ponte térmica vidro exterior incolor de 4 mm, caixa de 6 mm e vidro interior de 4 mm acedido a 14/09/2022
		Total: 28 996,19	

Com base na Equação (5.2) obtém-se a seguinte anualização do investimento por reabilitação total de envolvente: ~2794 €/ano.

Esta reabilitação não envolve custos de exploração (a 15 anos).

5.4 Alteração #2 – Sistema de aquecimento central

Nesta secção são apresentadas temperaturas, consumos e custos associados ao sistema de aquecimento central. Tendo em conta a tipologia em estudo e considerando que moradias ao

estilo emigrante se localizam geralmente fora dos centros urbanos onde não existe rede de distribuição de gás, admitiu-se uma caldeira a queimar pellets.

Após o dimensionamento com o *DesignBuilder* concluiu-se ser suficiente uma caldeira de ~11kW. Para efeitos de orçamento, optou-se por uma solução com uma caldeira de 19kW.

5.4.1 Temperaturas

A Figura 5.17 apresenta as temperaturas horárias para todos os espaços climatizados permitindo confirmar que os *setpoints* de 21°C nos espaços normalmente ocupados e de 18°C nos espaços normalmente desocupados estão a ser cumpridos.

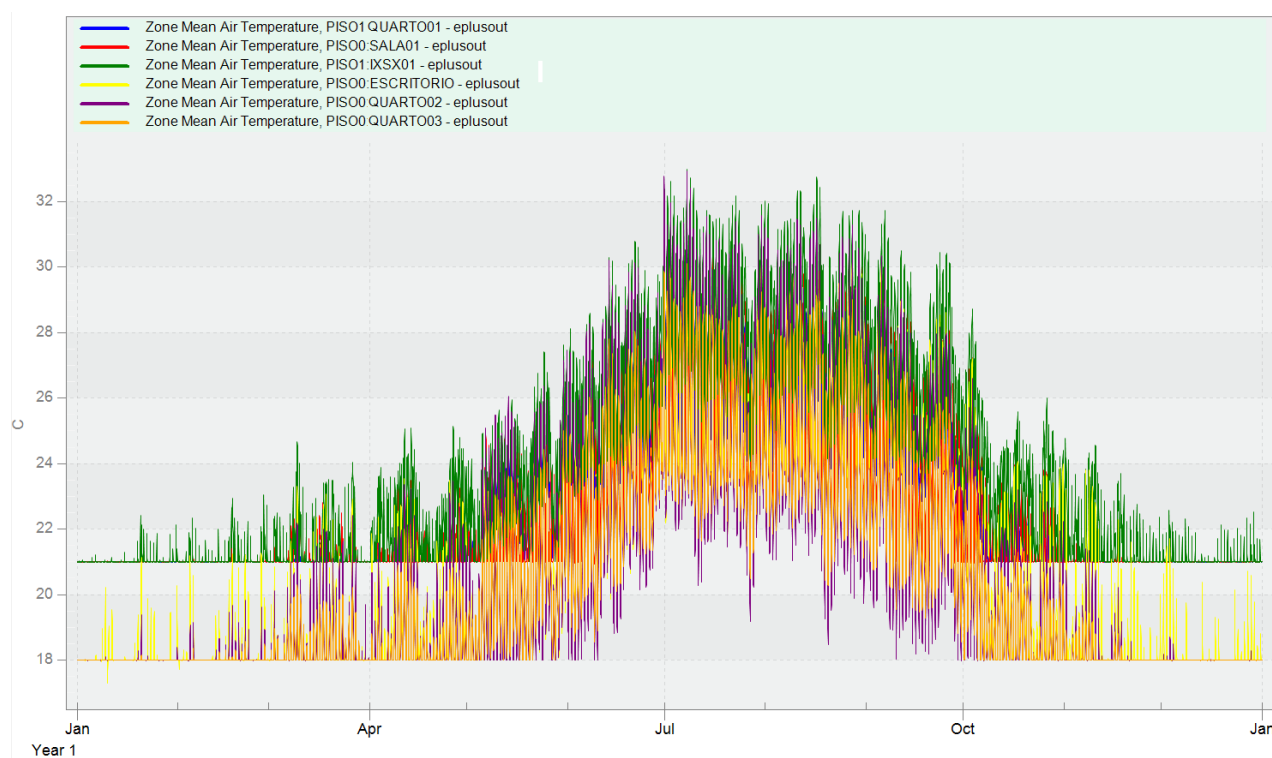


Figura 5.17 Temperaturas horárias (°C) nos espaços da moradia considerando sistema de aquecimento central.

