



ESTUDO DO IMPACTO DA IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO CONFORTO TÉRMICO E NOS SISTEMAS TÉCNICOS NUMA MORADIA UNIFAMILIAR EXISTENT

RENATA FILIPA DE JESUS PEREIRA

Junho de 2023

**ESTUDO DO IMPACTO DA IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS
DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO CONFORTO TÉRMICO E
NOS SISTEMAS TÉCNICOS NUMA MORADIA UNIFAMILIAR
EXISTENTE**

ESTUDO DO IMPACTO DA IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO CONFORTO TÉRMICO E NOS SISTEMAS TÉCNICOS NUMA MORADIA UNIFAMILIAR EXISTENTE

Renata Filipa de Jesus Pereira

2023

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica

isep

P.PORTO

ESTUDO DO IMPACTO DA IMPLEMENTAÇÃO DE MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO CONFORTO TÉRMICO E NOS SISTEMAS TÉCNICOS NUMA MORADIA UNIFAMILIAR EXISTENTE

Renata Filipa de Jesus Pereira

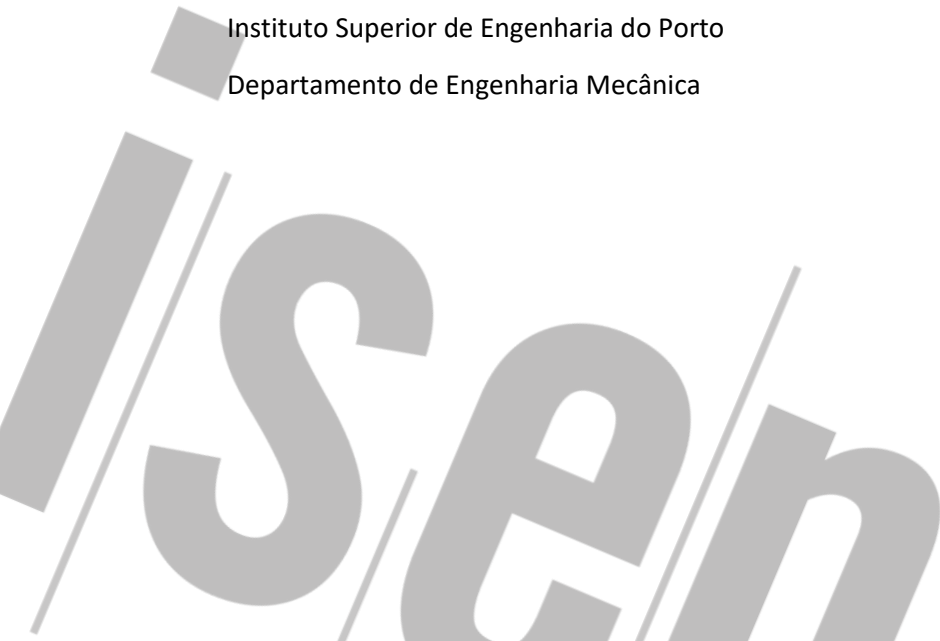
1160983

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação do Professor Doutor Leonardo Silva Ribeiro e coorientação do Eng.º Joaquim Fernandes Monteiro.

2023

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica



AGRADECIMENTOS

A realização desta dissertação foi possível através da colaboração, incentivo e disponibilidade de várias pessoas e entidades, sem as quais todo o processo teria sido mais difícil de concretizar. A todos quero expressar o meu mais sincero agradecimento, expressando em particular:

- Ao Engenheiro Leonardo Ribeiro, meu orientador, por ter aceitado o meu convite e por todas as sugestões, motivação e disponibilidade demonstradas ao longo do trabalho desenvolvido;
- Ao Engenheiro Joaquim Monteiro, meu coorientador, pelas sugestões, sabedoria, disponibilidade, paciência e pelos desafios propostos, que permitiram o desenvolvimento e conclusão da dissertação;
- À Engenheira Marina Duarte por todo o apoio, motivação e disponibilidade em ajudar nos momentos de algum desalento;
- À minha família, em especial aos meus pais, ao meu irmão e à minha avó por serem a minha inspiração e por todo o apoio, força, incentivo, ajuda e compreensão, sem os quais seria impossível concluir este trabalho;
- À minha amiga Carolina, por todo o apoio e otimismo transmitidos durante estes meses;
- Ao meu colega e amigo Leandro Oliveira por toda a ajuda fornecida ao longo desta dissertação;
- Ao Engenheiro Miguel Dias da empresa *Cortizo* e ao Engenheiro Justino Santos da empresa *Gercima*, pela disponibilidade e fornecimento de documentações técnicas que foram importantes para o desenvolvimento deste trabalho;

página propositadamente em branco

RESUMO

A eficiência energética e a sustentabilidade são temas que têm assumido cada vez mais destaque em discussões e acordos mundiais, perspetivando-se a redução do consumo energético pelo setor residencial e a contribuição por um ambiente mais sustentável. Nesse sentido, na presente dissertação é realizado um estudo sobre o desempenho energético de uma moradia construída na década de 60 na cidade da Trofa, objetivando-se melhorias no desempenho energético e térmico. A análise do seu desempenho energético é fundamentada no comportamento térmico dos seus elementos construtivos e na eficiência dos seus sistemas técnicos. Para isso, numa primeira fase do desenvolvimento faz-se um levantamento arquitetónico da moradia em estudo através do *software Sketchup* e recorrendo à ferramenta de cálculo *EnergyPlus* e à plataforma *OpenStudio* define-se a moradia nomeadamente no que respeita aos elementos construtivos, equipamentos e respetivos perfis de utilização, número de ocupantes e perfis de ocupação. Posteriormente, realiza-se uma análise do comportamento térmico e energético da habitação e do conforto térmico dos habitantes para o caso real, através de duas metodologias: análise da temperatura de bolbo seco do ar interior e análise dos valores de percentagem prevista de pessoas insatisfeitas. De seguida, sequencialmente são propostos métodos de reabilitação da moradia e verifica-se que através da introdução 9 cm de lã de rocha na laje de cobertura dos espaços úteis, 8 cm de poliestireno expandido na parede exterior dos espaços úteis, substituição integral dos vãos envidraçados por elementos novos e a instalação de um recuperador de calor de fluxos cruzados, é possível garantir um ambiente termicamente confortável e saudável sem depender de equipamentos específicos para climatização. De seguida, é analisado o efeito no consumo de água quente sanitária, resultante da substituição do chuveiro e torneiras existentes por dispositivos hidricamente mais eficientes. Com vista a perceber sob o ponto de vista económico qual o sistema de produção de água quente sanitária mais adequado para a moradia, analisa-se 16 cenários distintos, concluindo-se que o esquentador a gás natural deve ser a primeira opção. Por último, efetua-se uma análise das emissões de dióxido de carbono e verifica-se que o sistema economicamente mais rentável permite uma diminuição de 36% face ao sistema atualmente implementado.

PALAVRAS-CHAVE

Eficiência energética; Conforto térmico; Emissões de CO₂; Investimento; Simulação Dinâmica.

página propositadamente em branco

ABSTRACT

The global stage is currently engaged in extensive discussions and agreements concerning the critical themes of energy efficiency and sustainability. The imperative to reduce energy consumption in the residential sector and contribute to a more environmentally friendly world has gained significant momentum. This dissertation examines the energy performance of a house constructed in the 1960s in Trofa, Portugal, with the objective of enhancing both energy and thermal efficiency. The analysis of the property's energy performance is based on an investigation into the thermal behavior of its structural elements and the effectiveness of its technical systems. Initially, an architectural survey of the property is conducted using Sketchup software. Subsequently, employing the EnergyPlus calculation tool and the OpenStudio platform, the dissertation defines the construction elements, equipment, profiles, usage patterns, number of occupants, and occupancy profiles of the property. Following this, the dwelling's thermal and energy behavior, as well as the occupants' thermal comfort, are analyzed using two methodologies: examination of the dry bulb temperature of the indoor air and evaluation of the predicted percentage of dissatisfied occupants. Sequentially, a series of rehabilitation methods are proposed for the property. These include the introduction of 9cm of rock wool insulation in the slab covering the living spaces, 8cm of expanded polystyrene insulation in the external walls of the living spaces, replacement of the existing glazed elements with new ones, and the installation of a cross-flow heat exchanger. These measures ensure a thermally comfortable and healthy environment without the need for specific air conditioning equipment. Furthermore, the study scrutinizes the impact of replacing the existing shower fixtures and faucets with more water-efficient devices on domestic hot water consumption. An economic evaluation is performed to determine the most suitable domestic hot water production system for the property. Through the analysis of 16 different scenarios, it is concluded that a natural gas water heater should be the preferred option. Finally, a comprehensive analysis of carbon dioxide emissions is conducted, revealing that the most economically viable system allows for a significant 36% reduction compared to the currently implemented system.

KEYWORDS

Energy efficiency; Thermal behavior; Carbon dioxide emissions; Investment; Dynamic system simulation

página propositadamente em branco

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABELAS	XI
LISTAS DE SIGLAS E SÍMBOLOS	XV
GLOSSÁRIO	XIX
1. INTRODUÇÃO	21
1.1. Enquadramento e Motivação	21
1.2. Objetivos da dissertação	21
1.3. Opções Metodológicas	22
1.4. Estrutura do Trabalho	22
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	25
2.1. Conforto Térmico em Edifícios	25
2.1.1. Considerações Gerais	25
2.1.2. Comparação de normas de conforto térmico.....	25
2.1.3. Conforto Térmico Adaptativo	27
2.2. Otimização do Desempenho Energético Associado à Envolvente	27
2.2.1. Enquadramento Regulamentar.....	28
2.2.2. Reabilitação de paredes.....	29
2.2.3. Reabilitação de coberturas inclinadas	32
2.2.4. Reabilitação do pavimento	33
2.2.5. Reabilitação dos vãos envidraçados	33
2.3. Otimização do desempenho energético associado a sistemas técnicos.....	35
2.3.1. Conceitos básicos	35
2.3.2. Redução do consumo de AQS	37
2.3.3. Instalação de um sistema solar térmico	37
2.3.4. Bomba de calor	45
2.3.5. Termoacumulador elétrico	46
2.3.6. Esquentador	47
2.3.7. Caldeira	47
2.3.8. Caldeira, salamandra e recuperador de calor a biomassa.....	48
2.3.9. Fogão a biomassa.....	51
2.3.10. Principais fontes de energia térmica.....	52
2.4. Critérios para avaliação de investimentos	52
2.5. <i>Software</i> de simulação dinâmica.....	53
3. MÉTODOS E APLICAÇÃO	55
3.1. Apresentação do caso de estudo	55
3.2. Localização e dados climáticos.....	56
3.2.1. Identificação e caracterização da envolvente.....	58

3.2.2. Sistemas técnicos de AVAC	60
3.2.3. Consumo energético – edifício existente.....	61
3.3. Simulação do caso de estudo	61
3.4. Análise do conforto térmico.....	64
3.5. Introdução de medidas de melhoria na envolvente	64
3.5.1. Aplicação de isolamento térmico na laje de cobertura [CI1].....	65
3.5.2. Aplicação de isolamento térmico na parede exterior [PEXT1]	65
3.5.3. Aplicação de isolamento térmico na laje de pavimento [LJ1 E LJ2].....	65
3.5.4. Substituição dos vãos envidraçados [VE1 a VE7, VE11 e VE12].....	66
3.6. Introdução de medidas de melhoria nos sistemas técnicos	68
3.6.1. Redução do consumo de AQS	68
3.6.2. Equipamentos de produção AQS	68
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	71
4.1. Apresentação de resultados.....	71
4.1.1. Consumos energéticos sem implementação de medidas de melhoria	71
4.1.2. Análise de desconforto térmico: Caso Real	72
4.1.3. Análise do desconforto térmico: Aplicação de isolamento em CI1	73
4.1.4. Análise de desconforto térmico: Aplicação de isolamento em PEXT1	74
4.1.5. Análise de desconforto térmico: Aplicação de isolamento em LJ1 e LJ2.....	75
4.1.6. Análise de desconforto térmico: Substituição dos Vãos Envidraçados	76
4.1.7. Estimativa Orçamental: Melhoria da Envolvente e da Qualidade do Ar Interior	79
4.1.8. Análise do aumento da eficiência hídrica dos dispositivos de AQS.....	80
4.1.9. Análise energética de sistemas alternativos de produção AQS.....	80
4.1.10. Impacto Ambiental: sistemas alternativos de produção AQS.....	82
4.1.11. Estimativa Orçamental: Sistemas alternativos de produção AQS.....	83
4.1.12. Avaliação de Investimento: Sistemas alternativos de produção AQS.....	83
4.2. Discussão de resultados	84
5. CONCLUSÃO	95
5.1. Conclusões finais	95
5.2. Limitações e trabalhos futuros.....	96
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	97
APÊNDICE A – PLANTA DA MORADIA E IDENTIFICAÇÃO DAS ENVOLVENTE	103
APÊNDICE B – DETERMINAÇÃO BZTU E DELIMITAÇÃO DA ENVOLVENTE	104
APÊNDICE C – CARACTERIZAÇÃO DA ENVOLVENTE.....	107
APÊNDICE D – INÉRCIA TÉRMICA	109
APÊNDICE E – CÁLCULO DOS VALORES DE TRANSMISSIBILIDADE TÉRMICA DA ENVOLVENTE.....	113
APÊNDICE F – FOLHA DE CÁLCULO: RPH DA MORADIA (FONTE: LNEC)	118
APÊNDICE G – ANÁLISE TÉRMICA DOS VÃOS ENVIDRAÇADOS PROPOSTOS	120

APÊNDICE H – FOLHA DE CÁLCULO: RPH DA MORADIA RESULTANTE DA SUBSTITUIÇÃO DOS VÃOS ENVIDRAÇADOS.....	123
APÊNDICE I – ESTIMATIVA ORÇAMENTAL: SISTEMAS ALTERNATIVOS PARA PRODUÇÃO AQS.....	125
APÊNDICE J – ANÁLISE DE INVESTIMENTO	130
ANEXO A – FICHAS TÉCNICAS DOS VIDROS.....	137
ANEXO B – FICHA TÉCNICA DO VENTILADOR DE EXTRAÇÃO	140
ANEXO C – FICHA TÉCNICA DO RECUPERADOR DE CALOR	142

página propositadamente em branco

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Gráfico PPD/PMV (adaptado de [4]).	26
Figura 2 – Composição sistema ETICS (adaptado)[13].	30
Figura 3 – Representação esquemática de uma fachada ventilada (adaptado de [17]).	31
Figura 4 – Esquematização de isolamento de paredes pelo interior através de contra fachada [19].	32
Figura 5 – Isolamento térmico na cobertura: desvão habitado (esquerda) e desvão sem aproveitamento (direita) [22].	33
Figura 6 – Efeito da temperatura e desenvolvimento da <i>Legionella</i> (adaptado) [30].	36
Figura 7 – Composição de um coletor solar plano (adaptado) [38].	39
Figura 8 – Composição de um coletor solar de tubos de vácuo (adaptado) [40].	39
Figura 9 – Esquema de funcionamento sistema termossifão (esquerda) e instalação-tipo termossifão (direita).	41
Figura 10 – Exemplos de sistema de controlo circuito solar [41].	44
Figura 11 – Caixa de regulação para instalação solar [49].	44
Figura 12 – Ciclo de Carnot (adaptado de [51]).	45
Figura 13 – Esquentador a gás (esquerda) e esquematização dos componentes de um esquentador de extração forçada (direita) [53, 54].	47
Figura 14 – Diferença esquemática entre o funcionamento de uma caldeira convencional (esquerda) e de condensação (direita) (Adaptado de: [56]).	48
Figura 15 – Caldeira a <i>pellets</i> (esquerda), salamandra a <i>pellets</i> (centro), recuperador de calor a <i>pellets</i> canalizável (direita) [58, 59, 60].	49
Figura 16 – Esquematização de um recuperador de calor a <i>pellets</i> [61].	49
Figura 17 – Esquema de instalação de um recuperador de calor adaptado para produção de AQS e aquecimento central [61].	50
Figura 18 – Componentes de Caldeira a <i>pellets</i> (Adaptado de [62]).	50
Figura 19 – Fogão a <i>pellets</i> (esquerda) e esquema de instalação de fogão adaptado para produção de AQS e Aquecimento Central (direita) [64, 65].	51
Figura 20 - Planta Rés-do-Chão.	56
Figura 21 - Representação 3D da moradia: alçado norte e este (esquerda) e alçado sul e este (direita).	56
Figura 22- Distância da moradia à costa marítima (fonte: Google Earth).	57
Figura 23 - Estação convencional de aquecimento, meia estação e estação de arrefecimento.	57
Figura 24 - Consumo real de energia final mensal (kWh) registado ao longo do ano de 2022.	61
Figura 25 - Perfil de consumo de AQS considerado.	68
Figura 26 - ΔT considerado para a determinação da energia útil anual solicitada para AQS.	71
Figura 27 - Alteração consumo diário de água quente devido à aplicação de torneiras de elevada eficiência hídrica.	80
Figura 28 - Alteração consumo anual de água quente devido à aplicação de torneiras de elevada eficiência hídrica.	80
Figura 29 - Variação da percentagem de horas de desconforto térmico resultantes da aplicação de isolamento térmico (estação convencional de aquecimento).	85

Figura 30 - Variação dos valores de PPD médio resultantes da aplicação de isolamento térmico (estação convencional de aquecimento).	85
Figura 31 - Variação da percentagem de horas de desconforto térmico resultantes da aplicação de isolamento térmico (estação de arrefecimento).	86
Figura 32 - Variação dos valores de PPD médio resultantes da aplicação de isolamento térmico (estação de arrefecimento).	86
Figura 33 - Variação da percentagem de horas de desconforto térmico resultantes da aplicação de isolamento térmico (anual).	87
Figura 34 - Variação dos valores de PPD médio resultantes da aplicação de isolamento térmico (anual).	87
Figura 35 – Variação da percentagem de horas de desconforto térmico resultantes da substituição dos vãos envidraçados (estação convencional de aquecimento).	88
Figura 36 - Variação dos valores de PPD resultantes da substituição dos vãos envidraçados (estação convencional de aquecimento).	89
Figura 37 – Variação da percentagem de horas de desconforto térmico resultantes da substituição dos vãos envidraçados (estação de arrefecimento).	89
Figura 38 - Variação dos valores de PPD resultantes da substituição dos vãos envidraçados (estação de arrefecimento).	90
Figura 39 - Variação da percentagem de horas de desconforto térmico resultantes da substituição dos vãos envidraçados (anual).	90
Figura 40 - Variação dos valores de PPD resultantes da substituição dos vãos envidraçados (anual).	91
Figura 41 - Balanço energético anual para dois coletores solar de tubos de vácuo (excerto do relatório de simulação obtido pelo <i>excel</i> / SCE.ER)	93
Figura 42 - Redução das emissões CO ₂ resultantes da substituição do sistema atual por sistemas alternativos.	94
Figura 43 - Identificação das paredes.	103
Figura 44 - Identificação das lajes de pavimento.	103
Figura 45 - Identificação das lajes de cobertura.	103
Figura 46 - Identificação dos vãos envidraçados e dispositivos de proteção solar.	103
Figura 47 - Tabela auxiliar para o cálculo do b_{ztu} [11].	104
Figura 48 – Condições fronteira (paredes).	105
Figura 49 - Condições fronteira (lajes de pavimento).	105
Figura 50 - Condições fronteira (lajes de cobertura).	106
Figura 51 - Valores de condutibilidade térmica para pavimentos em contacto com o solo (excerto da tabela em [11]).	113

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Níveis de PMV e respetiva sensação térmica.	26
Tabela 2 – $U_{máx.}$ para envolvente opaca de edifícios de habitação (zonamento climático I1).....	28
Tabela 3 – Comparação entre materiais para caixilharia.....	34
Tabela 4 – Rótulos de eficiência hídrica.....	37
Tabela 5 – Comparação coletor solar de placa plano e coletor solar de tubos de vácuo.....	39
Tabela 6 – Comparação entre circulação passiva e forçada.	41
Tabela 7 - Consumo de energia (%) em sistemas de AQS no setor residencial em Portugal por tipo de fonte de energia.....	52
Tabela 8 - Principais fontes de energia.	52
Tabela 9 - Enumeração dos compartimentos da moradia (rés-do-chão) e indicação da área útil e tipo de espaço.....	55
Tabela 10 - Condições Exteriores de Projeto.	57
Tabela 11 - Coeficiente de transmissibilidade térmica da envolvente opaca do edifício e verificação de cumprimento de requisitos térmicos.....	58
Tabela 12 – Análise dos vãos envidraçados por fachada.	59
Tabela 13 - Propriedades dos vãos envidraçados.	60
Tabela 14 - Dispositivos de proteção solar, respetiva resistência térmica e fator solar considerando o dispositivo de proteção solar totalmente ativado ($g_{tot,vc}$).....	60
Tabela 15 - Densidade de iluminação considerada na simulação.....	63
Tabela 16 - Ganho de calor resultante do funcionamento dos equipamentos.	63
Tabela 17 - Quantidade total de horas de ocupação analisadas por compartimento.....	64
Tabela 18 - U_f de quatro tipos de caixilho.....	66
Tabela 19 - Propriedades dos envidraçados em estudo.	66
Tabela 20 - Eficiência dos equipamentos de produção de AQS consideradas para o cálculo da energia final.....	69
Tabela 21 - Consumo anual de energia primária e final sem implementação de medidas de melhoria.	72
Tabela 22 - Temperaturas médias interior registadas durante a estação convencional de aquecimento e estação de arrefecimento.	72
Tabela 23 – Registo de horas de desconforto térmico [%] (Sem implementação de medidas de melhoria).....	72
Tabela 24 - Valores de PPD para a cozinha e para a sala (sem implementação de medidas de melhoria).....	73
Tabela 25 - Valores de PPD para os quartos das 23h às 7h (sem implementação de medidas de melhoria).....	73
Tabela 26 - Valores de PPD para os quartos: restante horário de ocupação (sem implementação de medidas de melhoria).	73
Tabela 27 - Registo de horas de desconforto térmico [%] (aplicação de isolamento em C11).	73
Tabela 28 - Valores de PPD para a cozinha e para a sala-de-estar/sala-de-jantar (aplicação de isolamento em C11).	74
Tabela 29 - Valores de PPD para os quartos das 23h às 7h (aplicação de isolamento em C11).	74
Tabela 30 - Valores de PPD para os quartos: restante horário (aplicação de isolamento em C11).	74

Tabela 31 - Registo de horas de desconforto térmico [%] (aplicação de isolamento em CI1 e PEXT1).	74
Tabela 32 - Valores de PPD para a cozinha e para a sala-de-estar/sala-de-jantar (aplicação de isolamento em CI1e PEXT1).	75
Tabela 33 - Valores de PPD para os quartos das 23h às 7h (aplicação de isolamento em CI1 e PEXT1).	75
Tabela 34 - Valores de PPD para os quartos: restante horário (aplicação de isolamento em CI1 e PEXT1).	75
Tabela 35 - Registo de horas de desconforto térmico [%] (aplicação de isolamento em CI1, PEXT1, LJ1 e LJ2).	76
Tabela 36 - Valores de PPD para a cozinha e sala-de-estar/sala-de-jantar (aplicação de isolamento em CI1, PEXT1, LJ1 e LJ2).	76
Tabela 37 - Valores de PPD para os quartos das 23h às 7h (aplicação de isolamento em CI1, PEXT1, LJ1 e LJ2).	76
Tabela 38 - Valores de PPD para os quartos: restante horário (aplicação de isolamento em CI1, PEXT1, LJ1 e LJ2).	76
Tabela 39 - Registo de horas de desconforto térmico [%] (aplicação de isolamento em CI1 e PEXT1 e substituição dos vãos envidraçados).	77
Tabela 40 - Valores de PPD para a cozinha e sala-de-estar/sala-de-jantar (aplicação de isolamento em CI1 e PEXT1 e substituição dos vãos envidraçados).	77
Tabela 41 - Valores de PPD para os quartos das 23h às 7h (aplicação de isolamento em CI1 e PEXT1 e substituição dos vãos envidraçados).	77
Tabela 42 - Valores de PPD para os quartos: restante horário (aplicação de isolamento em CI1 e PEXT1 e substituição dos vãos envidraçados).	78
Tabela 43 - Registo de horas de desconforto térmico [%] (aplicação de isolamento em CI1 e PEXT1 e instalação de VE1 e de um recuperador de calor de fluxos cruzados).	78
Tabela 44 - Valores de PPD para a cozinha e sala-de-estar/sala-de-jantar (aplicação de isolamento em CI1 e PEXT1 e instalação de VE1 e de um recuperador de calor de fluxos cruzados).	79
Tabela 45 - Valores de PPD para os quartos das 23h às 7h (aplicação de isolamento em CI1 e PEXT1 e instalação de VE1 e de um recuperador de calor de fluxos cruzados).	79
Tabela 46 - Valores de PPD para os quartos: restante horário (aplicação de isolamento em CI1 e PEXT1 e instalação de VE1 e de um recuperador de calor de fluxos cruzados).	79
Tabela 47 - Estimativa orçamental para melhoria da envolvente e qualidade do ar interior.	79
Tabela 48 - Coletor solar de tubos de vácuo vs coletor solar plano.	80
Tabela 49 - Balanço energético da instalação de um sistema solar tipo termossifão.	81
Tabela 50 – Balanço energético da instalação de um sistema solar tipo circulação forçada.	81
Tabela 51 - Energia final necessária para instalações sem equipamento solar.	82
Tabela 52 - Emissões de CO ₂ resultantes da instalação de sistemas de AQS alternativos.	82
Tabela 53 - Estimativa orçamental dos sistemas de produção de AQS proposto (resumo).	83
Tabela 54 - Análise de investimento: Sistemas alternativos de produção de AQS.	83
Tabela 55 - Variação dos valores de PPD e desvio padrão após aplicação da solução final em comparação com o caso real.	92
Tabela 56 - Valores de PPD para a cozinha e sala-de-estar/sala-de-jantar (aplicação de isolamento em CI1 e PEXT1 e instalação de VE2 e de um recuperador de calor de fluxos cruzados).	92

Tabela 57 - Valores de PPD para os quartos: das 23h às 7h (aplicação de isolamento em CI1 e PEXT1 e instalação de VE2 e de um recuperador de calor de fluxos cruzados).	93
Tabela 58 - Valores de PPD para os quartos: restante horário (aplicação de isolamento em CI1 e PEXT1 e instalação de VE2 e de um recuperador de calor de fluxos cruzados).	93
Tabela 59 - Determinação do valor de b_{ztu} do ENU1.....	104
Tabela 60 - Determinação do valor de b_{ztu} do ENU2.....	105
Tabela 61 - Constituição da envolvente.....	107
Tabela 62 - Cálculo da Inércia Térmica.....	110
Tabela 63 - Constituição de LJ3.....	113
Tabela 64 - Determinação de U_{bf} de LJ3.....	114
Tabela 65 - Determinação de U de LJ4.....	114
Tabela 66 - Determinação de U_{bf} de LJ4.....	114
Tabela 67 - Determinação de U de PEXT1.....	114
Tabela 68 - Determinação de U de PEXT2.....	115
Tabela 69 - Determinação de U de PI1.....	115
Tabela 70 - Determinação de U de PCI1.....	115
Tabela 71 - Determinação de U de LJ1 (fluxo ascendente/fluxo descendente)..	116
Tabela 72 - Determinação de U de LJ2 (fluxo ascendente/fluxo descendente)..	116
Tabela 73 - Determinação de U de CI1 (fluxo ascendente/fluxo descendente).	116
Tabela 74 - Determinação de U de CI2 (fluxo ascendente/fluxo descendente).	117
Tabela 75 - Determinação de U de CE (Fluxo Ascendente/Fluxo Descendente).	117
Tabela 76 - Verificação do cumprimento de $U_{m\acute{a}x}$. pelos novos vãos envidraçados propostos.....	121
Tabela 77 - Valores de g_{tot} para os vãos envidraçados.....	122
Tabela 78 - Cálculo dos valores de F_o e F_f	122
Tabela 79 - Verificação do cumprimento do fator solar pelos novos vãos envidraçados propostos.	122
Tabela 80 - Estimativa Orçamental: Sistema termossifão + Resistência elétrica integrada no depósito de acumulação.	125
Tabela 81 - Estimativa Orçamental: Sistema termossifão + Esquentador.....	125
Tabela 82 - Estimativa Orçamental: Sistema Solar Circulação Forçada + Resistência elétrica integrada no depósito de acumulação.....	125
Tabela 83 - Estimativa Orçamental: Sistema Solar Circulação Forçada + Esquentador.....	126
Tabela 84 - Estimativa Orçamental: Sistema Solar Circulação Forçada + Caldeira a Gás.	126
Tabela 85 - Estimativa Orçamental: Sistema Solar Circulação Forçada + Caldeira a Pellets.....	127
Tabela 86 - Estimativa Orçamental: Sistema Solar Circulação Forçada + Bomba de Calor Ar-Água.	127
Tabela 87 - Estimativa Orçamental: Termoacumulador elétrico.	128
Tabela 88 - Estimativa Orçamental: Esquentador.....	128
Tabela 89 - Estimativa Orçamental: Caldeira a Gás Natural.	128
Tabela 90 - Estimativa Orçamental: Caldeira a Pellets.....	128
Tabela 91 – Estimativa orçamental: Bomba de Calor.	129
Tabela 92 – Fluxo de Caixa: Sistema solar tipo termossifão + Resistência elétrica integrada no depósito de acumulação.	131
Tabela 93 - Fluxo de Caixa: Sistema solar tipo termossifão + Esquentador.	131

Tabela 94 - Fluxo de Caixa: Sistema solar tipo circulação forçada + Resistência elétrica integrada no depósito de acumulação.	132
Tabela 95 - Fluxo de Caixa: Sistema solar tipo circulação forçada + Esquentador.	132
Tabela 96 - Fluxo de Caixa: Sistema solar tipo circulação forçada + Caldeira a gás natural.	133
Tabela 97 - Fluxo de Caixa: Sistema solar tipo circulação forçada + Caldeira a <i>pellets</i>	134
Tabela 98 - Fluxo de Caixa: Sistema solar tipo circulação forçada + Bomba de Calor Ar-Água.	134
Tabela 99 - Fluxo de Caixa: Termoacumulador Elétrico 150 litros.	135
Tabela 100 - Fluxo de Caixa: Esquentador e Caldeira a Gás Natural.	135
Tabela 101 - Fluxo de Caixa: Caldeira a Pellets.	136
Tabela 102 - Fluxo de Caixa: Bomba de Calor Ar-Água.	136

LISTAS DE SIGLAS E SÍMBOLOS

Lista de Siglas

ANQIP	Associação Nacional para a Qualidade das Instalações Prediais
AQS	Água quente sanitária
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i>
AVAC	Aquecimento, ventilação e ar condicionado
CE	Cobertura exterior
CI	Laje de cobertura
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
DGEG	Direção Geral de Energia e Geologia
DPS	Dispositivo de proteção solar
EL	Elemento
EPBD	<i>Energy performance of building directive</i>
EPS	Poliestireno
ETICS	<i>External thermal insulation composite system</i>
ϵ -low	Baixa emissibilidade
Flx.asc	Fluxo ascendente
Flx.dsc	Fluxo descendente
ICB	Aglomerado negro de cortiça expandida
LJ	Laje de pavimento
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
MW	Lã mineral
N/A	Não aplicável
N/D	Não definido
NO _x	Óxido de azoto
NZEB	<i>Zero energy building</i>
PADJ	Parede Meeira
PCI	Poder calorífico inferior
PCI	Parede de compartimentação interior
PE	Polietileno
PEXT	Parede exterior
PI	Parede interior
PIR	Poli-isocianurato
PMV	<i>Predicted mean vote</i>
PPD	<i>Predicted percentage dissatisfied</i>
PRTE	Porta exterior
PRTI	Porta interior

PTP	Ponte térmica plana
PUR	Poliuretano
PVC	Policloreto de vinila
VE	Vão envidraçado
XPS	Poliestireno extrudido

Lista de Símbolos

A	área útil do coletor solar	m^2
$A_{env,espaço}$	área de envidraçado no espaço	m^2
A_f	área do caixilho	m^2
A_g	área de vidro	m^2
A_i	área da superfície que separa um espaço interior útil de um espaço interior não útil	m^2
A_p	área interior útil de pavimento	m^2
$A_{p,solo}$	área interior útil de pavimento em contacto com o solo	m^2
A_{pav}	área de pavimento	m^2
A_u	área da superfície que separa um espaço interior não útil do exterior	m^2
A_W	área do vão envidraçado	m^2
B'	dimensão característica do pavimento em contato com o solo	m
$bztu$	coeficiente de redução de perdas	—
$C + R$	calor sensível perdido pela pele	W/m^2
c	calor específico	$kJ/(kg \cdot ^\circ C)$
C_{AqS}	consumo anual de aqs	l/ano
COP	<i>coefficient of performance</i>	—
C_{res}	taxa de calor convectivo perdido pela respiração	W/m^2
E	eficiência nominal do sistema produtor, ou no caso dos sistemas do tipo bombas de calor e quando disponível, eficiência sazonal	—
e	coeficiente de dilatação do fluido utilizado no circuito solar	—
E_{AqS}	necessidades nominais anuais de energia final para produção de aqs	kWh/ano
EER	<i>energy efficiency ratio</i>	—
E_{res}	taxa de calor evaporativo perdido pela respiração	W/m^2
E_{sk}	taxa de calor evaporativo perdido pela pele	W/m^2
F	espaço interior não útil permeável ao ar devido à presença de ligações e aberturas de ventilação permanentemente abertas	—
f	espaço interior não útil que tem todas as ligações entre elementos bem vedadas, sem aberturas de ventilação permanentemente abertas	—

F_{age}	fator de depreciação devido à idade	—
f_{eh}	fator de eficiência hídrica	—
F_f	fator de sombreamento do elemento opaco vertical	—
F_o	fator de sombreamento do elemento opaco horizontal	—
$g_{L,vi}$	fator solar da área transparente para uma incidência da radiação perpendicular ao vão envidraçado	—
g_{tot}	fator solar do vão envidraçado com os dispositivos de proteção solar totalmente ativados	—
$g_{tot,máx.}$	fator solar do vão envidraçado máximo com os dispositivos de proteção solar totalmente ativados	—
$g_{tot,vc}$	fator solar do vão envidraçado com vidro corrente e um dispositivo de proteção solar totalmente ativado	—
$g_{tot,vc,op}$	fator solar do vão envidraçado com vidro corrente e com o primeiro dispositivo de proteção solar opaco totalmente ativado	—
$g_{tot,vci}$	fator solar do vão envidraçado com vidro corrente e um dispositivo de proteção solar i totalmente ativado	—
I	investimento inicial	€
I_t	massa superficial útil por metro quadrado de área interior útil de pavimento	kg/m^2
k	coeficiente de segurança	—
l_g	desenvolvimento linear da ligação da área transparente com o caixilho	m
l_{gb}	desenvolvimento linear da quadrícula inserida no espaço de ar	m
M	taxa metabólica	W/m^2
M_{AqS}	consumo médio diário de aqs	l/dia
M_{si}	massa superficial útil do elemento i	kg/m^2
P	perímetro exposto	m
P_F	pressão final do sistema	Pa
P_I	pressão de enchimento do sistema	Pa
$P_{retorno}$	período de retorno do investimento	anos
Q_a	necessidades nominais anuais de energia útil para preparação de aqs em edifícios de habitação	kWh/ano
Q_c	energia útil final captada pelo coletor solar	kJ
q_{res}	calor latente perdido pela respiração	W/m^2
q_{sk}	calor evaporativo perdido pela pele	W/m^2
R	fluxo de caixa anual	€
r	taxa de desconto	—
R_f	resistência térmica de todas as camadas que compõem o pavimento	$(m^2 \cdot ^\circ C)/W$
r_i	fator de redução da massa superficial útil do elemento i	—
R_t	energia total captada por m^2 de coletor solar	kJ/m^2
S	taxa de calor acumulado	W/m^2

<i>SCOP</i>	<i>seasonal coefficient of performance</i>	—
<i>SEER</i>	<i>seasonal energy efficiency ratio</i>	—
S_i	área da superfície interior do elemento i	m^2
<i>TIR</i>	taxa interna de rentabilidade	—
U	coeficiente de transmissibilidade térmica	$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$
U_{bf}	coeficiente de transmissibilidade térmica do pavimento enterrado	$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$
U_f	coeficiente de transmissibilidade térmica do caixilho	$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$
U_g	coeficiente de transmissibilidade térmica do vidro	$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$
$U_{m\acute{a}x.}$	coeficiente de transmissibilidade térmica máximo	$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$
U_W	coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado não considerando dispositivos de proteção solar	$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$
U_{WDN}	coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado médio dia-noite	$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$
U_{Ws}	coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado com os dispositivos de proteção solar ativados	$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$
V_{ac}	volume mínimo de acumulação	l
<i>VAL</i>	valor atual líquido	—
V_c	volume de fluido no circuito solar	l
V_{enu}	volume do espaço não útil	m^3
V_N	volume nominal do vaso de expansão	l
V_P	volume de fluido no coletor solar	l
V_U	volume útil do vaso de expansão	l
W	taxa de trabalho mecânico	W
z_{solo}	profundidade média da parede ou do pavimento em contacto com o solo	m
ΔR	acréscimo da resistência térmica devido ao dispositivo de proteção solar e ao espaço de ar	$(m^2 \cdot ^\circ C)/W$
ΔT	variação de temperatura	$^\circ C$
n_d	número anual de dias de consumo de aq's	<i>dias/ano</i>
n_{oc}	número de ocupantes convencionais do edifício em função da tipologia	-
η_L	taxa de perdas térmicas no sistema	—
η_{cd}	eficiência térmica do coletor	—
ρ	massa volúmica	kg/m^3
ψ_g	coeficiente de transmissibilidade térmica linear da ligação da área transparente com o caixilho	$W/(m \cdot ^\circ C)$
ψ_{gb}	coeficiente de transmissibilidade térmica linear que traduz o efeito da quadrícula inserida no espaço de ar	$W/(m \cdot ^\circ C)$

GLOSSÁRIO

bztu: Reflete a proximidade da temperatura interior de um espaço interior não útil à temperatura do espaço útil ou à temperatura exterior. Varia entre 0 e 1. Se bztu for igual a 0 significa que a temperatura do espaço interior não útil é igual à temperatura do espaço útil e, caso seja igual a 1 significa que a temperatura do espaço interior não útil é igual à temperatura exterior;

Compartimento principal: Compartimento de uma habitação onde se prevê uma maior utilização pelos ocupantes, nomeadamente os quartos e as salas;

Depósito de inércia: Depósito de acumulação de água quente para AQS ou aquecimento onde é armazenado temporariamente o excesso de energia proveniente das fontes de aquecimento que, por sua vez, é devolvido quando necessário. Deste modo, é garantida a elevada inércia térmica do sistema;

Espaço interior não útil: Compartimento sem ocupação permanente (inferior a duas horas por dia), onde não há necessidade de garantir o conforto térmico;

Fator solar: Quantifica a parte de radiação solar incidente que é transmitida de forma direta ou indireta para o compartimento;

Fração solar: Razão entre a energia captada pela instalação solar de aquecimento durante um determinado intervalo de tempo e a necessidade de carga térmica do sistema (por exemplo, o somatório das necessidades energéticas para aquecimento ambiente ou produção de água quente);

NUTS: Consiste num sistema hierárquico de divisão do território português em regiões para fins estatísticos. Subdivide-se em três níveis (NUTS I, NUTS II e NUTS III), sendo que quanto maior for o nível, maior é o grau de divisão territorial;

Radão: Gás natural radioativo incolor e inodoro proveniente das rochas, bastante prejudicial para a saúde humana. É um dos principais responsáveis pelo aparecimento de cancro no pulmão resultante da exposição prolongada no interior dos edifícios.

Tarifa bi-horária: Refere-se à tarifa de eletricidade que apresenta dois preços distintos dependendo do período de consumo;

Termossifão: Tipo de instalação solar térmica constituída por coletores solares acoplados a um depósito instalado a uma cota superior, onde se procede ao aquecimento e armazenamento de água. Dada a configuração da instalação do sistema, o processo de aquecimento é realizado por circulação natural do fluido de trabalho, devido à variação da sua massa volúmica resultante da variação da temperatura;

Torneira eco-stop: Torneiras que apresentam duas posições de caudal para permitir a utilização de apenas 50% do caudal (primeira posição) ou 100% caudal (segunda posição);

Zonamento climático: Divisão do país em três zonas climáticas de inverno (I1, I2 e I3) e três zonas climáticas de verão (V1, V2 e V3), definidos para aplicação de requisitos de qualidade térmica da envolvente dos edifícios.

página propositadamente em branco

1. INTRODUÇÃO

Neste primeiro capítulo é realizado um breve enquadramento do presente trabalho, seguido da apresentação dos principais objetivos, opções metodológicas e, por fim, a sua estruturação.

1.1. Enquadramento e Motivação

A poluição ambiental proveniente das ações humanas, nomeadamente o aumento da concentração de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera, surgem, cada vez mais, como uma ameaça para uma vida futura no nosso planeta. Por esse motivo, a sociedade é forçada a adotar medidas que contribuam para uma vida mais sustentável, aplicando regulamentos e protocolos que impõem limites à emissão de gases poluentes propícios ao aumento do efeito de estufa. Destaca-se o Protocolo de Quioto, o primeiro tratado jurídico internacional que fixou a meta de redução de pelo menos 5% das emissões globais de gases com efeito de estufa entre 2008 e 2012, em relação a 1990. Portugal, enquanto membro da União Europeia, vinculou-se ao Protocolo de Quioto, o que, por sua vez, implicou a limitação do aumento das emissões até 27%, em relação a 1990 [1].

Diretamente relacionado com a sustentabilidade estão os consumos energéticos dos edifícios, que são uma das principais causas dos prejuízos ambientais. Na Europa, os edifícios residenciais representam 25% da energia anual consumida [2]. Já em Portugal, esta tipologia de edifícios é responsável por consumir 20% da energia primária anual total, da qual 23,5% são utilizadas para produção de água quente sanitária (AQS), 21,5% para aquecimento central, 0,5% para arrefecimento ambiente, 39,1% para confeção de alimentos ou lavagem de loiça, 4,5% para iluminação e o restante para outros equipamentos elétricos [2]. No sentido de melhorar o desempenho energético dos edifícios e consequentemente contribuir para a sustentabilidade do planeta, em janeiro de 2003 foi publicada a Diretiva Europeia *Energy Performance of Building Directive* (EPBD). Esta norma incentiva à renovação e reabilitação de edifícios, com o intuito de atingir as metas de eficiência energética definidas para 2030 e contribuir para que em 2050 toda a União Europeia esteja descarbonizada [3].

Assim, também no seguimento desta diretiva, cada membro de estado (Portugal, inclusive) deve adotar medidas que obriguem a reabilitação e construção de novos edifícios com necessidades quase nulas de energia primária, sendo que a satisfação dessas necessidades deve provir de fontes renováveis produzidas no local ou nas proximidades (edifícios *Zero Energy Building* (NZEB)). Destacam-se como principais áreas de intervenção nos edifícios a envolvente opaca, a envolvente envidraçada, a ventilação, os sistemas de produção de AQS e os sistemas de climatização [3].

1.2. Objetivos da dissertação

A presente dissertação é realizada com o intuito de otimizar o desempenho energético de um edifício de habitação construído na década de 60, com vista à obtenção de um ambiente termicamente confortável e melhoramento dos sistemas técnicos através da adoção de sistemas de produção de AQS económicos e sustentáveis. Para isso são analisados os seguintes pontos:

- Verificação do cumprimento dos valores máximos de condutibilidade térmica e fator solar térmico dos elementos construtivos, de acordo com a legislação atual em vigor, quando aplicável;
- Análise do desempenho energético através do *software* de cálculo *EnergyPlus* e da plataforma *OpenStudio*;
- Proposta de reabilitação da moradia, intervencionando nos espaços úteis através da aplicação de isolamento térmico na laje de cobertura, laje de pavimento, parede exterior e alteração dos vãos envidraçados, com vista em otimizar o conforto térmico dos ocupantes;
- Estudo do impacto da adoção de sistemas hidricamente mais eficientes;
- Proposta de novos sistemas de produção de AQS, com o intuito de minimizar os consumos energéticos e as emissões de CO₂;
- Análise económica e ambiental das soluções propostas.

1.3. Opções Metodológicas

Para a realização da presente dissertação opta-se por, numa primeira fase, reunir informação bibliográfica que serve como suporte para o desenvolvimento do trabalho, nomeadamente: os métodos construtivos tipicamente utilizados em edifícios construídos na época do edifício em estudo, os principais métodos de reabilitação construtiva utilizados em Portugal, alguns equipamentos de produção de AQS, metodologias de análise da rentabilidade económica e ambiental de decisões, entre outros temas. De seguida, em conjunto com os proprietários do edifício, reúne-se informações como: os elementos construtivos da moradia em estudo (como, por exemplo, a localização das paredes duplas, paredes simples e uma explicação superficial da composição destes elementos) e o registo do consumo de energia elétrica final ao longo de um ano. Posteriormente, recorrendo a um *software* de simulação dinâmica, cria-se um edifício modelo o mais aproximado possível do edifício real onde são testadas possíveis medidas de melhoria, conforme referido no subcapítulo anterior. Por último, analisa-se a viabilidade económica e ambiental dos vários cenários propostos e retiram-se as respetivas conclusões.

1.4. Estrutura do Trabalho

No capítulo 1 é realizado em breve enquadramento da situação energética a nível europeu e nacional, seguida da apresentação dos principais pontos que motivaram à realização do presente trabalho. Também, são apresentadas de forma resumida as principais etapas implementadas, com vista em otimizar o comportamento energético do caso de estudo e diminuir o desconforto térmico dos ocupantes.

No capítulo 2 é apresentada uma breve revisão bibliográfica. Numa primeira fase é realizado um enquadramento legislativo relativo aos edifícios de habitação novos e/ou sujeitos a uma grande reabilitação. De seguida, são apresentados resumidamente os principais métodos de reabilitação de edifícios normalmente utilizados em Portugal. Posteriormente, abordam-se os sistemas técnicos, introduzindo alguns conceitos básicos de dimensionamento, seguido da apresentação de equipamentos de produção AQS e explicação do seu método de funcionamento. Por último, são

apresentadas metodologias de análise da rentabilidade económica e os *softwares* utilizados para o desenvolvimento da presente dissertação.

No capítulo 3 inicia-se o desenvolvimento com a apresentação do caso de estudo e enumeração e justificação das diversas medidas e metodologias adotadas para o presente trabalho.

No capítulo 4 são apresentados os resultados obtidos durante as simulações e realiza-se uma análise financeira e ambiental das soluções propostas. Os sistemas são comparados entre si através de uma análise ao seu período de retorno, valor atual líquido (VAL), taxa interna de rentabilidade (TIR) e emissões de CO₂. Por último, são discutidos os resultados.

No capítulo 5 são apresentadas as conclusões finais, as principais limitações e são propostos trabalhos futuros que podem complementar o presente estudo.

Por último, são apresentados os apêndices e anexos que serviram de suporte para a realização deste trabalho.

página propositadamente em branco

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste segundo capítulo são apresentados alguns conceitos bibliográficos essenciais que servem de base para o desenvolvimento desta dissertação.

2.1. Conforto Térmico em Edifícios

2.1.1. Considerações Gerais

Define-se conforto térmico como uma condição mental subjetiva que expressa a satisfação do indivíduo quando exposto a condições ambientais [4], tais como: temperatura de bolbo seco do ar interior, temperatura média radiante, velocidade e humidade relativa do ar, roupa utilizada e atividades exercidas por parte dos ocupantes [5].

Quando esta situação é comprometida, o ocupante realiza ações voluntárias como abrir as janelas, mudar de roupa, alterar a temperatura estipulada nos termostatos e/ou ações involuntárias como a transpiração, tremores, vasodilatação e vasoconstrição de forma a gerar ou libertar calor para restaurar a sua temperatura e equilíbrio corporal. A temperatura corporal, regulada pelo hipotálamo, depende da atividade exercida pelo indivíduo (por exemplo, 36,8°C para atividades sedentárias/descanso e 37,4°C para caminhadas). Quando esta não é garantida, o conforto e a saúde podem estar em risco (temperatura corporal inferior a 28°C pode provocar problemas de arritmia cardíaca e temperatura corporal acima dos 46°C conduz ao aparecimento de problemas cerebrais graves e irreversíveis). Assim, surge o método de Fanger que define que o corpo humano fica em equilíbrio térmico quando a taxa de calor acumulado no corpo é nula, ou seja, quando a taxa metabólica é igual à taxa de trabalho mecânico realizado adicionado da taxa de calor perdido pela respiração e pela pele, conforme apresentado nas equações (1) e (2) (processo de cálculo desenvolvido e explicado em maior detalhe em [4]).

$$S = M - W - (q_{res} + q_{sk}) \quad (1)$$

$$S = M - W - (C + R + E_{sk} + C_{res} + E_{res}) \quad (2)$$

Onde, S consiste na taxa de calor acumulado (W/m^2), M a taxa metabólica (W/m^2), W a taxa de trabalho mecânico realizado (W/m^2), $C + R$ o calor sensível perdido pela pele (W/m^2), E_{sk} a taxa de calor evaporativo perdido pela pele (W/m^2), C_{res} a taxa de calor convectivo perdido pela respiração (W/m^2), q_{res} o calor latente perdido pela respiração (W/m^2), q_{sk} o calor latente perdido pela pele (W/m^2) e E_{res} a taxa de calor evaporativo perdido pela respiração (W/m^2).

2.1.2. Comparação de normas de conforto térmico

A ISO 7730 tem como base o modelo de conforto proposto por Fanger em 1973 (equação (1)) e define o conforto térmico como o estado de espírito que reflete o grau de satisfação de um indivíduo para com o ambiente térmico que o rodeia. Considera, portanto, que um espaço reúne condições de qualidade térmica quando no máximo 10% dos ocupantes se sentem desconfortáveis. Porém, quando se trata de um local onde não é fundamental um grande rigor ao nível de condições térmicas, esta percentagem pode chegar aos 20%.

Surge assim o conceito de *Predicted Mean Vote* (PMV) e *Predicted Percentage Dissatisfied* (PPD). O primeiro prevê numa escala de sete níveis o valor numérico que traduz a sensação térmica de um grupo de pessoas sujeitas a um determinado ambiente, conforme a Tabela 1, enquanto o segundo é obtido por uma correlação matemática ou com base no PMV e prevê a percentagem de pessoas insatisfeitas, conforme a Figura 1.

Tabela 1 – Níveis de PMV e respetiva sensação térmica.

Nível	Sensação Térmica
+3	Extremamente Quente
+2	Quente
+1	Ligeiramente Quente
0	Neutro
-1	Ligeiramente Frio
-2	Frio
-3	Extremamente Frio

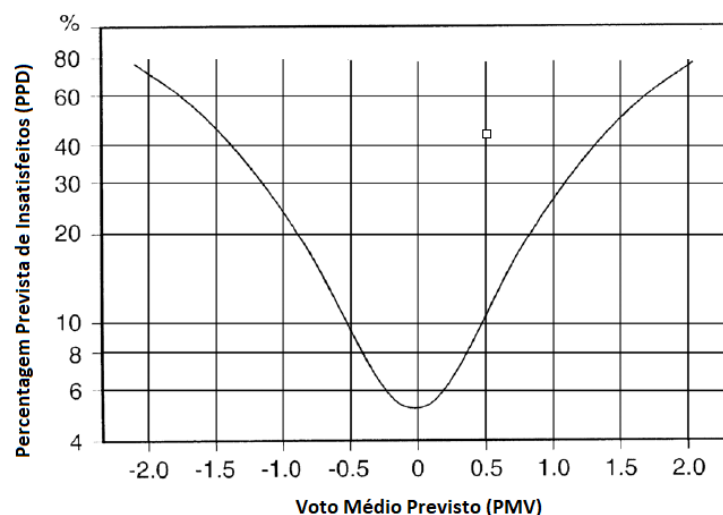


Figura 1 – Gráfico PPD/PMV (adaptado de [4]).

Conforme se pode verificar pela Figura 1, o ambiente reúne condições de conforto térmico quando o valor de PMV está compreendido entre -0,5 e +0,5 ou em condições de menor rigor térmico está compreendido entre -0,7 e + 0,7.

A norma *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE) Standard 55 também se baseia na metodologia de Fanger e define as condições térmicas para que pelo menos 80% dos ocupantes estejam confortáveis [5]. A sua metodologia de cálculo é semelhante à adotada pela norma ISO 7730, porém um pouco mais flexível, isto porque enquanto a primeira fixa parâmetros relativos ao vestuário (0,90 clo no inverno e 0,50 clo no verão) e à atividade física exercida pelos ocupantes (1 met), a segunda fixa o valor de humidade relativa do ar (50%). Para além disso, a norma ASHRAE Standard 55 permite que as temperaturas-fronteira possam diminuir/aumentar 0,60 K por cada aumento/diminuição de 0,1 clo e diminuir/aumentar 1,40 K por cada 1 met aumentado/diminuído acima dos 1,20 met [4].

2.1.3. Conforto Térmico Adaptativo

Na realização de um projeto de construção ou reabilitação de um edifício, o projetista e todos os intervenientes no projeto têm como foco propor uma solução que garanta a qualidade do ar interior e um ambiente térmico saudáveis que proporcionem conforto e produtividade aos ocupantes. Porém, a eficiência energética e a sustentabilidade têm cada vez mais destaque, bem como a diminuição dos consumos energéticos, conforme referido no subcapítulo 1.1. Por essa razão, surge o conceito de conforto térmico adaptativo.

O conforto térmico adaptativo expressa-se pelo seguinte princípio: “se ocorre uma alteração no espaço que provoque desconforto, as pessoas reagem de forma a voltar a ter conforto” [6]. Ou seja, caso as condições de conforto do indivíduo sejam comprometidas, este interage com o espaço e adapta-se de modo restaurar o seu conforto, sem que para tal seja necessário exigir mais dos equipamentos de climatização e aumentar os gastos energéticos do edifício. As principais estratégias adotadas podem ser: adequar o vestuário à temperatura do espaço, abrir as janelas e minimizar ou maximizar os ganhos solares regulando os dispositivos de sombreamento dos vãos envidraçados.

Deste modo, os ocupantes podem-se adaptar a um intervalo mais alargado de temperaturas do que as temperaturas interiores de conforto de referência para os edifícios de habitação em Portugal (18°C e 25°C para a estação de aquecimento e estação de arrefecimento, respetivamente [7]).

2.2. Otimização do Desempenho Energético Associado à Envolvente

O envelhecimento dos edifícios, os defeitos na sua construção e/ou a falta de manutenção desencadeiam um processo de degradação que compromete a qualidade de ar interior e a saúde dos ocupantes, por exemplo, através do aparecimento de fungos e bactérias resultantes de condensações. Para além disso, o edifício torna-se energeticamente pouco eficiente, principalmente, devido à ausência ou má aplicação de isolamento térmico, existência de pontes térmicas, aplicação de vãos envidraçados pouco eficientes, entre outros. Posto isto, ao longo dos anos verifica-se uma crescente preocupação em garantir a qualidade do ar interior, criar um ambiente confortável e diminuir os consumos energéticos associados a equipamentos de climatização. Nesse sentido, em 1952, foi publicada na Alemanha (DIN 4108) e, mais tarde, nos países nórdicos da Europa, a primeira regulamentação relativa aos valores mínimos de isolamento térmico a aplicar na construção civil. Posteriormente, devido à crise energética sentida na década de 70, mais países focaram-se em construir edifícios energeticamente mais eficientes através da redução das necessidades de ventilação mecânica, seleção de materiais com maior resistência térmica, construção de edifícios mais estanques e com menor dependência de mecanismo de climatização. Porém, preocupações relacionadas com o comportamento higrométrico e taxas mínimas de ventilação surgiram mais tarde [8].

Em 2012, a diretiva EPDB criou uma metodologia de custo-ótimo que visa estabelecer um equilíbrio entre os custos (investimento, manutenção, substituição, emissões e energia primária consumida) e a poupança energética alcançada durante o ciclo de vida do edifício. Para isso, esta metodologia envolve a definição de um edifício de referência no qual são estudadas várias soluções (espessuras de isolamentos, sistemas de ventilação, entre outras) até alcançar o ponto ótimo de relação investimento-benefícios [9]. Como resultado são estabelecidos valores regulamentares como, por

exemplo, os coeficientes de transmissão térmica superficial [10], que devem ser adotados em edifícios novos ou edifícios sujeitos a grande reabilitação.

De seguida, apresentam-se os requisitos impostos à envolvente dos edifícios de acordo com a norma atual em vigor e, posteriormente, são enumeradas as práticas mais usuais para a reabilitação de edifícios.

2.2.1. Enquadramento Regulamentar

Atualmente em Portugal são estabelecidos requisitos mínimos referentes à conceção e renovação de edifícios de habitação, que visam promover e garantir a melhoria do nível de desempenho energético.

Os requisitos impostos à envolvente dos edifícios são relativos aos elementos opacos e envidraçados, conforme indicado no Decreto-Lei nº 101-D/2021 (atual em vigor) que substituiu o Decreto-Lei nº 118/2013 que, por sua vez, revoga o Decreto-Lei nº 80/2006.

Para evitar que o presente subcapítulo seja bastante exaustivo, opta-se por apresentar apenas os valores necessários para o desenvolvimento desta dissertação, mais concretamente para os zonamentos climáticos I_1 e V_2 . Na Portaria nº 138-I/2021 [10] apresentam-se os valores regulamentares para os restantes zonamentos climáticos, para o arquipélago da Madeira ou Açores e para os casos onde se verificam constrangimentos técnicos ou funcionais.

- **Requisitos aplicáveis à envolvente opaca**

A avaliação do nível de desempenho energético da envolvente opaca dos edifícios é dada pelo valor do coeficiente de transmissão térmica global dos elementos verticais e horizontais que constituem as zonas correntes da envolvente e as zonas de ponte térmica plana (PTP).

No entanto, os valores máximos estabelecidos são impostos apenas a toda a envolvente dos edifícios em contacto com o exterior ou com espaços interiores não úteis: arrecadações, garagens, lavandarias, solário, jardim de inverno ou marquises e desvão de cobertura, desvão sanitário e espaços de ar com altura média no sentido do fluxo de calor superior a 300 mm. Por essa razão, é necessário antecipadamente definir os espaços não úteis e calcular para cada espaço o respetivo valor do coeficiente de redução de perdas (b_{ztu}).

Posto isto, na Tabela 2 são apresentados os coeficientes de transmissão térmica superficial máximos admissíveis ($U_{máx}$) para o zonamento climático I1 em Portugal Continental.

Tabela 2 – $U_{máx}$ para envolvente opaca de edifícios de habitação (zonamento climático I1).

Tipo de Elemento	Condição Fronteira	$U_{máx}$. [W/(m ² .°C)]
Zona corrente da envolvente vertical	Exterior ou interior com $b_{ztu} > 0,70$	0,50
	Interior com $b_{ztu} \leq 0,70$	2,00
Zona corrente da envolvente horizontal	Exterior ou interior com $b_{ztu} > 0,70$	0,40
	Interior com $b_{ztu} \leq 0,70$	1,65
Zona de PTP vertical	Exterior	0,90
	Interior com $b_{ztu} > 0,70$	1,75
	Interior com $b_{ztu} \leq 0,70$	2,00
Zona de PTP horizontal	Exterior	0,90
	Interior com $b_{ztu} > 0,70$	1,25

Tabela 2 - Um_{ax}. para envolvente opaca de edifícios de habitação (zonamento climático I1) (cont.).

Tipo de Elemento	Condição Fronteira	Um _{ax} . [W/(m ² .°C)]
Zona de PTP horizontal	Interior com bztu ≤ 0,70	1,65
Fonte: [10]		

- **Requisitos aplicáveis à envolvente envidraçada**

A regulamentação imposta à envolvente envidraçada é complexa porque tem em consideração o tipo de vidro e caixilho, os dispositivos de proteção solar existentes ou previstos e o fator solar.

O valor de Um_{ax}. dos vãos envidraçados para o zonamento climático I1 é **2,80 W/(m².°C)** e pode ser avaliado tendo em consideração o contributo dos dispositivos de proteção solar (U_{WDN}), calculado através da média ponderada entre o valor do coeficiente de condutibilidade térmica com e sem dispositivos de proteção solar totalmente ativados (U_w e U_{ws}, respetivamente) (equação (3)) [10, 11].

$$U_{WDN} = \frac{U_w + U_{ws}}{2} \quad (3)$$

Outro ponto a ter em consideração é o valor máximo de fator solar imposto para os vãos envidraçados em função da zona climática de verão e da inércia térmica do edifício. No caso dos edifícios de habitação pertencentes ao zonamento climático V2 e com inércia térmica média ou forte o **fator solar máximo é 0,56**. Importa, contudo, alertar que esta regra não se aplica aos vãos envidraçados existentes no quadrante norte [10].

2.2.2. Reabilitação de paredes

A reabilitação de paredes através da aplicação de isolamento térmico é uma das estratégias mais simples e eficazes na garantia do conforto térmico e na minimização dos consumos de energia para aquecimento e arrefecimento ambiente. Isolar também significa melhorar a qualidade do ar interior, pois permite diminuir a concentração de focos de condensações e consequente aparecimento de fungos e bolores.

Atualmente, existem no mercado vários métodos de implementação de isolamento: isolamento pelo exterior ou pelo interior das paredes.

Integrando o primeiro método destacam-se:

- Sistema *External Thermal Insulation Composite System* (ETICS);
- Revestimento independente e espaço de ar ventilado (fachada ventilada);
- Revestimento Isolante e Argamassa Térmica.

Relativamente ao isolamento térmico pelo interior, tem-se:

- Contra fachada de revestimento leve (por exemplo, gesso cartonado, madeira ou derivados de madeira);
- Contra Fachada em alvenaria

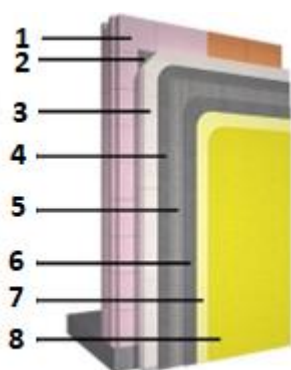
- Injeção de isolamento entre duas paredes de alvenaria.

Isolar termicamente as paredes pelo exterior é na maioria das vezes preferível relativamente ao isolamento pelo interior pois a sua aplicação não obriga à desocupação dos compartimentos, não diminui a área útil da habitação (diminuindo o valor do imóvel), anula pontes térmicas (por exemplo, pilares e caixa de estores) e eventuais defeitos (manchas, fissuras, etc), evita o aparecimento de condensações e confere uma inércia térmica mais forte à habitação (maior valor de massa superficial útil da parede). Porém, isolar pelo interior implica utilização de menos material, podendo o investimento inicial ser mais reduzido, e não necessita a utilização de andaimes [12].

Posto isto, de seguida são apresentados de forma sucinta os métodos de isolamento de paredes normalmente utilizados em Portugal, começando pelos tipos de isolamento pelo exterior.

- **Sistema de ETICS**

Consiste na aplicação de uma camada de material isolante na face exterior da parede, suportado por argamassa de colagem e buchas de fixação e sucedida por camadas de revestimento para proteção, conforme esquematizado na Figura 2.



- 1 – Suporte (Parede Exterior)
- 2 – Argamassa de Colagem
- 3 – Placa de Isolamento
- 4 – Argamassa de Revestimento
- 5 – Rede de fibra de vidro
- 6 – Argamassa de Revestimento
- 7 – Primário de Regularização
- 8 – Acabamento Colorido

Nota: Buchas de fixação não representadas

Figura 2 – Composição sistema ETICS (adaptado)[13].

Este sistema pode ser aplicado a vários tipos de suporte (parede de betão, alvenaria de tijolo, pedra, entre outros) ajudando à absorção de pequenas vibrações e colmatando fissuras com largura até 2 mm.

Os materiais isolantes podem ser poliestireno expandido (EPS), poliestireno extrudido (XPS), lã mineral (MW) ou aglomerado negro de cortiça expandida (ICB) [14].

No que respeita ao revestimento final, pode-se optar por diferentes cores e texturas, tendo como restrição o seu coeficiente de absorção estar limitado a 0,70, pois as cores mais escuras apresentam valor de absorção solar mais elevado e aumentam as tensões térmicas do sistema ETICS, podendo originar fissuras [15].

Este sistema de isolamento tem como vantagens aumentar a durabilidade da fachada protegendo-a contra as ações dos agentes climáticos e atmosféricos, impedir gradientes de temperatura acentuados ao longo da parede e necessitar de baixa manutenção. No entanto, apresenta como desvantagem o elevado custo inicial e a necessidade de mão-de-obra especializada, especialmente

em fachadas esteticamente pormenorizadas. Para além disso, o aumento da espessura das paredes pode ser incompatível com elementos existentes (por exemplo, tubagens exteriores e peitoris de janelas), sendo necessária a sua substituição [16].

- **Revestimento independente e espaço de ar ventilado (fachada ventilada)**

Consiste na aplicação de placas de revestimento exterior com espessura normalmente inferior a 50 mm suportadas por dispositivos de fixação, garantindo uma caixa de ar entre a fachada. Pode incluir eventual isolamento térmico, conforme a Figura 3.

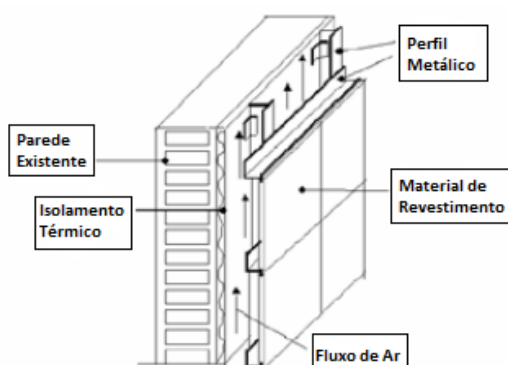


Figura 3 – Representação esquemática de uma fachada ventilada (adaptado de [17]).

Devido ao aquecimento do ar no espaço intermédio relativamente ao ar ambiente, é gerado o “efeito chaminé”, com a conseqüente ventilação contínua da caixa de ar. Deste modo, o vapor de água proveniente do interior ou do exterior é evaporado, mantendo o isolamento seco e o sistema com melhor rendimento [18].

Esta solução possibilita a reabilitação de edifícios e permite corrigir pontes térmicas, amortizar oscilações de temperatura ao longo da parede até ao interior, aumentar a durabilidade das paredes protegendo-as dos agentes climáticos e reduzir a transmissão de ruído entre 10% e 20%. Para além disso, trata-se um método de fácil manutenção [18].

- **Revestimento isolante e argamassa térmica**

Um terceiro método consiste na aplicação de revestimento painéis isolantes colados de modo descontínuos diretamente na fachada (método conhecido por *Vêture*) ou colocação de argamassa isolante com espessura de 2 a 10 cm. Este último método não é aconselhável face aos anteriores porque pode não garantir o isolamento pretendido.

De seguida segue uma pequena descrição dos tipos de isolamento a adotar pelo interior das paredes.

- **Contra fachada em alvenaria ou elementos leves**

Consiste na colocação de isolamento térmico entre a parede exterior de suporte e a contra fachada, podendo esta ser em alvenaria ou elementos leves como placas de gesso cartonado, conforme Figura 4.

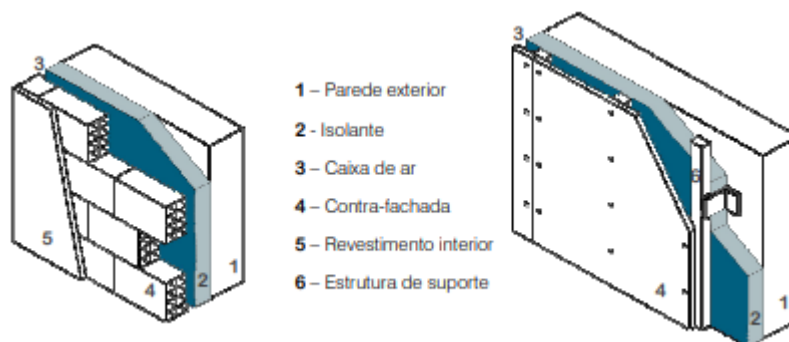


Figura 4 – Esquematisação de isolamento de paredes pelo interior através de contra fachada [19].

- **Injeção de isolamento entre duas paredes de alvenaria**

Consiste no preenchimento da caixa de ar das paredes exteriores com isolamento térmico, como espuma injetada. Porém, é necessário cumprir várias regras e ter bastante cautela com o estado da caixa de ar pois esta poderá conter argamassa ou detritos que dificultam o total preenchimento da caixa de ar e a variação da pressão de injeção que, por sua vez, pode originar pontes térmicas e deformações da parede.

Alerta-se também para o estado do pano de parede em contacto exterior. Caso esta não seja totalmente impermeável à água, o isolamento fica em contacto com a humidade e aumenta a sua condutibilidade térmica [20].

2.2.3. Reabilitação de coberturas inclinadas

O défice de isolamento térmico nas coberturas conduz à perda ou ganho de aproximadamente 30% da energia térmica requerida para obter conforto térmico nos edifícios e contribui para o aparecimento de fungos, condensações e bolores sendo, por essa razão, extremamente importante reabilitar e isolar as coberturas [21].

O local de aplicação de isolamento está relacionado com o tipo de utilização destes espaços, nomeadamente se se trata de um desvão ocupado ou não.

No primeiro caso, um desvão habitável é considerado um espaço útil e, por essa razão, importa aplicar o isolamento térmico nas vertentes sobre a estrutura da cobertura. Por outro lado, caso se trate de um sótão não ocupado deve-se aplicar o isolamento sobre a laje de cobertura que separa este espaço não útil dos compartimentos no último piso da habitação, conforme representado na Figura 5.

Os principais isolamentos utilizados nas coberturas são: ICB, XPS, EPS, MW, espuma rígida de poliuretano ou de poli-isocianurato (PUR/PIR) e betonilha com isolamento térmico [21].

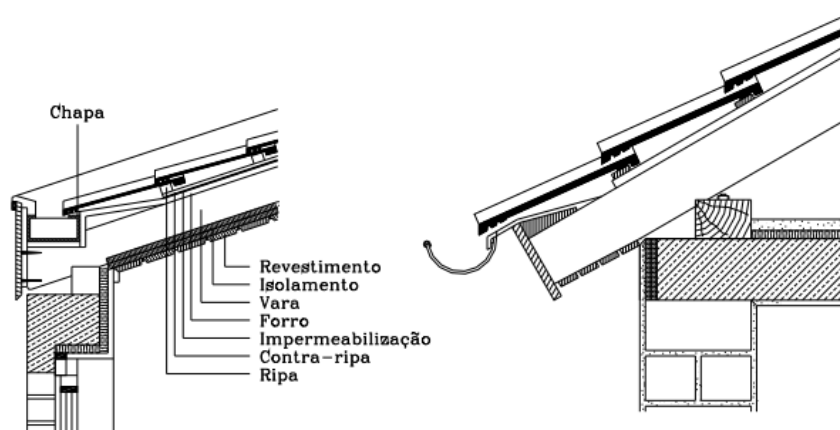


Figura 5 – Isolamento térmico na cobertura: desvão habitado (esquerda) e desvão sem aproveitamento (direita) [22].

2.2.4. Reabilitação do pavimento

A reabilitação e diminuição da condutibilidade térmica do pavimento pode ser realizada por três métodos distintos:

- Aplicação de isolamento térmico na face superior do pavimento;
- Aplicação de isolamento térmico na face intermédia do pavimento;
- Aplicação de isolamento térmico na face inferior do pavimento.

Sempre que possível deve-se optar pelo terceiro método isto porque não interfere com o pé direito dos compartimentos, confere maior inércia térmica à habitação e a sua aplicação é contínua, mais rápida e mais simples.

A aplicação de isolamento térmico na face intermédia do pavimento apenas é possível quando este inclui espaços vazios entre perfis metálicos ou vigotas de madeira.

2.2.5. Reabilitação dos vãos envidraçados

Os vãos envidraçados desempenham um papel bastante importante no comportamento energético das habitações pelo que, uma escolha desadequada da área do envidraçado, do tipo de vidro e caixilho ou dos dispositivos de proteção solar, pode comprometer o conforto dos ocupantes e potenciar a necessidade de instalação de equipamentos de climatização. Por esse motivo, no processo de reabilitação de uma moradia, a avaliação térmica dos vãos envidraçados não deve ser descuidada.

Durante a estação de aquecimento, os vãos envidraçados correntes são responsáveis por 40% a 70% do aumento das necessidades de aquecimento. Para além disso, são os principais locais de aparecimento de condensações e o seu precário isolamento propicia a excessivas taxas de infiltração de ar. Por outro lado, durante a estação de arrefecimento, devido aos ganhos solares, à incidência direta de radiação solar nos ocupantes e à assimetria radiante pode ocorrer sobreaquecimento dos espaços e desconforto [23].

A reabilitação de vãos envidraçados com vista em melhorar o seu comportamento energético passa, por exemplo, pela substituição de componentes, colocação de vedantes, instalação de uma segunda janela, alteração da área do vão envidraçado ou substituição do vão envidraçado adotando vidros e caixilhos com melhores propriedades térmicas e mais adequados para o espaço.

Os tipos de caixilhos vulgarmente utilizados em Portugal são: madeira, policloreto de vinila (PVC) e alumínio com ou sem corte térmico, cujas vantagens e desvantagens são apresentadas resumidamente na Tabela 3.

Tabela 3 – Comparação entre materiais para caixilharia.

	Vantagens	Desvantagens
Madeira	<ul style="list-style-type: none"> ○ Aparência natural (esteticamente atrativo); ○ Elevada resistência ao choque e à compressão; ○ Bom isolamento térmico e acústico. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Requer manutenção com elevada periodicidade; ○ Possibilidade de ocorrência de dilatação e/ou fissuração; ○ Altamente inflamável.
PVC	<ul style="list-style-type: none"> ○ Baixa manutenção e limpeza fácil; ○ Boas propriedades de isolamento térmico e acústico; ○ Reduzida massa volúmica. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Baixa resistência mecânica e consequente necessidade de diminuição da área envidraçada; ○ Vulnerabilidade a amplitudes térmicas; ○ Libertação de gases tóxicos em caso de incêndio.
Alumínio	<ul style="list-style-type: none"> ○ Elevada durabilidade; ○ Baixa manutenção; ○ Qualidade estética (possibilidade de vários acabamentos). 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Elevada condutibilidade térmica (se não incluir corte térmico) e acústica; ○ Risco de corrosão (por exemplo, devido à proximidade marítima); ○ Elevada tendência ao aparecimento de condensações.

Fontes: [24,25].

Também existe a possibilidade de instalar caixilhos híbridos com a junção de dois ou mais materiais (por exemplo, madeira e alumínio), o que pode proporcionar menores custos. Porém devido à diversidade de materiais, é mais difícil prever o seu comportamento térmico.

Relativamente ao vidro, as habitações mais antigas apresentam vidro simples, que atualmente está em desuso devido ao seu fraco desempenho energético. Por essa razão, recorre-se a vidros duplos, constituídos por duas camadas de vidro separadas por um espaço de ar ou gases como xénon, árgon ou krípton (normalmente com 16 mm de espessura) [26]. Existe ainda a possibilidade de integrar vidros triplos, porém trata-se de uma solução bastante dispendiosa e mais vocacionada para edifícios de comércio e serviços.

Para diminuir a condutibilidade térmica dos vidros duplos, o mercado oferece vidros de baixa emissibilidade (conhecidos por ϵ -Low), constituído por uma fina camada de óxido metálico aplicada numa das suas faces, que dificulta a transferência térmica entre dois ambientes, sem impedir a transmissão luminosa. Pode-se ainda adicionar um revestimento de controlo solar de modo a diminuir o fator solar do envidraçado [27].

O mercado também oferece uma vasta gama de vidros de elevada segurança, tais como vidros temperados ou laminados. O primeiro é caracterizado pela sua elevada resistência mecânica e

térmica, enquanto o segundo tem elevada resistência à penetração e elevado controlo acústico, térmico e solar [28].

2.3. Otimização do desempenho energético associado a sistemas técnicos

De seguida são introduzidos métodos de otimização do desempenho energético dos sistemas técnicos, iniciando por alguns conceitos básicos de dimensionamento, apresentação de estratégias de diminuição do consumo de AQS e apresentação de alguns equipamentos de produção de AQS.

2.3.1. Conceitos básicos

Para uma adequada avaliação e seleção de sistemas técnicos para edifícios de habitação é importante ter como base alguns princípios básicos de dimensionamento. Por esse motivo, numa primeira fase, apresentam-se dois aspetos a ter em consideração em sistemas de ventilação para a garantia da qualidade do ar interior. Posteriormente, apresentam-se pontos básicos necessários para o dimensionamento de sistemas de AQS.

- **Qualidade do ar interior**

Para proporcionar uma boa condição de salubridade do ar interior é necessário garantir uma taxa mínima de renovação do ar igual a 0,50 rph, sempre que possível recorrendo a meios naturais. Um dos métodos passa por aplicar aberturas autorreguláveis com um caudal de ar nominal mínimo de 25 m³/h para 2 Pa ou 75 m³/h para 20 Pa na envolvente envidraçada. Outra solução consiste em aplicar aberturas livres de pelo menos 60 cm² na fachada da habitação [10].

A ventilação deve ser geral a todo o edifício de habitação, devendo a admissão de ar ser realizada nos compartimento principais e a extração nos restantes compartimentos [10].

Um outro ponto bastante importante a ter em consideração para garantir a qualidade do ar interior é a concentração de radão no solo e a exposição dos ocupantes que depende essencialmente das características geogénicas e da construção do edifício (por exemplo, presença de fissuras ou fendas no chão e nas paredes que facilitam a infiltração deste gás no interior da moradia). A concentração de atividade média anual de radão no ar em habitações deve ser no máximo 300 Bq/m³, sendo que nos edifícios existente são recomendadas medidas corretivas ou de remediação quando se verificam valores próximos ou superiores ao valor máximo. Destacam-se métodos passivos como a utilização de barreiras impermeáveis ao radão ou colocação de grelhas de ventilação em paredes ou janelas e os métodos ativos como, por exemplo, a pressurização do edifício através de ventilação mecânica [29].

- **Necessidade de AQS para edifícios de habitação**

Para o dimensionamento de sistemas de AQS em edifícios de habitação unifamiliares recorre-se à equação (4) [11]:

$$M_{AQS} = C_{AQS} \times n_{oc} \times f_{eh} \quad (4)$$

Onde, M_{AQS} consiste no consumo médio diário de AQS (l/dia) C_{AQS} representa o consumo diário de água quente por ocupante (40 litros para habitações unifamiliares) (l), n_{oc} consiste no número de

ocupantes da habitação¹ e f_{eh} consiste no fator de eficiência hídrica (considera-se 0,90 para chuveiros ou sistemas de duche com rótulo igual ou superior a “A” ou para sistemas de recuperação térmica de águas residuais para preparação de AQS e assume-se o valor de 1 para os restantes casos).

- **Necessidade de energia útil e final para produção de AQS**

Para o cálculo da energia útil necessária para a produção de AQS (Q_a expresso em kWh/ano), utiliza-se a equação (5) [11]:

$$Q_a = \frac{M_{AQS} \times 4,187 \times \Delta T \times n_d}{3600} \quad (5)$$

Onde, ΔT representa o aumento de temperatura necessário para a preparação das AQS (assumindo-se o valor fixo de 35°C) (°C) e n_d consiste na quantidade de dias anuais em que se consome água quente.

Para determinar o consumo de energia final para produção de AQS (E_{AQS} expresso em kWh/ano), divide-se o valor calculado anteriormente pela eficiência térmica nominal do equipamento utilizado (E) afetada pelo fator idade (F_{age})², conforme apresentado na equação (6) [11]:

$$E_{AQS} = \frac{Q_a}{E \times F_{age}} \quad (6)$$

- **Temperatura de acumulação de água para consumo**

A desadequada temperatura de acumulação da água pode potenciar o aparecimento da bactéria *Legionella Pneumophila* que, como é sabido, é prejudicial para a nossa saúde podendo ser fatal. Por essa razão, é importante referir que a temperatura de acumulação ideal deve ser pelo menos 60°C, visto que, nessa temperatura a *Legionella* morre em aproximadamente 32 minutos. Para temperaturas inferiores à referida é promovido o aparecimento e desenvolvimento da bactéria, conforme esquematizado na Figura 6 [30].

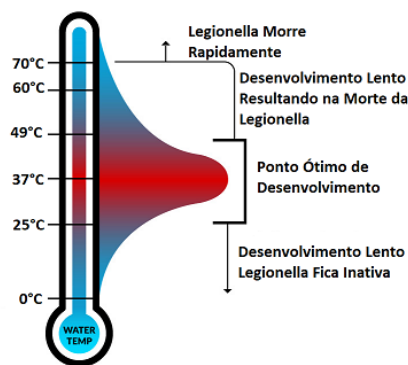


Figura 6 – Efeito da temperatura e desenvolvimento da *Legionella* (adaptado) [30].

¹ Por exemplo, numa habitação T3 considera-se 4 ocupantes (importante para o desenvolvimento da dissertação).

² Obtidos através da tabela 76 em [11].

Para além da temperatura da água, outros fatores que promovem a sobrevivência e a proliferação desta bactéria são: a presença de matéria orgânica e outros micro-organismos, o contacto com materiais como PVC, PE, silicone e borracha e a estagnação da água [31].

2.3.2. Redução do consumo de AQS

A primeira medida a ser aplicada na tentativa de melhorar os sistemas técnicos numa habitação consiste em minimizar os consumos de AQS com a consequente poupança de custos e melhoria do desempenho ambiental. Para isso, as principais medidas a adotar são [32]:

- Substituir os dispositivos de AQS atuais (como torneiras ou chuveiros) por dispositivos com maior eficiência hídrica;
- Instalar arejadores, redutores de pressão ou redutores de caudal;
- Instalar torneiras temporizadas e/ou com sensor de proximidade, torneiras termostáticas ou torneiras *eco-stop*.

Em Portugal a entidade que promove a classificação hídrica dos sistemas é a Associação Nacional para a Qualidade das Instalações Prediais (ANQIP). A escala de classificação é de A a E, podendo em aplicações especiais ou condicionadas alcançar o A⁺ ou A⁺⁺.

Na Tabela 4 apresentam-se as condições para atribuição dos rótulos de eficiência hídrica aos chuveiros e aos sistemas de duche, segundo o critério da ANQIP [33].

Tabela 4 – Rótulos de eficiência hídrica.

Caudal [l/min.]	Chuveiro	Sistema de duche	Sistema de duche com torneira termostática ou <i>eco-stop</i>	Sistema de duche com torneira termostática e <i>eco-stop</i>
$Q \leq 5,0$	A ⁺	A ⁺	A ⁺⁺	A ⁺⁺
$5,0 < Q \leq 7,2$	A	A	A ⁺	A ⁺⁺
$7,2 < Q \leq 9,0$	B	B	A	A ⁺
$9,0 < Q \leq 15,0$	C	C	B	A
$15,0 < Q \leq 30,0$	D	D	C	B
$30,0 < Q$	E	E	D	C

Um estudo realizado por Neves (2014) analisa o impacto económico mensal resultante da substituição de chuveiros tradicionais por dispositivos mais eficientes numa moradia T3 no Porto. Constatou que a instalação de chuveiros rótulo A e A⁺ permite uma redução mensal de 56% e 64%, respetivamente, de consumo de água pelos chuveiros. Consequentemente, para chuveiros com rótulo A, os proprietários beneficiam de uma poupança anual de 158€, enquanto que, para chuveiros com rótulo A⁺ a poupança anual é de 209€ [34].