5.4.2 Consumos

Os consumos de eletricidade associados ao sistema de aquecimento central correspondem apenas ao circuito elétrico da caldeira e à bomba de circulação, com consumos extremamente reduzidos totalizando 9,75 kWh anuais.

O consumo anual de energia totaliza 7484,93 kWh/ano e a sua desagregação mensal encontra-se na Figura 5.18

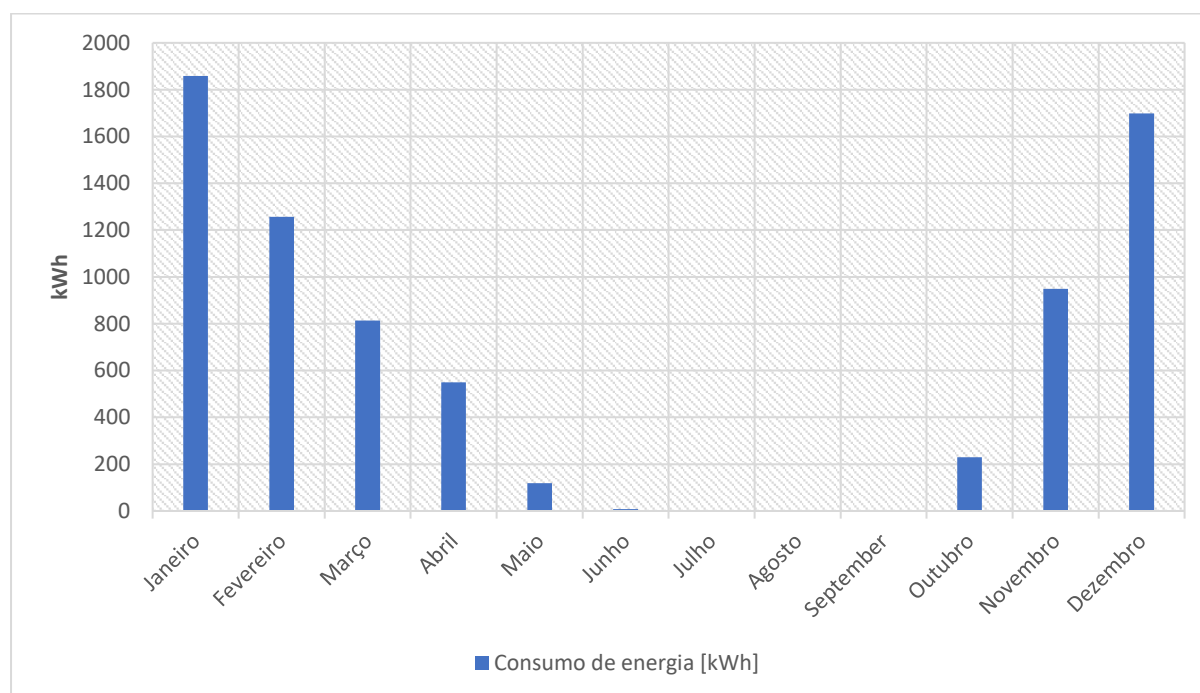


Figura 5.18 Consumos mensais de energia para aquecimento (kWh).

5.4.3 Custos

Após consulta a fornecedores para obter preços de aquisição e instalação do sistema de aquecimento central reuniram-se os seguintes valores. O preço dos equipamentos principais (caldeira e radiadores) representa um investimento na ordem dos 4000€, a este valor acresce o custo do restante material (tubagem, isolamento térmico, circuladores, coletor-distribuidor, válvulas, depósito, fluido térmico) na ordem dos 3000€. Para a instalação deste sistema chegou-se a um custo de 3500€.