2.3.3. Instalação de um sistema solar térmico

O sistema solar térmico consiste no aproveitamento de uma fonte de energia renovável limpa (radiação solar) para instalações de aquecimento central ou AQS. Também, pode ser destinado para arrefecimento, no caso de ser utilizado com um *chiller* de absorção, apesar desta prática ser pouco usual em habitações [35].

Este tipo de sistema tem sido cada vez mais aplicado em vários países como resultado dos estudos que demonstram as vantagens acarretadas em termos económicos e ambientais, tais como: a prevenção contra o aquecimento global, a diminuição da poluição do ar, a prevenção contra chuvas ácidas e a consequente desflorestação [35]. Para reforçar estas vantagens, a título de exemplo, refere-se:

- Num estudo realizado por Kalogirou (2009), foi avaliado o impacto económico e ambiental resultantes da instalação de dois coletores solares térmicos interligados a um termoacumulador de 150 litros numa moraria unifamiliar em Nicósia. Constatou que, durante um período de vinte anos, comparando os resultados da adoção de um sistema de AQS constituído por um sistema solar térmico como circuito primário com um sistema convencional a eletricidade ou a gasóleo é possível poupar 65% e 53%, respetivamente, na fatura energética. No que respeita ao período de retorno, é de dois anos e oito meses comparando com um sistema de eletricidade convencional ou quatro anos e seis meses, comparando com um sistema a gasóleo. Para além disso, verificou que em ambos os casos ocorre um decréscimo de aproximadamente 70% na emissão de gases de efeito de estufa [36].

Face ao exposto, considera-se que o sistema solar térmico deve ser abordado no desenvolvimento desta dissertação e, por esse motivo, neste subcapítulo apresentam-se resumidamente as características deste tipo de instalação, tais como: os tipos de coletores normalmente utilizados, os tipos de instalações, bem como os seus principais componentes.

- **Coletor solar térmico**

Trata-se de um equipamento que por meio de processos de condução, radiação e convecção capta e transfere energia solar para um determinado fluido térmico (normalmente água ou ar) que posteriormente é utilizado para aquecimento central, produção de AQS, aquecimento de piscinas, entre outras aplicações.

Atualmente, o mercado oferece uma vasta gama de coletores solares, desde os coletores planos (de placa plana ou tubos de vácuo), aos cilíndrico-esféricos, concentradores cónicos, coletores lineares de *Fresnel*, entre outros. No entanto, a maioria é vocacionada para usos industriais, contrariamente aos coletores solares de placa plana ou tubos de vácuo que são normalmente instalados em habitações. Por essa razão, de seguida descrevem-se estes dois tipos de equipamentos, focando no seu princípio de funcionamento e no tipo de instalações normalmente adotadas [37].

- **Coletor solar de placa plana vs coletor solar de tubos de vácuo**

Iniciando pelo coletor solar de placa plana, conforme apresentado na Figura 7, é constituído por uma caixa em alumínio isolada com uma placa de cobertura normalmente em vidro de elevada transmissibilidade à radiação solar. Segue-se uma superfície absorvedora e tubos paralelos onde circula o fluido de trabalho [37].

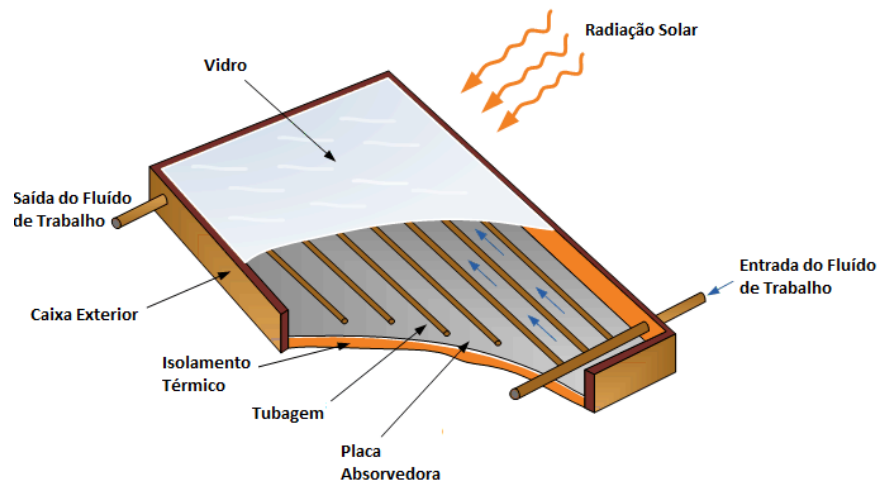


Figura 7 – Composição de um coletor solar plano (adaptado) [38].

O coletor solar por tubos de vácuo, apresentado na Figura 8, é composto por vários conjuntos em paralelo constituídos sequencialmente por: um tubo exterior transparente, uma camada de vácuo, um tubo interior revestido com material de elevada absorvidade solar e, por último, um tubo onde circula o fluido de trabalho [39].

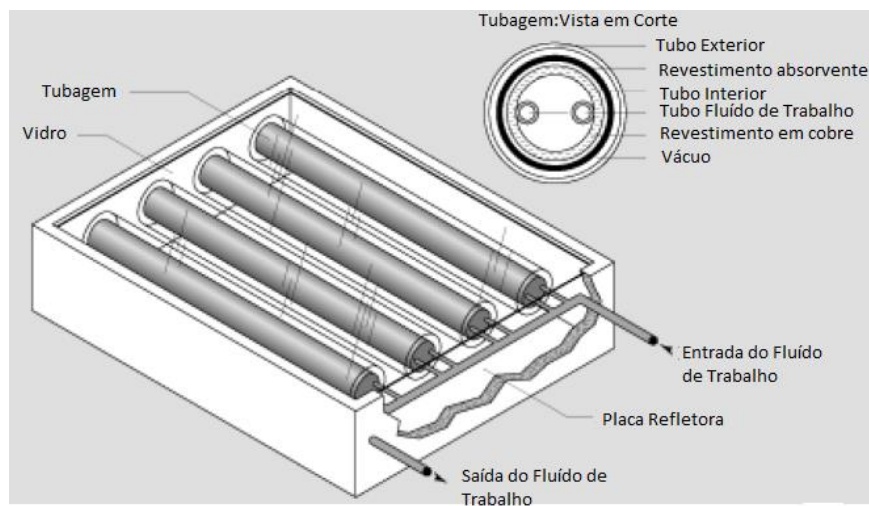


Figura 8 – Composição de um coletor solar de tubos de vácuo (adaptado) [40].

Na Tabela 5 são apresentadas as principais vantagens e desvantagens destes dois tipos de coletores.

Tabela 5 – Comparação coletor solar de placa plano e coletor solar de tubos de vácuo.

	Vantagens	Desvantagem
Coletor Solar Plano	<ul style="list-style-type: none"> ○ Custo Inicial e Manutenção mais reduzido; 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Pico de eficiência apenas quando os raios solares são perpendiculares ao coletor; ○ Interrupção do processo de aquecimento em caso de fratura de algum componente do coletor.

Tabela 5 - Comparação coletor solar de placa plano e coletor solar de tubos de vácuo (cont.)

	Vantagens	Desvantagem
Coletor Solar Tubos Vácuo	<ul style="list-style-type: none"> ○ Menor Índice de Perdas por Convecção; ○ Elevada eficiência durante grande parte do dia e em dias nublados e ventosos; ○ Continuação do processo de aquecimento em caso de fratura de algum tubo de vácuo. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Elevado custo inicial e de manutenção; ○ Possibilidade de sobreaquecimento; ○ Elevada fragilidade (vidro não temperado devido ao vácuo).
Fonte: [23].		

Em complemento da tabela apresentada, é importante referir que se prevê que por ano a produção média por m² do coletor solar de tubos de vácuo seja entre 25% a 40% superior aos coletores solares planos [39].

Em suma, comparando os dois tipos de coletores, tudo indica que o coletor solar de tubos de vácuo deve ser a primeira escolha dos donos de obra. No entanto, é importante alertar que este coletor permite que o fluido de trabalho atinja temperaturas entre os 50°C e 200°C, enquanto no caso do coletor solar de placa plana o fluido de trabalho pode atingir até cerca de 80°C. Isto significa que, é preciso ter bastante cuidado na decisão e dimensionamento de um coletor solar de tubos de vácuo para habitação, pois, conforme referido na tabela acima, pode ocorrer sobreaquecimento e danificação do sistema de aquecimento [39].

- **Orientação e inclinação dos coletores solares**

Idealmente, no hemisfério norte os coletores solares devem estar orientados a sul, podendo variar a sua orientação em $\pm 30^\circ$ ou $\pm 45^\circ$, sob a consequência de diminuir de 2,5% a 4% a energia solar anual recebida [41].

No que respeita à inclinação dos coletores solares depende fundamentalmente da latitude do local de instalação e o tipo de funcionamento pretendido (verão, inverno ou anual). Em Portugal, para instalações com funcionamento anual o ângulo de inclinação deve variar entre os 35° e 50° [41].

- **Circulação passiva vs Circulação forçada**

Entende-se por circulação passiva um tipo de instalação solar vulgarmente conhecida por termosifão, onde o aquecimento da água é realizado de forma natural, sem a intervenção de bombas circuladoras.

Na Figura 9 está representado um esquema deste tipo de instalação, que, conforme se pode verificar, é composto por um termoacumulador colocado no exterior a uma cota superior ao coletor solar. O seu princípio de funcionamento tem como base a variação da massa volúmica do fluido de trabalho: este é aquecido no coletor solar e devido à diminuição de massa volúmica migra para o termoacumulador e permuta o calor com a água. Consequentemente, a massa volúmica do fluido de trabalho diminui e este é reencaminhado para o coletor solar novamente [42].

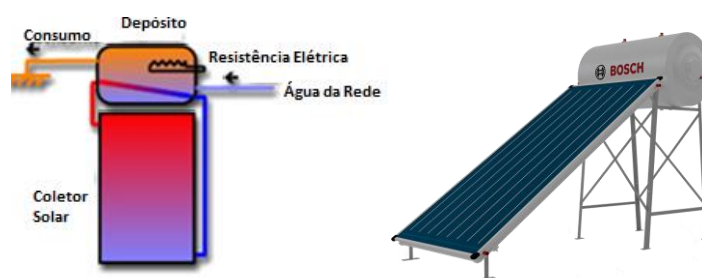


Figura 9 – Esquema de funcionamento sistema termosifão (esquerda) e instalação-tipo termosifão (direita).

No que respeita à circulação forçada, como o nome indica, a realização do ciclo de trabalho é imposta por movimentos forçados através de uma bomba circuladora. Neste caso, o termoacumulador pode ser instalado no interior da habitação e devido à instalação de uma bomba circuladora o fluido de trabalho circula entre o coletor e o depósito. Para além disso, este sistema necessita de um sistema de controlo interligado a dois sensores de temperatura: um instalado na parte inferior do termoacumulador e outro nos coletores solares na zona de maior temperatura. Sempre que os sensores registarem um diferencial de temperatura superior ao estipulado pelos utilizadores na central de regulação, a bomba circuladora é ativada e, caso contrário, permanece desligada [41, 42].

Na Tabela 6 são apresentadas as principais vantagens e desvantagens dos sistemas de circulação passiva e forçada.

Tabela 6 – Comparação entre circulação passiva e forçada.

	Vantagens	Desvantagem
Circulação Passiva	<ul style="list-style-type: none"> ○ Instalação mais simples, com menor custo de investimento inicial e manutenção; ○ Evita ocupar espaço no interior da habitação. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Maior perda de energia no termoacumulador durante a noite; ○ Maior impacto estético; ○ Menor tempo de vida útil do termoacumulador.
Circulação Forçada	<ul style="list-style-type: none"> ○ Permite um controlo mais rigoroso da temperatura da água no termoacumulador; ○ Termoacumulador normalmente instalado na vertical permitindo um maior aproveitamento da estratificação da água 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Necessário consumo elétrico; ○ Maior custo de investimento inicial e manutenção; ○ Necessário sistema de controlo.

Fontes: [43, 44].

• Principais Componentes da Instalação

- Depósito de acumulação

A utilização de um depósito de acumulação é importante para o armazenamento e aproveitamento de energia solar para compensar os períodos do dia em que esta não está disponível. Por isso a seleção de um bom depósito de acumulação e a sua correta instalação são fulcrais para aumentar a eficiência do sistema de AQS.

Existem vários tipos de depósitos: depósitos com câmara interna, depósitos de serpentina, depósitos sem permutadores internos e depósitos combinados denominados por *tank in tank*. Também se pode escolher a sua composição: por exemplo, em inox ou vitrificado [41]. Porém, como

o propósito desta dissertação não é a realização de um projeto de execução de uma instalação solar térmica, pretende-se apenas transmitir que atualmente o mercado oferece uma vasta gama de depósitos de acumulação cuja análise e seleção devem ser rigorosas.

O volume mínimo de acumulação (V_{ac} expresso em m^3) pode ser calculado da seguinte forma (equação (7)) [45]:

$$V_{ac} = \frac{Q_c}{c \times \rho \times \Delta T} \quad (7)$$

Onde, Q_c corresponde à energia captada pelos coletores solares durante um dia (kJ), c é o calor específico da água acumulada ((kJ/(kg.°C))), ρ é a massa volúmica da água acumulada (kg/ m^3) e ΔT corresponde à diferença da temperatura de acumulação e da água da rede (°C).

Para o cálculo de Q_c recorre-se à equação (8) [45]:

$$Q_c = A \times R_t \times \eta_{cd} \times (1 - \eta_L) \quad (8)$$

Onde, A corresponde à área útil do coletor solar (m^2), R_t é a radiação total captada por m^2 de painel durante um dia (kJ/(m^2)), η_{cd} é a eficiência térmica do coletor (%) e η_L corresponde às perdas térmicas no sistema (%).

O dimensionamento dos coletores solares pode ser realizado por vários métodos, dos quais se destacam três: método da fração solar, método da utilizabilidade ou misto, sendo o primeiro o basilar de todos. Os procedimentos de cálculo destes métodos são complexos e, por esse motivo, na equação (9) apresenta-se um pressuposto assumido pelo método da fração solar que permite prever o volume de acumulação de forma expedita [46].

$$V_{ac} = (50 \div 100) \times A \quad (9)$$

Ou seja, o volume de acumulação é em média 75 litros por m^2 de área útil de coletor solar.

- Bomba circuladora

O dimensionamento da bomba circuladora tem como base o caudal e a perda de carga imposta ao fluido de trabalho durante o circuito. Utiliza-se em instalações de circulação forçada e é responsável por compensar as perdas de cargas impostas ao fluido de trabalho durante o circuito. É instalada em linha com o sistema e normalmente na tubagem de retorno, onde a temperatura do fluido é mais reduzida.

Pode ser de rotor seco ou húmido, sendo mais usual optar-se pela segunda no circuito primário das instalações solares de pequenas dimensões. Relativamente ao seu material, deve ser compatível com o fluido de trabalho utilizado e com a finalidade a que se destina (por exemplo, ferro fundido para água de aquecimento ou inox para água para consumo). No que respeita ao funcionamento, pode ser de caudal constante ou caudal variável, cujo funcionamento é regulado através de um controlador conforme as necessidades, minimizando o consumo energético [44].

- Vaso de expansão

Essencial para o bom funcionamento de um circuito fechado, tem como função compensar o aumento de volume que se traduz num aumento de pressão resultante do aquecimento da água. O vaso de expansão é um volume fechado composto por duas partes separadas por uma membrana: uma parte com água e outra com gás (normalmente azoto ou ar). Quando a água é

aquecida e conseqüentemente há um aumento de pressão relativamente ao valor de pré-carga a frio, a divisória com gás dilata contribuindo, assim, para o equilíbrio da pressão. Deve ser instalado no circuito primário e no circuito secundário, sendo no primeiro caso instalado um vaso de expansão próprio para solar e no segundo um vaso de expansão próprio para AQS ou aquecimento [47].

- Fluido anticongelante

Para impedir que a água no circuito solar congele, mistura-se com fluido anticongelante que tem como função baixar a temperatura de solidificação e aumentar a temperatura de vaporização do fluido de trabalho. Este produto é composto à base de glicol (por exemplo, propilenoglicol) e é aplicado em quantidades a definir pelo vendedor em função da temperatura exterior que se estabelece como limite inferior de congelamento. Este fluido também é utilizado como um produto anticorrosivo e deve ser substituído em cada três a cinco anos [48].

- Tubagem, acessórios, válvulas e isolamento térmico

Começando pela tubagem e acessórios, o tipo de material mais utilizado é cobre ou aço inoxidável. Não é recomendada a utilização de tubagem em materiais plásticos dada a falta de experiência em avaliar o comportamento e durabilidade destes materiais quando sujeitos a elevadas variações de temperatura e pressão ao longo do tempo no circuito solar [44].

As válvulas normalmente utilizadas são: válvulas de corte, válvulas de retenção, válvulas de segurança, válvulas de regulação de caudal, válvulas termostáticas, válvulas de três vias, entre outras, cujas propriedades e princípios de funcionamento não são aprofundados ao longo desta dissertação, dado que o seu propósito não se trata da elaboração de um projeto de execução de um sistema solar térmico [44].

Por último, no que respeita à espessura do isolamento térmico, devem ser adotados os valores constantes na tabela 14 da portaria 138-I/2021, incrementados pelo menos 10 mm no caso de instalação no exterior [10]. Para além disso, o isolamento aplicado em ambiente exterior deve ser protegido por um revestimento de forra mecânica.

- Sistema de controlo

A regulação do circuito solar é normalmente realizada com base na diferença de temperatura entre os coletores solares e o depósito de acumulação. Ou seja, se as sondas de temperatura registarem diferenças de temperatura superiores ao valor estipulado (normalmente de 5°C a 8°C), ativam a bomba circuladora. Caso contrário, esta permanece desativada.

Em prol de uma melhor perceção, apresentam-se alguns exemplos de instalações de regulação do circuito solar (Figura 10).

- Regulador de temperatura diferencial (esquema 1)

É o método tipicamente utilizado em instalações de pequena dimensão e consiste na regulação de duas sondas de temperatura conectadas com o controlador: uma a jusante do coletor solar e outra no depósito de acumulação [41].

- Regulador de temperatura diferencial e válvula *by-pass* modulante (esquema 2)

Tipicamente utilizada em instalações solares de média a grande dimensão devido ao seu custo elevado, permite manter o valor de ΔT definido e melhora a permuta de calor entre o coletor solar e o depósito de acumulação [41].

- Regulador de temperatura diferencial e permutador de calor externo (esquema 3)

Neste caso, conforme referido, o permutador de calor é externo ao depósito de acumulação e, por essa razão, são necessários dois controladores para controlar as duas bombas de circulação. Neste exemplo, as sondas 1 e 2 regulam o funcionamento da bomba circuladora A, enquanto as sondas 3 e 4 regulam o funcionamento da bomba circuladora B [41].

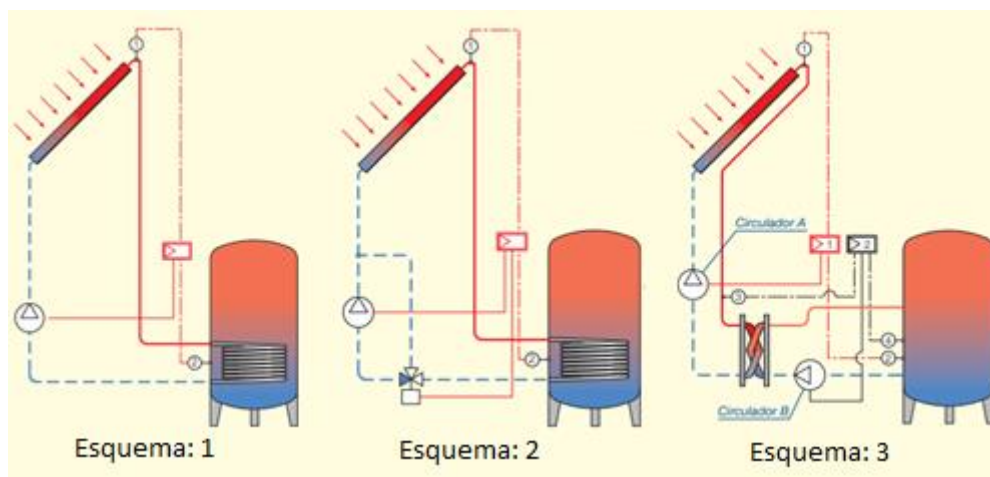


Figura 10 – Exemplos de sistema de controlo circuito solar [41].

Na Figura 11 apresenta-se um exemplo de uma centralina de controlo cuja função é controlar e reger a instalação solar de modo a maximizar o seu desempenho e protegê-la contra possíveis avarias provenientes, por exemplo, de solidificação, sobreaquecimento ou perdas/excesso de pressão. Dependendo do modelo seleccionado, normalmente este equipamento regista informações sobre o comportamento da instalação como o consumo de energia eléctrica, caudais, pressões e gera sinais de alarme.



Figura 11 – Caixa de regulação para instalação solar [49].

- **Equipamentos auxiliares**

Quando os coletores solares não conseguem satisfazer as necessidades de AQS ou aquecimento central, recorre-se a equipamentos auxiliares para produção de água quente, tais como: esquentadores, caldeiras, bombas de calor, entre outros, que são apresentados nos próximos subcapítulos.

2.3.4. Bomba de calor

A bomba de calor é um equipamento de produção de energia térmica, cujo princípio de funcionamento consiste na realização de trocas caloríficas entre duas fontes no sentido da fonte mais fria para a mais quente. O ciclo térmico de uma bomba de calor mais conhecido é o ciclo de Carnot reversível, publicado em 1824 pelo engenheiro francês Sadi Carnot [50].

O ciclo frigorífico de Carnot é constituído por um condensador, uma válvula de expansão, um evaporador e um compressor, ao longo dos quais circula um fluido de trabalho sujeito a duas transformações adiabáticas reversíveis e duas transformações isotérmicas, conforme representado na Figura 12³.

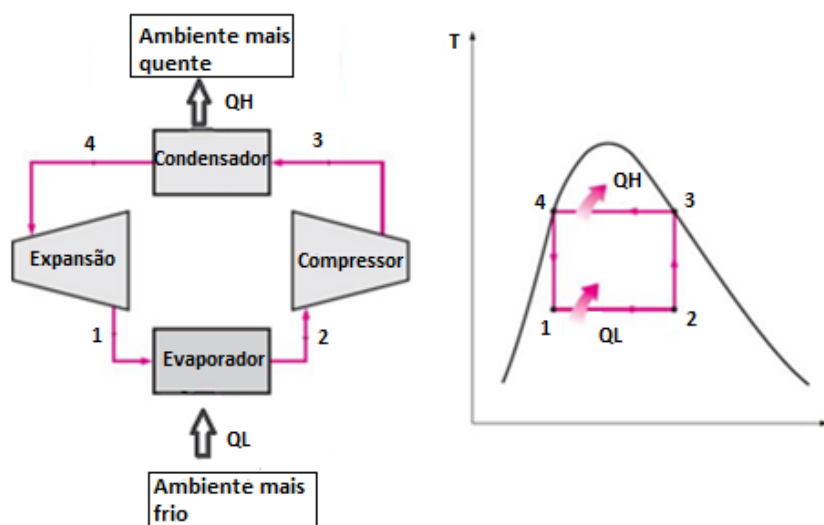


Figura 12 – Ciclo de Carnot (adaptado de [51]).

No evaporador o fluido de trabalho recebe calor proveniente da fonte fria e altera o seu estado de líquido para gasoso. Posteriormente é reencaminhado para o compressor, onde se consome energia que, por sua vez, é convertida em trabalho necessário para aumentar a pressão do fluido. De seguida, no condensador o calor é libertado, passando o fluido para o estado líquido. Por último é reencaminhado para a válvula de expansão onde devido à mudança de secção, diminui significativamente a sua pressão e temperatura [50].

Existem dois tipos de bomba de calor: reversíveis e não reversíveis. No primeiro caso são equipamentos que permitem o aquecimento e arrefecimento através da inversão do seu ciclo de funcionamento, enquanto no segundo tratam-se de bombas de calor apenas utilizadas para aquecimento [50].

Relativamente à sua composição podem ser do tipo *split* (constituídas por uma unidade interior e unidade exterior) ou monobloco (equipamento único instalado no exterior ou no interior do edifício com comunicação ao exterior através de uma conduta).

Nas bombas de calor, o fluido de trabalho é um fluido frigorigéneo.

³ QL representa o calor retirado do ambiente mais frio, enquanto QH representa o valor fornecido ao ambiente mais quente.

Relativamente à fonte fria e quente podem ser ar ou água, o que permite estes equipamentos classificarem-se em bomba de calor água/água, ar/ar ou ar/água (designação: fonte externa/fonte interna).

Em habitação, a fonte externa mais utilizada é o ar exterior porque é ilimitado e gratuito. Também, com a utilização do ar exterior o processo é mais rentável, visto que o seu calor específico, para a mesma temperatura, é cerca de quatro vezes inferior ao da água.

O desempenho destes equipamentos varia em função da temperatura da fonte fria, ou seja, varia em função da temperatura exterior.

A eficiência energética das bombas de calor denomina-se por *Coefficient Of Performance* (COP) e é obtida pela razão entre a potência calorífica de que o utilizador beneficia (condensador/aquecimento ou evaporador/arrefecimento) e a potência elétrica consumida (equação (10)).

$$COP = \frac{\text{Potência Calorífica Fornecida pela Bomba de Calor [kW]}}{\text{Potência Necessária para o Compressor [kW]}} \quad (10)$$

Por outro lado, o *Energy Efficiency Ratio* (EER) traduz a eficiência frigorífica da bomba de calor reversível (normalmente denominada por chiller/bomba de calor), que por sua vez, é calculada do mesmo modo que o COP.

O *Seasonal Coefficient Of Performance* (SCOP) e o *Seasonal Energy Efficiency Ratio* (SEER) consistem no rácio de eficiência energética sazonal medido ao longo do período de aquecimento e arrefecimento, respetivamente, e, por esse motivo, são os parâmetros habitualmente apresentados na documentação técnica dos equipamentos visto que enquadram o seu desempenho num cenário mais realista.

2.3.5. Termoacumulador elétrico

O termoacumulador elétrico é um equipamento utilizado para a produção de AQS por acumulação. É constituído por uma resistência elétrica para o aquecimento da água, um ânodo de magnésio (opcional) para o combate à corrosão, uma torneira de drenagem para remover eventuais sedimentos que se depositem no fundo, um termostato para controlar e definir a temperatura de acumulação pretendida e, em alguns casos, um controlador horário para, caso o consumidor pretenda, definir a altura do dia em que pretende que se realize o aquecimento da água (por exemplo, aproveitar a tarifa bi-horária). Para além disso, apresenta isolamento térmico para impedir a dissipação de calor.

Um aspeto muito importante na utilização de um termoacumulador é garantir que são realizadas regularmente manutenções ao equipamento e que a temperatura de acumulação estipulada pelo utilizador é adequada, de modo a evitar o desenvolvimento de bactérias como a *Legionella Pneumophila*.

2.3.6. Esquentador

O esquentador, representado na Figura 13, é um equipamento apenas de produção de AQS de forma instantânea, caracterizado pelos seguintes parâmetros: capacidade, tipo de gás utilizado e o tipo de exaustão.

A capacidade dos esquentadores pode variar entre os 5 l/min e 27 l/min, o que pode ser uma limitação quando utilizado para fornecer água quente a habitações com elevadas necessidades em simultâneo. Relativamente ao tipo de gás pode ser: propano, butano ou gás natural e, por último, no que respeita ao tipo de exaustão pode ser natural ou forçada [52].

Relativamente ao seu princípio de funcionamento, o processo inicia-se pela deteção de necessidade de água quente (por exemplo, através da abertura de uma torneira). Nesse momento, a válvula de gás piloto abre e inicia-se a ignição (manual (piezoelétrico) ou eletrónica) no queimador. Posteriormente, é detetada a presença de chama e a válvula de gás principal abre de forma a garantir as condições de queima e aquecimento da água que circula ao longo de um permutador em cobre instalado na câmara de combustão (Figura 13).



Figura 13 – Esquentador a gás (esquerda) e esquematização dos componentes de um esquentador de extração forçada (direita) [53, 54]

Conforme referido, a exaustão pode ser natural ou forçada através da presença de um ventilador de extração, que impulsiona a saída dos gases quentes pela conduta até ao exterior. No que respeita à admissão de ar, pode ser ar novo captado diretamente da sala ou proveniente do exterior (esquentador estanque) [55].

2.3.7. Caldeira

A caldeira a gás é um equipamento com um princípio de funcionamento bastante similar ao de um esquentador, porém pode ser utilizada para produção de AQS e/ou para aquecimento central.

É um equipamento tipicamente utilizado em Portugal, porém no mercado podemos encontrar caldeiras a gás com eficiências diferentes, consoante o seu método de extração de gases

provenientes da combustão. Assim, as caldeiras a gás caracterizam-se por: caldeira convencional e caldeira de condensação.

As caldeiras convencionais libertam livremente os gases de combustão para o exterior a temperaturas elevadas (superior a 100°C), enquanto as caldeiras de condensação aproveitam o calor latente do vapor de água contido nos fumos para pré-aquecer a água de consumo através de um permutador ar/água, conferindo, desse modo, um maior rendimento ao processo (Figura 14). Assim, enquanto as primeiras apresentam valores de eficiência de aproximadamente 90%, as segundas apresentam valores superiores a 100% [56].

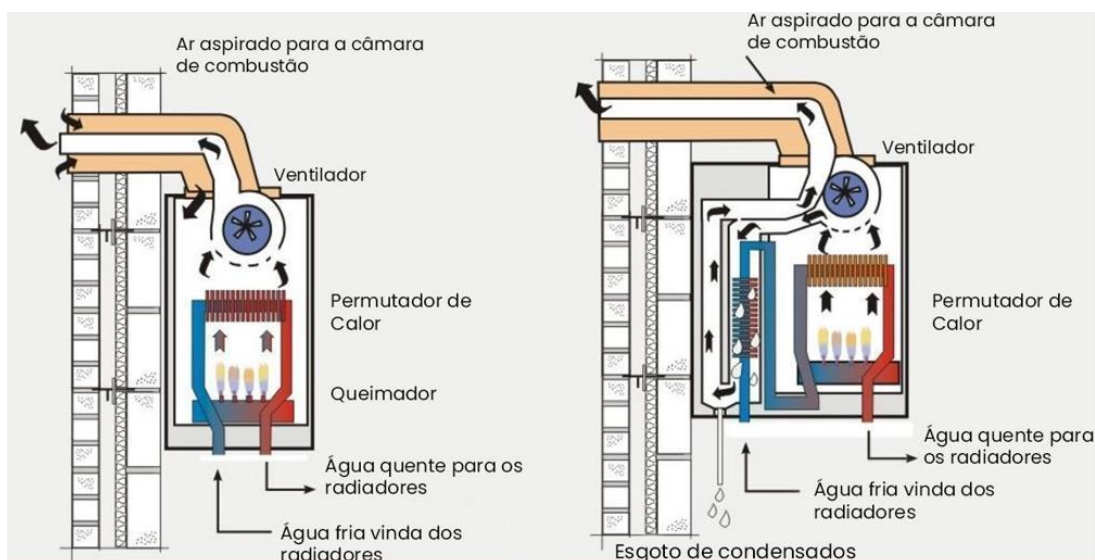


Figura 14 – Diferença esquemática entre o funcionamento de uma caldeira convencional (esquerda) e de condensação (direita) (Adaptado de: [56])

Para além disso, as caldeiras de condensação são mais ecológicas porque durante o processo o vapor de água presente nos gases de combustão condensa e dissolve parcialmente o óxido de azoto (NO_x), monóxido de carbono (CO) e CO_2 presentes nos gases de combustão [57].

Em termos de investimento inicial, a caldeira convencional é mais económica, porém não é a escolha mais acertada para um investimento a longo prazo [57].

As caldeiras de condensação podem ainda ser do tipo ventilada ou estanque (conceito explicado no subcapítulo anterior).

Relativamente à instalação, as caldeiras a gás podem ser instantâneas ou podem estar interligadas a um depósito de inércia e, caso necessário, conjugadas com outro sistema de aquecimento (por exemplo sistema solar térmico). O sistema de acumulação apesar de ser mais dispendioso, permite que o caudal de água quente mais elevado, aumentando a capacidade de resposta, impedindo sucessivos arranques da caldeira sempre que se necessite água quente.

2.3.8. Caldeira, salamandra e recuperador de calor a biomassa

A caldeira a biomassa, representada na Figura 15, é um equipamento destinado ao aquecimento central e/ou AQS. Pode ser instalada em qualquer ponto da habitação (como uma cave ou arrecadação), desde que seja garantido o contacto com o exterior através do tubo de exaustão do fumo e gases de queima.

Por outro lado, a salamandra e o recuperador de calor, representados na Figura 15, são normalmente instalados na sala-de-estar porque realizam o aquecimento local do espaço.



Figura 15 – Caldeira a *pellets* (esquerda), salamandra a *pellets* (centro), recuperador de calor a *pellets* canalizável (direita) [58, 59, 60]

A salamandra e o recuperador de calor também podem ser utilizados para aquecimento central, desde que sejam conectados a uma rede de água quente para a alimentação de radiadores ou ventiloconvectores. Para além disso, podem ser aproveitados para produção de AQS através da ligação a uma serpentina de um depósito de acumulação ou outro equipamento (por exemplo, bomba de calor).

Na Figura 16 e na Figura 17 apresenta-se o esquema de um recuperador de calor e o exemplo de uma instalação onde se aproveita este equipamento para aquecimento central e produção de água quente sanitária.

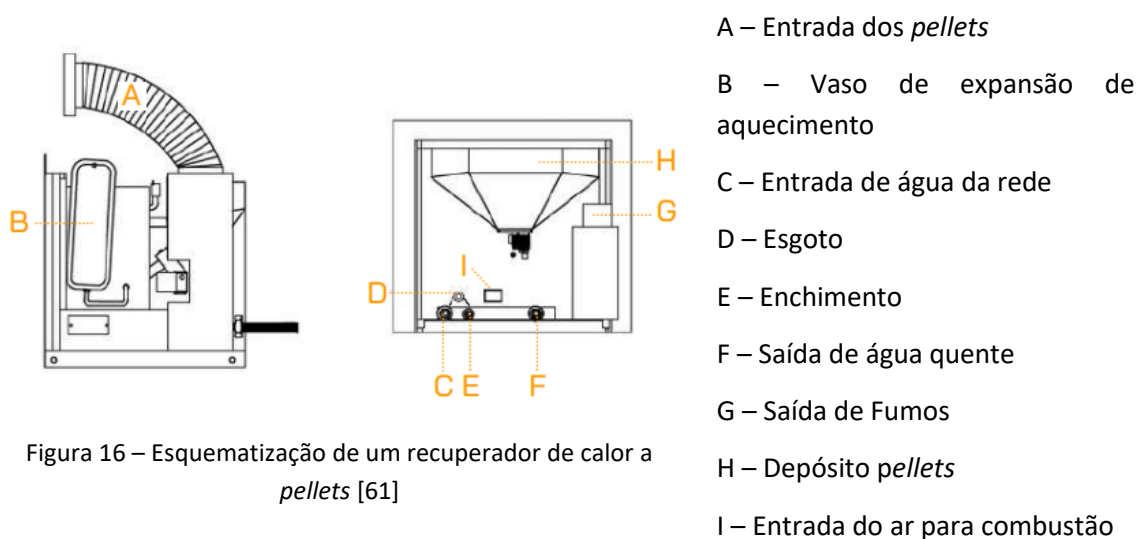


Figura 16 – Esquematização de um recuperador de calor a *pellets* [61]

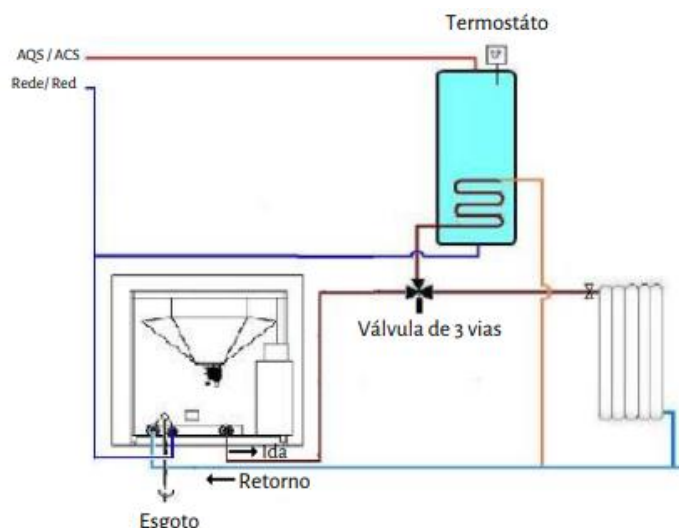
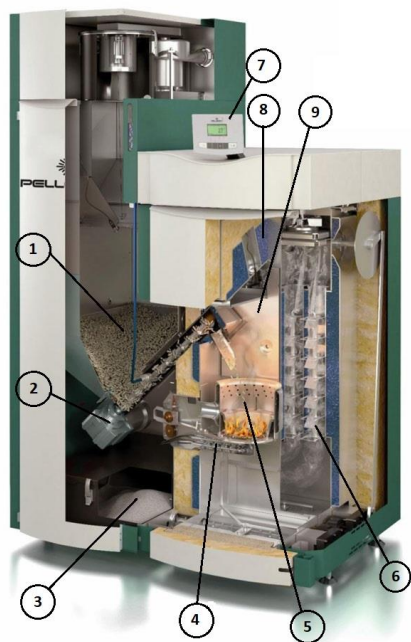


Figura 17 – Esquema de instalação de um recuperador de calor adaptado para produção de AQS e aquecimento central [61].

A caldeira e a salamandra a biomassa têm um princípio de funcionamento semelhante, sobre o qual segue uma breve explicação, auxiliada por uma vista tridimensional em corte de uma caldeira, apresentada na Figura 18.



- 1 – Silo de armazenamento
- 2- Parafuso sem-fim
- 3 – Cinzeiro
- 4 – Limpeza automática de cinzas
- 5 – Cesto de queima
- 6 – Permutador para gases de combustão
- 7 – Controlador
- 8 – Tanque de água
- 9 – Câmara de combustão

Figura 18 – Componentes de Caldeira a *pellets*
(Adaptado de [62])

Para o funcionamento do equipamento, os *pellets* (combustível do tipo biomassa) são transportados automaticamente através de um parafuso sem-fim helicoidal desde o silo de armazenamento até ao cesto de queima, onde se realiza a combustão.

O silo possui paredes laterais íngremes para permitir a queda simultânea de *pellets* e possíveis poeiras e serrim no cesto de queima, pois caso isso não acontecesse, no final do processo a caldeira

estaria a queimar apenas poeiras e serrim, aumentando significativamente a temperatura do equipamento e diminuindo a sua eficiência de queima.

O processo de queima é iniciado por sistema de ignição automático, composto por uma resistência elétrica ou um elemento cerâmico incandescente. Posteriormente, os gases e fumos de combustão são forçados a sair por um tubo de exaustão, percorrendo primeiramente um permutador de calor possibilitando o aquecimento da água que rodeia a câmara de combustão por radiação, convecção forçada e condução.

Conforme se pode verificar pela imagem, a caldeira possui isolamento térmico de forma a minimizar as perdas energética para o espaço onde está instalada [63].

2.3.9. Fogão a biomassa

O fogão a biomassa (como, por exemplo, lenha ou *pellets*) é utilizado para cozinhar e permite o aquecimento do espaço onde está instalado. Porém, conforme os equipamentos descritos no subcapítulo anterior, pode ser igualmente adaptado para aquecimento central ou AQS, conforme a instalação exemplo esquematizada na Figura 19.

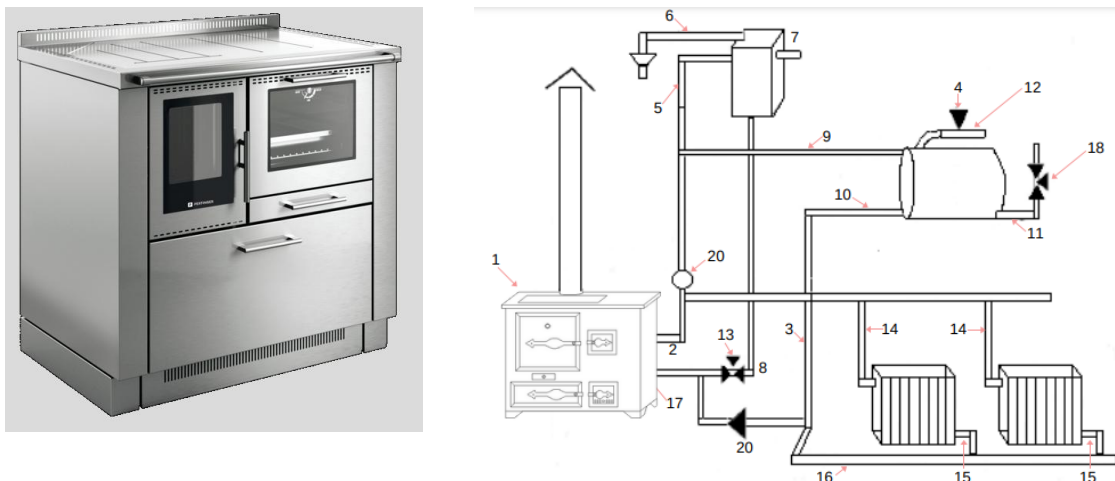


Figura 19 – Fogão a *pellets* (esquerda) e esquema de instalação de fogão adaptado para produção de AQS e Aquecimento Central (direita) [64, 65]

1 – Fogão a *pellets*; 2- Tubagem saída de água quente; 3 – Tubagem de ligação aos radiadores; 4 – Válvula de retenção; 5 – Tubagem ligação ao vaso de expansão; 6 – Tomada de respiro; 7 – Alimentação de água ao vaso de expansão; 8 – Tubo de carga do circuito; 9 – Tubagem de ida ao acumulador, 10 – Tubagem de retorno do acumulador, 11 – Tubagem de entrada de água quente (proveniente de outra fonte); 12 – Tubagem de saída de água quente para consumo; 13 – Válvula de retenção; 14 – Tubagem de ida aos radiadores; 15/16 – Tubagem de retorno dos radiadores; 17 – Tubagem de retorno ao fogão; 18 – Válvula de segurança; 19 – Termostato; 20 – Bomba circuladora.