Com base na Equação (5.2) obtém-se a seguinte anualização do investimento por instalação de aquecimento central: ~ 1012 €/ano.

De forma a obter os custos associados à exploração do sistema de aquecimento central procurou-se em vários simuladores saber o preço de pellets para o distrito de Viseu, tendo-se usado o valor mais baixo encontrado: 0,6 €/kg¹¹, pressupondo a compra de um grande volume (84 unidades de 15kg).

A desagregação mensal dos custos de pellets observa-se na Figura 5.19 com um total anual de ~ 975 €/ano.

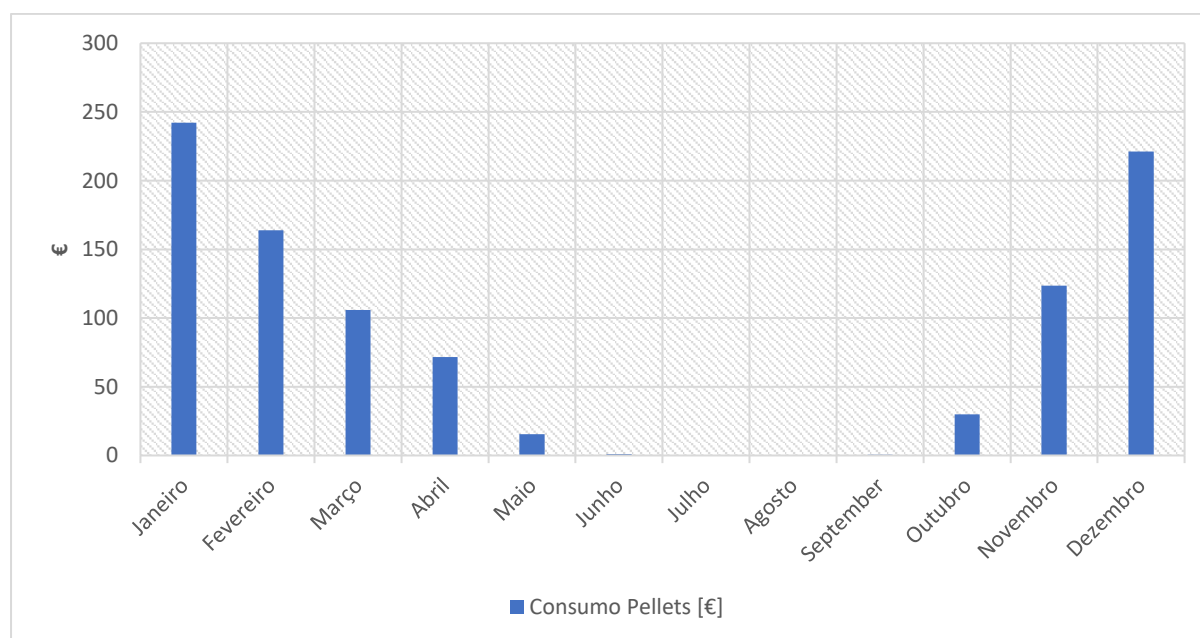


Figura 5.19 Desagregação mensal do consumo de pellets (€).

Resulta, então (considerando que as despesas de manutenção do equipamento estão já englobadas nas restantes parcelas), um custo anual só com o sistema de aquecimento de 1987 €/ano. Considerando a reabilitação total da envolvente e instalação do sistema de climatização tem-se um custo anual de (2794+1987=) 4781€/ano.

¹¹ <https://www.campocheio.pt/produtos/casa-e-utilidades/pellets-nutriaquiur-15kg-paleta-84-sacos> (acedido a 6 de outubro de 2022).

6. Conclusões

Neste documento estudou-se o conforto térmico para a estação de aquecimento numa moradia ao estilo emigrante. Abordaram-se os fatores que influenciam custos e conforto térmico, com especial foco nas temperaturas interiores. Realizaram-se várias simulações dinâmicas com o programa *DesignBuilder* que se apresenta como uma ferramenta imprescindível para a indústria em que este trabalho está inserido.