Por outro lado, os fogões a lenha são sistemas intermitentes de produção de calor, pois funcionam segundo ciclos de combustão, devido ao abastecimento manual do sistema. Apesar desta desvantagem, os fogões a lenha continuam a ser bastante utilizados para o aquecimento residencial devido à disponibilidade e facilidade de utilização de madeira disponível.

2.3.10. Principais fontes de energia térmica

Ao longo dos anos verifica-se uma alteração dos hábitos de consumo de energia nas famílias portuguesas e uma crescente preocupação na escolha da melhor fonte de energia tanto para aquecimento central como para produção de AQS. Focando neste último ponto, verifica-se que o consumo e a despesa de energia para produção de AQS diminuíram 3,80% e 12,70%, respetivamente, desde o ano 2010 até 2020 [66, 67]. No que respeita à variação do consumo de energia por tipo de fonte, constata-se um aumento de utilização de fontes de energia renovável e de gás natural, conforme se pode verificar pela Tabela 7.

Tabela 7 - Consumo de energia (%) em sistemas de AQS no setor residencial em Portugal por tipo de fonte de energia.

	Eletricidade	Gás Natural	GPL Garrafa	GPL Canalizado	Biomassa	Gasóleo Aquecimento	Solar Térmico
2010	3,4	27,9	42,8	7,4	7,0	8,4	3,0
2020	N/D	35,6	32,9	7,0	8,4	N/D	9,5

Fontes: [66, 67].

Na Tabela 8 apresentam-se as principais fontes de energia, bem como o fator de emissões de CO₂, o seu poder calorífico inferior (PCI) e o custo médio.

Tabela 8 - Principais fontes de energia.

Fonte de Energia	Fator de Emissões CO ₂ [kgCO ₂ /kWh _{EP}]	PCI [MJ/kg]	Custo médio [€/kWh]	Fontes
Eletricidade	0,144	N/A	0,21	[11, 68, 69]
Gás Natural	0,202	48,3	0,10	[11, 70, 71, 72]
Gás Butano	0,170	45,7	0,20	[11, 70, 73, 74]
Gasóleo	0,27	42,5	0,17	[11, 70, 71, 75]
Lenha	0	14,6	0,03	[11, 70, 71, 76]
<i>Pellets</i>	0	18,0	0,10	[11, 70, 77, 78]

2.4. Critérios para avaliação de investimentos

A execução de um projeto pressupõe de uma análise económica antecipada com vista a viabilizar ou não o projeto de investimento. Para isso, geralmente utilizam-se três critérios de avaliação: calcular o período de retorno do investimento (conhecido por *payback*), o VAL e o TIR.

Iniciando pelo conceito de período de retorno do investimento (P_{retorno}), trata-se de um método simplista que prevê ao fim de quando tempo os rendimentos acumulados se igualam ao valor do investimento inicial. A equação (11) traduz o seu método de cálculo [79].

$$P_{\text{retorno}} = \frac{I}{R} \quad (11)$$

Onde, I é o investimento inicial (€) e R o fluxo de caixa anual (€).

A principal desvantagem da aplicação deste método é considerar o fluxo de caixa anual um valor constante e desconsiderar oscilações na rentabilidade devido à inflação dos preços ou eventuais custos adicionais que possam surgir no projeto [79].

O VAL é um método que permite comparar vários processos com durações diferentes e retornos variáveis ao longo dos anos. Pode ser calculado através da equação (12) [80].

$$VAL = -I + \sum_{i=1}^n \frac{R}{(1+r)^i} \quad (12)$$

Onde, n é o ano em análise e r a taxa de desconto utilizada, definida como a taxa de prémio sobre a taxa de risco.

Os resultados são interpretados da seguinte forma [80]:

- VAL < 0: O projeto não tem rentabilidade e não retribui o mínimo exigido pelos investidores pelo que deve ser reprovado ou reajustado;
- VAL = 0: O projeto é economicamente viável, cobre o investimento e é possível obter o retorno mínimo exigido. Porém, está no limiar de deixar de ser rentável;
- VAL > 0: O projeto tem mérito e deve ser implementado.

O TIR é um valor percentual que representa a rentabilidade obtida por um determinado projeto, ou seja, o valor da taxa de desconto que torna o valor de VAL igual a zero. Por essa razão, o seu valor é calculado através da equação (13) [81].

$$VAL = 0 \Leftrightarrow -I + \sum_{i=1}^n \frac{R}{(1+TIR)^i} = 0 \quad (13)$$

Os resultados são interpretados da seguinte forma [81]:

- TIR < r: O investimento não é economicamente atrativo;
- TIR = r: O investimento é economicamente indiferente;
- TIR > r: O investimento é economicamente atrativo.

2.5. Software de simulação dinâmica

O programa utilizado para o desenvolvimento da dissertação é o *EnergyPlus*. Trata-se de um *software* desenvolvido para modelar e analisar o comportamento energético e térmico de um edifício, nomeadamente no que respeita ao arrefecimento e aquecimento central, produção de AQS, iluminação e ventilação natural e/ou mecânica, para projetos de edifícios em fase de auditorias, construção ou otimização. Para uma utilização mais prática utiliza o interface gráfico *OpenStudio*, onde é inserido de modo simplificado o modelo geométrico do edifício em estudo produzido através do modelador *Sketchup*. Inclui uma biblioteca de dados (como elementos construtivos, perfis de utilização ou tipos de envidraçados) que ajudam na definição do edifício em estudo e que podem ser adaptados [82].

Através da introdução de dados e parametrização do modelo em análise (através da definição da localização, orientação, ganhos internos e externos, perfis de funcionamento e ocupação e cargas

do edifício), obtém-se resultados fiáveis do edifício em geral e/ou para zonas térmicas específicas, nomeadamente [82]:

- Avaliação do comportamento térmico da envolvente opaca e envidraçado tendo em consideração transferência de energia sob a forma de condução, convecção e radiação;
- Análise da contribuição solar e dos sombreamentos nas cargas térmicas e na necessidade de conjugar com luz artificial;
- Valores de carga térmica de aquecimento e/ou arrefecimento;
- Análise da influência térmica entre zonas térmica;
- Dimensionamento de sistemas de climatização e/ou ventilação;
- Análise de consumos energéticos conforme a fonte de energia assumida e dados técnicos dos equipamentos considerados;
- Análise do conforto térmico, temperatura operativa do ar, temperatura média radiante, velocidade do ar e/ou humidade do ar;
- Avaliação dos consumos de CO₂;

Através do interface gráfico apresenta os resultados de forma bastante clara e intuitiva recorrendo a tabelas e gráficos e permite a análise pormenorizada de resultados para intervalos de tempo reduzidos.

3. MÉTODOS E APLICAÇÃO

Neste terceiro capítulo inicia-se o desenvolvimento da dissertação, começando pela apresentação do caso de estudo, nomeadamente os seus elementos construtivos e os seus sistemas técnicos. Posteriormente, são apresentados os principais pontos necessários a definir no *software* de simulação dinâmica, bem como os pressupostos de simulação considerados.

3.1. Apresentação do caso de estudo

O edifício em estudo situa-se na cidade da Trofa, pertencente ao distrito do Porto. Caracteriza-se pela tipologia T3, com área total do terreno de 480 m², do qual apenas 141,17 m² são habitáveis. A área habitável é constituída por duas habitações geminadas e um edifício anexo, porém é apenas alvo de estudo a moradia mais antiga (73,47m²), por evidenciar consumos energéticos mais elevados provenientes dos sistemas técnicos implementados e elevadas perdas de energia pela envolvente.

O edifício é constituído por dois pisos: cave e rés-do-chão, seguida de um desvão de cobertura fortemente ventilado e sem ocupação permanente. A cave (com 47,89 m²), é utilizada como armazém (espaço não útil) e o rés-do-chão é constituído pelos compartimentos apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 - Enumeração dos compartimentos da moradia (rés-do-chão) e indicação da área útil e tipo de espaço

Compartimento	Área Interior [m ²]	Caracterização do espaço
Marquise	13,88	Espaço Interior Não Útil
Cozinha	7,30	Espaço Interior Útil
Despensa	3,54	Espaço Interior Útil
Sala de Estar/Sala de Jantar	13,95	Espaço Interior Útil
Quarto 1	14,90	Espaço Interior Útil
Quarto 2	10,13	Espaço Interior Útil
Quarto 3	9,54	Espaço Interior Útil
Casa de Banho	4,00	Espaço Interior Útil
Corredor	5,78	Espaço Interior Útil

O pé direito da cave (parcialmente enterrada) é de 1,75 metros e do rés-do-chão é 2,80 metros. Já o desvão da cobertura principal apresenta o formato de um prisma triangular com 1,50 metros de altura máxima.

Para um melhor perceção, na Figura 20 apresenta-se a planta do edifício, com a identificação dos compartimentos referidos na Tabela 9, suportada pelo modelo 3D, apresentado na Figura 21, desenvolvido através do *software Sketchup* que, por sua vez, serviu como ponto de partida para a simulação energética (tema abordado com maior detalhe nos próximos subcapítulos).



Figura 20 - Planta Rés-do-Chão.

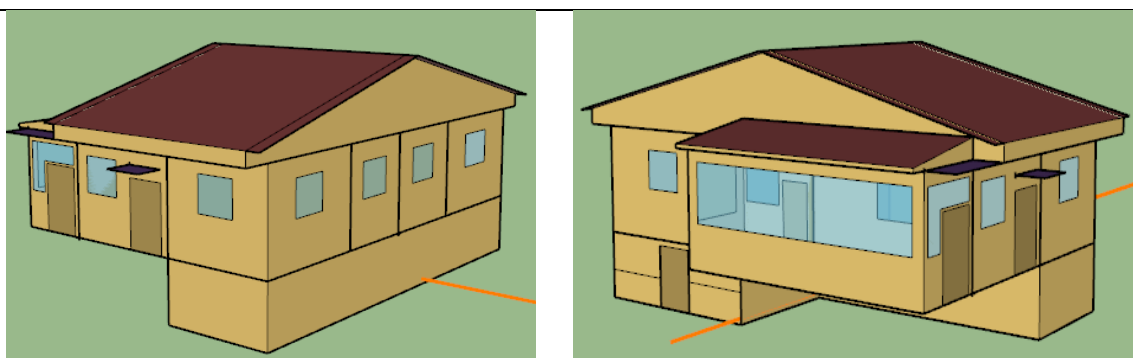


Figura 21 - Representa o 3D da moradia: alçado norte e este (esquerda) e alçado sul e este (direita).

Relativamente aos espaços interiores não úteis, identificam-se três espaços, cuja determina o dos respetivos valores de b_{ztu}   apresentada em maior detalhe no apêndice B.

- ENU1 – Marquise: $b_{ztu} = 0,70$;
- ENU2 – Cave: $b_{ztu} = 0,30$
- ENU3 – Desv o de Cobertura Principal: $b_{ztu} = 1,00$

A moradia apresenta uma inércia térmica média, cujo cálculo cujo cálculo pode ser verificado no apêndice D.

3.2. Localiza o e dados climáticos

Para a realiza o desta disserta o, numa primeira fase   realizado um estudo prévio sobre dados climáticos da região onde a moradia foi construída, que   fulcral para determinar o atual estado térmico da habita o e os requisitos mínimos energéticos que deve cumprir. O edifício em apreço

situa-se, conforme referido anteriormente, na cidade de Trofa a 77 metros de altitude, a cerca de 15,76 km da costa marítima (Figura 22) e pertence à NUTS III – Grande Porto.

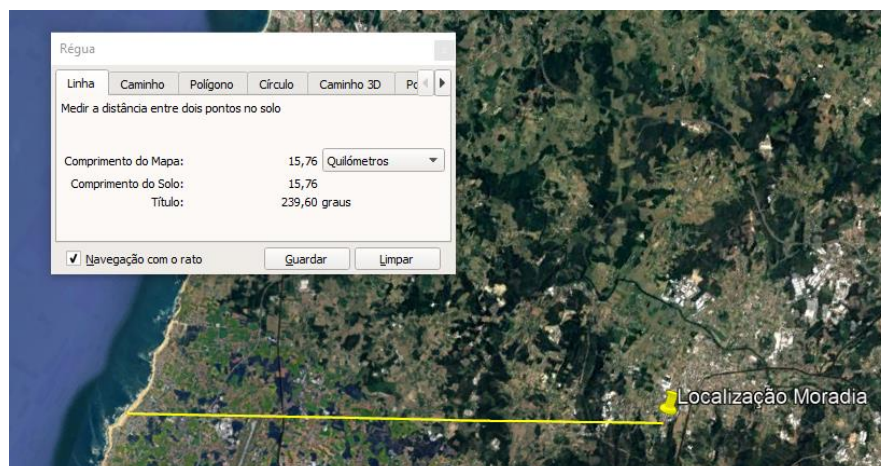


Figura 22- Distância da moradia à costa marítima (fonte: Google Earth).

Para a determinação do zonamento climático de verão e de inverno e obtenção do ficheiro climático de referência para a localização da moradia, utiliza-se o *software* SCE.CLIMA (v1.0) [83]. Da sua análise, conclui-se que o zonamento climático de verão e de inverno é **V2** e **I1**, respetivamente, e retiram-se as condições exteriores de projeto para a estação convencional de aquecimento e arrefecimento, conforme apresentados na Tabela 10 [84].

Tabela 10 - Condições Exteriores de Projeto.

Estação	Temperatura de bolbo seco (°C)	Temperatura de bolbo húmido (°C)	Humidade relativa (%)
Convencional de Aquecimento	1,90	1,90	100
Arrefecimento	30,3	19,30	36

Importa referir que a estação convencional de aquecimento é dada como o intervalo entre o primeiro e último decêndio desde 1 de outubro até 31 de maio, cuja temperatura média diária registada é inferior a 15°C. Por outro lado, a estação de arrefecimento é constante e define-se pelo intervalo de 1 de junho a 30 de setembro [85]. Posto isto, conclui-se que, conforme representado na Figura 23, a estação convencional de aquecimento inicia a 1 de novembro e termina a 19 de abril.

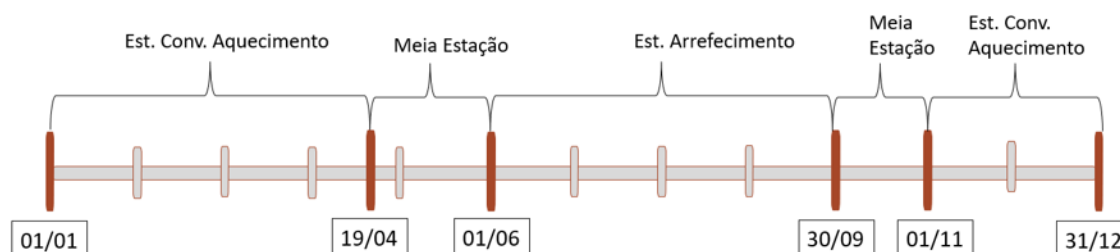


Figura 23 - Estação convencional de aquecimento, meia estação e estação de arrefecimento.

Outro ponto importante a analisar no respeito à localização da moradia é a taxa média de radão. Neste caso, para o município da Trofa a sua concentração é **elevada**, o que compromete a qualidade do ar interior [86]. Por essa razão, uma medida de prevenção a implementar passa por ventilar fortemente a cave através da aplicação de grelhas nas fachadas que garantam uma abertura mínima permanente de $1500 \text{ mm}^2/\text{m}^2$ [11].

3.2.1. Identificação e caracterização da envolvente

Antes de abordar o tema deste subcapítulo, é importante referir que o projeto existente e facultado pelo proprietário foi realizado em 1992 no âmbito da obra “Ampliação de moradia”. O mesmo não especifica qualquer de tipo de elementos construtivos e serve apenas de auxílio para a determinação da área dos diversos compartimentos. Uma vez que os elementos construtivos não são especificados, a sua seleção tem como base o conhecimento transmitido por parte dos proprietários que sempre acompanharam a construção da moradia, podendo, no entanto, ser necessário algum ajuste. No âmbito deste trabalho e para efeitos de simulação, a seleção dos materiais tem como base o publicado no ITE 50 [87] e ITE 54 [88] e, na dúvida entre dois materiais ou duas espessuras, considerou-se o pior cenário, ou seja, o que propicia uma maior condutibilidade térmica para o exterior e para espaços não úteis. Também, a seleção de materiais e espessuras foi realizada do modo mais realista possível e foi validada pelos proprietários.

- **Envolvente Opaca**

Na Tabela 61 presente no apêndice C estão descritos com maior detalhe os pormenores construtivos da moradia, enquanto, na Tabela 11 apresentam-se de forma resumida os coeficientes de transmissão térmica calculados, adiantando com a indicação se cumprem ou não os valores máximos admissíveis impostos para edifícios de habitação sujeitos a grande reabilitação (consultar o subcapítulo 2.2.1). Importa, contudo, referir que de forma a contabilizar os efeitos provocados pelas pontes térmicas planas (devido à ausência de projeto de estruturas) os valores da envolvente opaca em contacto com o exterior são majorados em 35% (conforme sugerido na página 54 em [11]).

Em prol de uma melhor compreensão, aconselha-se que a leitura da Tabela 11 seja acompanhada pela análise das peças desenhadas apresentadas no apêndice A (figuras 43 a 46).

Tabela 11 - Coeficiente de transmissibilidade térmica da envolvente opaca do edifício e verificação de cumprimento de requisitos térmicos.

Elemento	Tipo de elemento	U solução [W/(m ² .°C)]	U máximo [W/(m ² .°C)]	Verificação
PEXT1	Parede exterior	1,09 1,47 (+35%)	0,50	Não Cumpre
PEXT2	Parede exterior	1,69 2,28 (+35%)	N/A	N/A
PEXT3	Parede exterior	3,65	N/A	N/A
PEXT4	Parede exterior	2,91	N/A	N/A
PI1	Parede interior	0,99	2,00	Cumpre
PCI1	Parede de compartimentação interior	1,92	N/A	N/A

Tabela 11 - Coeficiente de transmissibilidade térmica da envolvente opaca do edifício e verificação de cumprimento de requisitos térmicos (cont.).

Elemento	Tipo de elemento	U solução [W/(m ² .°C)]	U máximo [W/(m ² .°C)]	Verificação
PADJ	Parede meeira	0,99 1,34 (+35%)	2,00 ⁴	Cumpre
LJ1	Laje de pavimento	2,26 (flx.asc) 1,72 (flx.dsc)	1,65	Não Cumpre
LJ2	Laje de pavimento	2,71 (flx.asc) 1,97 (flx.dsc)	1,65	Não Cumpre
LJ3	Laje de pavimento térreo	0,49	N/A	N/A
LJ4	Laje de pavimento térreo	0,62	N/A	N/A
LJ5	Laje de pavimento térreo	2,48	N/A	N/A
CI1	Cobertura interior	2,77 (flx.asc) 2,00 (flx.dsc)	0,40	Não Cumpre
CI2	Cobertura Interior	2,77 (flx.asc) 2,00 (flx.dsc)	N/A	N/A
CE1	Cobertura exterior	4,81 (flx.asc) 6,49 (+35%) 2,87 (flx.dsc) 3,87 (+35%)	N/A	N/A
PRTI	Porta interior	2,44 ⁵	N/A	N/A
PRTE	Porta exterior	5,80 ⁶	N/A	N/A

Nota: Os valores de U solução referentes a PEXT3 e LJ5 têm como base os valores fornecidos pelos relatórios do software de simulação.

- **Cor das Paredes Exteriores**

As paredes exteriores estão pintadas em verde escuro no lado exterior e brancas no interior da moradia (Valores de RAL não especificados pelos proprietários).

- **Vãos Envidraçados e Sombreamentos**

O edifício em apreço é constituído por doze vãos envidraçados com total de 22,05 m² de área envidraçada, dos quais 9,90 m² integram os 69,14 m² de área útil de pavimento, afetos por orientação conforme apresentado na Tabela 12.

Tabela 12 – Análise dos vãos envidraçados por fachada.

Orientação da Fachada	Norte	Sul	Este	Oeste
Percentagem de vão envidraçado [%]	20,0	55,2	15,9	8,9
Área de vão envidraçado/Área de fachada [%]	8,7	18,0	13,0	32,4

⁴ Para edifícios adjacentes considera-se b_{ztu} igual a 0,60.

⁵ Fonte: [102]

⁶ Fonte: [103]

Conforme se pode verificar pela Tabela 12, mais de metade da área de envidraçado está afeta ao quadrante sul o que traduz uma despreocupação durante a construção com questões como o risco de sobreaquecimento no verão.

Na Tabela 13 e na Tabela 14 apresentam-se, respetivamente, as características consideradas para os vãos envidraçados (VE) e para os dispositivos de proteção solar existentes (DPS), que, por sua vez, devem ser analisadas paralelamente com o apêndice A.

Tabela 13 - Propriedades dos vãos envidraçados.

Elemento	Fator solar vidro	Tipo de caixilho	Tipo de janela	DPS	U_w [W/(m ² .°C)]	U_{wdn} [W/(m ² .°C)]	$U_{w, max.}$ [W/(m ² .°C)]	Verificação de requisitos térmicos
VE1 a VE7	0,85	Madeira	Giratória	1	5,10	3,90	2,80	Não cumpre
VE8/VE10	0,85	Metálico	Fixa	2	6,00	4,50	N/A	N/A
VE9	0,85	Metálico	De correr	2	6,50	4,80	N/A	N/A
VE11/VE12	0,85	Madeira	Giratória	N/A	5,10	N/A	2,80	Não cumpre

Pressuposto: Vãos envidraçados compostos por vidro simples e caixilho sem corte térmico

Fontes: [87], [11]

Tabela 14 - Dispositivos de proteção solar, respetiva resistência térmica e fator solar considerando o dispositivo de proteção solar totalmente ativado ($g_{tot,vc}$).

Elemento	Tipo	$g_{tot,vc}$	Resistência térmica [(m ² .°C)/W]
DPS1	Estore de lâminas interior de cor clara	0,45	0,08
DPS2	Persiana de réguas plásticas de cor clara sem preenchimento isolante	0,07	0,16

Fontes: [11]

Conforme se pode verificar pela Tabela 13, todos os vãos envidraçados estão sujeitos a um valor máximo de coeficiente de transmissibilidade térmica, excetuando-se os VE8, VE9 e VE10, pelo motivo de pertencerem a um espaço interior não útil.

No que respeita ao fator solar, nem todos os vãos envidraçados se sujeitam ao cumprimento do valor estipulado conforme a norma atual em vigor, nomeadamente os vãos envidraçados orientados a norte (VE2, VE3, VE4 e VE5) e os VE8, VE9 e VE10, pelo motivo apresentado no parágrafo anterior.

Relativamente aos sombreamentos exteriores, verifica-se a existência de palas horizontais acima da porta de entrada da marquise e da sala.

3.2.2. Sistemas técnicos de AVAC

A produção de AQS é realizada através de um termoacumulador elétrico de 80 litros (marca e modelo não especificados pelos proprietários).

O edifício não apresenta sistema de climatização.

No que respeita à ventilação, a moradia possui apenas como meio de ventilação mecânica um exaustor com filtro de cozinha com, obviamente, utilizações pontuais. Posto isto, recorrendo à ferramenta disponibilizada pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) estima-se que a taxa de renovação horária do ar na moradia é 0,62 rph (apêndice F) que, por sua vez, cumpre o valor de mínimo imposto pelo Decreto-Lei n° 101-D/2020 e apresentado na Portaria n° 138-I/2021 [10].

3.2.3. Consumo energético – edifício existente

No gráfico abaixo são apresentados os consumos de energia mensais registados durante o ano 2022, obtidos através das faturas EDP fornecidas pelos proprietários do edifício.

Verifica-se que o mês em que se registou maior consumo foi abril de 2022 com 596 kWh e, em oposição o mês em que se registou menor consumo foi setembro de 2022 com 303 kWh. O consumo anual de energia final é 5078 kWh (18,28 GJ).

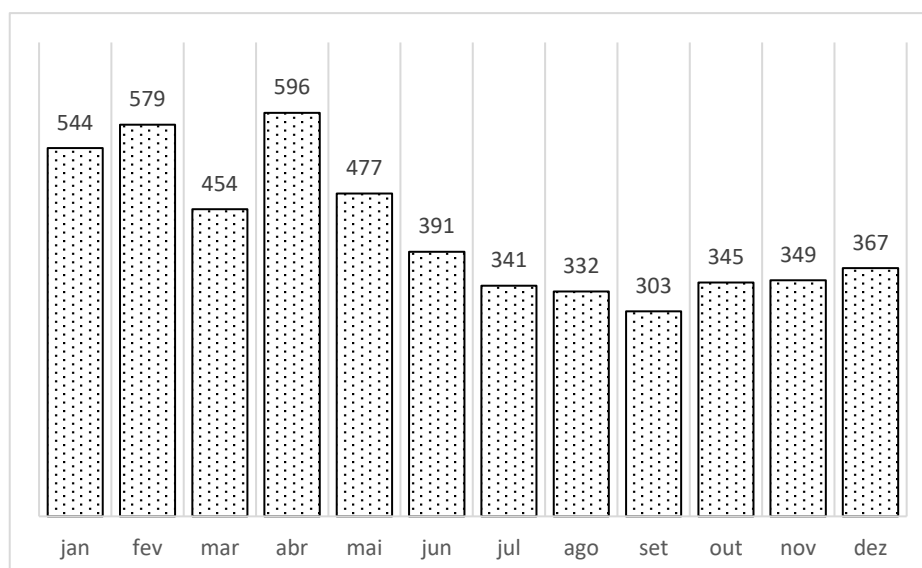


Figura 24 - Consumo real de energia final mensal (kWh) registado ao longo do ano de 2022.

3.3. Simulação do caso de estudo

A simulação do caso de estudo inicia-se por criar no *software EnergyPlus* um modelo do edifício de modo a perceber a causa do elevado consumo energético (iluminação, equipamentos ou produção de AQS) e, dessa forma, saber onde é mais importante intervir de modo a melhorar a eficiência energética da habitação. Um outro ponto bastante importante a analisar com este estudo é a influência que a envolvente do edifício tem no nível conforto térmico (tema abordado no próximo subcapítulo).

Posto isto, numa primeira etapa, recorrendo ao *software Sketchup* faz-se um levantamento tridimensional da moradia e define-se a sua orientação. Posteriormente, no *software EnergyPlus* são realizadas as seguintes etapas:

1ª Etapa: Caracterização da Envolvente Opaca e Envidraçada

São criados de modo detalhado todos os elementos construtivos, definindo a sua espessura, resistência térmica, massa volúmica e calor específico. No caso da envolvente envidraçada, define-se o valor do coeficiente de transmissibilidade térmica dos vãos envidraçados, o fator solar do vidro e os respetivos dispositivos de proteção solar.

2ª Etapa: Definir a Taxa de Renovação Horária do Ar

Fixa-se um valor de taxa de renovação do ar constante para cada espaço obtido através da folha do LNEC conforme referido no subcapítulo 3.2.2. Ou seja, para todos os espaços em contacto direto com o exterior (excetuando os desvãos de cobertura) é fixado o valor de 0,62 rph. No caso dos desvãos de cobertura, dado que são espaços fortemente ventilados, considera-se 6 rph [89].

3ª Etapa: Definir ocupantes, iluminação e equipamentos

O edifício em estudo submete-se a uma tipologia T3 e, por essa razão, considera-se a existência de quatro ocupantes, mais concretamente uma família constituída por um casal e dois filhos.

Para definir o perfil de ocupação da habitação, assumem-se os seguintes pressupostos:

- Durante a semana um dos ocupantes está sempre em casa;
- Durante a semana todos os ocupantes estão em casa entre as 18 horas e as 8 horas do dia seguinte;
- Ao fim de semana, todos os ocupantes estão permanentemente em casa;
- Não se considera ausência para férias.

Posto isto, é traçado o seguinte perfil horário de ocupação para os compartimentos principais incluindo a cozinha, baseado num caso real de uma família portuguesa:

- Sala de Estar/Sala de Jantar: Todos os dias das 8h às 22h;
- Cozinha: Das 11h às 15h e das 19h às 22h (ocupação semanal) / Das 8h às 22h (ocupação ao fim-de-semana);
- Quartos: Das 22h às 8h (ocupação semanal) / 24h/dia (ocupação ao fim-de-semana).

Com base nestes perfis de ocupação, estipulam-se os intervalos de tempo em que é necessário efetuar um controlo mais rigoroso das condições interiores. Ou seja, interpretam-se horas de ocupação como horas em que é necessário garantir o conforto. Por esse motivo, no seguimento do pressuposto que durante o fim de semana todos os ocupantes estão em casa, assume-se um intervalo de tempo de ocupação mais alargado.

No que respeita à taxa metabólica dos ocupantes, dado que se trata de um edifício de habitação, considera-se que realizam atividades com baixa emissão de calor e assumem-se os seguintes valores [90]:

- Cozinha: 1,80 met \approx 190 W (cozinhar)
- Quartos (das 23h às 7h): 0,70 met \approx 73,89 W (dormir)

- Quartos (restante horário) e sala de estar/sala de jantar: 1,0 met \approx 105,56 W (sentado, ler, escrever, ver televisão, etc.);

Relativamente ao vestuário, durante o dia considera-se 1 clo para a estação convencional de aquecimento, 0,75 clo para a meia estação e 0,50 clo para a estação de arrefecimento [91]. Durante as horas noturnas, mais concretamente entre as 23h e as 7h, tem-se em consideração o isolamento resultante da utilização de lençóis e cobertores e, assume-se no total 4,66 clo para a estação convencional de aquecimento, 3,18 clo para a meia estação e 1,80 clo para a estação de arrefecimento [92]⁷.

No que respeita à iluminação, todos os compartimentos possuem apenas uma lâmpada LED, com a densidade de iluminação apresentada na Tabela 15 e com fração radiante, fração visível e fração convectiva iguais a 0,37, 0,18 e 0,45, respetivamente. (valor retirado da tabela 1 em [93]).

Tabela 15 - Densidade de iluminação considerada na simulação.

Espaço	Corredor	Sala	Cozinha	WC	Quartos	Cave	Marquise	Despensa
Densidade de iluminação [W/m ²]	1,11	2,22	2,22	1,66	1,11	2,22	2,22	1,11

Fonte: tabela 2 em [94]).

Relativamente aos equipamentos, para simplificação considera-se apenas os equipamentos com maior uso na habitação e que mais contribuem para os ganhos internos, nomeadamente: televisão, frigorífico, fogão e computadores/consola de jogos, conforme apresentado na Tabela 16. Deste modo, despreza-se equipamentos como carregadores de telemóveis, máquinas de lavar a loiça ou roupa, ferros de engomar ou máquina de café, visto que são utilizados por tempo reduzido e, em alguns casos, são utilizações pontuais.

Tabela 16 - Ganho de calor resultante do funcionamento dos equipamentos.

Espaço	Quarto 1	Quarto 2	Quarto 3	Sala	Cozinha
Equipamento	Computador e televisão	Computador, televisão	Televisão e computador	Televisão	Fogão e frigorífico
Potência total dissipada [W]	121	121	121	75	88,50

Fontes: Tabela XXXIII em [95], tabela 1 em [96], [97] e tabela 8B em [98].

Para traçar o perfil horário de utilização dos equipamentos e da iluminação, numa primeira fase reúne-se o histórico de faturas de eletricidade reais fornecidas pelos proprietários do edifício. Posteriormente, são definidos os perfis horários dos equipamentos e da iluminação no *software* e ajusta-se/calibra-se de modo que o consumo de energia final obtido pela simulação adicionada do consumo energético calculado (à parte) para produção de AQS seja próximo do consumo de energia real registado nas faturas de eletricidade.

⁷ Valores retirados da tabela 3 de [92], admitindo o seguinte cenário: M1+Q3+S1/94,10% (estação convencional de aquecimento), M1+Q1+S2/79,90% (meia estação) e M1+B+S2/67,00% (estação de arrefecimento).

4ª Etapa: Cálculo do consumo energético devido ao sistema de AQS

A determinação do consumo energético resultante da produção de AQS é realizada, numa primeira fase, segundo o método de cálculo apresentado no subcapítulo 2.3.1. Para isso, assumem-se os seguintes pressupostos:

- Consumo médio diário total de água quente: 160 litros (40 litros/ocupante) [10];
- Idade do termoacumulador: Entre 1 a 10 anos;
- Eficiência térmica nominal / Eficiência térmica nominal afetada pelo fator idade: 90% / 85,50% [11].

3.4. Análise do conforto térmico

Para estudar o conforto térmico na moradia, mais concretamente nos compartimentos principais e na cozinha, utilizam-se dois métodos:

- Método 1: Análise da temperatura de bolbo seco do ar interior;
- Método 2: Análise dos valores de PPD.

Para o primeiro método considera-se que os ocupantes têm conforto térmico quando a temperatura dos espaços está compreendida entre 19°C e 27°C. Este intervalo de temperatura vem no seguimento do conceito de edifício passivo apresentado em [11], que consiste num edifício cuja percentagem de horas de ocupação anual em que se verificam necessidades de aquecimento e/ou arrefecimento mecânicos é inferior a 10%, com vista a manter a temperatura interior de conforto no intervalo referido.

Para o segundo método, considera-se que os ocupantes têm conforto térmico quando o valor de PPD é inferior a 20%. Para este método assume-se alguns pressupostos, dos quais a definição da velocidade do ar interior para valor máximo de 0,10 m/s.

No seguimento do perfil de ocupação considerado para cada compartimento, na Tabela 17 apresenta-se para cada espaço a quantidade de horas estudadas anualmente, durante a estação convencional de aquecimento e durante a estação de arrefecimento.

Tabela 17 - Quantidade total de horas de ocupação analisadas por compartimento.

Espaço	Anual	Estação convencional de aquecimento	Estação de arrefecimento
Cozinha	3915	1824	1308
Quarto 1	5380	2507	1797
Quarto 2	5380	2507	1797
Quarto 3	5380	2507	1797
Sala-de-Estar/Sala-de-Jantar	5475	2550	1830

3.5. Introdução de medidas de melhoria na envolvente

Após a criação e análise do conforto térmico no modelo base representativo da moradia real através dos dois métodos apresentados no subcapítulo anterior, procede-se, caso necessário, à

aplicação de possíveis medidas de melhoria e análise dos respetivos resultados. A primeira medida de melhoria consiste na aplicação de isolamento térmico na laje de cobertura, seguida da aplicação de isolamento térmico na parede exterior, no pavimento e, por último, substituição dos vãos envidraçados.

Relativamente às espessuras de isolamento consideradas tem-se como princípio a metodologia custo-ótimo (apresentada no subcapítulo 2.2) e os coeficientes de transmissibilidade térmica máximos conforme a regulamentação em vigor (apresentados no subcapítulo 2.2.1).

3.5.1. Aplicação de isolamento térmico na laje de cobertura [CI1]

O primeiro método de melhoria implementado consiste em estudar o efeito da aplicação de isolamento térmico do tipo lã de rocha na laje de cobertura dos espaços úteis [CI1].

Para isso, numa primeira fase estuda-se qual a espessura mínima de lã de rocha comercializada por um fabricante de referência (*Volcalis*) que permite obter valores de condutibilidade térmica inferiores a $0,40 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ e conclui-se que 9 cm é suficiente ($U = 0,38 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$) [99].

A aplicação do isolamento térmico é realizada preferencialmente no lado do espaço não útil de forma a contribuir para o aumento da inércia térmica, ser de mais fácil aplicação e não diminuir o pé-direito dos compartimentos.

Estima-se que esta medida tenha elevado impacto na diminuição do desconforto térmico, visto que, o desvão de cobertura é um espaço não útil fortemente ventilado e sem isolamento térmico.

3.5.2. Aplicação de isolamento térmico na parede exterior [PEXT1]

O segundo estudo consiste em analisar o impacto no desconforto térmico resultante da aplicação de isolamento térmico na parede exterior PEXT1.

Para este caso é mais benéfico isolar as paredes pelo exterior do que pelo interior pois, desta forma, entre várias vantagens, é possível conservar a área útil dos espaços, extinguir eventuais fissuras e manchas que surgiram ao longo dos anos e anular possíveis pontes térmicas.

Posto isto, opta-se por colocar isolamento térmico do tipo EPS pelo exterior, considerando a espessura mínima comercializada pela *DANOSA* que permite cumprir o valor de condutibilidade térmica máximo regulamentar. Assim, conclui-se que 8 cm de EPS é suficiente ($U = 0,47 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$) [100].

3.5.3. Aplicação de isolamento térmico na laje de pavimento [LJ1 E LJ2]

A terceira análise consiste em isolar a laje de pavimento de modo a minimizar as trocas caloríficas entre os espaços úteis e a cave. Por essa razão, apenas são alvo de estudo LJ1 e LJ2 nas quais é aplicado isolamento térmico do tipo lã de rocha no lado do espaço não útil. Deste modo, contribui-se para o aumento da inércia térmica da moradia e não há alterações do pé direito dos compartimentos afetos a estas lajes.

Analisando as espessuras comercializadas pela *Volcalis*, verifica-se que a espessura mínima *standard* comercializada é suficiente para cumprir o valor máximo legislado. Assim, para este

estudo é considerado 5 cm de isolamento, que resulta no decréscimo do valor de U de cerca 72% para LJ1 e 74% para LJ2 [99].

3.5.4. Substituição dos vãos envidraçados [VE1 a VE7, VE11 e VE12]

O estudo realizado ao longo deste subcapítulo recai na substituição integral dos vãos envidraçados pertencentes apenas aos espaços úteis (VE1 a VE7, VE11 e VE12). Para isso, numa primeira fase, é analisado qual o melhor material de caixilharia a seleccionar e, posteriormente, a importância da escolha dos envidraçados.

Prevê-se que o caixilho não tem grande influência na condutibilidade térmica do vão envidraçado devido à sua área reduzida em comparação à área envidraçada, porém pode condicionar a escolha do vidro. Numa primeira fase analisa-se o coeficiente de transmissibilidade térmica do caixilho (U_f) e o preço de quatro tipos de caixilhos: PVC, madeira, alumínio sem corte térmico e alumínio com corte térmico, de dois fabricantes: *Cortizo* e *Gercima*. O caixilho eleito para este estudo é em PVC (marca/modelo: *Cortizo/A-70 Batente*), devido ao facto de ser mais económico e apresentar menor condutibilidade térmica (Tabela 18). Porém, importa referir que as propriedades dos caixilhos variam em função do fabricante.

Tabela 18 - U_f de quatro tipos de caixilho.

Marca/Modelo	Material	U_f [W/(m ² .°C)]
<i>Cortizo/A-70 Batente</i>	PVC	1,3
<i>Cortizo / COR-2300</i>	Alumínio sem corte térmico	6,3
<i>Cortizo / COR-3000 RPT</i>	Alumínio com corte térmico	3,4
<i>Cortizo / COR-3000 RPT</i>	Madeira	1,6

Relativamente ao envidraçado, neste estudo são analisados três tipos de envidraçados configurados a partir do software *CalumenLive* disponibilizado pela *Saint-Gobain*, cujas características são apresentadas em detalhe no anexo A e de forma resumida na Tabela 19.

Tabela 19 - Propriedades dos envidraçados em estudo.

Propriedades	Vidro tipo E1	Vidro tipo E2	Vidro tipo E3
Tipo	Duplo	Duplo	Duplo
Transmissibilidade luminosa	0,82	0,70	0,60
U_g [W/(m ² .°C)]	2,70	1,30	1,30
Fator solar	0,78	0,51	0,35

De forma a impedir que o presente subcapítulo fique bastante extenso e exaustivo, no apêndice G comprova-se que os vãos envidraçados admitidos para os três ensaios cumprem os requisitos máximos estipulados para o coeficiente de transmissibilidade térmica e fator solar, quando aplicável, conforme apresentado no subcapítulo 2.2.1..

A substituição dos vãos envidraçados acarreta como consequência o aumento da estanquicidade da moradia e diminuição do número de renovações de ar por hora para 0,37 rph (apêndice H), comprometendo a qualidade do ar interior. Por essa razão, com recurso à folha disponibilizada pelo LNEC, verifica-se que para garantir os 0,50 rph é necessário insuflar no edifício um mínimo de 267 m³/h de ar exterior. Para isso, numa primeira fase, opta-se por propor uma solução de baixo

consumo de energia através de admissão natural nos compartimentos principais e extração mecânica nos compartimentos de serviço. Ou seja, esta solução consiste em instalar aberturas autorreguláveis nos vãos envidraçados novos com fronteira para o exterior pertencentes aos compartimentos principais (sala e quartos). No entanto, para garantir a renovação do ar nos espaços úteis e para facilitar o balanço de pressões, é necessário instalar um ventilador para a extração do ar da cozinha, da casa-de-banho e da despensa.

Relativamente às aberturas autorreguláveis, no total são colocadas em cinco vãos envidraçados, permitindo a introdução de 53,40 m³/h de ar por vão envidraçado proveniente do exterior (caudal teórico). Dada a dificuldade de na prática regular os caudais para o referido valor, considera-se 55 m³/h de ar por vão envidraçado. Como consequência, no *software* é necessário alterar o número de renovações de ar por hora na sala e nos quartos para os seguintes valores:

- Quarto 1: Caudal Insuflado = 55,00 m³/h → 1,36 rph
- Quarto 2: Caudal Insuflado = 55,00 m³/h → 2,01 rph
- Quarto 3: Caudal Insuflado = 110 m³/h → 4,27 rph
- Sala: Caudal Insuflado = 55,00 m³/h → 1,46 rph

No que respeita ao ventilador de extração, é considerado um ventilador *in-line* (marca/modelo: *Sodeca/ NEOLINEO-EW-125*), cujas características são apresentadas no anexo B. Para a seleção deste equipamento considera-se 275 m³/h de caudal de extração e perda de carga total de aproximadamente 110 Pa.

Importa, contudo, referir que o *software* apresenta como uma limitação considerar os compartimentos (zonas térmicas) como espaços independentes completamente estanques, onde não ocorre permuta de ar entre espaços, por exemplo, através de frinchas nas portas. Isto significa que, no nosso caso de estudo, o *software* não assume que o ar insuflado nos compartimentos principais, é reencaminhado para o corredor e, posteriormente, para os compartimentos com grelhas/bocas de extração interligadas ao ventilador de extração. Por esse motivo, é necessário criar no *software* ventiladores fictícios (sem consumo de energia) instalados que garantam a migração e mistura do ar entre compartimentos.

Relativamente ao caudal de extração por espaço, consideram-se os seguintes valores:

- Cozinha: Caudal Extraído = 130 m³/h → 6,60 rph
- Casa-de-Banho: Caudal Extraído = 75 m³/h → 6,94 rph
- Despensa: Caudal Extraído = 70 m³/h → 7,32 rph

Numa segunda fase, com o objetivo de minimizar o desconforto térmico, opta-se por propor a substituição das aberturas autorreguláveis e do ventilador de extração por um recuperador de calor de fluxos cruzados (características apresentadas no anexo C). Para o seu dimensionamento e seleção recorre-se ao *software EasyVent* disponibilizado pela *Soler & Palau* e introduz-se os seguintes pontos de funcionamento/características necessárias: caudal teórico de insuflação e extração, perda de carga máxima no circuito de insuflação e extração, condições exteriores de projeto (de acordo com a Tabela 10), temperatura e humidade relativa do ar extraído e filtros necessários.

3.6. Introdução de medidas de melhoria nos sistemas técnicos

Ao longo deste subcapítulo são apresentadas as medidas de melhoria adotadas para os sistemas técnicos, com vista em diminuir as necessidades de energia útil e final para produção de AQS. Para isso, numa primeira fase opta-se por uma solução mais simples e mais económica que consiste em prover a moradia de sistemas de abastecimento hidricamente mais eficientes, diminuindo o consumo de água quente. De seguida, analisa-se se é vantajoso substituir o sistema de AQS existente por outras opções presentes no mercado, tendo em consideração o investimento inicial, a eficiência dos equipamentos, o consumo de energia associado, os custos derivados da manutenção preventiva e o impacto ambiental, nomeadamente as emissões de CO₂.

Para isso, utiliza-se a ferramenta “Cálculos regulamentares do Sistema de Certificação de Edifícios relativos ao aproveitamento de Energias Renováveis” disponibilizada pela Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG) [83], para, numa primeira fase, determinar quais são as necessidades de energia útil para a produção de AQS e, posteriormente, simular e analisar a rentabilidade obtida pela implementação de sistemas de energia renovável.

Nesta folha de cálculo é necessário definir alguns parâmetros iniciais, como a localização da moradia (cidade, altitude e albedo), a sua tipologia e o perfil de consumo de AQS. Para simplificação, considera-se o albedo dado por defeito na ferramenta de cálculo (20%) e o perfil de consumo regulamentar pré-definido, conforme apresentado na Figura 25.

hora	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
(período diurno)	15%	15%	10%	.	.	.	5%	5%	.	.	.	10%
hora	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6
(período nocturno)	15%	15%	10%

Figura 25 - Perfil de consumo de AQS considerado.

3.6.1. Redução do consumo de AQS

Para a aplicação desta primeira medida de melhoria, opta-se por estudar apenas o impacto resultante da substituição das torneiras e chuveiro existentes por dispositivos mais eficientes. Para isso, numa primeira fase, na ferramenta “Cálculos regulamentares do Sistema de Certificação de Edifícios relativos ao aproveitamento de Energias Renováveis” disponibilizado pelo DGEG, define-se a habitação em estudo e as necessidades de utilização de água quente. Posteriormente, selecciona-se a opção “todas as torneiras são de elevada eficiência hídrica” e analisa-se os resultados.

3.6.2. Equipamentos de produção AQS

A segunda medida de melhoria dos sistemas técnicos consiste em avaliar a viabilidade económica e ambiental em substituir o sistema de produção de AQS existente por sistemas alternativos. Para isso, numa primeira fase avalia-se a possibilidade de instalar um sistema solar térmico como sistema principal de produção de AQS e, posteriormente, avalia-se a possibilidade de optar por apenas um equipamento de AQS sem instalação de coletores solares.

Como primeiro estudo realiza-se uma breve análise energética e económica comparativa entre os coletores solares de placa plana e coletor solar de tubos de vácuo, no sentido de avaliar qual o tipo de coletor mais indicado para o caso de estudo.

Posteriormente, para o tipo de coletor solar mais indicado, considera-se os seguintes cenários:

Etapa 1: Sistema solar tipo termossifão (circuito principal), com os seguintes sistemas auxiliares:

- Resistência elétrica integrada no depósito de acumulação;
- Esquentador.

Etapa 2: Sistema solar tipo circulação forçada (circuito principal), com os seguintes sistemas auxiliares:

- Resistência elétrica acoplada no depósito de acumulação;
- Esquentador;
- Caldeira a gás;
- Caldeira a biomassa (*pellets*);
- Bomba de calor ar-água.

Etapa 3: Apenas um equipamento produção AQS (circuito principal)

- Termoacumulador Elétrico;
- Esquentador;
- Caldeira a Gás;
- Caldeira a biomassa (*pellets*);
- Bomba de calor ar-água.

Conforme já foi referido, a moradia é habitada por quatro ocupantes o que resulta no consumo diário de AQS de 160 litros. Assim sendo, um termoacumulador atual instalado de 80 litros é insuficiente para responder à disponibilidade de água quente requerida, pelo que deve ser substituído por um termoacumulador ou depósito de acumulação de 200 litros (capacidade comercializada).

Relativamente aos cenários analisados, para o sistema solar térmico consideram-se coletores solar da marca *Baxi*, instalados na cobertura da marquise, orientados a sul, com 40° de inclinação.

No que respeita às eficiências dos restantes equipamentos consideradas para o cálculo da energia final, devido principalmente à falta de informação fornecida pelos fabricantes, adota-se os valores previstos na tabela 76 em [11], conforme apresentado na Tabela 20.

Tabela 20 - Eficiência dos equipamentos de produção de AQS consideradas para o cálculo da energia final.

Equipamento	Eficiência	Equipamento	Eficiência
Termoacumulador Elétrico	0,90	Caldeira a biomassa	0,75
Esquentador	0,75	Bomba de calor ar-água (COP)	2,50
Caldeira a Gás Natural	0,75		

página propositadamente em branco

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao longo deste quarto capítulo são apresentados os resultados obtidos através do software e numericamente e são estabelecidas comparações através de gráficos e tabelas de modo a concluir de forma mais expedita quais as soluções mais indicadas para o caso de estudo. Inicia-se por uma análise ao tema do conforto térmico, seguida do impacto de adoção de sistemas hidricamente mais eficientes e, por fim, apresentação e análise dos sistemas de produção de AQS propostos. Por último, no subcapítulo 4.2 são discutidos os resultados.

4.1. Apresentação de resultados

Neste subcapítulo são apresentados os diversos resultados obtidos neste estudo, de acordo com as etapas e os pressupostos descritos no capítulo anterior.

4.1.1. Consumos energéticos sem implementação de medidas de melhoria

Conforme referido anteriormente, a determinação dos consumos energéticos anuais na moradia é determinada através da simulação desenvolvida no software *EnergyPlus*, à exceção do consumo para produção de AQS. Para isso, numa primeira fase, recorrendo às equações apresentadas no subcapítulo 2.3.1 e os pressupostos apresentados na 4ª etapa do subcapítulo 3.3 conclui-se que:

- O requisito anual de energia útil para AQS é 2377,8 kWh;
- A energia final necessária para AQS é 2781,0 kWh;
- A energia primária requerida para AQS é igual a 6952,5 kWh, considerando um fator de conversão igual a 2,50 (obtido através da tabela 106 em [11]).

No entanto, este método de cálculo é bastante simplificado e mais desfasado da realidade porque considera que ΔT é constante ao longo do tempo e igual para todas as localidades do país. Por essa razão, opta-se por utilizar os valores obtidos pelo relatório de requisitos mínimos gerais para AQS considerados por defeito na folha de cálculo “Cálculos regulamentares do sistema de certificação de edifícios relativos ao aproveitamento de Energias Renováveis”, onde, conforme se pode verificar pela Figura 26, a temperatura da água da rede é adaptada em função da época do ano e da localização da moradia.

	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	
abastecimento de água	13	13	14	15	16	18	19	19	18	16	15	13	°C
pretendida no consumo	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	°C

Figura 26 - ΔT considerado para a determinação da energia útil anual solicitada para AQS.

Deste modo, conclui-se que:

- O requisito anual de energia útil para AQS é 1883,0 kWh;
- A energia final necessária para AQS é 2143,9 kWh;
- A energia primária requerida para AQS é igual a 5359,8 kWh.

Em suma, na Tabela 21 apresentam-se os valores do consumo de energia final e primária na moradia, sem a introdução de qualquer método de poupança energética.

Tabela 21 - Consumo anual de energia primária e final sem implementação de medidas de melhoria.

Tipo de Utilização de Energia	Consumo de Energia Final [kWh]	Consumo de Energia Primário [kWh _{EP}]
Iluminação Interior	233,33	583,33
Equipamentos	2411,11	6027,78
Aquecimento ambiente	-	-
Arrefecimento ambiente	-	-
Energia Renovável Térmica	-	-
Energia Renovável Elétrica	-	-
Produção de AQS	2143,90	5359,75
Total	4788,34	11970,86

4.1.2. Análise de desconforto térmico: Caso Real

Através da análise das temperaturas interiores horárias registadas nos compartimentos principais e na cozinha é possível perceber quais são os espaços com maior número de horas de desconforto térmico e prever quais requerem intervenção (passiva e/ou ativa). Para isso, conforme já referido, este estudo foca-se no período em que se considera ocupação nos compartimentos e, conseqüentemente, maior exigência de conforto térmico. Para tal, relembra-se que é considerado o perfil horário descrito no subcapítulo 3.33.

Posto isto, na Tabela 22 apresentam-se as temperaturas médias de bolbo seco do ar interior e o respetivo desvio padrão para os compartimentos em análise, durante a estação convencional de aquecimento e a estação de arrefecimento, analisadas durante o horário de ocupação.

Tabela 22 - Temperaturas médias interior registadas durante a estação convencional de aquecimento e estação de arrefecimento.

Espaço	Estação Convencional de Aquecimento		Estação de Arrefecimento	
	Temperatura Média [°C]	Desvio Padrão [°C]	Temperatura Média [°C]	Desvio Padrão [°C]
Cozinha	20,6	2,1	27,8	1,5
Quarto 1	19,7	2,7	27,1	2,0
Quarto 2	18,0	2,2	26,8	1,9
Quarto 3	18,0	2,6	27,4	2,4
Sala	20,5	2,5	28,6	1,9

Na Tabela 23 são apresentadas as percentagens de horas anuais, para a estação convencional de aquecimento e arrefecimento em que se verifica desconforto térmico.

Tabela 23 – Registo de horas de desconforto térmico [%] (Sem implementação de medidas de melhoria).

Espaço	Anual	Estação convencional de aquecimento	Estação de arrefecimento
Cozinha	37,6	27,0	71,0
Quarto 1	42,3	51,5	49,6

Espaço	Anual	Estação convencional de aquecimento	Estação de arrefecimento
Quarto 2	46,7	67,3	42,2
Quarto 3	50,8	66,5	52,4
Sala	42,8	29,4	78,7

Na Tabela 24 apresentam-se os valores de PPD para a cozinha e sala-de-estar/sala de jantar.

Tabela 24 - Valores de PPD para a cozinha e para a sala (sem implementação de medidas de melhoria).

Espaço	Anual		Estação Convencional de Aquecimento		Estação de Arrefecimento	
	PPD [%]	Desvio Padrão [%]	PPD [%]	Desvio Padrão [%]	PPD [%]	Desvio Padrão [%]
Cozinha	36,8	23,1	19,5	11,4	61,2	16,4
Sala	28,7	24,5	23,6	19,	43,0	29,0

Na Tabela 25 e na Tabela 26 são apresentados os valores de PPD para os quartos, considerando, respetivamente, o intervalo de o tempo em que os ocupantes estão a dormir (das 23h às 7h) e o restante horário de ocupação.

Tabela 25 - Valores de PPD para os quartos das 23h às 7h (sem implementação de medidas de melhoria).

Espaço	Anual		Estação Convencional de Aquecimento		Estação de Arrefecimento	
	PPD [%]	Desvio Padrão [%]	PPD [%]	Desvio Padrão [%]	PPD [%]	Desvio Padrão [%]
Quarto 1	17,6	15,6	12,8	10,7	24,2	19,6
Quarto 2	15,0	14,1	11,8	12,2	19,6	16,3
Quarto 3	16,8	16,5	11,8	12,2	23,9	20,4

Tabela 26 - Valores de PPD para os quartos: restante horário de ocupação (sem implementação de medidas de melhoria).

Espaço	Anual		Estação Convencional de Aquecimento		Estação de Arrefecimento	
	PPD [%]	Desvio Padrão [%]	PPD [%]	Desvio Padrão [%]	PPD [%]	Desvio Padrão [%]
Quarto 1	27,6	23,1	31,0	23,4	28,9	25,0
Quarto 2	30,3	24,6	41,4	25,7	22,5	20,3
Quarto 3	34,5	27,6	40,0	27,4	36,7	29,6

4.1.3. Análise do desconforto térmico: Aplicação de isolamento em CI1

Na Tabela 27 são apresentadas as percentagens de horas anual de desconforto térmico, durante a estação de convencional de aquecimento e durante a estação de arrefecimento, resultantes da aplicação de isolamento em CI1.

Tabela 27 - Registo de horas de desconforto térmico [%] (aplicação de isolamento em CI1).

Espaço	Anual	Estação convencional de aquecimento	Estação de arrefecimento
Cozinha	12,2	0,9	35,2

Espaço	Anual	Estação convencional de aquecimento	Estação de arrefecimento
Quarto 1	23,9	30,4	27,2
Quarto 2	31,6	56,0	15,6
Quarto 3	41,4	56,7	40,6
Sala	31,7	8,2	78,1

Na Tabela 28 apresenta-se os valores de PPD para a cozinha e sala-de-estar/sala-de-jantar, enquanto a Tabela 29 e a Tabela 30 referem-se aos quartos.

Tabela 28 - Valores de PPD para a cozinha e para a sala-de-estar/sala-de-jantar (aplicação de isolamento em CI1).

Espaço	Anual		Estação Convencional de Aquecimento		Estação de Arrefecimento	
	PPD [%]	Desvio Padrão [%]	PPD [%]	Desvio Padrão [%]	PPD [%]	Desvio Padrão [%]
Cozinha	35,7	13,8	26,5	9,8	48,2	9,7
Sala	19,4	16,6	13,9	11,5	30,7	19,9

Tabela 29 - Valores de PPD para os quartos das 23h às 7h (aplicação de isolamento em CI1).

Espaço	Anual		Estação Convencional de Aquecimento		Estação de Arrefecimento	
	PPD [%]	Desvio Padrão [%]	PPD [%]	Desvio Padrão [%]	PPD [%]	Desvio Padrão [%]
Quarto 1	14,1	9,7	13,7	8,0	13,6	10,8
Quarto 2	11,2	8,3	11,4	8,7	10,2	7,1
Quarto 3	13,4	11,4	11,4	9,3	15,8	13,4

Tabela 30 - Valores de PPD para os quartos: restante horário (aplicação de isolamento em CI1).

Espaço	Anual		Estação Convencional de Aquecimento		Estação de Arrefecimento	
	PPD [%]	Desvio Padrão [%]	PPD [%]	Desvio Padrão [%]	PPD [%]	Desvio Padrão [%]
Quarto 1	16,7%	13,4%	19,1%	14,8%	15,4%	11,9%
Quarto 2	21,0%	17,4%	31,2%	18,7%	10,4%	6,8%
Quarto 3	26,3%	21,5%	30,7%	22,3%	27,1%	22,0%

4.1.4. Análise de desconforto térmico: Aplicação de isolamento em PEXT1

Neste subcapítulo apresentam-se os valores resultantes da aplicação de isolamento térmico em PEXT1 como medida de melhoria adicional à anteriormente aplicada (isolamento em CI1).

Na Tabela 31 apresentam-se as percentagens de horas de desconforto para os compartimentos em análise.

Tabela 31 - Registo de horas de desconforto térmico [%] (aplicação de isolamento em CI1 e PEXT1).

Espaço	Anual	Estação convencional de aquecimento	Estação de arrefecimento
Cozinha	11,9	0,2	35,2

Espaço	Anual	Estação convencional de aquecimento	Estação de arrefecimento
Quarto 1	16,9	18,3	23,9
Quarto 2	22,5	36,4	16,5
Quarto 3	32,3	37,3	42,2
Sala	30,2	4,5	80,1

Para a análise dos valores de PPD, apresenta-se a Tabela 32, a Tabela 33 e a Tabela 34 com os resultados para os compartimentos em foco.

Tabela 32 - Valores de PPD para a cozinha e para a sala-de-estar/sala-de-jantar (aplicação de isolamento em CI1 e PEXT1).

Espaço	Anual		Estação Convencional de Aquecimento		Estação de Arrefecimento	
	PPD [%]	Desvio Padrão [%]	PPD [%]	Desvio Padrão [%]	PPD [%]	Desvio Padrão [%]
Cozinha	37,4	12,6	29,1	9,6	48,5	8,7
Sala	16,8	13,5	11,1	8,4	27,1	15,9

Tabela 33 - Valores de PPD para os quartos das 23h às 7h (aplicação de isolamento em CI1 e PEXT1).

Espaço	Anual		Estação Convencional de Aquecimento		Estação de Arrefecimento	
	PPD [%]	Desvio Padrão [%]	PPD [%]	Desvio Padrão [%]	PPD [%]	Desvio Padrão [%]
Quarto 1	13,6	7,8	14,4	6,8	11,4	7,9
Quarto 2	11,4	6,6	12,1	6,3	9,7	6,0
Quarto 3	13,7	8,9	12,2	7,0	15,0	10,9

Tabela 34 - Valores de PPD para os quartos: restante horário (aplicação de isolamento em CI1 e PEXT1).

Espaço	Anual		Estação Convencional de Aquecimento		Estação de Arrefecimento	
	PPD [%]	Desvio Padrão [%]	PPD [%]	Desvio Padrão [%]	PPD [%]	Desvio Padrão [%]
Quarto 1	12,9	9,2	14,0	10,2	12,7	8,4
Quarto 2	15,6	12,1	21,8	13,8	9,7	5,7
Quarto 3	20,2	16,0	20,5	15,3	25,2	18,1

4.1.5. Análise de desconforto térmico: Aplicação de isolamento em LJ1 e LJ2

De seguida, apresenta-se o impacto no desconforto térmico resultante da aplicação de isolamento em LJ1 e LJ2, ou seja, as lajes em contacto com um espaço interior não útil (cave).

Relembra-se que para esta simulação é considerada a aplicação prévia de isolamento em CI1 e PEXT1.

Na Tabela 35 apresentam-se as percentagens de horas de desconforto para os compartimentos em análise.

Tabela 35 - Registo de horas de desconforto térmico [%] (aplicação de isolamento em CI1, PEXT1, LJ1 e LJ2).

Espaço	Anual	Estação convencional de aquecimento	Estação de arrefecimento
Cozinha	29,1	0,2	95,6
Quarto 1	34,9	12,6	78,4
Quarto 2	42,1	30,9	65,3
Quarto 3	47,5	31,7	61,8
Sala	35,4	5,6	84,4

Para a análise dos valores de PPD são apresentados na Tabela 36, na Tabela 37 e na Tabela 38.

Tabela 36 - Valores de PPD para a cozinha e sala-de-estar/sala-de-jantar (aplicação de isolamento em CI1, PEXT1, LJ1 e LJ2).

Espaço	Anual		Estação Convencional de Aquecimento		Estação de Arrefecimento	
	PPD [%]	Desvio Padrão [%]	PPD [%]	Desvio Padrão [%]	PPD [%]	Desvio Padrão [%]
Cozinha	44,3	16,5	31,9	11,0	61,1	9,2
Sala	20,7	17,7	11,3	8,2	37,1	19,3

Tabela 37 - Valores de PPD para os quartos das 23h às 7h (aplicação de isolamento em CI1, PEXT1, LJ1 e LJ2).

Espaço	Anual		Estação Convencional de Aquecimento		Estação de Arrefecimento	
	PPD [%]	Desvio Padrão [%]	PPD [%]	Desvio Padrão [%]	PPD [%]	Desvio Padrão [%]
Quarto 1	25,0	15,5	18,4	9,6	33,9	17,7
Quarto 2	21,0	14,0	14,1	7,3	30,6	16,4
Quarto 3	23,9	18,0	13,9	8,3	38,8	20,2

Tabela 38 - Valores de PPD para os quartos: restante horário (aplicação de isolamento em CI1, PEXT1, LJ1 e LJ2).

Espaço	Anual		Estação Convencional de Aquecimento		Estação de Arrefecimento	
	PPD [%]	Desvio Padrão [%]	PPD [%]	Desvio Padrão [%]	PPD [%]	Desvio Padrão [%]
Quarto 1	22,9	20,4	12,2	8,1	41,5	22,5
Quarto 2	22,6	17,9	17,8	13,4	35,7	20,2
Quarto 3	32,1	26,9	19,0	14,7	58,7	26,2

4.1.6. Análise de desconforto térmico: Substituição dos Vãos Envidraçados

Neste ponto apresentam-se os valores resultantes do estudo comparativo efetuado para os três tipos de vãos envidraçados, de acordo com as características apresentadas na Tabela 13.

À semelhança dos pontos anteriores, na Tabela 39 apresentam-se as percentagens de horas de desconforto térmico. Importa, contudo, relembrar que esta primeira análise é realizada considerando a instalação de aberturas autorreguláveis nos vãos envidraçados e de um ventilador de extração.

Tabela 39 - Registo de horas de desconforto térmico [%] (aplicação de isolamento em CI1 e PEXT1 e substituição dos vãos envidraçados).

Espaço	VE#	Anual	Estação convencional de aquecimento	Estação de arrefecimento
Cozinha	VE1	17,7	31,2	9,6
	VE2	18,3	36,4	4,1
	VE3	19,4	40,3	2,0
Quarto 1	VE1	32,8	62,0	7,6
	VE2	35,5	68,7	4,4
	VE3	37,0	72,2	3,0
Quarto 2	VE1	44,9	84,8	4,1
	VE2	46,0	87,0	2,4
	VE3	46,7	88,3	0,8
Quarto 3	VE1	53,7	91,7	8,9
	VE2	53,3	93,4	5,7
	VE3	54,2	94,7	5,1
Sala	VE1	23,9	21,2	41,5
	VE2	20,3	24,8	26,0
	VE3	19,1	27,2	18,7

Na Tabela 40, na Tabela 41 e na Tabela 42 apresentam-se os valores de PPD obtidos.

Tabela 40 - Valores de PPD para a cozinha e sala-de-estar/sala-de-jantar (aplicação de isolamento em CI1 e PEXT1 e substituição dos vãos envidraçados).

Espaço	VE#	Anual		Estação Convencional de Aquecimento		Estação de Arrefecimento	
		PPD [%]	Desvio Padrão [%]	PPD [%]	Desvio Padrão [%]	PPD [%]	Desvio Padrão [%]
Cozinha	VE1	19,8	10,5	12,5	5,0	30,0	9,1
	VE2	17,9	9,3	11,6	4,5	26,8	8,4
	VE3	16,8	8,7	11,1	4,2	24,9	8,0
Sala	VE1	15,3	13,1	19,7	15,6	12,1	9,2
	VE2	15,5	13,5	21,2	15,9	10,0	7,3
	VE3	16,1	14,0	22,4	16,2	9,5	6,9

Tabela 41 - Valores de PPD para os quartos das 23h às 7h (aplicação de isolamento em CI1 e PEXT1 e substituição dos vãos envidraçados).

Espaço	VE#	Anual		Estação Convencional de Aquecimento		PPD [%]	Desvio Padrão [%]
		PPD [%]	Desvio Padrão [%]	PPD [%]	Desvio Padrão [%]		
Quarto 1	VE1	10,5	8,5	11,0	8,8	8,9	6,5
	VE2	10,4	9,1	10,9	9,5	9,1	6,9

Tabela 41 - Valores de PPD para os quartos das 23h às 7h (aplicação de isolamento em CI1 e PEXT1 e substituição dos vãos envidraçados) (cont.).

Espaço	VE#	Anual		Estação Convencional de Aquecimento		Estação de Arrefecimento	
		PPD [%]	Desvio Padrão [%]	PPD [%]	Desvio Padrão [%]	PPD [%]	Desvio Padrão [%]
Quarto 1	VE3	10,4	9,6	10,8	10,1	9,4	7,5
	VE1	10,5	11,4	10,9	12,9	9,4	7,7
Quarto 2	VE2	10,8	12,3	10,9	13,6	10,3	8,9
	VE3	11,2	13,0	11,0	14,2	11,1	9,9
Quarto 3	VE1	11,6	14,6	11,7	16,4	11,1	10,2
	VE2	12,2	15,5	11,9	17,1	12,3	11,7
	VE3	12,8	16,4	12,0	17,6	13,5	13,0

Tabela 42 - Valores de PPD para os quartos: restante horário (aplicação de isolamento em CI1 e PEXT1 e substituição dos vãos envidraçados).

Espaço	VE#	Anual		Estação Convencional de Aquecimento		Estação de Arrefecimento	
		PPD [%]	Desvio Padrão [%]	PPD [%]	Desvio Padrão [%]	PPD [%]	Desvio Padrão [%]
Quarto 1	VE1	19,9	16,8	27,9	18,5	10,7	8,2
	VE2	17,9	9,3	30,9	18,8	11,2	9,3
	VE3	16,8	8,7	33,1	19,0	12,0	10,4
Quarto 2	VE1	28,8	22,6	43,1	21,3	11,9	10,3
	VE2	31,1	23,1	45,6	21,0	13,7	12,0
	VE3	33,0	23,4	47,4	20,9	15,4	13,4
Quarto 3	VE1	32,9	27,2	50,5	25,9	13,2	11,5
	VE2	35,6	27,8	53,6	25,1	14,4	13,73
	VE3	38,0	28,1	56,0	24,5	16,4	16,0

Numa segunda análise, considera-se a instalação de vãos envidraçados tipo 1 (VE1) e um recuperador de calor de fluxos cruzados, cujos resultados são apresentados na Tabela 43, na Tabela 44, na Tabela 45 e na Tabela 46.

Tabela 43 - Registo de horas de desconforto térmico [%] (aplicação de isolamento em CI1 e PEXT1 e instalação de VE1 e de um recuperador de calor de fluxos cruzados).

Espaço	Anual	Estação convencional de aquecimento	Estação de arrefecimento
Cozinha	15,8	0,1	47,2
Quarto 1	11,7	0,2	34,3
Quarto 2	11,7	4,0	25,2
Quarto 3	16,7	10,1	35,7
Sala	26,2	1,1	73,9

Tabela 44 - Valores de PPD para a cozinha e sala-de-estar/sala-de-jantar (aplicação de isolamento em CI1 e PEXT1 e instalação de VE1 e de um recuperador de calor de fluxos cruzados).

Espaço	Anual		Estação Convencional de Aquecimento		Estação de Arrefecimento	
	PPD [%]	Desvio Padrão [%]	PPD [%]	Desvio Padrão [%]	PPD [%]	Desvio Padrão [%]
Cozinha	33,4	13,4	23,8	8,4	46,2	9,6
Sala	13,4	9,6	9,0	5,1	20,2	11,7

Tabela 45 - Valores de PPD para os quartos das 23h às 7h (aplicação de isolamento em CI1 e PEXT1 e instalação de VE1 e de um recuperador de calor de fluxos cruzados).

Espaço	Anual		Estação Convencional de Aquecimento		Estação de Arrefecimento	
	PPD [%]	Desvio Padrão [%]	PPD [%]	Desvio Padrão [%]	PPD [%]	Desvio Padrão [%]
Quarto 1	22,7	11,9	23,2	10,9	20,5	12,0
Quarto 2	20,1	10,5	20,4	9,4	18,2	10,8
Quarto 3	19,5	10,6	19,0	9,1	18,6	11,7

Tabela 46 - Valores de PPD para os quartos: restante horário (aplicação de isolamento em CI1 e PEXT1 e instalação de VE1 e de um recuperador de calor de fluxos cruzados).

Espaço	Anual		Estação Convencional de Aquecimento		Estação de Arrefecimento	
	PPD [%]	Desvio Padrão [%]	PPD [%]	Desvio Padrão [%]	PPD [%]	Desvio Padrão [%]
Quarto 1	11,9	8,1	9,1	4,7	16,9	10,5
Quarto 2	12,1	8,0	10,6	6,5	15,8	9,9
Quarto 3	14,3	10,5	11,9	8,0	20,0	13,0

4.1.7. Estimativa Orçamental: Melhoria da Envolvente e da Qualidade do Ar Interior

Na Tabela 47 apresenta-se a estimativa orçamental das medidas aplicadas para garantir o conforto térmico e salubridade do ar através da colocação de isolamento térmico em CI1, aplicação de sistema ETICS em PEXT1, substituição dos vãos envidraçados integrantes dos espaços úteis por VE1 e instalação de um recuperador de calor de fluxos cruzados.

Tabela 47 - Estimativa orçamental para melhoria da envolvente e qualidade do ar interior.

Medida Proposta	Estimativa de Preço [€]
Aplicação de 9 cm de lã de rocha em CI1.	550
Aplicação de sistema ETICS composto por 8 cm de EPS em PEXT1 (inclui andaime).	5100
Substituição de vãos envidraçados existentes em zonas úteis por vãos envidraçados com caixilho em PVC e vidro duplo PLANICLEAR 6 mm + 16 mm caixa de ar + PLANITHERM ONE + PLANICLEAR 4 mm (VE1) (inclui andaime).	6030

Tabela 47 - Estimativa orçamental para melhoria da envolvente e qualidade do ar interior (cont.).

Fornecimento e instalação de recuperador de calor de fluxos cruzados, rede de condutas isoladas, grelhas de extração e insuflação e registos de caudal.	5365
Total:	17040

Fonte: [101]

4.1.8. Análise do aumento da eficiência hídrica dos dispositivos de AQS

Verifica-se que a substituição das torneira e chuveiro tradicionais por dispositivos hidricamente mais eficientes, traduz-se numa redução de 4 litros/dia de consumo de AQS e, conseqüentemente, uma diminuição do consumo de água de armazenamento de 146 litros/dia para 130 litros/dia, conforme se pode verificar pelos excertos do relatório de requisitos de AQS apresentados na Figura 27 e na Figura 28.

Residências		T3
nº fracções desta tipologia	1	1
nº ocupantes por fracção	4	4
consumo diário por ocupante (litros)	40	36

Figura 27 - Alteração consumo diário de água quente devido à aplicação de torneiras de elevada eficiência hídrica.

	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	anual
pretendida no consumo	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160 litros/dia
extraída do armazenamento	159	157	150	146	143	136	127	125	133	153	158	160	146 litros/dia
nota: adicionada	1	3	10	14	17	24	33	35	27	7	2	0	14 litros/dia

	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	anual
pretendida no consumo	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160 litros/dia
extraída do armazenamento	156	151	139	131	127	109	95	97	105	141	153	158	130 litros/dia
nota: adicionada	4	9	21	29	33	51	65	63	55	19	7	2	30 litros/dia

Figura 28 - Alteração consumo anual de água quente devido à aplicação de torneiras de elevada eficiência hídrica.

4.1.9. Análise energética de sistemas alternativos de produção AQS

Na Tabela 48 é apresentada uma análise comparativa entre os coletores solares do tipo tubo de vácuo e planos, no que respeita à produção de energia e ao investimento inicial associado. Para isso, considera-se uma instalação modelo para o caso de estudo composta por coletores solares orientados a sul com inclinação de 40° e um termoacumulador esmaltado de 200 litros com resistência elétrica integrada.

Tabela 48 - Coletor solar de tubos de vácuo vs coletor solar plano.

Tipo de Coletor	Tubos de Vácuo		Plano	
Quantidade de Coletores	1	2	1	2
Energia satisfeita pelo solar [kWh]	1408	1745	1078	1497

Tabela 48 - Coletor solar de tubos de vácuo vs coletor solar plano (cont.).

Tipo de Coletor	Tubos de Vácuo		Plano	
Energia satisfeita pelo apoio [kWh]	579	242	909	491
Fração solar [%]	71	88	54	75
Preço Coletor + Suporte [€]	2379	4785	1304	2136

Os valores de investimento inicial (coletor + suporte) têm como base a tabela de preços atual em vigor comercializados pela marca *Baxi*.

Na Tabela 49 apresenta-se o balanço energético resultante da aplicação de um sistema solar tipo termossifão composto por dois coletores solares de placa plana no circuito primário de produção de AQS, nomeadamente, a energia útil satisfeita pelo sistema solar e a energia requerida ao sistema de apoio.

Tabela 49 - Balanço energético da instalação de um sistema solar tipo termossifão.

Sistema de Apoio	Fração Solar	Energia Útil [kWh]			Sistema de Apoio	
		Solicitada	Satisfeita pelo sistema solar	Satisfeita pelo sistema de apoio	Eficiência	Energia Final Consumida [kWh]
Resistência Integrada	0,6	1833	1067	766	0,9	851,1
Esquentador	0,6	1833	1074	787	0,75	1049,3

Na Tabela 50 apresenta-se, também, o balanço energético considerando um sistema solar do tipo circulação forçada, composto por dois coletores solares do tipo placa plana.

Tabela 50 – Balanço energético da instalação de um sistema solar tipo circulação forçada.

Sistema de Apoio	Fração Solar	Energia Útil [kWh]			Sistema de Apoio	
		Solicitada	Satisfeita pelo sistema solar	Satisfeita pelo sistema de apoio	Eficiência	Energia Final Consumida [kWh]
Resistência Integrada	0,75	1987	1497	491	0,90	545,6
Esquentador	0,80	1987	1588	399	0,75	532,0
Caldeira a Gás	0,76	1987	1504	484	0,75	645,3
Caldeira a <i>Pellets</i>	0,75	1987	1500	488	0,75	650,7
Bomba de Calor	0,73	1987	1446	541	2,50	216,4

De seguida, na Tabela 51 apresentam-se os resultados da energia final solicitada aos equipamentos de produção de AQS para satisfazer a energia útil anual de 1833 kWh. Lembra-se que nestas simulações não se considera a implementação de sistema solar térmico.

Tabela 51 - Energia final necessária para instalações sem equipamento solar.

Equipamento	Eficiência	Energia Final Solicitada[kWh]
Termoacumulador Elétrico	0,90	2036,67
Esquentador	0,75	2444,00
Caldeira a Gás	0,75	2444,00
Caldeira a <i>Pellets</i>	0,75	2444,00
Bomba de Calor (COP)	2,50	733,20

4.1.10. Impacto Ambiental: sistemas alternativos de produção AQS

Na Tabela 52 apresentam-se as emissões anuais de CO₂ derivadas da instalação de sistemas de produção de AQS alternativos estudadas nas tabelas anteriores.

Tabela 52 - Emissões de CO₂ resultantes da instalação de sistemas de AQS alternativos.

Instalação	Fator de Conversão de [kWh _{EP} /kWh]	Energia Primária [kWh]	Fatores de conversão [kgCO ₂ /kWh _{EP}]	Emissões de CO ₂ [kg]
Atual	2,5	5359,8	0,144	771,8
Sistema solar tipo termossifão + Resistência elétrica integrada no depósito de acumulação	2,5	2127,8	0,144	306,4
Sistema solar tipo termossifão + Esquentador	1,0	1049,3	0,202	212,0
Sistema solar tipo circulação forçada + Resistência elétrica integrada no depósito de acumulação	2,5	1363,9	0,144	196,4
Sistema solar tipo circulação forçada + Esquentador	1,0	532,0	0,202	107,5
Sistema solar tipo circulação forçada + Caldeira a gás	1,0	645,3	0,202	130,4
Sistema solar tipo circulação forçada + Caldeira a pellets	1,0	650,7	0	0,0
Sistema solar tipo circulação forçada + Bomba de calor ar-água	2,5	541,0	0,144	77,9
Termoacumulador elétrico	2,5	5091,7	0,144	733,2
Esquentador	1,0	2444,0	0,202	493,7
Caldeira a gás	2,5	2444,0	0,202	493,7
Caldeira da pellets	1,0	2444,0	0	0,0
Bomba de calor ar-água	1,0	1833,0	0	264,0

4.1.11. Estimativa Orçamental: Sistemas alternativos de produção AQS

Na Tabela 53 apresenta-se de forma resumida uma estimativa orçamental dos sistemas de produção de AQS propostos, considerando os equipamentos e os acessórios da instalação com maior impacto no valor final.

Tabela 53 - Estimativa orçamental dos sistemas de produção de AQS proposto (resumo).

Instalação Proposta	Estimativa de Preço [€]
Sistema solar tipo termossifão + Resistência elétrica integrada no depósito de acumulação	3000
Sistema solar tipo termossifão + Esquentador	3690
Sistema solar tipo circulação forçada + Resistência elétrica integrada no depósito de acumulação	4930
Sistema solar tipo circulação forçada + Esquentador	5275
Sistema solar tipo circulação forçada + Caldeira a gás	6565
Sistema solar tipo circulação forçada + Caldeira a <i>pellets</i>	7995
Sistema solar tipo circulação forçada + Bomba de calor ar-água	6850
Termoacumulador elétrico	640
Esquentador	800
Caldeira a gás	1590
Caldeira da <i>pellets</i>	3020
Bomba de calor ar-água	3420

No apêndice I apresentam-se as estimativas orçamentais mais detalhadas, referindo a marca e o modelo dos equipamentos considerados.

4.1.12. Avaliação de Investimento: Sistemas alternativos de produção AQS

Na Tabela 54 são apresentados o período de retorno de investimento, o VAL e o TIR para cada sistema de produção de AQS proposto.

Tabela 54 - Análise de investimento: Sistemas alternativos de produção de AQS.

Sistema Proposto	Período de Retorno de Investimento	VAL [€]	TIR [%]
Sistema solar tipo termossifão + Resistência elétrica integrada no depósito de acumulação	10,9	-9,87	-
Sistema solar tipo termossifão + Esquentador	10,7	298,09	3,1
Sistema solar tipo circulação forçada + Resistência elétrica integrada no depósito de acumulação	14,7	-1072,18	-
Sistema solar tipo circulação forçada + Esquentador	13,3	-582,35	-
Sistema solar tipo circulação forçada + Caldeira a gás	17,0	-1990,79	-
Sistema solar tipo circulação forçada + Caldeira a <i>pellets</i>	20,8	-3467,82	-
Sistema solar tipo circulação forçada + Bomba de calor ar-água	16,9	-2057,47	-
Termoacumulador elétrico	9,8	-335,60	-
Esquentador	3,0	1983,06	27,0
Caldeira a gás	6,0	1193,06	11,1

Tabela 54 - Análise de investimento: Sistemas alternativos de produção de AQS (cont.).

Sistema Proposto	Período de Retorno de Investimento	VAL [€]	TIR [%]
Caldeira da <i>pellets</i>	11,3	-236,94	-
Bomba de calor ar-água	11,5	585,87	4,3

O apêndice J apresenta os valores considerados para a análise de investimento.

4.2. Discussão de resultados

Ao longo deste subcapítulo são apresentadas algumas reflexões e pontos importantes a reter após a análise dos resultados expostos no subcapítulo 4.1.

Iniciando pelos consumos energéticos, verifica-se que a principal causa do elevado consumo energético anual é o equipamento de produção de AQS. Por essa razão, é necessário realizar uma análise de investimento para avaliar se é vantajoso substituir este equipamento por outras alternativas. Nesse sentido, realizam-se vários ensaios comparativos de possíveis sistemas de AQS, que são analisados em maior detalhe de seguida.

Para avaliar as medidas implementadas na tentativa de minimizar o desconforto térmico na moradia durante o período de ocupação, apresentam-se as figuras 29 a 32, onde se refletem as variações dos valores de PPD e das horas de desconforto térmica relativamente ao caso real base resultantes da aplicação de isolamento térmico na envolvente opaca. Os valores de PPD relativos aos quartos correspondem apenas ao período em que considera que os ocupantes estão acordados, visto que, na realidade, no período em que estão a dormir (23h-7h) os ocupantes podem adaptar-se em função da sensação térmica, por exemplo, diminuindo ou aumentando a quantidade ou a espessura dos cobertores para valores mais reduzidos ou mais elevados em comparação aos valores considerados nas simulações.

Posto isto, iniciando pela análise durante a estação convencional de aquecimento, de acordo com o gráfico de variação das horas de desconforto térmico com base na recolha de dados da temperatura do ar interior (Figura 29), constata-se que todas as medidas implementadas contribuem para uma maior aproximação das temperaturas do ar interior para os valores pretendidos. Segundo esta metodologia de análise, a medida que mais potencia a diminuição do desconforto térmico nesta estação é a colocação de isolamento em CI1, PEXT1, LJ1 e LJ2.

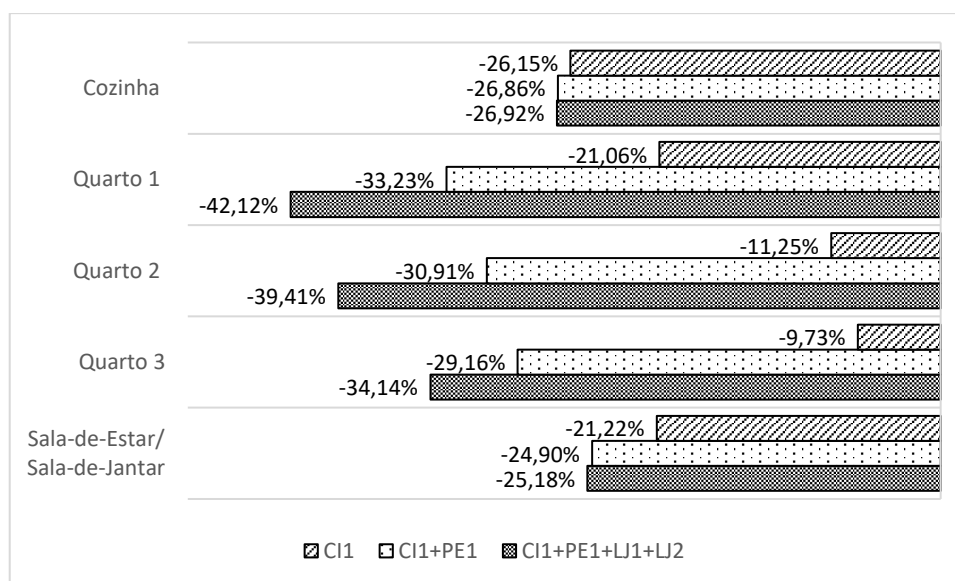


Figura 29 - Variação da porcentagem de horas de desconforto térmico resultantes da aplicação de isolamento térmico (estação convencional de aquecimento).