A metodologia considerada definiu uma solução de referência caracterizada por soluções construtivas típicas dos anos 1970 e 1980, hoje em dia, traduzindo um mau desempenho térmico. De seguida, consideraram-se as seguintes alternativas: Duas que consistiram na remodelação da envolvente. Para estas alterações e para avaliar variações no conforto térmico obtiveram-se os graus dia anuais de aquecimento considerando um *setpoint* de 21°C, que se compararam com a solução de referência. Adicionalmente, também se comparou o índice de conforto térmico PMV. Uma outra alteração à situação de referência consistiu na introdução de um sistema de aquecimento central. Para este caso avaliou-se o consumo de energia anual e os custos de exploração. Para todos os casos analisados obtiveram-se valores anualizados de custos (a 15 anos, com uma taxa de rendibilidade de 5%) de modo a comparar o esforço financeiro de cada investimento.

As soluções consideradas tiveram por objetivo reduzir o desconforto térmico nos espaços, contribuindo para a melhoria do bem-estar e saúde dos habitantes.

Para a solução de referência verificaram-se temperaturas interiores extremamente reduzidas. Nos casos mais extremos obtiveram-se temperaturas interiores inferiores a 10°C e médias diárias inferiores a 12°C, com uma sensação térmica dos espaços determinada pelo indicador PMV equivalente a muito frio. A remodelação total da envolvente demonstrou ser proveitosa com especial impacto (devido ao isolamento da cobertura) no quarto localizado no piso superior que se apresentou como o caso mais desfavorável em estudo. Através da Figura 6.1 demonstra-se o impacto da substituição dos vãos envidraçados e da remodelação total da envolvente.

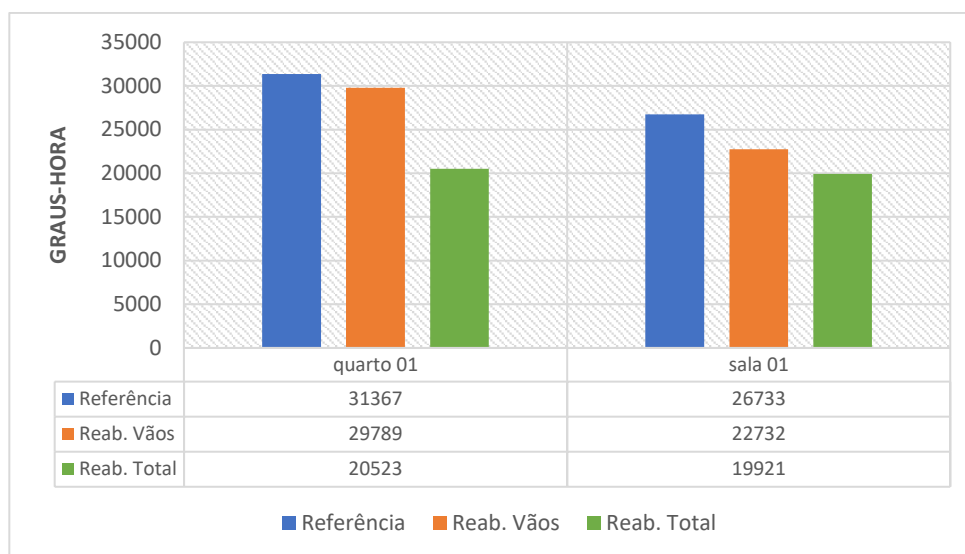


Figura 6.1 Comparação de graus-hora anuais de aquecimento (com *setpoint* de 21°C) para situação de referência, substituição de vãos envidraçados e reabilitação total da envolvente.

Na Tabela 6.1 apresenta-se a redução de °C h da reabilitação dos vãos envidraçados, da reabilitação total da envolvente e da instalação de aquecimento central quando comparadas com a situação de referência, bem como os custos associados a todas as medidas.

Tabela 6.1 Resumo do impacto das medidas aplicadas.