Analisando o gráfico da variação dos valores de PPD (Figura 30) constata-se que todas as medidas contribuem para o sobreaquecimento da cozinha. Porém, a colocação de isolamento é favorável aos restantes compartimentos.

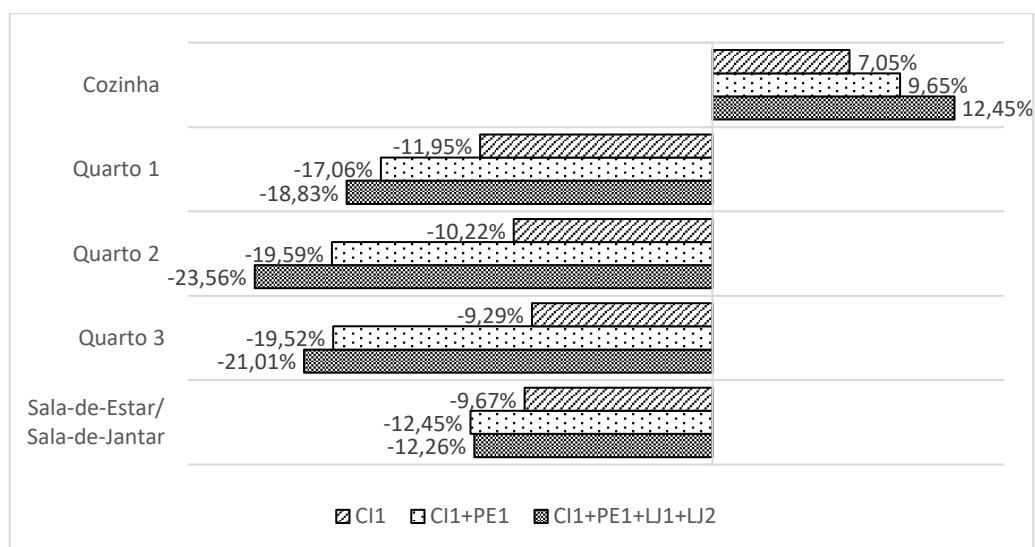


Figura 30 - Variação dos valores de PPD médio resultantes da aplicação de isolamento térmico (estação convencional de aquecimento).

Posto isto, apesar dos efeitos negativos sentidos na cozinha, conclui-se que para a estação convencional de aquecimento e metodologia de análise em foco, de modo geral a medida que mais contribui para a diminuição do desconforto térmico é a aplicação de isolamento em CI1, PEXT1, LJ1 e LJ2.

Para a estação de arrefecimento, de acordo com a Figura 31, a colocação de isolamento em LJ1 e LJ2 aumenta significativamente a temperatura dos espaços para valores acima dos 27°C, aumentando o desconforto térmico sentido pelos ocupantes.

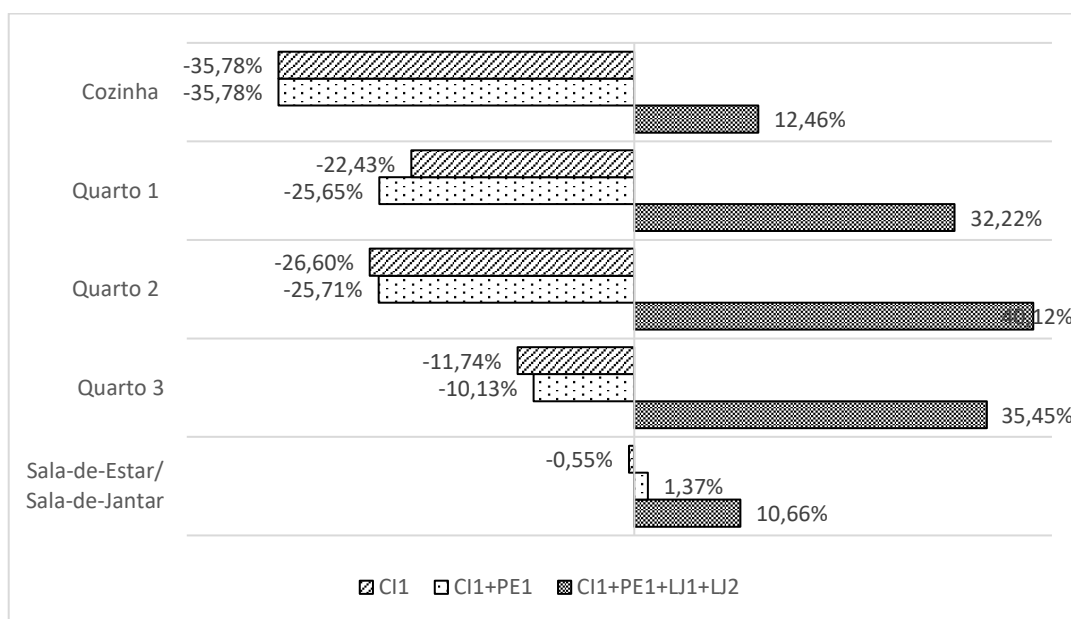


Figura 31 - Variação da percentagem de horas de desconforto térmico resultantes da aplicação de isolamento térmico (estação de arrefecimento).

O mesmo se pode concluir pela Figura 32, onde denota um acentuado aumento dos valores de PPD nos quartos e uma diminuição na sala-de-estar/sala-de-jantar e na cozinha, apesar de, neste último compartimento, ser pouco significativa.

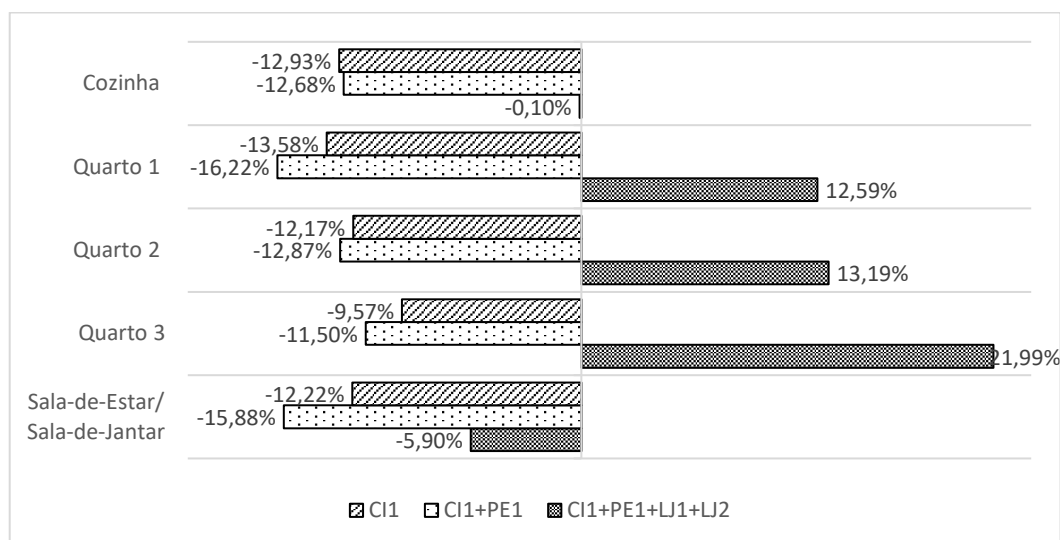


Figura 32 - Variação dos valores de PPD médio resultantes da aplicação de isolamento térmico (estação de arrefecimento).

Para decidir qual a medida mais indicada para a moradia em estudo, na Figura 33 e na Figura 34 apresentam-se a variação dos valores da percentagem de horas de desconforto térmico anual e a

variação dos valores de PPD anual, respetivamente, em comparação com o caso base. Conclui-se, assim, que de acordo com as duas metodologias adotadas, deve-se optar por aplicar isolamento térmico em CI1 e PEXT1. No entanto, esta solução não é suficiente para criar um ambiente térmico aceitável e independente de sistemas de climatização e, por essa razão, de seguida avalia-se o impacto no desconforto térmico resultante da substituição dos vãos envidraçados.

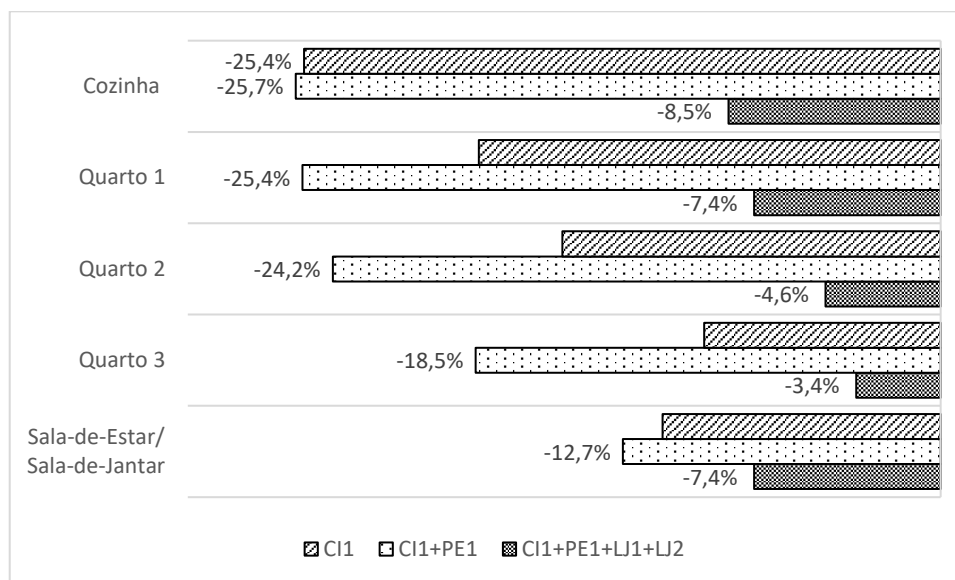


Figura 33 - Variação da percentagem de horas de desconforto térmico resultantes da aplicação de isolamento térmico (anual).

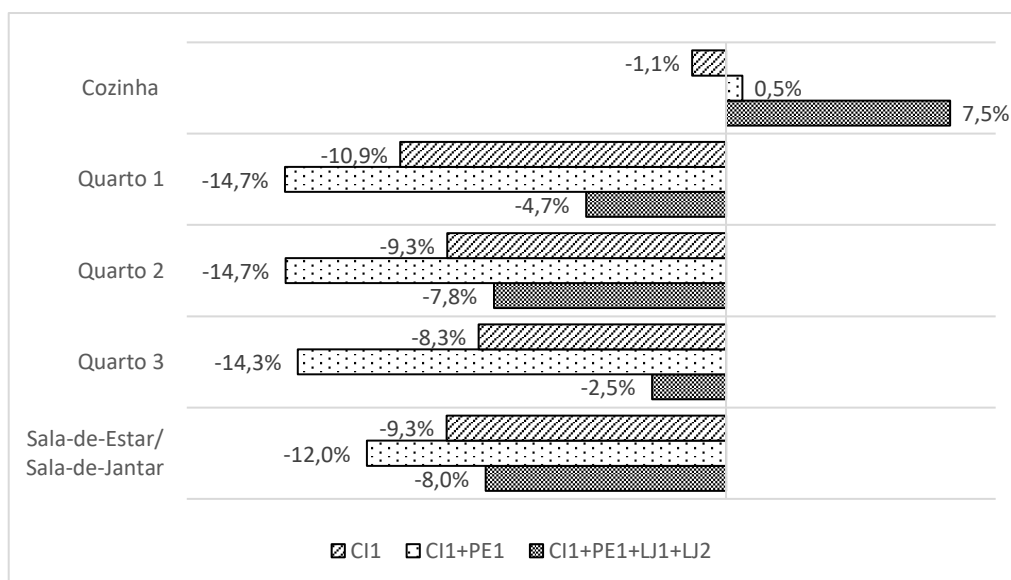


Figura 34 - Variação dos valores de PPD médio resultantes da aplicação de isolamento térmico (anual).

Na Figura 35 e na Figura 36 apresentam-se um estudo comparativo da variação da percentagem de horas de desconforto térmico e dos valores de PPD para cada tipo de vão envidraçado proposto relativamente ao caso real base. Relembra-se que para garantir a salubridade do ar, nesta medida

considera-se também a instalação de aberturas autorreguláveis nos vãos envidraçados e um ventilador de extração.

Conforme se pode verificar pela Figura 35, analisando as temperaturas do ar interior, a substituição dos vãos envidraçados resulta no aumento do desconforto térmico durante a estação convencional de aquecimento na maioria dos compartimentos, devido à introdução de ar novo diretamente do exterior, sem pré-tratamento. No entanto, o mesmo não acontece na sala-de-estar/sala-de-jantar. Nesse compartimento, verifica-se um decréscimo de 209 horas, 109 horas e 56 horas de desconforto térmico (devido a temperaturas do ar interior inferiores a 19°C) para VE3, VE2 e VE1, respetivamente, em comparação com o caso real.

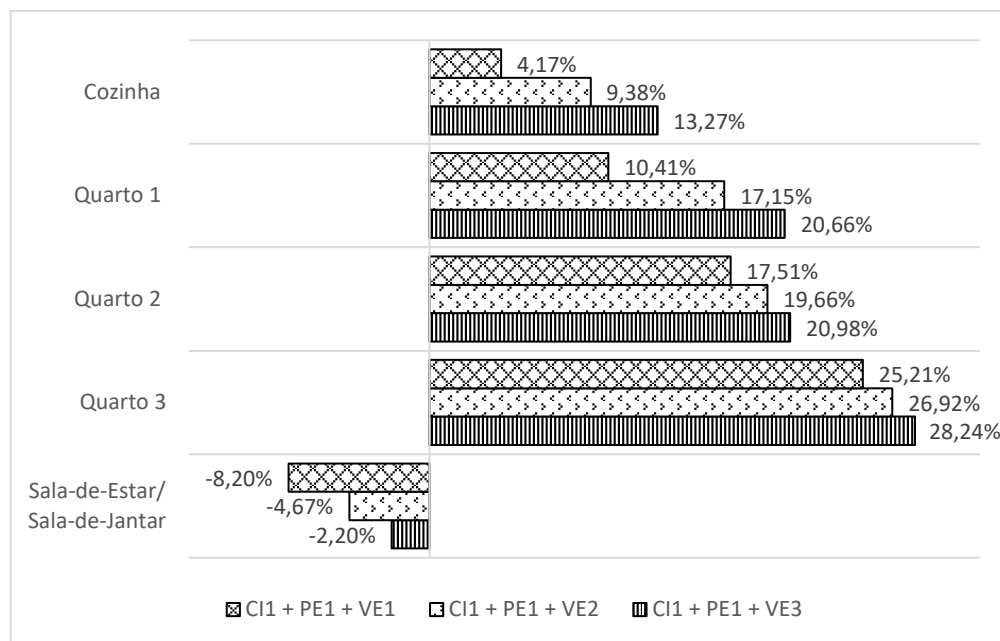


Figura 35 – Variação da percentagem de horas de desconforto térmico resultantes da substituição dos vãos envidraçados (estação convencional de aquecimento).

Através da Figura 36 é possível verificar que para a estação de aquecimento, os valores de PPD diminuem para a cozinha e sala-de-estar/sala-de-jantar, independentemente do vão envidraçado selecionado. Porém, para qualquer tipo de vão envidraçado, nos quartos 2 e 3 os valores de PPD aumentam em relação ao caso real. Já no que respeita ao quarto 1, para a estação em análise, é benéfico optar por VE1, visto que, diminui o valor de PPD.

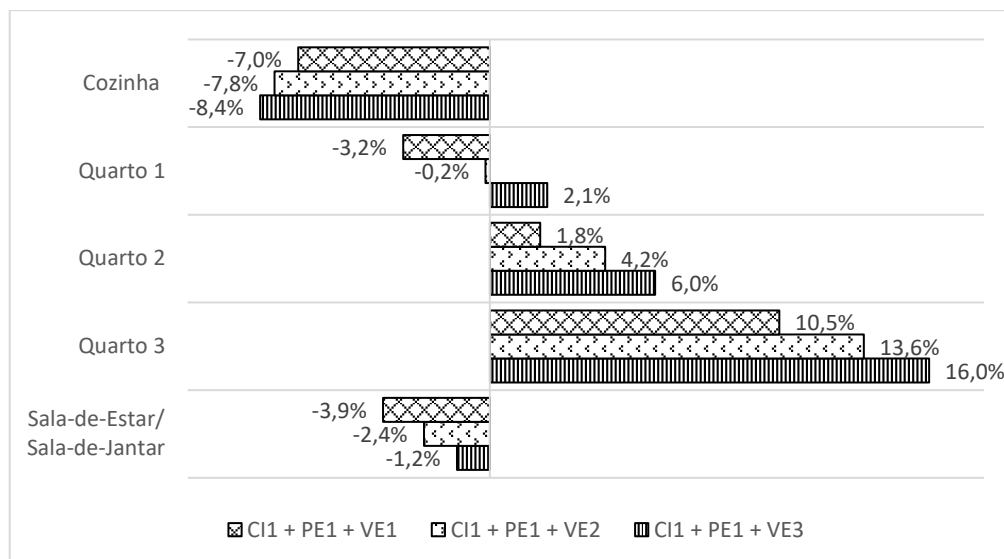


Figura 36 - Variação dos valores de PPD resultantes da substituição dos vãos envidraçados (estação convencional de aquecimento).

No que respeita à estação de arrefecimento, ambas as metodologias de análise adotadas permitem concluir que a substituição dos vãos envidraçados e aplicação de aberturas autorreguláveis promovem a diminuição do desconforto térmico por sobreaquecimento, conforme se pode verificar pela Figura 37 e pela Figura 38.

Estudando apenas as temperaturas do ar interior, VE3 é o tipo de vão envidraçado que mais diminui a percentagem de horas de desconforto térmico.

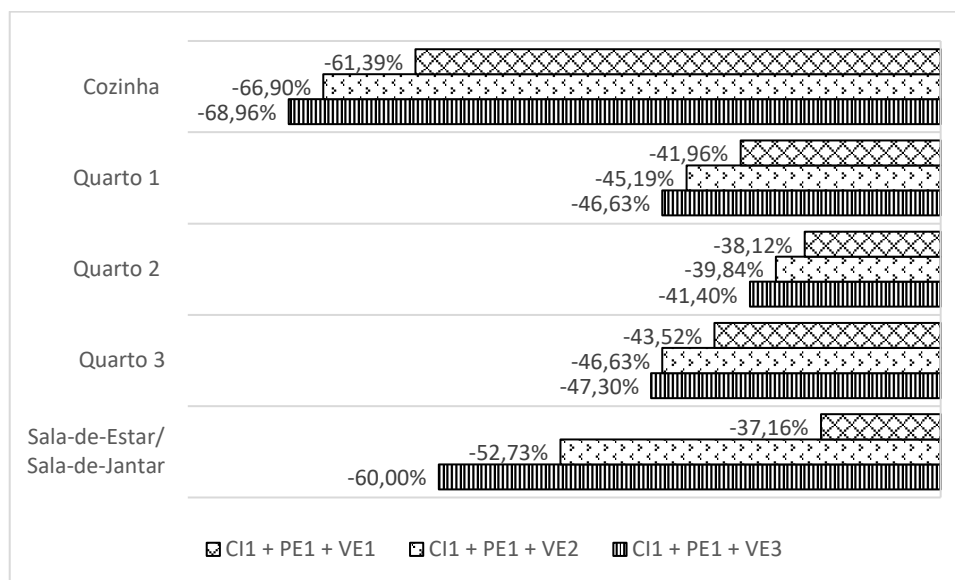


Figura 37 – Variação da percentagem de horas de desconforto térmico resultantes da substituição dos vãos envidraçados (estação de arrefecimento).

Relativamente ao método PPD, conforme se pode verificar pela Figura 38, o vão envidraçado mais indicado para a cozinha e para a sala é VE3, enquanto para os quartos é VE1.

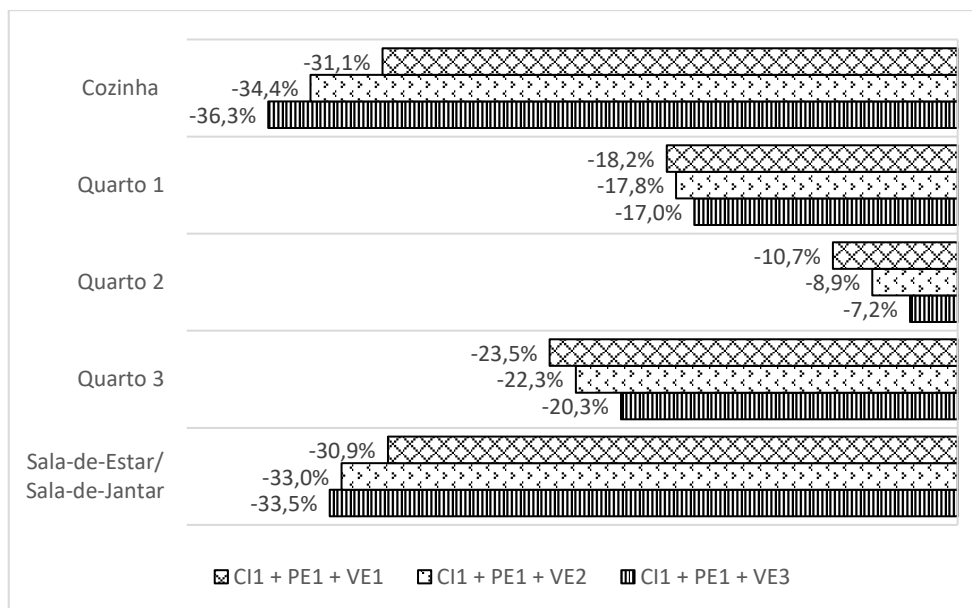


Figura 38 - Variação dos valores de PPD resultantes da substituição dos vãos envidraçados (estação de arrefecimento).

Face ao exposto, para concluir qual o vão envidraçado mais indiciado para a moradia em estudo, na Figura 39 e na Figura 40 apresentam-se valores resultantes de uma análise anual.

Analisando de uma forma geral, de acordo com a Figura 39 para a maioria dos compartimentos o tipo de vão envidraçado mais adequado é VE3.

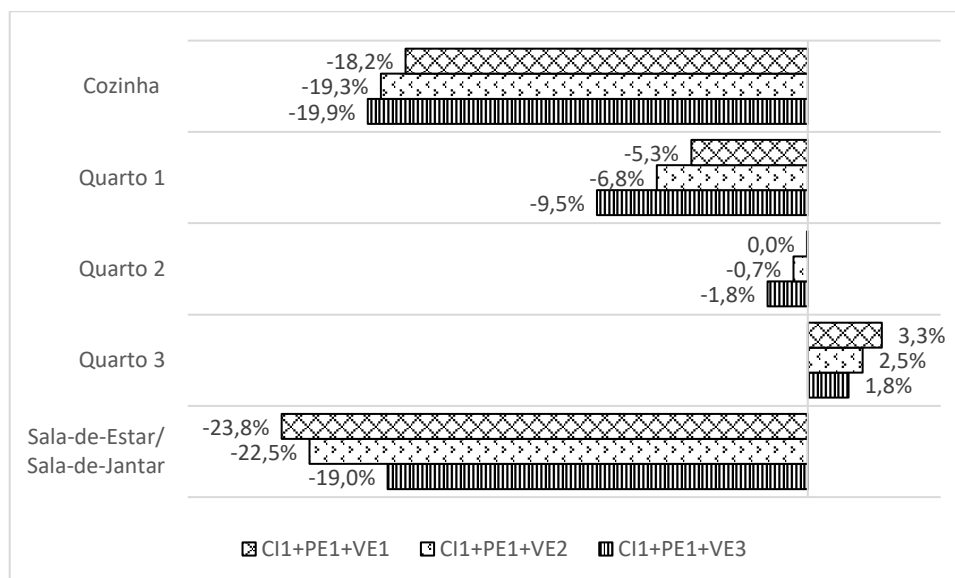


Figura 39 - Variação da percentagem de horas de desconforto térmico resultantes da substituição dos vãos envidraçados (anual).

No entanto, segundo a Figura 40, VE1 é o único tipo de vão envidraçado que contribui para a diminuição do desconforto térmico em todos os compartimentos, exceto na cozinha.

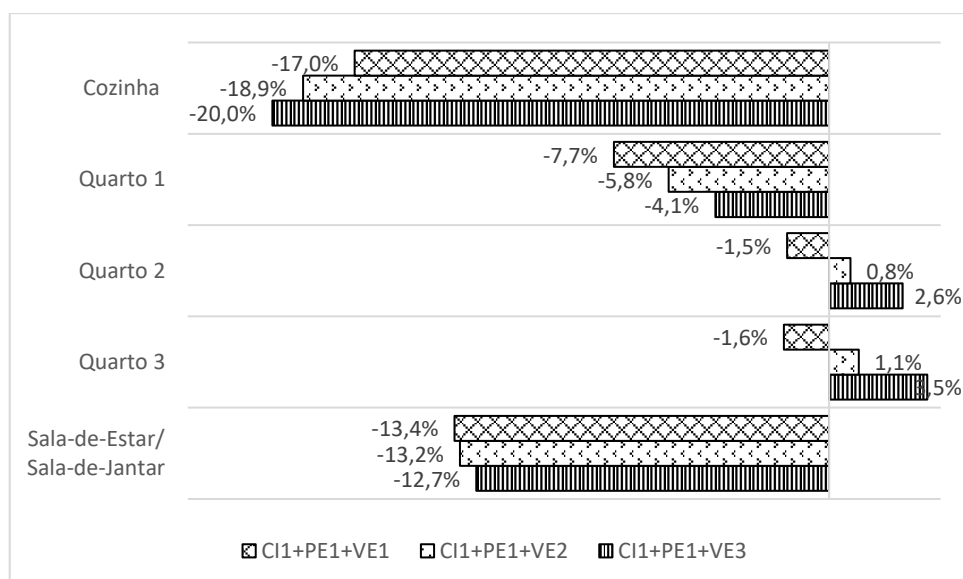


Figura 40 - Variação dos valores de PPD resultantes da substituição dos vãos envidraçados (anual).

Face ao exposto, verifica-se que as conclusões obtidas pelas metodologias aplicadas por vezes são contraditórias. Porém, a metodologia de análise dos valores de PPD pondera o efeito de mais variáveis (velocidade do ar interior, vestuário, temperatura média radiante...) e, por essa razão, é o método mais confiável. Por esse motivo, admite-se que o tipo de vão envidraçado mais indicado é VE1.

De seguida, realizam-se novos ensaios (medida final proposta) considerando a aplicação de isolamento em PEXT1, CI1, aplicação de VE1 e instalação de um recuperador de fluxos cruzados, cujos resultados são apresentados na Tabela 44, na Tabela 45 e na Tabela 46.

Nos quartos, mais concretamente durante o período em que os ocupantes estão acordados, verifica-se que é possível garantir um ambiente termicamente aceitável durante todo o ano. Contudo, entre as 23h e as 7h denota-se um ligeiro aumento do desconforto térmico. Porém os resultados não inviabilizam a solução final visto que os valores calculados são obtidos considerando um tipo de específico de cobertores e de pijama que podem ser adaptados pelos ocupantes, consoante a sua sensação térmica.

Na sala, durante grande parte do ano verifica-se um ambiente termicamente aceitável. No entanto, o valor de PPD médio para a estação de arrefecimento é 0,20% superior ao valor máximo admitido. Porém, visto que 0,20% é um valor insignificante, considera-se que a solução final proposta é termicamente viável para a sala e deve ser considerada.

Na cozinha, os valores de PPD demonstram que com a medida final adotada não é possível garantir conforto térmico. Porém, verifica-se ao longo deste subcapítulo que é bastante complicado selecionar um conjunto de melhorias passivas que garantam conforto térmico neste compartimento devido à elevada densidade de equipamentos, a sua orientação a sul e a fronteira com a marquise que é um espaço não útil, não intervencionado, com grande parte da fachada envidraçada orientada a este, sul e oeste, sujeita ganhos solares durante todo o dia. Para além disso, é um compartimento com um reduzido período diário de permanência onde, comparativamente ao caso real, também se denota redução do desconforto térmico anual durante a estação de arrefecimento, conforme se pode verificar através da Tabela 55.

Tabela 55 - Variação dos valores de PPD e desvio padrão após aplicação da solução final em comparação com o caso real.

Espaço	Anual		Estação Convencional de Aquecimento		Estação de Arrefecimento	
	PPD [%]	Desvio Padrão [%]	PPD [%]	Desvio Padrão [%]	PPD [%]	Desvio Padrão [%]
Cozinha	-3,4	-9,7	+4,3	-3,0	-15,0	-6,8
Quarto 1 (23h – 7h)	+5,1	-3,7	+10,4	+0,3	-3,7	-7,6
Quarto 2 (23h – 7h)	+5,1	-3,6	+8,6	-2,8	-1,4	-5,6
Quarto 3 (23h – 7h)	+2,7	-5,9	+7,2	-3,1	-5,3	-8,7
Quarto 1 (restante horário)	-15,6	-15,0	-21,9	-18,6	-12,0	-14,5
Quarto 2 (restante horário)	-18,3	-16,7	-30,7	-19,2	-6,8	-10,3
Quarto 3 (restante horário)	-20,2	-17,1	-28,1	-19,3	-16,7	-16,6
Sala-de-Estar/Sala-de-Jantar	-15,4	-14,9	-14,6	-14,1	-22,7	-17,4

Pela análise da tabela anterior também se conclui que a solução final diminui significativamente o desvio padrão dos valores de PPD em todos os compartimentos o que significa que há um menor desfasamento/oscilação dos valores de PPD registados em relação ao valor médio.

A instalação de um recuperador de fluxos cruzados aumenta a qualidade do ar interior, mas implica um aumento do consumo anual de energia final de 1213,9 kWh, o que resulta no acréscimo anual de 255€ euros de consumo de eletricidade. Relativamente à emissão anual de CO₂, acresce 437 kg.

A solução final tem como estimativa orçamental para investimento inicial 17040€.

Dado que para a solução final os valores de PPD relativos aos compartimentos principais são bastante próximos do valor limite de 20%, a aplicação de VE2 ao invés de VE1 acarreta um aumento do investimento inicial de 200€ mas reforça um ambiente termicamente mais aceitável, conforme se verifica na Tabela 56, na Tabela 57 e na Tabela 58.

Tabela 56 - Valores de PPD para a cozinha e sala-de-estar/sala-de-jantar (aplicação de isolamento em CI1 e PEXT1 e instalação de VE2 e de um recuperador de calor de fluxos cruzados).

Espaço	Anual		Estação Convencional de Aquecimento		Estação de Arrefecimento	
	PPD [%]	Desvio Padrão [%]	PPD [%]	Desvio Padrão [%]	PPD [%]	Desvio Padrão [%]
Cozinha	31,3	12,2	22,9	7,9	42,5	9,1
Sala	11,7	7,9	8,7	4,9	16,5	9,8

Tabela 57 - Valores de PPD para os quartos: das 23h às 7h (aplicação de isolamento em CI1 e PEXT1 e instalação de VE2 e de um recuperador de calor de fluxos cruzados).

Espaço	Anual		Estação Convencional de Aquecimento		Estação de Arrefecimento	
	PPD [%]	Desvio Padrão [%]	PPD [%]	Desvio Padrão [%]	PPD [%]	Desvio Padrão [%]
Quarto 1	21,0	11,0	22,5	10,4	17,3	10,3
Quarto 2	18,3	9,5	19,7	8,8	14,9	8,9
Quarto 3	17,9	9,6	18,5	8,6	15,6	9,9

Tabela 58 - Valores de PPD para os quartos: restante horário (aplicação de isolamento em CI1 e PEXT1 e instalação de VE2 e de um recuperador de calor de fluxos cruzados).

Espaço	Anual		Estação Convencional de Aquecimento		Estação de Arrefecimento	
	PPD [%]	Desvio Padrão [%]	PPD [%]	Desvio Padrão [%]	PPD [%]	Desvio Padrão [%]
Quarto 1	10,6	6,5	9,2	4,9	13,5	8,2
Quarto 2	10,7	6,5	11,0	6,8	11,8	7,0
Quarto 3	12,5	8,4	12,1	8,2	15,0	9,6

Relativamente aos sistemas de produção de AQS, através do estudo comparativo apresentado na Tabela 48 conclui-se que, para a instalação modelo analisada, a energia anual satisfeita por um coletor solar de tubos de vácuo é cerca de 30% superior à energia anual proveniente de um coletor solar plano. Verifica-se também que comparando a instalação de dois coletores solares de tubos de vácuo com apenas um, o primeiro diminui cerca de 60% a necessidade anual de energia proveniente de equipamentos auxiliares. Conforme se pode verificar pela Figura 41, durante os meses de junho e julho a energia satisfeita pela instalação solar é suficiente para responder à necessidade de energia para AQS, sendo, por essa razão quase desnecessário recorrer a um equipamento auxiliar durante a estação de arrefecimento. No entanto, face aos valores apresentados, estima-se que durante os meses de junho e julho pode ocorrer sobreaquecimento do sistema, originando possíveis avarias e perda de eficiência.

- fornecimento de água quente	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	anual
necessidades (consumo de energia útil)	186	165	178	168	167	152	151	152	151	165	170	182	1 987 kWh
energia de origem solar (útil)	122	139	171	163	164	152	151	151	146	152	137	97	1 745 kWh
energia com origem no apoio (útil)	63	26	7	5	4			1	4	14	33	85	242 kWh

Figura 41 - Balanço energético anual para dois coletores solar de tubos de vácuo (excerto do relatório de simulação obtido pelo excel SCE.ER)

Para além disso, confirma-se que um coletor solar plano é insuficiente para responder às necessidades de AQS pois requer que 66% da energia anual seja proveniente de um equipamento de apoio e, por essa razão aconselha-se a instalação de dois coletores dessa tipologia.

Posto isto, comparando a instalação de um coletor solar de tubos vácuo com dois coletores solares planos, verifica-se que o segundo é energeticamente mais rentável e o investimento inicial é mais reduzido, concluindo-se, assim, que para a moradia em estudo é mais vantajoso instalar dois coletores solares planos. Por essa razão, considera-se essa tipologia de coletor para a realização das seguintes etapas do estudo de equipamentos de produção de AQS.

Através de uma avaliação económica conclui-se que a instalação mais rentável sob o ponto de vista económico é o esquentador a gás natural com período de retorno 3 anos, VAL igual a 1983,06€ e TIR de 27,0%. Seguem-se as soluções caldeira a gás natural, bomba de calor ar-água e, por último, o sistema solar tipo termossifão auxiliada pelo esquentador a gás natural. Os restantes sistemas propostos não apresentam rentabilidade, pelo que ser desconsiderados. Importa, contudo, alertar que os valores apresentados são calculados considerando um investimento inicial exemplificativo que, em caso de alteração de valores (por exemplo alteração da marca/modelo do equipamento proposto) devem ser adaptados.

No que respeita ao impacto ambiental, a Figura 42 representa o decréscimo de emissões de CO₂ resultantes da substituição do sistema atualmente implementado.

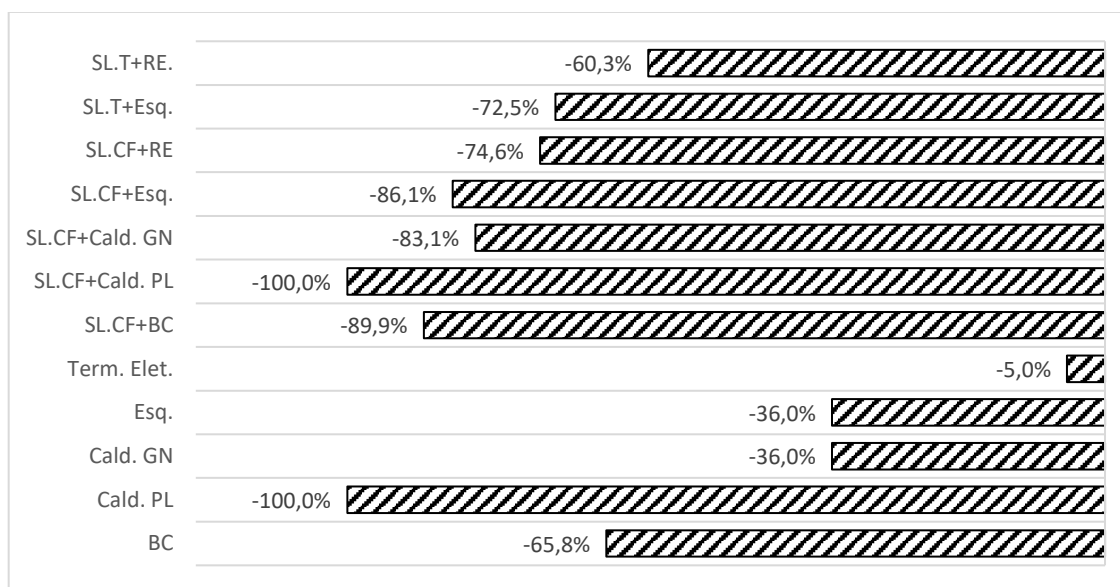


Figura 42 - Redução das emissões CO₂ resultantes da substituição do sistema atual por sistemas alternativos.

Como é expectável, a seleção de fontes de energia renovável diminui significativamente as emissões de CO₂, sendo, por essa razão, a opção mais sustentável a instalação de uma caldeira a biomassa (neste caso, *pellets*) com ou sem sistemas solar térmico como circuito principal. Segue-se o sistema solar térmico auxiliado de uma bomba de calor ar-água, um esquentador ou uma caldeira, ambos a gás natural (redução de 89,9%, 86,1% e 83,1% das emissões de CO₂, respetivamente).

Verifica-se, também, que a solução economicamente mais atrativa apenas contribui para uma diminuição das emissões de CO₂ em 36%.

5. CONCLUSÃO

Neste quinto capítulo são enumeradas as principais conclusões retiradas ao longo desta dissertação, as principais limitações que influenciaram os resultados obtidos e, por último, sugerem-se alguns estudos futuros para a moradia em apreço.

5.1. Conclusões finais

A presente dissertação teve como objetivo estudar o comportamento energético de um edifício de habitação unifamiliar construído na década de 60 e analisar propostas de otimização do seu desempenho tanto em termos de conforto térmico como para os sistemas técnicos de produção de AQS.

A principal conclusão a reter deste trabalho é que a implementação de apenas medidas passivas, potenciando a diminuição do coeficiente de transmissibilidade térmica da envolvente dos espaços úteis, permite criar um ambiente termicamente confortável e saudável, sem a necessidade de recorrer a sistemas específicos de climatização. Porém, a introdução de isolamento em demasia pode impactar de forma negativa o conforto dos ocupantes, como é o caso a aplicação de isolamento na laje de pavimento dos espaços úteis em contacto com a cave.

Relativamente aos envidraçados, conclui-se que a aplicação de um vidro duplo corrente pode ser suficiente para garantir o conforto térmico, não sendo obrigatoriamente necessário aplicar vidros mais complexos e dispendiosos.

No que respeita ao consumo energético final nas habitações, normalmente associa-se que a principal causa do elevado consumo provém dos equipamentos diariamente utilizados como, por exemplo, computadores ou televisões. No entanto, o sistema de produção de AQS, muito vezes desconsiderado pelos utilizadores, pode representar uma elevada fração do consumo de energia, sendo que neste caso em particular é responsável por aproximadamente 45% do valor da fatura energética mensal. O principal motivo não está apenas relacionado com o tipo de equipamento e com a sua eficiência, mas também com o seu mau dimensionamento, pois, conforme calculado, 80 litros é metade da capacidade necessária para responder às necessidades diárias de AQS, obrigando à constante ativação da resistência elétrica para responder ao perfil de consumo.

Ao longo desta dissertação foram estudados vários tipos de sistemas de preparação de AQS, incluindo sistema solar térmico. Para cada tipo de equipamento foi explicado o seu princípio de funcionamento, estimou-se o investimento inicial, realizou-se uma análise financeira para o tempo de vida útil dos equipamentos e calculou-se as emissões de CO₂ resultantes do seu funcionamento. Durante esse estudo, conclui-se que, contrariamente ao esperado, a implementação de sistemas solares térmicos não é rentável considerando o perfil de consumo de AQS típico para uma habitação T3, pois dificilmente será possível reaver o investimento inicial acarretado. No entanto, acarreta como vantagem a diminuição das emissões de gases com efeito de estufa, face ao sistema atualmente implementado.

5.2. Limitações e trabalhos futuros

Como principal limitação destaca-se a impossibilidade de conhecer o projeto de estruturas, os elementos construtivos e as suas espessuras, obrigando à adoção de valores tipicamente utilizados para edifícios construídos na década de 60 e à majoração em 35% do coeficiente de transmissibilidade térmica dos elementos da envolvente opaca em contacto com o exterior. Estes pressupostos foram praticados considerando um cenário pessimista, o que poderá ter exagerado os resultados no sentido negativo. A inoportunidade de comparar os resultados das simulações considerando ganhos solares nos envidraçados interiores, também resultou numa limitação em perceber o impacto no conforto térmico dos ocupantes.