Situação	Divisão	Redução °C h	Redução °C h (%)	Custo anualizado (€/ano) [T=15 anos; i=5%]
Reab. Vãos	Quarto 01	1 578	5	1351
	Sala 01	4 001	15	
Reab. Total	Quarto 01	10 844	35	2794
	Sala 01	6 811	25	
Reab. Total+Sistema Aquec.	Quarto 01	31367	100	4 781
	Sala 01	26733	100	

Como é possível verificar, as medidas aplicadas estão associadas a um elevado custo de investimento a rondar, no caso com sistema de aquecimento central, os 40000€ (valor que, anualizado, corresponde a 4781€/ano), valor este que não é acessível à população em geral.

Tal como os resultados aqui expostos demonstram, cada vez mais existe a necessidade de criar programas que promovam os incentivos à reabilitação das habitações para que os

elevados custos destas medidas possam ser atenuados. Incentivos como o “Programa de Apoio a Edifícios Mais Sustentáveis”¹² ou o programa “Casa Eficiente”¹³ são um primeiro passo para o combate à pobreza energética, mas é preciso fazer mais e melhor.

A utilização de um sistema de climatização permite criar condições mais favoráveis ao conforto térmico e promover um estilo de vida mais salubre, mas mais uma vez está associado a um elevado custo de investimento e de exploração anual. Para o sistema em questão, o custo de aquisição e instalação dos equipamentos foi de 10500€, com um custo anual de exploração de (aproximadamente) 975 €.

Investir no conforto térmico na saúde e no bem-estar é de extrema importância, no entanto, facilmente se verifica que se trata de um processo complexo e dispendioso. Pode-se concluir que a pobreza energética não afeta apenas as pessoas que vivem em condições deploráveis em bairros sociais. Em Portugal, as inúmeras moradias ao estilo emigrante, face às péssimas características da envolvente e, por não possuírem aquecimento centralizado, conduzem, também a elevado desconforto térmico. Sendo propriedade de pensionistas ou filhos destes, em muitos casos com baixos rendimentos, o preço da energia para aquecer condignamente os grandes volumes interiores; o preço dos equipamentos de aquecimento que seriam necessários instalar tornam-se proibitivos; concluindo-se estar associada à tipologia de moradias ao estilo emigrante a situação de pobreza energética.

Portugal apresenta-se como um dos piores casos de pobreza energética na Europa¹⁴ e não podemos continuar a tentar acompanhar a Europa nos seus índices, mas sim tentar superá-los e definir políticas e programas que nos tornem numa referência de bons exemplos e boas práticas e não uma referência de pobreza energética.

¹² <https://www.fundoambiental.pt/apoios-prr/c13-eficiencia-energetica-em-edificios/01c13-i01-paes-ii.aspx>

¹³ <https://casaeficiente2020.pt/>

¹⁴ <https://www.edp.com/en/edp-stories/energy-poverty-in-portugal>

Bibliografia

Almeida, Hélder. “Análise Do Conforto Térmico de Edifícios Utilizando as Abordagens Analítica e Adaptativa.” Instituto Superior Técnico, 2010.

Ashrae. *ASHRAE Handbook-Fundamentals*. American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, 2021.

Ashrae. *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, 2020.

Boardman, Brenda. *Fixing Fuel Poverty Challenges and Solutions*. Routledge, 2009.

Brager, Gail S.; de Dear, Richard J. "Thermal adaptation in the built environment: a literature review". *Energy and Buildings*. 27 (1): 83–96, 1998. doi:10.1016/S0378-7788(97)00053-4

César, Ana, A casa do emigrante português: Caracterização arquitetónica e sua contextualização. Tese de mestrado em construção de edifícios, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 1996.

Curado, António. “Conforto Térmico e Eficiência Energética Nos Edifícios de Habitação Social Reabilitados.” Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, 2014.

DesignBuilder Software (2022). *DesignBuilder* (Versão 7.0.2.004) [Software de Computador] <https://designbuilder.co.uk/software/product-overview>

DGEG (Direção-Geral de Energia e Geologia). *Manual Técnico Para a Avaliação Do Desempenho Energético Dos Edifícios*, 2021.