Como trabalhos futuros sugere-se:

- Analisar a possibilidade de instalação de painéis fotovoltaicos na moradia;
- Dimensionar um sistema de climatização para a moradia real, acompanhado de uma estimativa orçamental considerando o investimento inicial e o consumo ao longo de tempo de vida útil dos equipamentos. De seguida, comparar com a análise financeira obtida para a solução final apresentada no desenvolvimento desta dissertação;
- Analisar a partir de que tipologia de habitação é rentável instalar um sistema solar térmico para produção de AQS.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Ministério dos Negócios Estrangeiros, «Decreto-Lei n.º 7/2002», *Diário da República n.º 71/2002*, vol. Série I-A, 2002.
- [2] S. M. Silva, R. Mateus, L. Marques, M. Ramos, e M. Almeida, «Contribution of the solar systems to the nZEB and ZEB design concept in Portugal – Energy, economics and environmental life cycle analysis», *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, vol. 156, pp. 59–74, 2016.
- [3] IEP, «A IMPORTÂNCIA DOS EDIFÍCIOS NZEB NA TRANSFORMAÇÃO DO EDIFICADO EXISTENTE E NOS NOVOS EDIFÍCIOS», *Reflexões IEP*. [Em linha]. Disponível em: www.iep.pt/a-importancia-dos-edificios-nzeb-na-transformacao-do-edificado-existente-e-nos-novos-edificios/. [Acedido: 17-Mar-2023].
- [4] I. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, «Thermal Comfort», em *ASHRAE HANDBOOK - FUNDAMENTALS*, M. S. Owen e H. E. Kennedy, Eds. Atlanta: W. Stephen Comstock, 2005.
- [5] R. J. de Dear e G. S. Brager, «Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55», *Energy Build.*, vol. 34, n. 6, pp. 549–561, 2002.
- [6] R. L. Ricardo Forgiarini Rupp, Natalia Giraldo Vásquez, «A review of human thermal comfort in the built environment», *Energy Build.*, vol. 105, pp. 178–205, 2015.
- [7] Ambiente e Ação Climática - Direção-Geral de Energia e Geologia, «Despacho n.º 6476-H/2021 de 1 de julho», *Diário da República n.º 126/2021, 2º Supl. Série II*, vol. Parte C, pp. 66–316, 2021.
- [8] A. M. Papadopoulos, «Forty years of regulations on the thermal performance of the building envelope in Europe: Achievements, perspectives and challenges», *Energy Build.*, vol. 127, pp. 942–952, 2016.
- [9] A. B. de Vasconcelos, M. D. Pinheiro, A. Manso, e A. Cabaço, «EPBD cost-optimal methodology: Application to the thermal rehabilitation of the building envelope of a Portuguese residential reference building», *Energy Build.*, vol. 111, pp. 12–25, 2016.
- [10] AMBIENTE E AÇÃO CLIMÁTICA E INFRAESTRUTURAS E HABITAÇÃO, «Portaria n.º 138-I/2021», em *Diário da República n.º 126/2021, 2º Suplemento, Série I*, 2021, p. Pág. 128-(12)-128-(53).
- [11] Direção Geral e Energia e Geologia e Adene - Agência para Energia, *Manual SCE - Manual Técnico para a Avaliação do Desempenho Energético dos Edifícios*. 2021.
- [12] ADENE - AGÊNCIA PARA A ENERGIA, *Isolamento de Paredes*. Lisboa, 2016.
- [13] SAINT-GOBAIN, «Sistema webertherm classic», 2022. [Em linha]. Disponível em: <https://construir.saint-gobain.pt/Sistemas/fachadas/sistema-webertherm-classic#marketing-description>. [Acedido: 06-Out-2022].
- [14] apfac - associação portuguesa dos fabricantes de argamassas e etics, *MANUAL ETICS - SISTEMA DE ISOLAMENTO TÉRMICO PELO EXTERIOR*. Coimbra, 2021.
- [15] AFNOR, «Critères généraux de choix des matériaux», *NF DTU 26.1 P1-2 Trav. bâtiment Trav. d'enduits mortiers Partie 1-2*, 2008.
- [16] J. C. M. L. DA SILVA, «Reabilitação térmica de edifícios residenciais: propostas de intervenção», INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA, 2012.
- [17] A. Müller e O. E. Alarcon, «Desenvolvimento de um sistema de fachada ventilada com

- placas cerâmicas de grês porcelanato voltado para a construção civil do Brasil», *Cerâmica*, vol. 51, pp. 354–360, 2005.
- [18] ULMA Architectural Solutions, «O que é uma fachada ventilada?», *Fachadas Ventiladas*. .
- [19] F. M. G. Jardim, «Proposta de Intervenção de Reabilitação Energética de Edifícios de Habitação», Universidade do Minho, 2009.
- [20] A. Paiva, José Vasconcelos; Aguiar, José; Pinho, *Guia Técnico de Reabilitação Habitacional*, Volume II. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2006.
- [21] ADENE - AGÊNCIA PARA A ENERGIA, *Isolamento de Coberturas*. Lisboa.
- [22] J. de Brito, «COBERTURAS EM TELHA CERÂMICA», *Mestr. AVANÇADO EM CONSTRUÇÃO E Reabil. CADEIRA CONSTRUÇÃO EDIFÍCIOS*, pp. 75–76, 2001.
- [23] A. T. S. Pinto, *REABILITAÇÃO DE CAIXILHARIA. MELHORIA DAS CARACTERÍSTICAS DE COMPORTAMENTO TÉRMICO Windows retrofit. Improvement of thermal performance*. Lisboa: LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2003.
- [24] Deceuninck, «WINDOW FRAME MATERIAL / What choice of materials is available?», *MATERIAL FOR WINDOW FRAMES*. [Em linha]. Disponível em: www.deceuninck.de/en-gb/material-for-window-frames/. [Acedido: 07-Nov-2022].
- [25] J. de Brito, «CADEIRA DE REABILITAÇÃO NÃO-ESTRUTURAL DE EDIFÍCIOS - CAIXILHOS», INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO, 2005.
- [26] Classe +, «Guia Técnico para Janelas Eficientes», 2020.
- [27] Guardian Glass, «Diferentes tipos de vidro num vidro duplo», *Entender melhor os vidros duplos*. [Em linha]. Disponível em: www.guardiansun.pt/tipos-de-janelas-e-vidros/entender-melhor-os-vidros-duplos. [Acedido: 07-Nov-2022].
- [28] L. Envinor - Empresa de vidros do norte, «Vidro temperado ou laminado – qual escolher?» [Em linha]. Disponível em: www.envinor.com/vidro-temperado-laminado-qual-escolher/. [Acedido: 07-Nov-2022].
- [29] Presidência do Conselho de Ministros, «Resolução do Conselho de Ministros n.º 150-A/2022, de 29 de dezembro», em *Diário da República n.º 250/2022, 1º Suplemento, Série I de 2022-12-29*, 2022, pp. 14–91.
- [30] I. Nancrede Engineering Company, «Temperature Effects on Survival and Growth of Legionella in Laboratory Conditions», *Legionella Risk Factor: Temperature*. [Em linha]. Disponível em: www.legionellacontrolsyste.ms.com/about-legionella/legionella-risk-factor-temperature/. [Acedido: 28-Jan-2023].
- [31] M. Lacroix, «Electric water heater designs for load shifting and control of bacterial contamination», *Energy Convers. Manag.*, vol. 40, n. 12, pp. 1313–1340, 1999.
- [32] Ecoap, «Águas Quentes Sanitárias», em *Manual de Eficiência Energética*, 2019.
- [33] ANQIP - Associação Nacional para a Qualidade das Instalações Prediais, «ESPECIFICAÇÕES PARA ATRIBUIÇÃO DE RÓTULOS DE EFICIÊNCIA HÍDRICA ANQIP A CHUVEIROS E SISTEMAS DE DUCHE», *ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA ANQIP - ETA 0806*, 2020.
- [34] A. C. Neves, «EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E EFICIÊNCIA HÍDRICA EM EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO: DUAS FACES DA MESMA MOEDA?», Faculdade de Engenharia do Porto, 2014.
- [35] S. M. Silva, R. Mateus, L. Marques, M. Ramos, e M. Almeida, «Contribution of the solar systems to the nZEB and ZEB design concept in Portugal – Energy, economics and environmental life cycle analysis», *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, vol. 156, pp. 59–74, 2016.

- [36] S. Kalogirou, «Thermal performance, economic and environmental life cycle analysis of thermosiphon solar water heaters», *Sol. Energy*, vol. 83, n. 1, pp. 39–48, 2009.
- [37] N. M. M. Sumair Faisal Ahmed, Mohammad Khalid, Mahesh Vaka, Rashmi Walvekar, Arshid Numan, Abdul Khaliq Rasheed, «Recent progress in solar water heaters and solar collectors: A comprehensive review», *Therm. Sci. Eng. Prog.*, vol. 25, 2021.
- [38] Alternative Energies Tutorials, «Typical Flat Plate Collector», *Flat Plate Collector*. [Em linha]. Disponível em: www.alternative-energy-tutorials.com/solar-hot-water/flat-plate-collector.html. [Acedido: 19-Jan-2023].
- [39] O. M. M.A. Sabiha, R. Saidur, Saad Mekhilef, «Progress and latest developments of evacuated tube solar collectors», *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 51, pp. 1038–1054, 2015.
- [40] M. A. Alghoul, M. Y. Sulaiman, B. Z. Azmi, e M. A. Wahab, «Review of materials for solar thermal collectors», *Anti-Corrosion Methods Mater.*, vol. 52, pp. 199–206, 2005.
- [41] Caleffi, «AS INSTALAÇÕES SOLARES: Técnicas e Esquemas de Realização», *25 Hidráulica*, Mai-2006.
- [42] E. I. Sakellariou, P. J. Axaopoulos, B. V. Bot, e K. A. Kavadias, «First Law Comparison of a Forced-Circulation Solar Water Heating System with an Identical Thermosyphon», *Energies*, vol. 16, 2023.
- [43] Portal Energia - Energias Renováveis, «Vantagens e desvantagens do painel solar térmico de circulação forçada e termossifão», *Documentação Energia Solar*, 2018. [Em linha]. Disponível em: www.portal-energia.com/vantagens-desvantagens-painel-solar-termico-circulacao-forcada-termossifao/. [Acedido: 19-Jan-2023].
- [44] I. para la D. y A. de la E. Asociación Solar de la Industria Térmica, *Guía Técnica de Energía Solar Térmica*, 1ª Edição. Madrid, 2020.
- [45] X. Guo *et al.*, «Volume design of the heat storage tank of solar assisted water-source heat pump space heating system», *Procedia Eng.*, vol. 205, pp. 2691–2697, 2017.
- [46] L. Ribeiro, «Coletores Solares Planos», Porto, 2011.
- [47] Caleffi, «Vasos de expansão: série 556 - 568 - 5557», 2019.
- [48] Energy.Gov, «Types of Heat-Transfer Fluids», *Heat Transfer Fluids for Solar Water Heating Systems*. [Em linha]. Disponível em: www.energy.gov/energysaver/heat-transfer-fluids-solar-water-heating-systems. [Acedido: 31-Jan-2023].
- [49] Baxi, «CENTRALITAS DE REGULACION», *Centrais de Regulação*. [Em linha]. Disponível em: www.baxi.pt/produtos/energia-solar/complementos/centrais-regulacao. [Acedido: 28-Jan-2023].
- [50] Y. A. Çengel e M. A. Boles, «A segunda Lei da Termodinâmica», em *Thermodynamics - An Engineering Approach*, 5ª Edition., J. Corrigan e J. W. Bradley, Eds. 1989, pp. 287–307.
- [51] D. B. Hidalgo, «Trasformaciones enérgicas en los sistemas de climatización de edificios.», em *Climatización de edificaciones con energía solar*, 2018, p. 15.
- [52] ADENE - AGÊNCIA PARA A ENERGIA, *Esquentadores e Caldeiras*. Lisboa, 2016.
- [53] Junkers Bosch, «Esquentadores termostáticos ventilados». [Em linha]. Disponível em: www.junkers-bosch.pt/ocs/esquentadores-termostaticos-ventilados-1099524-c/. [Acedido: 19-Out-2022].
- [54] POLITÉC, «ESQUENTADORES TIPOS EXISTENTES E SEU DESEMPENHO». [Em linha]. Disponível em: <https://www.politec.pt/blog/esquentadores-tipos-existentis-e-seu->

- desempenho. [Acedido: 19-Out-2022].
- [55] Vulcano, «Esquentadores Estanques e Ventilados». [Em linha]. Disponível em: www.vulcano.pt/ocs/vulcano/esquentadores-estanques-e-ventilados-1098450-c/. [Acedido: 19-Out-2022].
- [56] Obras 360, «Caldeiras de Condensação - Aproveitamento total da energia!» [Em linha]. Disponível em: www.obras360.pt/caldeiras-de-condensacao---aproveitamento-total-da-energia. [Acedido: 19-Out-2022].
- [57] D. T. Bălănescu e V. M. Homutescu, «Experimental investigation on performance of a condensing boiler and economic evaluation in real operating conditions», *Appl. Therm. Eng.*, vol. 143, pp. 48–58, 2018.
- [58] Solzaima, «Caldeira a pellets SZM A 30 kW (Automática)». [Em linha]. Disponível em: www.solzaima.pt/produtos/detalhe/szm-a-30-kw-automatica. [Acedido: 18-Out-2022].
- [59] Sanitop, «Salamandra pellets ar Solzaima K100». [Em linha]. Disponível em: www.sanitop.pt/salamandra-pellets-ar-solzaima-k100. [Acedido: 18-Out-2022].
- [60] Smartfire, «Recuperador Inside 9.3 kW Canalizável». [Em linha]. Disponível em: www.smartfire.pt/produto/recuperador-inside-11-kw/. [Acedido: 18-Out-2022].
- [61] METLOR - Puro Calor, «MAXUSHIDRO25 - Recuperador a pellets Aq. Central/Insertable a pellets Hidro Calefactor».
- [62] PELLERGY, «Wood Pellet Heating Systems», 2015. [Em linha]. Disponível em: www.pellergy.com/wood-pellet-heating-systems/. [Acedido: 18-Out-2022].
- [63] J. A. Perez-Jimenez, «Biomass Pellet-Fired Boilers», em *WIT Transactions on State of the Art in Science and Engineering*, Jaén, 2015, pp. 67–83.
- [64] DECORFOGO - Ambiente e Conforto, «TERMOCOZINHA A PELLETS 90». [Em linha]. Disponível em: www.decorfogo.com/portfolio/termocozinha-a-pellets-90/. [Acedido: 18-Out-2022].
- [65] METLOR - Puro Calor, «ME03 - FOGÃO AQ. CENTRAL / INSERTABLE HIDRO CALEFACTOR».
- [66] Direcção Geral de Energia e Geologia e Instituto Nacional de Estatística, *Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico 2010*. Lisboa, 2011.
- [67] Instituto Nacional de Estatística e Direcção-Geral de Energia e Geologia, *Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico - 2020*. Lisboa, 2021.
- [68] APA - Agência Portuguesa do Ambiente, «Fator de Emissão da Eletricidade - 2022», *Fator de Emissão de Gases com Efeito de Estufa da Eletricidade produzida em Portugal*, Amadora, Mar-2022.
- [69] Direcção-Geral de Energia e Geologia, «Preços de eletricidade no setor doméstico, em Portugal e na União Europeia», *Preços de eletricidade e gás natural*, 2022. [Em linha]. Disponível em: www.dgeg.gov.pt/pt/estatistica/energia/precos-de-energia/precos-de-eletricidade-e-gas-natural/. [Acedido: 02-Nov-2022].
- [70] Ministério da Economia e da Inovação - Direcção-Geral de Energia e Geologia, «Despacho n.º 17313/2008, de 26 de junho», *Diário da República n.º 122/2008, Série II 2008-06-26*, 2008.
- [71] portgás, «Equivalências energéticas», *Caraterização combustíveis*. [Em linha]. Disponível em: www.portgas.pt/profissionais/apoio/equivalencias-energeticas/. [Acedido: 02-Nov-2022].
- [72] Direcção-Geral de Energia e Geologia, «Preço de gás natural no setor doméstico, em

- Portugal Continental e na União Europeia», *Preços de eletricidade e gás natural*, 2022. [Em linha]. Disponível em: www.dgeg.gov.pt/pt/estatistica/energia/precos-de-energia/precos-de-eletricidade-e-gas-natural/. [Acedido: 02-Nov-2022].
- [73] Rubis Gás, «Informações sobre produtos comercializados», *CUMPRIMENTO DO DEVER DE INFORMAÇÃO DOS COMERCIALIZADORES DE ENERGIA AO CONSUMIDOR PREVISTO NA LEI 5/2019, DE 11 DE JANEIRO*, 2020.
- [74] apetro, «Evolução Mercado Produtos Petrolíferos: Cotações e preços do Butano (Garrafas) e Propano (Granel) 3º Trim. 2022», *Informação nº145*, Nov-2022.
- [75] countryeconomy, «Preços ao consumidor de produtos petrolíferos Portugal», *Gasóleo de aquecimento*, 2022. [Em linha]. Disponível em: www.pt.countryeconomy.com/precos/precos-gasolina-gasoleo-aquecimento/portugal?year=2022. [Acedido: 08-Jan-2023].
- [76] Madeibarrros, «OS NOSSOS TIPOS DE LENHA: Eucalipto», *Encomendar*, 2023. [Em linha]. Disponível em: www.madeibarrros.com/encomendar/. [Acedido: 08-Jan-2023].
- [77] Enerpor - Energia e Ambiente, «Simulador». [Em linha]. Disponível em: www.enerpor.pt/pt/Simulador. [Acedido: 02-Nov-2022].
- [78] Leroy Merlin, «Pellets PREMIUM 15KG», 2023. [Em linha]. Disponível em: www.leroymerlin.pt/produtos/aquecimento-e-climatizacao/combustiveis/pellets/pellets-premium-15kg-85540114.html. [Acedido: 17-Jan-2023].
- [79] Rankia, «Dicionário Financeiro», *O que é o Payback e como calcular*, 2022. [Em linha]. Disponível em: www.rankia.pt/dicionario-financeiro/o-que-e-o-payback-e-como-calcular/. [Acedido: 15-Fev-2023].
- [80] economias, «Empresas», *VAL (Valor Atual Líquido): o que é, fórmula e como calcular*, 2022. [Em linha]. Disponível em: www.economias.pt/val/. [Acedido: 15-Fev-2023].
- [81] Rankia, «Dicionário Financeiro», *Taxa Interna de Rentabilidade (TIR)*, 2022. [Em linha]. Disponível em: www.rankia.pt/dicionario-financeiro/taxa-interna-de-rentabilidade-tir/. [Acedido: 15-Fev-2023].
- [82] National Renewable Energy Laboratory, «EnergyPlus», *EnergyPlus*. [Em linha]. Disponível em: <https://energyplus.net/>. [Acedido: 02-Dez-2022].
- [83] DGEG - Direção Geral de Energia e Geologia, «DISPONIBILIZAÇÃO DE SOFTWARE», *SCE.ER - Energias Renováveis e Sustentabilidade*. [Em linha]. Disponível em: <https://www.dgeg.gov.pt/pt/areas-setoriais/energia/energias-renovaveis-e-sustentabilidade/sce-er/>. [Acedido: 05-Nov-2022].
- [84] J. C. Mendes, M. R. Guerreiro, C. A. P. dos Santos, e J. A. V. de Paiva, *Temperaturas Exteriores de Projeto e Números de Graus-Dias*. Lisboa, 1989.
- [85] R. Aguiar, M. J. Carvalho, e H. Gonçalves, «Climatologia e anos meteorológicos de referência para o Sistema Nacional de Certificação de Edifícios (versão 2013)», 2013.
- [86] APA - Agência Portuguesa do Ambiente, «Plano Nacional para o Radão – Índice de Suscetibilidade ao Radão por Freguesia». p. 21, 2020.
- [87] C. A. P. dos Santos e L. Matias, *ITE50 - Coeficiente de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente de Edifícios*, 3ª. Lisboa, 2006.
- [88] C. A. P. dos Santos e R. Rodrigues, *ITE 54 - Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos Opacos da Envolvente dos Edifícios*, 3ª. Lisboa, 2009.
- [89] Ministério das Obras Públicas Transportes e Comunicações, «Decreto-Lei n.º 80/2006»,

- Diário da República n.º 67/2006*, vol. Série I-A, 2006.
- [90] R. and A.-C. E. American Society of Heating, «Thermal Comfort», em *ASHRAE Handbook—Fundamentals*, 2021.
- [91] R. and A.-C. E. American Society of Heating, «Thermal Comfort», em *ASHRAE Handbook—Fundamentals*, Atlanta, 2021.
- [92] Z. Lin e S. Deng, «A study on the thermal comfort in sleeping environments in the subtropics—Measuring the total insulation values for the bedding systems commonly used in the subtropics», *Build. Environ.*, vol. 43, n. 5, pp. 905–916, 2008.
- [93] A. Albatayneh, A. Juaidi, R. Abdallah, e F. Manzano-Agugliaro, «Influence of the Advancement in the LED Lighting Technologies on the Optimum Windows-to-Wall Ratio of Jordanians Residential Buildings», *Energies*, vol. 14, p. 5446, 2021.
- [94] T. Ganguly, M. Hajdukiewicz, M. Keane, e J. Goggins, «Generating robust algorithms for energy efficient lighting as a performance aspect of the building operational energy optimisation framework», 2016.
- [95] D. Littlefield, *METRIC HANDBOOK - Planning and Design Data*, 3ª. 2008.
- [96] A. Yildiz e A. Güngör, «Energy and exergy analyses of space heating in buildings», *Appl. Energy*, vol. 86, n. 10, pp. 1939–1948, 2009.
- [97] V. Badescu e B. Sicre, «Renewable energy for passive house heating: Part I. Building description», *Energy Build.*, vol. 35, n. 11, 2003.
- [98] ASHRAE, «Nonresidential Cooling and Heating Load Calculations», em *ASHRAE Handbook—Fundamentals*, 2021, p. 18.1-18.67.
- [99] Volcalis, «EASY: Lã Mineral em Rolo», em *Isolamentos Minerais*.
- [100] DANOSA, «IMPERMEABILIZAÇÃO, ISOLAMENTO E ARGAMASSAS PARA EDIFICAÇÃO E OBRA CIVIL», *Tabela de Preços, versão 1.4 - março*, p. 42, 2022.
- [101] S. A. CYPE Ingenieros, «Gerador de Preços», 2023. [Em linha]. Disponível em: <http://www.geradordeprecos.info/>. [Acedido: 19-Mar-2023].
- [102] R. Henry e S. Carpenter, «Rating the thermal performance of swingeng doors: the Canadian experience», *Constr. Specif.*, vol. 49 (10), pp. 61–66, 1996.
- [103] L. M. D. Oliveira, «Optimização Energética de um Sistema de Climatização Industrial», Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2012.

APÊNDICE A – PLANTA DA MORADIA E IDENTIFICAÇÃO DAS ENVOLVENTE

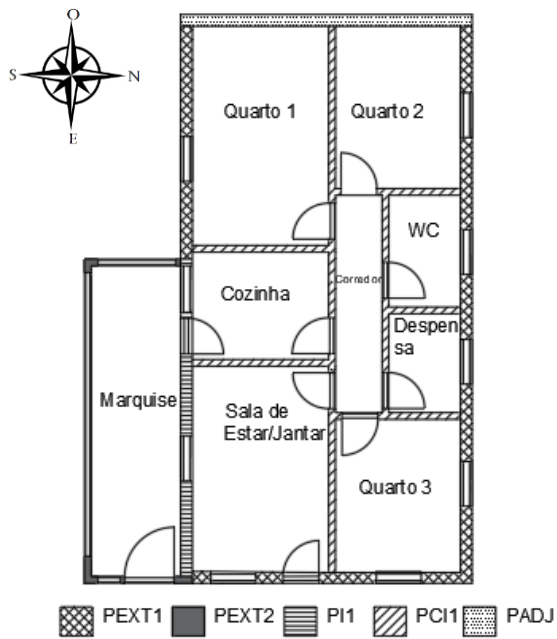


Figura 43 - Identificação das paredes.

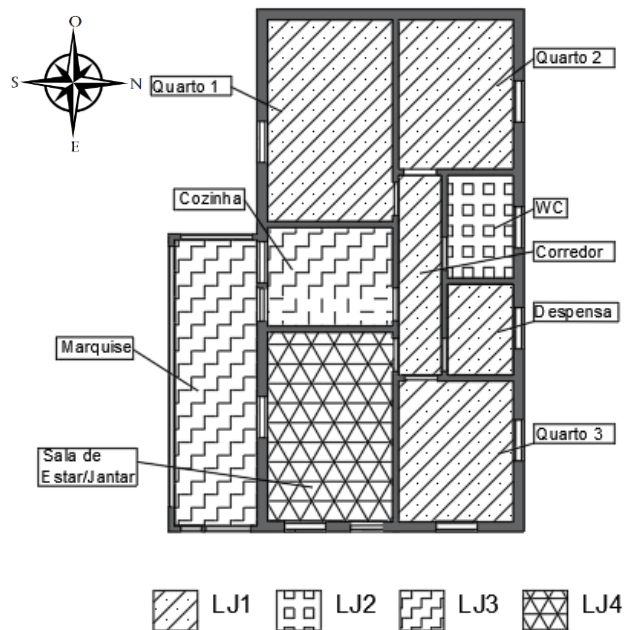


Figura 44 - Identificação das lajes de pavimento.

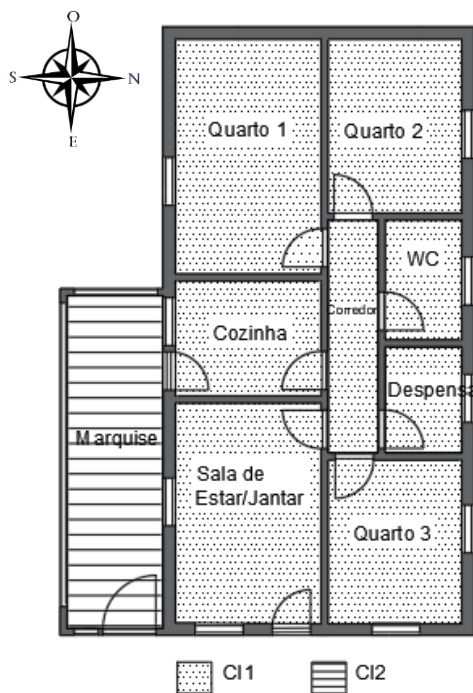


Figura 45 - Identificação das lajes de cobertura.

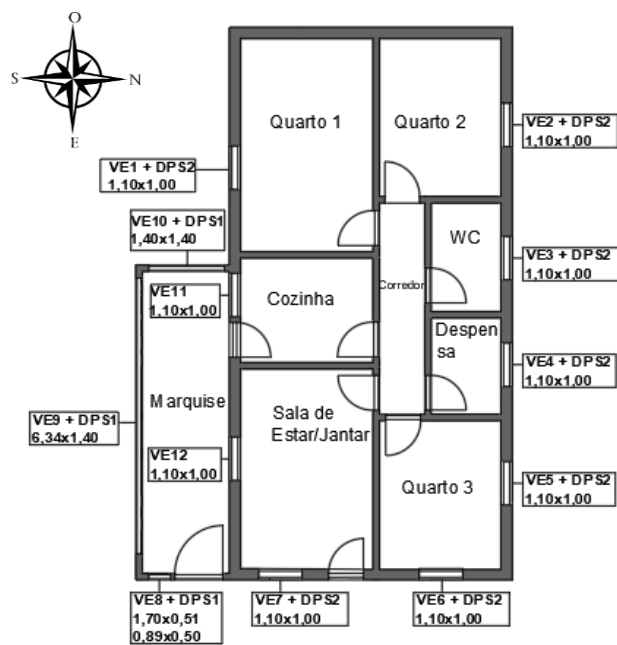


Figura 46 - Identificação dos vãos envidraçados e dispositivos de proteção solar.

APÊNDICE B – DETERMINAÇÃO BZTU E DELIMITAÇÃO DA ENVOLVENTE

Para a determinação do valor do b_{ztu} , recorre-se à tabela apresentada na Figura 47.

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

Figura 47 - Tabela auxiliar para o cálculo do b_{ztu} [11].

Onde,

- A_i : somatório das áreas das superfícies que separam os espaços interiores úteis do espaço interior não útil (m^2);
- A_u : somatório da área das superfícies que separam o espaço interior não útil do exterior (não inclui superfícies enterradas) (m^2);
- V_{enu} : volume do espaço não útil (m^3);
- f : selecionar caso seja um espaço bem vedado, sem aberturas de ventilação permanentemente abertas (adimensional);
- F : selecionar caso não seja um espaço bem vedado e possua aberturas de ventilação sempre abertas (adimensional);

Importa referir que caso um **espaço seja fortemente ventilado**, considera-se b_{ztu} **igual a 1**.

Introduzido o método de determinação do b_{ztu} , segue-se a aplicação do mesmo para os espaços não úteis da morada em estudo.

- **Espaço Não Útil 1 (ENU1): Marquise**

Na Tabela 59 são apresentados os pontos considerados no cálculo do b_{ztu} da marquise.

Tabela 59 - Determinação do valor de b_{ztu} do ENU1.

Área interior de ENU1 [m^2]	Pé direito [m]	V_{enu} [m^3]	A_i [m^2]	A_u [m^2]	A_i/A_u
13,88	2,80	38,84	19,43	30,63	0,63
Pressuposto: “espaço bem vedado, sem aberturas de ventilação permanentemente abertas” – “f”					Resultado: $b_{ztu} = 0,70$

- **Espaço Não Útil 2 (ENU2): Cave**

Na Tabela 60 são apresentados os pontos considerados no cálculo do b_{ztu} da marquise.

Tabela 60 - Determinação do valor de b_{ztu} do ENU2.

Área interior de ENU1 [m ²]	Pé direito [m]	V _{enu} [m ³]	Ai [m ²]	Au [m ²]	Ai/Au
47,89	1,75	31,22	54,64	4,91	11,13
Pressuposto: “espaço bem vedado, sem aberturas de ventilação permanentemente abertas” – “f”					Resultado: $b_{ztu} = 0,30$

- **Espaço Não Útil 3 (ENU3): Desvão de Cobertura Principal**

O ENU3 é considerado um espaço fortemente ventilado. A sua justificação assenta no facto de ser constituído por telhas de fibrocimento sobre barrotes de madeiras (CE1) com espaços permanentemente abertos e infiltrações inevitáveis, agravadas com a idade e falta de manutenção da moradia. Posto isto, o valor de b_{ztu} é igual a 1.

- **Delimitação das Envolventes**

Calculados os valores de b_{ztu} para os espaços não úteis, é possível prosseguir para a delimitação das envolventes, representadas nas figuras 48 a 50, conforme a tabela 17 de [11]

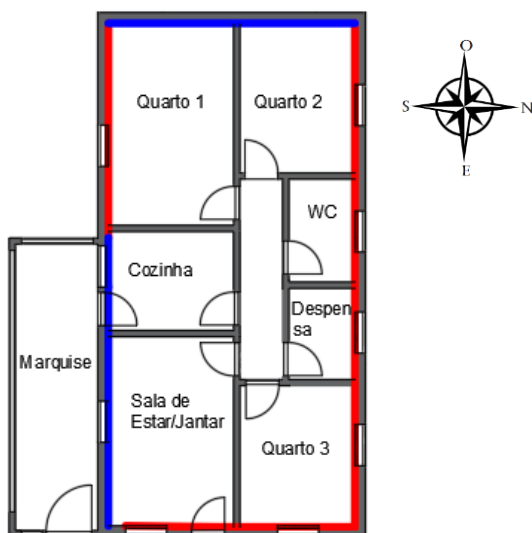


Figura 48 – Condições fronteira (paredes).

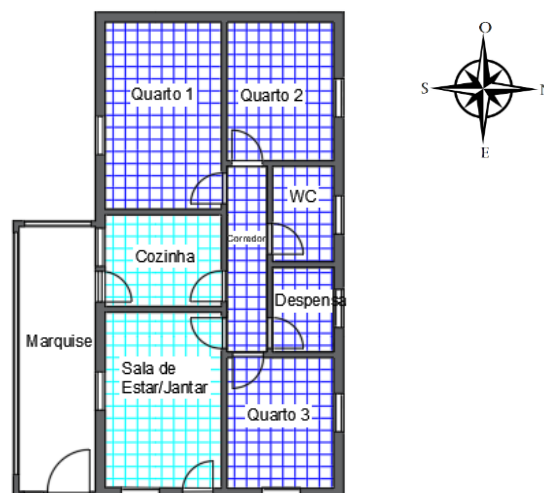


Figura 49 - Condições fronteira (lajes de pavimento).

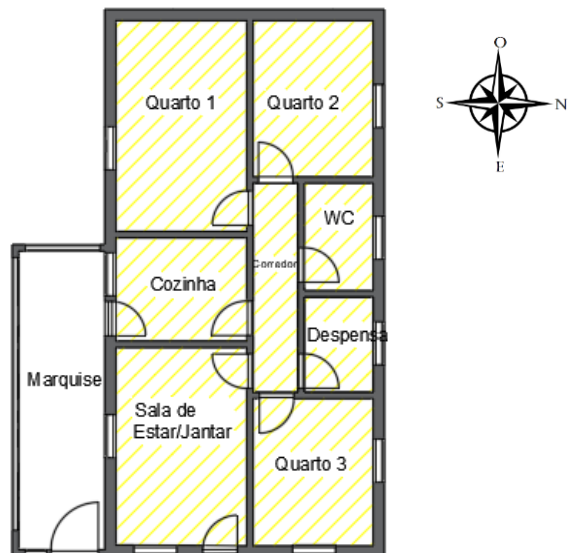


Figura 50 - Condições fronteira (lajes de cobertura).

APÊNDICE C – CARACTERIZAÇÃO DA ENVOLVENTE

Tabela 61 - Constituição da envolvente.

Elemento	Tipo de Elemento	Constituição
PEXT1	Parede exterior	Parede dupla com panos de alvenaria em tijolo furado de barro vermelho (11 cm cada parede) separadas por caixa de ar (3 cm) e com acabamento em reboco em ambos os lados (2 cm);
PEXT2	Parede exterior	Parede simples em alvenaria de tijolo furado de barro vermelho (20 cm) com reboco (2 cm) em ambos os lados;
PEXT3	Parede exterior	Parede simples em granito (40 cm) complementada com reboco (2 cm) no interior;
PADJ	Parede Meeira	Parede dupla com panos de alvenaria em tijolo furado de barro vermelho (11 cm cada parede) separadas por caixa de ar (3 cm) e com acabamento em reboco em ambos os lados (2 cm);
PI1	Parede interior	Parede dupla com panos de alvenaria em tijolo furado de barro vermelho (11 cm cada parede) separadas por caixa de ar (3 cm) e com argamassa tradicional em ambos os lados em reboco (2 cm);
PCI1	Parede de compartimentação interior	Parede simples em alvenaria de tijolo furado vermelho (11 cm) com argamassa tradicional (2 cm) nos dois lados;
L1	Laje de pavimento	Pavimento aligeirado constituído por vigotas pré-fabricadas de betão armado e blocos cerâmicos de apenas um furo (13 cm), adicionados de camada de betão armado (percentagem armadura <1% em volume complementar) (3 cm), argamassa de cimento (2 cm) e, por fim, acabamento em soalho de madeira (2 cm);
L2	Laje de pavimento	Pavimento aligeirado constituído por vigotas pré-fabricadas de betão armado e blocos cerâmicos de apenas um furo (13 cm), adicionados de camada de betão armado (percentagem armadura <1% em volume complementar) (3 cm), argamassa de cimento (2 cm) e, por fim, acabamento em grés cerâmicos (1 cm);
L3	Laje de pavimento térreo	Pavimento térreo composto por camada de pedra do tipo seixo, gravilha, areia ou brita (30 cm), camada de betão armado (percentagem armadura <1% em volume complementar) (17 cm), argamassa de cimento (2 cm) e, por fim, acabamento em grés cerâmicos (1 cm);
L4	Laje de pavimento térreo	Pavimento térreo composto por camada de pedra do tipo seixo, gravilha, areia ou brita (30 cm), camada de betão armado (percentagem armadura <1% em volume complementar) (16 cm), argamassa de cimento (2 cm) e, por fim, acabamento em soalho de madeira (2 cm);
L5	Laje de pavimento térreo	Pavimento térreo composto por camada de pedra do tipo seixo, gravilha, areia ou brita (30 cm), camada de betão armado (percentagem armadura <1% em volume complementar) (16 cm) e argamassa de cimento (2 cm)
CI1/CI2	Laje de cobertura Interior	Laje aligeirada constituída por vigotas pré-fabricadas de betão armado e blocos cerâmicos de apenas um furo (13 cm), adicionados de camada de betão complementar (percentagem de armadura <1%) (3 cm) e composta por uma camada de reboco tradicional (2 cm) na parte interior da habitação.
CE1/CE2	Cobertura exterior	Telha em fibrocimento suportada por vigas de madeira;
PRT1	Porta interior	Porta em madeira

Tabela 61 - Constituição da envolvente (cont.).

Elemento	Tipo de Elemento	Constituição
PRT2	Porta acesso exterior	Porta em alumínio

Nota: PEXT3 corresponde à parede exterior da cave; LJ5 corresponde à laje de pavimento da cave; CE corresponde à cobertura exterior afeta ao CI1; CE2 corresponde à cobertura exterior afeta a CI2

APÊNDICE D – INÉRCIA TÉRMICA

Conceito

Define-se inércia térmica como a capacidade que um material tem em armazenar calor e é um parâmetro fundamental para avaliar o comportamento térmico dos edifícios.

Quanto maior for a inércia térmica de um edifício, maior é a sua dificuldade que os seus elementos construtivos têm em libertar calor, o que reduz situações de subaquecimento ou sobreaquecimento dos espaços. A título de exemplo tem-se um edifício com inércia térmica elevada num dia típico de verão. Ao longo do dia, o edifício recebe calor diretamente do exterior, porém a sua envolvente armazena calor e impede que o mesmo seja enviado diretamente para o ar ambiente, o que poderia criar desconforto nos ocupantes. No final do dia, a temperatura exterior é mais baixa, mas esta diminuição não afeta os ocupantes porque nessa fase o calor acumulado na envolvente é libertado para o espaço interior, permitindo atenuar o arrefecimento ambiente.

Conforme referido, a inércia térmica de um edifício depende da sua envolvente, nomeadamente da massa e da densidade dos elementos construtivos.

Método de Cálculo

Para o cálculo da inércia térmica recorre-se à equação (14).

$$I_t = \frac{\sum_i M_{si} \times r_i \times S_i}{A_p} \quad (14)$$

Onde, I_t representa a massa superficial útil por metro quadrado de área interior útil de pavimento [kg/m^2], M_{si} consiste na massa superficial útil do elemento i [kg/m^2], r_i representa o fator de redução da massa superficial útil do elemento i , S_i a área da superfície interior do elemento [m^2] e, por último, A_p define a área interior útil de pavimento [m^2].

Determinado o valor de I_t , classifica-se a inércia térmica em fraca, média ou forte:

- Inércia Térmica Fraca: $I_t < 150$;
- Inércia Térmica Média: $150 \leq I_t \leq 400$
- Inércia Térmica Forte: $I_t > 400$;

Cálculo da Inércia Térmica

- $\sum_i M_{si} \times r_i \times S_i = 27720,50$ (cálculo detalhado apresentado na Tabela 62)
- $A_p = 78,07 \text{ m}^2$
- $I_t = 355,09 \longrightarrow$ **Inércia Térmica Média**

Tabela 62 - Cálculo da Inércia Térmica.

Elemento	Constituição	Espessura [mm]	Massa volúmica [kg/m ³]	Msi [kg/m ²]	∑ Msi [kg/m ²]	∑ Msi Considerado [kg/m ²]	Resistência revestimento [(m ² .°C)/W]	ri	Si [m ²]	Msi*ri*Si [kg]
PEXT1 [EL1]	Reboco Tradicional	20								
	Tijolo Cerâmico Furado	110								
	Caixa de Ar	30								
	Tijolo Cerâmico Furado	110	654	187	111,94	111,94	0,01	1	76,22	8532,51
	Reboco Tradicional	20	2000	40						
PI1 [EL1]	Reboco Tradicional	20								
	Tijolo Cerâmico Furado - 11 cm	110								
	Espaço de Ar Não Ventilado	30								
	Tijolo Cerâmico Furado - 11 cm	110	654	71,94	111,94	111,94	0,02	1	19,43	2175,22
	Reboco Tradicional	20	2000	40						
PCI1 [EL3]	Reboco Tradicional	20	2000	40	143	2,86 = 143 x 0,02	0,02	0,02	89,46	5,44
	Tijolo Cerâmico Furado - 9 cm	90	700	71,94						
	Reboco Tradicional	20	2000	40						
L1 [EL1]	Laje Aligeirada - 13 a 15 cm - Fluxo Desc. (bases ≤ 30 cm; 1 fiadas)	130	654	85,02	105,86	105,86	0,09	1	49,52	5242,24
	Betão Armado (Perc. Armadura <1% em volume) (lajes)	30	2350	70,5						
	Argamassa de Cimento (Bastarda)	20	2000	40						
	Madeiras densas (750 - 870 kg/m ³)	20	810	16,2						

Tabela 62 - Cálculo da Inércia Térmica (cont.).

Elemento	Constituição	Espessura [mm]	Massa volúmica [kg/m ³]	Msi [kg/m ²]	∑ Msi [kg/m ²]	∑ Msi Considerado [kg/m ²]	Resistência revestimento [(m ² .°C)/W]	ri	Si [m ²]	Msi*ri*Si [kg]
L2 [EL1]	Laje Aligeirada - 13 a 15 cm - Fluxo Desc. (base≤30 cm; 1 fiadas)	130	654	85,02	121,01	121,01	0,01	1	5,11	618,91
	Betão Armado (Perc. Armadura <1% em volume) (lajes)	40	2350	94						
	Argamassa de Cimento (Bastarda)	20	2000	40						
	Cerâmica Vidrada	10	2300	23						
L3 [EL2]	Seixo, gravilha, areia, brita	300	1850	555	N/A	150	0,09	1	8,15	1222,70
	Betão Armado (Perc. Armadura <1% em volume) (lajes)	170	2350	399,5						
	Argamassa de Cimento (Bastarda)	20	2000	40						
	Cerâmica Vidrada	10	2300	23						
L4 [EL2]	Seixo, gravilha, areia, brita	300	1850	555	N/A	150	0,09	1	15,28	2291,85
	Betão Armado (Perc. Armadura <1% em volume) (lajes)	160	2350	376						
	Argamassa de Cimento (Bastarda)	20	2000	40						
	Madeiras densas (750 - 870 kg/m ³)	20	810	16,2						

Tabela 62 - Cálculo da Inércia Térmica (cont.).