DIAL (2022). *DIALux* (Versão 10.1, 5.10.1.58862) [Software de Computador] <https://www.dialux.com/en-GB/download>

Duarte, R., *Gestão da Energia e Auditorias Energéticas*, Edição de autor, 2022. <https://zenodo.org/record/6569842>

Dubois, U.; Meier, H. Energy affordability and energy inequality in Europe: Implications for policymaking. *Energy Res. Soc. Sci.* 2016, 18, 21–35.

EnergyPlus (2022). *EnergyPlus* (Versão 22.2.0) [Software de Computador] <https://energyplus.net/>

-
- Faculty of Public Health. "Fuel Poverty and Affordable Warmth." Acedido a 8 de Setembro de 2022. <https://www.fph.org.uk/media/2593/a6-fph-sig-fuel-poverty-affordable-warmth-final.pdf>
- Fanger, Povl. *Thermal Comfort. Analysis and Applications in Environmental Engineering*. Denmark: Copenhagen: Danish Technical Press, 1970.
- Frota, Anesia; Schiffer, Sueli. *Manual de Conforto Térmico*. 5th ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.
- Horta, Ana; Schmidt, Luísa. "Pobreza Energética Em Portugal." Observatório de Ambiente, Território e Sociedade, 2021.
- Howden-Chapman, P. Housing standards: A glossary of housing and health. *J. Epidemiol. Community Health* 2004, 58, 162–168.
- Humphreys, Michael A.; Nicol, J. Fergus; Raja, Iftikhar A. "Field Studies of Indoor Thermal Comfort and the Progress of the Adaptive Approach". *Advances in Building Energy Research*. 1 (1): 55–88, 2007. doi:10.1080/17512549.2007.9687269.
- International Organization for Standardization. Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria (ISO Standard No. 7730:2005) (2005).
- International Organization for Standardization. Ergonomics of the thermal environment — Determination of metabolic rate (ISO Standard No. 8996:2021) (2021).
- International Organization for Standardization. Ergonomics of the thermal environment — Estimation of thermal insulation and water vapor resistance of a clothing ensemble (ISO Standard No. 9920:2007) (2007).
- Liddell, C.; Morris, C. Fuel poverty and human health: A review of recent evidence. *Energy Policy* 2010, 38, 2987–2997.
- Liddell, C.; Morris, C.; Thomson, H.; Guiney, C. Excess winter deaths in 30 European countries 1980–2013: A critical review of methods. *J. Public Health* 2016, 38, 806–814.
- Marmot Review Team. *The Health Impacts of Cold Homes and Fuel Poverty*; Friends of the Earth and the Marmot Review Team: London, UK, 2011.
- Ormandy, D.; Ezratty, V. Health and thermal comfort: From WHO guidance to housing strategies. *Energy Policy* 2012, 49, 116–121.
- Osman, L.M.; Ayres, J.G.; Garden, C.; Reglitz, K.; Lyon, J.; Douglas, J.G. Home warmth and health status of COPD patients. *Eur. J. Public Health* 2008, 18, 399–405.

Rudge, J.; Gilchrist, R. Excess winter morbidity among older people at risk of cold homes: A population-based study in a London borough. *J. Public Health* 2005, 27, 353–358.

Santos, Carlos; Matias, Luís. “Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos Da Envolvente Dos Edifícios.” LNEC, 2006.

THESEUS-FE. “Passenger Thermal Comfort Simulation | Automotive.” Acedido a 26 de Agosto de 2022. <https://www.theseus-fe.com/application-areas/automotive/passenger-comfort>.

Thomson, H.; Snell, C. Quantifying the prevalence of fuel poverty across the European Union. *Energy Policy* 2013, 52, 563–572.

Wikipedia. “Energy Poverty,” Acedido a 26 de Outubro de 2022. https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Energy_poverty&oldid=1118386940.

Anexos

Anexo A – Envolvente

Para o edifício em questão existiu a necessidade de dimensionar paredes exteriores, cobertura inclinada, paredes de compartimentação interna, pavimento em contacto com o solo e de compartimentação interna, portas exteriores e vãos envidraçados. A janela do *DesignBuilder* que contempla estas opções pode ser vista a título de exemplo na Figura A 1, onde foram introduzidas as soluções construtivas dimensionadas presentes na Tabela 3.1 do Capítulo 3.

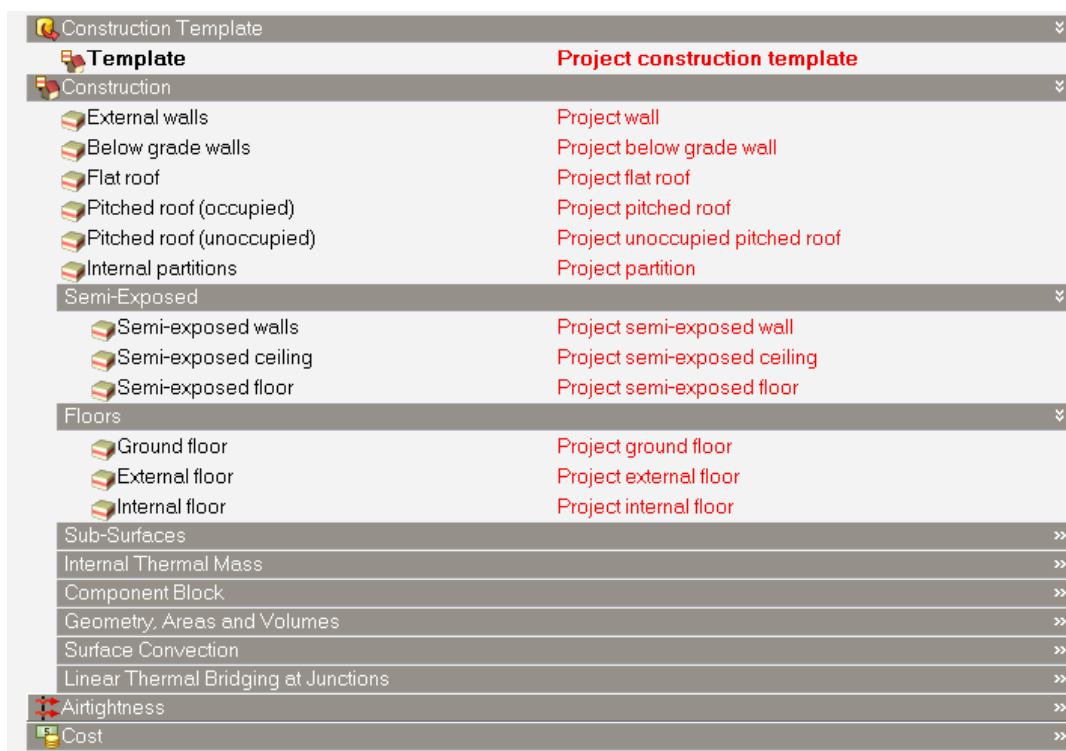


Figura A 1 – Janela “construction” Design Builder.

Envolvente Opaca

As soluções utilizadas são foram as comuns na indústria e foram determinadas com uma opinião critica de forma que estivessem bem enquadradas com a tipologia da habitação. Foram seleccionadas de acordo com a publicação do Laboratório Nacional de Engenharia Civil: ITE 50

– Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios (Santos e Matias, 2006). Esta publicação indica também as propriedades dos materiais sendo estas necessárias para que o *DesignBuilder* possa realizar o cálculo do coeficiente global de transmissão térmica.

Quando no Capítulo 3 se realizou a reabilitação da envolvente admitiu-se que as soluções construtivas deviam cumprir a legislação em vigor. Para esse efeito consultou-se a tabela 96 do Manual Técnico para a Avaliação do Desempenho Energético dos Edifícios disponibilizado pela ADENE, reproduzida na, Tabela A 1 abaixo.

Tabela A 1 – Valores máximos de coeficientes de transmissão térmica em edifícios de habitação.

U_{ref} [W/(m ² .°C)]		Zona Climática					
Envolvente		Portugal Continental			Regiões Autónomas		
		I1	I2	I3	I1	I2	I3
Condição fronteira exterior ou interior com $b_{ztu} > 0,7$	Elementos opacos verticais	0,50	0,40	0,35	0,70	0,60	0,45
	Elementos opacos horizontais	0,40	0,35	0,30	0,45	0,40	0,35
Condição fronteira interior com $b_{ztu} \leq 0,7$	Elementos opacos verticais	0,80	0,70	0,60	0,90	0,80	0,70
	Elementos opacos horizontais	0,60	0,60	0,50	0,70	0,70	0,60
Vão envidraçados		2,80	2,40	2,20	2,80	2,40	2,20
Elementos em contacto com o solo			0,50		0,50		

Anexo B – Cargas Internas

Procurou-se dar informação referente às cargas térmicas de cada espaço, atribuindo uma ocupação a cada divisão bem como os seus respetivos perfis e dimensionando potências de equipamentos e iluminação. Para dimensionar as potências dos equipamentos recorreu-se a tabelas presentes na publicação *ASHRAE (2021) Handbook Fundamentals* que apresentam as cargas térmicas internas de equipamentos consoante o tipo de espaço e onde através do tipo de equipamentos é possível retirar valores de utilização médios para a potência, escolhendo sempre o maior valor entre os diferentes modelos de cada equipamento. Procurou-se, então, dimensionar os equipamentos principais a considerar na habitação e foi atribuído a cada espaço quando necessário uma lista de equipamentos, Tabela A 2.

Tabela A 2 – Lista de equipamentos e respetivas potências (W).

Divisão	Equipamento	Potência (W)
Cozinha	Frigorífico vertical	430
	Arca Congeladora vertical	147
	Micro Ondas	293
	Forno	645
	Máquina Louça	1900
Sala 01	Televisão	106
	Consolas	200
Quarto 01	Televisão	106

De seguida, foram introduzidos os dados referentes à iluminação de cada espaço. Para simplificação da escolha das soluções de iluminação foram simulados um conjunto de espaços: Cozinha, Sala, Hall de Entrada, I.S.O.1, Quarto 01 e, através das soluções obtidas para estes espaços, foi transposta a densidade de potência (W/m^2) para os restantes espaços da habitação que partilhem a mesma tipologia. Para realizar a simulação da iluminação foi utilizado o *software DIALUX*.

Através do *software DIALUX* é possível definir o acabamento superficial das paredes. Admitiram-se as paredes pintadas com a cor 9006 (*White aluminium*) com um fator de reflexão de 84% e um revestimento de reflexão de 0%. Para o pavimento considerou-se uma superfície

de *oak wood*- 22 com um fator de reflexão de 40% e revestimento de reflexão de 3%. Para os vãos envidraçados considerou-se janelas retangulares com divisória a meio com caixilharia *standart* com um fator de reflexão de 70% e envidraçado transparente com um fator de reflexão 10%. As soluções dimensionadas devem oferecer boas condições de conforto, consumo energético e funcionalidade; para isso foi consultada a Portaria n.º 17-A/2016 e a norma EN 12464-1 onde podemos verificar os requisitos gerais e específicos para os parâmetros de iluminação para edifícios de comércio e serviços. Apesar da tipologia do nosso projeto ser diferente e não estar condicionada pelas regras presentes na portaria, é um bom termo de comparação para que sejam dimensionadas soluções com bons critérios. Tendo como base os documentos referidos, os valores máximos admissíveis de iluminância não poderão exceder em mais de 30% os valores presentes no ponto 5.3 “Requisitos de iluminação para espaços interiores, tarefas e atividades” da norma EN 12464-1. As potências dos sistemas de iluminação a instalar não podem exceder os valores indicados pela Tabela I.28 da Portaria acima. Seguidamente, na Tabela A 3, são enunciados os resultados do dimensionamento.

Tabela A 3 – Resultados do cálculo de iluminação.

Divisão	Lx Pretendido	Lx Obtido	Densidade (W/m ²)	Densidade (W/m ² /100lx)
Cozinha	500	591	5.46	0.92
Sala	300	358	3.23	0.9
I.S.0.1	200	226	5.1	2.26
Quarto 01	200	200	2.03	1.01