Elemento	Constituição	Espessura [mm]	Massa volúmica [kg/m ³]	Msi [kg/m ²]	∑ Msi [kg/m ²]	∑ Msi Considerado [kg/m ²]	Resistência revestimento [(m ² .°C)/W]	ri	Si [m ²]	Msi*ri*Si [kg]
CI1 [EL1]	Laje Aligeirada - 13 a 15 cm - Fluxo Desc. (base≤30 cm; 1 fiadas)	130	654	85,02	97,76	97,76	0,02	1	78,07	7631,63
	Betão Armado (Perc. Armadura <1% em volume) (lajes)	30	2350	70,5						
	Reboco Tradicional	20	2000	40						

APÊNDICE E – CÁLCULO DOS VALORES DE TRANSMISSIBILIDADE TÉRMICA DA ENVOLVENTE

- **Elementos em contacto com o solo**

Para o cálculo da condutibilidade térmica dos elementos em contacto com o solo (U_{bf}), mais concretamente dos pavimentos, é necessário numa primeira fase determinar a dimensão característica do pavimento em contacto com o solo (B') através da equação (15):

$$B' = \frac{A_{p,solo}}{0,5 \times P} \quad (15)$$

Onde, $A_{p,solo}$ corresponde à área útil de pavimento em contacto com o solo [m^2] e P consiste no perímetro exposto dado como o desenvolvimento total de parede medido pelo interior que divide o espaço interior útil do exterior, de espaços não úteis, do solo ou de edifícios adjacentes [m].

De seguida é necessário saber a profundidade média da parede ou do pavimento em contacto com o solo (z_{solo}) e a resistência térmica de todas as camadas do pavimento, excluindo as resistências térmicas superficiais (R_f). Posteriormente, através da Figura 51, determina-se o valor da condutibilidade térmica do elemento em análise.

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

Figura 51 - Valores de condutibilidade térmica para pavimentos em contacto com o solo (excerto da tabela em [11]).

Nas tabelas 63 a 75 são apresentados os valores considerados para os cálculos dos coeficientes de transmissibilidade térmica da envolvente.

Tabela 63 - Constituição de LJ3.

Constituição	Espessura [m]	U [$W/m^2 \cdot ^\circ C$]	Resistência Térmica [$m^2 \cdot ^\circ C/W$]
Solo	-	-	-
Seixo, gravilha, areia, brita	0,30	2,00	0,15

Tabela 63 - Constituição de LJ3 (cont.).

Constituição	Espessura [m]	U [W/m ² .°C]	Resistência Térmica [m ² .°C/W]
Betão Armado (% Armadura <1% em volume)	0,17	2,00	0,09
Argamassa de Cimento (Bastarda)	0,02	1,80	0,01
Cerâmica Vidrada	0,01	1,30	0,01
		Resistência Térmica [m ² .°C/W]	0,26

Tabela 64 - Determinação de U_{bf} de LJ3.

A _{p,solo} [m ²]	P [m]	B'	Z _{solo} [m]	R _f [(m ² .°C)/W]	U _{bf} [W/(m ² .°C)]
7,30	2,40	6,08	< 0,50	0,26	0,49

Tabela 65 - Determinação de U de LJ4.

Constituição	Espessura [m]	U [W/m ² .°C]	Resistência Térmica [m ² .°C/W]
Solo	-	-	-
Seixo, gravilha, areia, brita	0,30	2,00	0,15
Betão Armado (% Armadura <1% em volume)	0,16	2,00	0,08
Argamassa de Cimento (Bastarda)	0,02	1,80	0,01
Madeira Densa	0,02	0,23	0,09
		Resistência Térmica [m ² .°C/W]	0,33

Tabela 66 - Determinação de U_{bf} de LJ4.

A _{p,solo} [m ²]	P [m]	B'	Z _{solo} [m]	R _f [(m ² .°C)/W]	U _{bf} [W/(m ² .°C)]
13,95	7,63	3,66	< 0,50	0,33	0,62

- **Restantes Elementos**

Tabela 67 - Determinação de U de PEXT1.

Constituição	Espessura [m]	U [W/m ² .°C]	Resistência Térmica [m ² .°C/W]
Exterior	-	-	0,04
Reboco Tradicional	0,02	1,30	0,02
Tijolo Cerâmico Furado	0,11	0,41	0,27
Espaço de Ar Não Ventilado	0,03	0,17	0,18

Tabela 67 - Determinação de U de PEXT1 (cont.).

Constituição	Espessura [m]	U [W/m ² .°C]	Resistência Térmica [m ² .°C/W]
Tijolo Cerâmico Furado	0,11	0,41	0,27
Reboco Tradicional	0,02	1,30	0,02
Interior	-	-	0,13
		Resistência Térmica Total [m ² .°C/W]	0,92
		U [W/m ² .°C]	1,09
		U [W/m ² .°C] (+35%)	1,47

Tabela 68 - Determinação de U de PEXT2.

Constituição	Espessura [m]	U [W/m ² .°C]	Resistência Térmica [m ² .°C/W]
Exterior	-	-	0,04
Reboco Tradicional	0,02	1,30	0,02
Tijolo Cerâmico Furado	0,15	0,38	0,39
Reboco Tradicional	0,02	1,30	0,02
Interior	-	-	0,13
		Resistência Térmica Total [m ² .°C/W]	0,59
		U [W/m ² .°C]	1,69
		U [W/m ² .°C] (+35%)	2,28

Tabela 69 - Determinação de U de PI1.

Constituição	Espessura [m]	U [W/m ² .°C]	Resistência Térmica [m ² .°C/W]
Espaço não útil	-	-	0,13
Reboco Tradicional	0,02	1,30	0,02
Tijolo Cerâmico Furado	0,11	0,41	0,27
Espaço de Ar Não Ventilado	0,03	0,17	0,18
Tijolo Cerâmico Furado	0,11	0,41	0,27
Reboco Tradicional	0,02	1,30	0,02
Interior	-	-	0,13
		Resistência Térmica Total [m ² .°C/W]	1,01
		U [W/m ² .°C]	0,99

Tabela 70 - Determinação de U de PCI1.

Constituição	Espessura [m]	U [W/m ² .°C]	Resistência Térmica [m ² .°C/W]
Espaço não útil	-	-	0,13
Reboco Tradicional	0,02	1,30	0,02
Tijolo Cerâmico Furado	0,09	0,39	0,23
Reboco Tradicional	0,02	1,30	0,02
Interior	-	-	0,13

Tabela 70 - Determinação de U de PCI1 (cont.).

Constituição	Espessura [m]	U [W/m ² .°C]	Resistência Térmica [m ² .°C/W]
		Resistência Térmica Total [m ² .°C/W]	0,52
		U [W/m ² .°C]	1,92

Tabela 71 - Determinação de U de LJ1 (fluxo ascendente/fluxo descendente)..

Constituição	Espessura [m]	U [W/m ² .°C]	Resistência Térmica [m ² .°C/W]
Espaço não útil	-	-	0,10/0,17
Laje Aligeirada	0,13	1,00	0,13
Betão Armado (% Armadura <1% em volume)	0,03	2,00	0,02
Argamassa de Cimento (Bastarda)	0,02	1,80	0,01
Madeira densa	0,02	0,23	0,09
Interior	-		0,10/0,17
		Resistência Térmica Total [m ² .°C/W]	0,44/0,58
		U [W/m ² .°C]	2,26/1,72

Tabela 72 - Determinação de U de LJ2 (fluxo ascendente/fluxo descendente)..

Constituição	Espessura [m]	U [W/m ² .°C]	Resistência Térmica [m ² .°C/W]
Espaço não útil	-	-	0,10/0,17
Laje Aligeirada	0,13	1,00	0,13
Betão Armado (% Armadura <1% em volume)	0,04	2,00	0,02
Argamassa de Cimento (Bastarda)	0,02	1,80	0,01
Cerâmica Vidrada	0,01	1,30	0,01
Interior	-	-	0,10/0,17
		Resistência Térmica Total [m ² .°C/W]	0,37/0,51
		U [W/m ² .°C]	2,71/1,97

Tabela 73 - Determinação de U de CI1 (fluxo ascendente/fluxo descendente).

Constituição	Espessura [m]	U [W/m ² .°C]	Resistência Térmica [m ² .°C/W]
Espaço não útil	-	-	0,10/0,17
Laje Aligeirada	0,13	1,00	0,13
Betão Armado (% Armadura <1% em volume)	0,03	2,00	0,02

Tabela 73 - Determinação de U de CI1 (fluxo ascendente/fluxo descendente) (cont.).

Constituição	Espessura [m]	U [W/m ² .°C]	Resistência Térmica [m ² .°C/W]
Reboco Tradicional	0,02	1,30	0,02
Interior	-	-	0,10/0,17
		Resistência Térmica Total [m ² .°C/W]	0,36/0,50
		U [W/m ² .°C]	2,77/2,00


Tabela 74 - Determinação de U de CI2 (fluxo ascendente/fluxo descendente).

Constituição	Espessura [m]	U [W/m ² .°C]	Resistência Térmica [m ² .°C/W]
Espaço não útil	-	-	0,10/0,17
Laje Aligeirada	0,13	1,00	0,13
Betão Armado (% Armadura <1% em volume)	0,03	2,00	0,02
Reboco Tradicional	0,02	1,30	0,02
Espaço não útil	-	-	0,10/0,17
		Resistência Térmica Total [m ² .°C/W]	0,36/0,50
		U [W/m ² .°C]	2,77/2,00

Tabela 75 - Determinação de U de CE (Fluxo Ascendente/Fluxo Descendente).

Constituição	Espessura [m]	U [W/m ² .°C]	Resistência Térmica [m ² .°C/W]
Espaço não útil	-	-	0,10/0,17
Telha Fibrocimento	0,006	0,60	0,01
Espaço não útil	-	-	0,10/0,17
		Resistência Térmica Total [m ² .°C/W]	0,21/0,35
		U [W/m ² .°C]	4,81/2,87
		U [W/m ² .°C] (+35%)	6,49/3,87

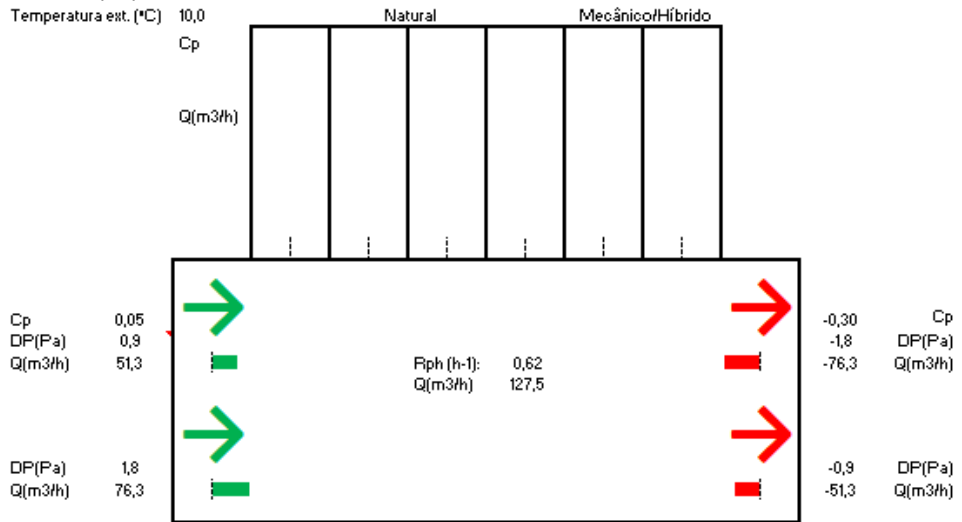
APÊNDICE F – FOLHA DE CÁLCULO: RPH DA MORADIA (FONTE: LNEC)

 LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL		Ventilação SCE Método Simplificado		Aplicação desenvolvida por: Armando Pinto. apinto@lnec.pt Ferramenta de cálculo citada no Capítulo 9 do Manual SCE, Decreto-Lei n.º 101-D/2020 de 7 de dezembro.		
Pinto, A. - Aplicação LNEC para Ventilação no âmbito do SCE. Lisboa, LNEC, 2021. v1.0, 2021-07-01.						
1. Enquadramento do edifício						
Tipo de edifício	Habitação_novo_ou_grande_reabilitação				Área útil (m ²):	73,5
Local (município)	Trofa				Pd (m):	2,80
Região	A				N.º de pisos da fração	2
Rugosidade	I				Velocidade vento	Defeito REH
Altitude do local (m)	77				Vento (u10REH: 3.6) (m/s)	
Número de fachadas expostas ao exterior (Nfach)	2 ou mais				Vol (m ³):	206
Existem edifícios/obstáculos à frente das fachadas?	Sim				Texterior (°C)	10,0
Altura do edifício (H _{edif}) em m	2,8				Zref (m)	94
Altura da fração (H _{fra}) em m	2,8				Aenv/Au:	27%
Altura do obstáculo situado em frente (H _{obs}) em m	6				Proteção do edifício:	Protegido
Distância ao obstáculo situado em frente (D _{obs}) em m	8				Zona da fachada:	Inferior
2. Permeabilidade ao ar da envolvente						
Foi medido valor n50	Não					
Para cada Vão (janela/porta) ou grupo de vãos:	Norte	Marquise	Este (Sala + Q3)	Q1 Sul		
Área dos vãos (m ²)	4,4	12,148	2,2	1,1		
Classe de permeabilidade ao ar caix (janelas/portas)	Sem classificação	Sem classificação	Sem classificação	Sem classificação		
Permeabilidade ao ar das caixas de estore	Perm. Alta	Não tem	Perm. Alta	Perm. Alta		
3. Aberturas de admissão de ar na envolvente						
Tem aberturas de admissão de ar na envolvente	Sim					
Tipo de abertura	Fixa ou regulável manualmente	Auto-regulável a 2 Pa	Auto-regulável a 10 Pa	Auto-regulável a 20 Pa		
Área livre das aberturas fixas (cm ²) / Caudal Nominal aberturas auto-reguláveis (m ³ /h)	250	0	0	0		
4. Condutas de ventilação natural, condutas com exaustores/ventax que não obturam o escoamento de ar pela conduta						
Condutas de ventilação natural sem obstruções significativas (por exemplo, consideram-se obstruções significativas exaustores com filtros que anulam escoamento de ar natural para a conduta)	Não	Não	Não	Não		
Escoamento de ar						
Perda de carga						
Altura da conduta (m)						
Cobertura						
Número de condutas semelhantes						
5. Exaustão ou insuflação por meios mecânicos de funcionamento prolongado						
Existem meios mecânicos (excluindo exaustores ou ventax)	Não					
Escoamento de ar						
Caudal nominal (m ³ /h)						
Conhece Pressão total do ventilador e rendimento						
Pressão total (Pa)						
Rendimento total do ventilador (%)						
Tem sistema de recuperação de calor						
Rendimento da recuperação de calor (%)						
6. Exaustão ou insuflação por meios híbridos de baixa pressão (< 20 Pa)						
Existem meios híbridos	Não					
Escoamento de ar						
Caudal nominal (m ³ /h)						
Conhece Pressão total do ventilador e rendimento						
Pressão total (Pa)						
Rendimento total do ventilador (%)						
7. Verão - Recuperador de calor						
Existe by-pass ao recuperador de calor no verão						
8. Resultados						
8.1 - Balanço de Energia - Edifício						
R _{ph} (h-1) - Aquecimento	0,62					
R _{ph,v} (h-1) - Arrefecimento	0,62					
Wvm (kWh)	0,0					
8.2 - Balanço de Energia - Edifício de Referência						
R _{ph,ref} (h-1)	0,60					
8.3 - Caudal mínimo de ventilação						
Rph estimada em condições nominais (h-1)	0,20					
Requisito mínimo de ventilação (h-1)	0,50					
Critério Rph mínimo	Não regulamentar Rph min					
Nota: No Cálculo de Rph min em edifícios novos e grandes reabilitações não é considerado o efeito de janelas sem classificação, da classe 1 e 2 e a existência de caixas de estore.						
					Técnico: _____	
					Data: _____	

Representação esquemática do funcionamento da ventilação

Vento Hedif (m/s) 3,60

Temperatura ext. (°C) 10,0



APÊNDICE G – ANÁLISE TÉRMICA DOS VÃOS ENVIDRAÇADOS PROPOSTOS

Para o cálculo dos valores do coeficiente de transmissibilidade térmica dos vãos envidraçados [U_w], recorre-se à equação (16), conforme demonstrado no subcapítulo 8.1 em [11].

$$U_w = \frac{\sum A_g \times U_g + \sum A_f \times U_f + \sum l_g \times \Psi_g + \sum l_{gb} \times \Psi_{gb}}{A_w} [W/(m^2.K)] \quad (16)$$

Onde, A_g representa a área do envidraçado [m^2], U_g representa o coeficiente de condutibilidade térmica do envidraçado, A_f consiste na área do caixilho [m^2], U_f representa o coeficiente de condutibilidade térmica do caixilho [$W/(m^2.°C)$], l_g consiste no comprimento do desenvolvimento linear da ligação da área transparente com o caixilho [m], Ψ_g representa o coeficiente de transmissão térmica linear da ligação da área transparente com o caixilho [$W/(m.°C)$], A_w representa a área do vão envidraçado [m^2] e, por último, l_{gb} e Ψ_{gb} definem-se, respetivamente, pelo comprimento do desenvolvimento linear [m] e pelo coeficiente de transmissão térmica linear da quadrícula inserida no espaço de ar [$W/(m.°C)$].

Para o cálculo de U_w consideram-se os seguintes pressupostos:

- Material do Caixilho: PVC
- l_g : 6,88 m
- A_f : 0,56 m^2
- Marca/Modelo do Caixilho: Cortizo / A-70 Batente
- Ψ_g : 0,06 $W/(m.°C)$
- A_w : 1,2 m^2
- U_f : 1,3 $W/(m^2.°C)$
- l_{gb} : 0 m
- Ψ_{gb} : 0 $W/(m.°C)$

Dos quais, o valor de Ψ_g é retirado da tabela 42 de [11], considerando “tipo de vidro: vidro duplo ou triplo não revestido (lâmina de ar ou gás)” e “ Ψ_g [$W/(m.°C)$], em função do tipo de caixilho: Madeira ou PVC”.

Posteriormente, calcula-se os valores do coeficiente de transmissibilidade térmica dos vãos envidraçados com os dispositivos de proteção solar ativados (U_{ws}), de acordo com a equação (17) disponibilizada no subcapítulo 8 em [11].

$$U_{ws} = \frac{1}{\frac{1}{U_w} + \Delta R} [W/(m^2.°C)] \quad (17)$$

Onde, ΔR consiste no acréscimo da resistência térmica devido ao dispositivo de proteção solar e ao espaço de ar [$(m^2.°C)/W$], que pode ser consultado na Tabela 14, da presente dissertação.

Por último, calcula-se o valor de U_{wDN} , conforme a equação (17), disponibilizada no subcapítulo 8 em [11], que serve de base para comparação com o valor de $U_{máx}$ imposto pela legislação atual em vigor (2,8 $W/(m^2.°C)$).

Neste apêndice são referidos vidros do tipo E1, E2 e E3, cujas propriedades são apresentadas na Tabela 19.

Tabela 76 - Verificação do cumprimento de $U_{\text{máx}}$ pelos novos vãos envidraçados propostos.

VE#	Vidro	U_g [W/m ² .°C]	U_w [W/m ² .°C]	U_{ws} [W/m ² .°C]	U_{WDN} [W/m ² .°C]	Cumpre $U_{\text{máx.}}$?
VE1 a VE7	Duplo E1	2,7	2,4	1,7	2,1	Cumpre
VE11 e VE12	Duplo E1	2,7	2,4	N/A	2,4	Cumpre
VE1 a VE7	Duplo E2	1,3	1,6	1,3	1,5	Cumpre
VE11 e VE12	Duplo E2	1,3	1,6	N/A	1,6	Cumpre
VE1 a VE7	Duplo E3	1,3	1,6	1,3	1,5	Cumpre
VE11 e VE12	Duplo E3	1,3	1,6	N/A	1,6	Cumpre

Relativamente aos valores do fator solar, relembra-se que os vãos envidraçados orientados a norte dispensam de qualquer imposição, nomeadamente VE2, VE3, VE4 e VE5.

Para verificar o cumprimento da norma, recorre-se à condição (11) ou à condição (12), caso a área de envidraçado no compartimento seja superior a 15% da área útil de pavimento[10].

$$g_{tot} \times F_o \times F_f \leq g_{tot,máx} \quad (11)$$

$$g_{tot} \times F_o \times F_f \leq g_{tot,máx} \times \frac{0,15}{\left(\frac{A_{env,espaço}}{A_{pav}}\right)} \quad (12)$$

Onde, g_{tot} corresponde ao fator solar dos vãos envidraçados com os dispositivos de proteção solar totalmente ativados [adimensional], F_o e F_f definem-se, respetivamente, como o fator de sombreamento por elementos opacos horizontais e elementos opacos verticais [adimensional], $g_{tot,máx}$ corresponde ao fator solar máximo admissível [adimensional] e $A_{env,espaço}$ e A_{pav} correspondem, respetivamente, à área de envidraçado no compartimento [m²] e à área útil de pavimento [m²].

Iniciando pela determinação de g_{tot} , é necessário ter presente a seguinte condição característica para vidros duplos quando complementados com dispositivos de proteção solar (equação (18)):

$$g_{tot} = g_{L,vi} \times \prod_i \frac{g_{tot,vci}}{0,75} \quad (18)$$

Onde, $g_{L,vi}$ representa o fator solar da área transparente para a incidência da radiação perpendicular ao vão envidraçado e $g_{tot,vci}$ consiste no fator solar do vão envidraçado com vidro corrente e um dispositivo de proteção solar i totalmente ativado.

Quando o primeiro dispositivo de proteção solar do exterior para o interior é opaco, recorre-se à seguinte condição (equação (19)):

$$g_{tot} = g_{tot,vc,op} \quad (19)$$

Posto isto, consideram-se os valores apresentados na Tabela 77:

Tabela 77 - Valores de g_{tot} para os vãos envidraçados.

VE#	Tipo DPS	g_{tot}
VE1 a VE7	DPS2	0,04
VE11 e VE12	N/A	$g_{l,vi}$ (Dado pelo fabricante) ⁸

Fonte: Tabela 46 de [11].

Relativamente aos valores de F_o e F_f , consideram-se os seguintes valores resultantes da análise das peças desenhadas e das tabelas 54 a 57 disponíveis em [11], conforme apresentado na Tabela 78.

Tabela 78 - Cálculo dos valores de F_o e F_f .

VE#	Orientação	θ [°]	F_o	F_f (sombreamentos lado direito)	F_f (sombreamentos lado esquerdo)	F_f
VE1	Sul	10,5	0,87	1,00	0,91	0,91
VE2	Norte	10,9	1,00	1,00	1,00	1,00
VE3	Norte	8,0	1,00	1,00	1,00	1,00
VE4	Norte	8,2	1,00	1,00	1,00	1,00
VE5	Norte	11,2	1,00	1,00	1,00	1,00
VE6	Este	38,7	1,00	1,00	1,00	1,00
VE7	Este	38,7	0,69	1,00	1,00	1,00
VE11	Sul	67,4	0,50	1,00	1,00	1,00
VE12	Sul	67,4	0,50	1,00	1,00	1,00


Segue-se a verificação do cumprimento das condições anteriormente apresentadas, conforme apresentado na Tabela 79.

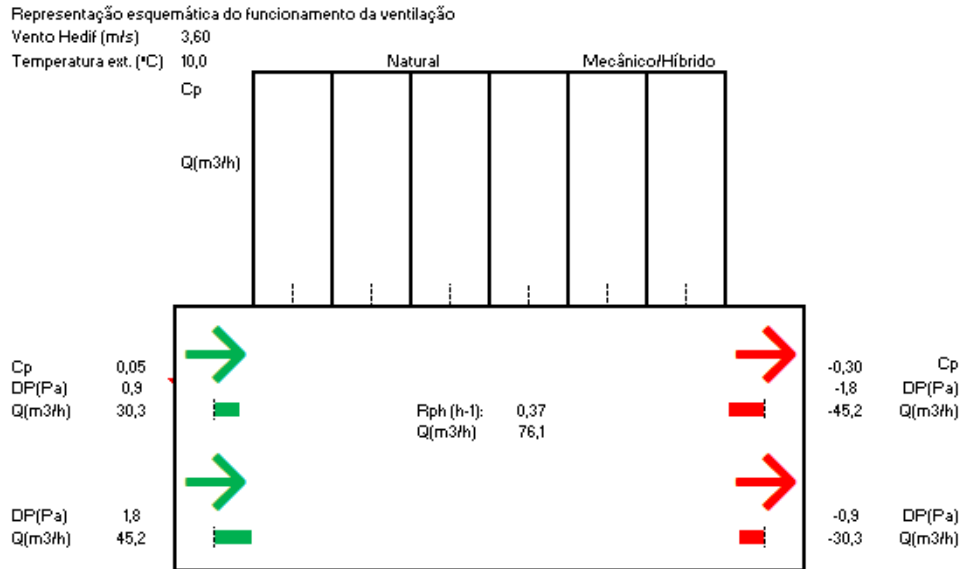
Tabela 79 - Verificação do cumprimento do fator solar pelos novos vãos envidraçados propostos.

Ensaio	VE#	Orientação	$\frac{A_{env, espaço}}{A_{pav}}$ [%]	$g_{tot} \cdot F_o \cdot F_f$	Valor máximo a cumprir	Cumpre?
Estudos E1, E2 e E3	VE1	Sul	7,41	0,03	0,56	Cumpre
	VE2	Norte	10,53	0,04	N/A	N/A
	VE3	Norte	23,46	0,04	N/A	N/A
	VE4	Norte	19,07	0,04	N/A	N/A
	VE5	Norte	21,80	0,04	N/A	N/A
	VE6	Este	21,80	0,03	0,39	Cumpre
	VE7	Este	15,71	0,03	0,53	Cumpre
Estudo E1	VE11	Sul	14,72	0,39	0,56	Cumpre
	VE12	Sul	15,71	0,39	0,53	Cumpre
Estudo E2	VE11	Sul	14,72	0,25	0,56	Cumpre
	VE12	Sul	15,71	0,25	0,53	Cumpre
Estudo E3	VE11	Sul	14,72	0,17	0,56	Cumpre
	VE12	Sul	15,71	0,17	0,53	Cumpre

⁸ Valores apresentados na Tabela 19.

APÊNDICE H – FOLHA DE CÁLCULO: RPH DA MORADIA RESULTANTE DA SUBSTITUIÇÃO DOS VÃOS ENVIDRAÇADOS

 LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL	Ventilação SCE Método Simplificado		Aplicação desenvolvida por: Armando Pinto, apinto@lnec.pt	
	Pinto, A. - Aplicação LNEC para Ventilação no âmbito do SCE, Lisboa, LNEC, 2021. v1.0, 2021-07-01.		Ferramenta de cálculo citada no Capítulo 9 do Manual SCE, Decreto-Lei n.º 101-D/2020 de 7 de dezembro.	
1. Enquadramento do edifício				
Tipo de edifício	Habituação_novo_ou_grande_reabilitação	Área útil (m2):	73,5	
Local (município)	Trofa	Pd (m):	2,80	
Região	A	N.º de pisos da fração	2	
Rugosidade	1	Velocidade vento	Defeito REH	
Altitude do local (m)	77	Vento (u10REH: 3.6) (m/s)	206	
Número de fachadas expostas ao exterior (Nfach)	2 ou mais	T _{exterior} (°C)	10,0	
Existem edifícios/obstáculos à frente das fachadas?	Sim	Z _{ref} (m)	94	
Altura do edifício (H _{edif}) em m	2,8	A _{envlAu} :	27%	
Altura da fração (H _{fra}) em m	2,8	Proteção do edifício:	Protegido	
Altura do obstáculo situado em frente (H _{obst}) em m	6	Zona da fachada:	Inferior	
Distância ao obstáculo situado em frente (D _{obst}) em m	8			
2. Permeabilidade ao ar da envolvente				
Foi medido valor n50	Não			
Para cada Vão (janela/porta) ou grupo de vãos:	Norte	Marquise	Este (Sala + Q3)	Q1 Sul
Área dos vãos (m2)	4,4	12,148	2,2	1,1
Classe de permeabilidade ao ar caix (janelas/portas)	4	Sem classificação	4	4
Permeabilidade ao ar das caixas de estore	Não tem	Não tem	Não tem	Não tem
3. Aberturas de admissão de ar na envolvente				
Tem aberturas de admissão de ar na envolvente	Sim			
Tipo de abertura	Fixa ou regulável manualmente	Auto-regulável a 2 Pa	Auto-regulável a 10 Pa	Auto-regulável a 20 Pa
Área livre das aberturas fixas (cm2) / Caudal Nominal aberturas auto-reguláveis (m3/h)	250	0	0	0
4. Condutas de ventilação natural, condutas com exaustores/ventax que não obturam o escoamento de ar pela conduta				
Condutas de ventilação natural sem obstruções significativas (por exemplo, consideram-se obstruções significativas exaustores com filtros que anulam escoamento de ar natural para a conduta)	Não	Não	Não	Não
Escoamento de ar				
Perda de carga				
Altura da conduta (m)				
Cobertura				
Número de condutas semelhantes				
5. Exaustão ou insuflação por meios mecânicos de funcionamento prolongado				
Existem meios mecânicos (excluindo exaustores ou ventax)	Não			
Escoamento de ar				
Caudal nominal (m3/h)				
Conhece Pressão total do ventilador e rendimento				
Pressão total (Pa)				
Rendimento total do ventilador(%)				
Tem sistema de recuperação de calor				
Rendimento da recuperação de calor (%)				
6. Exaustão ou insuflação por meios híbridos de baixa pressão (< 20 Pa)				
Existem meios híbridos	Não			
Escoamento de ar				
Caudal nominal (m3/h)				
Conhece Pressão total do ventilador e rendimento				
Pressão total (Pa)				
Rendimento total do ventilador(%)				
7. Verão - Recuperador de calor				
Existe by-pass ao recuperador de calor no verão				
8. Resultados				
8.1 - Balanço de Energia - Edifício				
R _{h,edif} (h-1) - Aquecimento	0,50			
R _{h,edif} (h-1) - Arrefecimento	0,60			
W _{vm} (kWh)	0,0			
8.2 - Balanço de Energia - Edifício de Referência				
R _{h,edif,ref} (h-1)	0,50			
8.3 - Caudal mínimo de ventilação				
R _{ph} estimada em condições nominais (h-1)	0,20			
Requisito mínimo de ventilação (h-1)	0,50			
Critério R _{ph} mínimo	Não regulamentar R_{ph} min			
Nota: Na Cálculo do R _{ph} min em edifícios novos e grandes reabilitações não é considerada a oferta de janelas com classificação, do claro 1e 2 e a existência do caixil de estore.				
			Técnico:	
			Data:	10/04/2023



APÊNDICE I – ESTIMATIVA ORÇAMENTAL: SISTEMAS ALTERNATIVOS PARA PRODUÇÃO AQS

Nas tabelas 80 a 91 apresentam-se as estimativas orçamentais dos sistemas de produção de AQS propostos consideradas para o cálculo da análise de investimento.

Tabela 80 - Estimativa Orçamental: Sistema termossifão + Resistência elétrica integrada no depósito de acumulação.

Descrição	Qtd.	Un.	Preço [€]
Fornecimento e instalação de coletor solar tipo termossifão incluindo suporte de fixação e resistência elétrica de apoio para depósito de acumulação (Marca: <i>Baxi</i> / Modelo: <i>STS 200 2.0</i>)	1	vg.	2750
Fornecimento e instalação de rede de tubagem em aço inox isolada e revestida (quando no exterior) para interligação à rede de distribuição existente. Espessura de isolamento: mínimo 30 mm no exterior e 20 mm de isolamento térmico no interior	1	vg.	250
Total:			3000

Tabela 81 - Estimativa Orçamental: Sistema termossifão + Esquentador.

Descrição	Qtd.	Un.	Preço [€]
Fornecimento e instalação de coletor solar tipo termossifão incluindo suporte de fixação (Marca: <i>Baxi</i> / Modelo: <i>STS 200 2.0</i>)	1	vg.	2635
Fornecimento e instalação de esquentador de combustão atmosférica de tiragem natural, incluindo conduta de exaustão (Marca: <i>Baxi</i> / Modelo: <i>Serie I ECO 14I ECO</i>).	1	vg.	640
Fornecimento e instalação de vaso de expansão para solar, rede de tubagem em cobre isolada e revestida (quando no exterior) para ligação ao esquentador e rede de tubagem em aço inoxidável isolada para interligação à rede de distribuição existente. Espessura de isolamento: mínimo 30 mm no exterior e 20 mm de isolamento térmico no interior.	1	vg.	415
Total:			3690

Tabela 82 - Estimativa Orçamental: Sistema Solar Circulação Forçada + Resistência elétrica integrada no depósito de acumulação.

Descrição	Qtd.	Un.	Preço [€]
Fornecimento e instalação de dois coletores solares posição vertical incluindo suporte de fixação e jogo de ligações (Marca: <i>Baxi</i> / Modelo: <i>SOL 200</i>)	1	vg.	2100
Fornecimento e instalação de depósito de acumulação de 200 litros, esmaltado e com serpentina para ligação ao circuito solar. Inclui resistência elétrica de apoio e proteção catódica	1	vg.	1615
Fornecimento e instalação de grupo de circulação isolado para solar constituído por uma bomba circuladora, válvulas de segurança. Torneira de carga/descarga, manómetro, caudalímetro, termómetro de retorno e válvula de retenção.	1	un.	445
Fornecimento e programação de controlador para circuito solar	1	un.	220

Tabela 82 - Estimativa Orçamental: Sistema Solar Circulação Forçada + Resistência elétrica integrada no depósito de acumulação (cont.).

Descrição	Qtd.	Un.	Preço [€]
Fornecimento e instalação de vaso de expansão para solar, rede de tubagem em cobre isolada e revestida (quando no exterior) para ligação ao depósito e rede de tubagem em aço inoxidável isolada para interligação à rede de distribuição existente. Espessura de isolamento: mínimo 30 mm no exterior e 20 mm de isolamento térmico no interior.	1	vg.	550
Total:			4930

Tabela 83 - Estimativa Orçamental: Sistema Solar Circulação Forçada + Esquentador.

Descrição	Qtd.	Un.	Preço [€]
Fornecimento e instalação de dois coletores solares posição vertical incluindo suporte de fixação e jogo de ligações (Marca: <i>Baxi / Modelo: SOL 200</i>)	1	vg.	2100
Fornecimento e instalação de depósito de acumulação de 200 litros, esmaltado e com serpentina para ligação ao circuito solar. Inclui proteção catódica.	1	vg.	1320
Fornecimento e instalação de esquentador de combustão atmosférica de tiragem natural, incluindo conduta de exaustão (Marca: <i>Baxi / Modelo: Serie I ECO 14I ECO</i>).	1	vg.	640
Fornecimento e instalação de grupo de circulação isolado para solar constituído por uma bomba circuladora, válvulas de segurança. Torneira de carga/descarga, manómetro, caudalímetro, termómetro de retorno e válvula de retenção.	1	un.	445
Fornecimento e programação de controlador para circuito solar	1	un.	220
Fornecimento e instalação de vaso de expansão para solar, rede de tubagem em cobre isolada e revestida (quando no exterior) para ligação ao depósito e rede de tubagem em aço inoxidável isolada para interligação à rede de distribuição existente. Espessura de isolamento: mínimo 30 mm no exterior e 20 mm de isolamento térmico no interior.	1	vg.	550
Total:			5275

Tabela 84 - Estimativa Orçamental: Sistema Solar Circulação Forçada + Caldeira a Gás.

Descrição	Qtd.	Un.	Preço [€]
Fornecimento e instalação de dois coletores solares posição vertical incluindo suporte de fixação e jogo de ligações (Marca: <i>Baxi / Modelo: SOL 200</i>)	1	vg.	2100
Fornecimento e instalação de depósito de acumulação de 200 litros, esmaltado e com dupla serpentina para ligação ao circuito solar e à caldeira. Inclui proteção catódica.	1	vg.	1820
Fornecimento e instalação de caldeira a gás, incluindo kit de exaustão (Marca: <i>Chaffoteaux / Modelo: Pigma Advance 25</i>).	1	vg.	1430
Fornecimento e instalação de grupo de circulação isolado para solar constituído por uma bomba circuladora, válvulas de segurança. Torneira de carga/descarga, manómetro, caudalímetro, termómetro de retorno e válvula de retenção.	1	un.	445
Fornecimento e programação de controlador para circuito solar	1	un.	220

Tabela 84 - Estimativa Orçamental: Sistema Solar Circulação Forçada + Caldeira a Gás (cont.).

Descrição	Qtd.	Un.	Preço [€]
Fornecimento e instalação de vaso de expansão para solar, rede de tubagem em cobre isolada e revestida (quando no exterior) para ligação ao depósito e rede de tubagem em aço inoxidável isolada para interligação à rede de distribuição existente. Espessura de isolamento: mínimo 30 mm no exterior e 20 mm de isolamento térmico no interior.	1	vg.	550
Total:			6565

Tabela 85 - Estimativa Orçamental: Sistema Solar Circulação Forçada + Caldeira a Pellets.

Descrição	Qtd.	Un.	Preço [€]
Fornecimento e instalação de dois coletores solares posição vertical incluindo suporte de fixação e jogo de ligações (Marca: <i>Baxi</i> / Modelo: <i>SOL 200</i>)	1	vg.	2100
Fornecimento e instalação de depósito de acumulação de 200 litros, esmaltado e com dupla serpentina para ligação ao circuito solar e à caldeira. Inclui proteção catódica.	1	vg.	1820
Fornecimento e instalação de caldeira a pellets (Marca: <i>Solzaima</i> / Modelo: <i>SZM ECO C12 13 kW</i>), incluindo kit de exaustão de fumos. Nota: Preço não inclui silo de armazenamento extra.	1	vg.	2860
Fornecimento e instalação de grupo de circulação isolado para solar constituído por uma bomba circuladora, válvulas de segurança. Torneira de carga/descarga, manómetro, caudalímetro, termómetro de retorno e válvula de retenção.	1	un.	445
Fornecimento e programação de controlador para circuito solar	1	un.	220
Fornecimento e instalação de vaso de expansão para solar, rede de tubagem em cobre isolada e revestida (quando no exterior) para ligação ao depósito e rede de tubagem em aço inoxidável isolada para interligação à rede de distribuição existente. Espessura de isolamento: mínimo 30 mm no exterior e 20 mm de isolamento térmico no interior.	1	vg.	550
Total:			7995

Tabela 86 - Estimativa Orçamental: Sistema Solar Circulação Forçada + Bomba de Calor Ar-Água.

Descrição	Qtd.	Un.	Preço [€]
Fornecimento e instalação de dois coletores solares posição vertical incluindo suporte de fixação e jogo de ligações (Marca: <i>Baxi</i> / Modelo: <i>SOL 200</i>)	1	vg.	2100
Fornecimento e instalação de bomba de calor monobloco ar-água com serpentina para ligação ao circuito solar. Inclui conduta para ligação ao exterior. (Marca: <i>Daikin</i> / Modelo: <i>Altherma M AQS 200</i> litros)	1	vg.	3535
Fornecimento e instalação de grupo de circulação isolado para solar constituído por uma bomba circuladora, válvulas de segurança. Torneira de carga/descarga, manómetro, caudalímetro, termómetro de retorno e válvula de retenção.	1	un.	445
Fornecimento e programação de controlador para circuito solar	1	un.	220

Tabela 86 - Estimativa Orçamental: Sistema Solar Circulação Forçada + Bomba de Calor Ar-Água (cont.).

Descrição	Qtd.	Un.	Preço [€]
Fornecimento e instalação de vaso de expansão para solar, rede de tubagem em cobre isolada e revestida (quando no exterior) para ligação ao depósito e rede de tubagem em aço inoxidável isolada para interligação à rede de distribuição existente. Espessura de isolamento: mínimo 30 mm no exterior e 20 mm de isolamento térmico no interior.	1	vg.	550
Total:			6850

Tabela 87 - Estimativa Orçamental: Termoacumulador elétrico.

Descrição	Qtd.	Un.	Preço [€]
Fornecimento e instalação de termoacumulador elétrico 150 litros (Marca: <i>Vulcano</i> / Modelo: <i>Aqua prime ES 035 5 1200W VU H1X-EDWVB</i>)	1	vg.	480
Fornecimento e instalação de rede de tubagem isolada para interligação à rede de distribuição existente. Espessura de isolamento: igual ou superior a 20 mm	1	vg.	160
Total:			640

Tabela 88 - Estimativa Orçamental: Esquentador.

Descrição	Qtd.	Un.	Preço [€]
Fornecimento e instalação de esquentador para gás natural, incluindo conduta de exaustão (Marca: <i>Baxi</i> / Modelo: <i>Serie I ECO 14I ECO</i>)	1	vg.	640
Fornecimento e instalação de rede de tubagem isolada para interligação à rede de distribuição existente. Espessura de isolamento: igual ou superior a 20 mm	1	vg.	160
Total:			800

Tabela 89 - Estimativa Orçamental: Caldeira a Gás Natural.

Descrição	Qtd.	Un.	Preço [€]
Fornecimento e instalação de caldeira a gás, incluindo kit de exaustão (Marca: <i>Chaffoteaux</i> / Modelo: <i>Pigma Advance 25</i>).	1	vg.	1430
Fornecimento e instalação de rede de tubagem isolada para interligação à rede de distribuição existente. Espessura de isolamento: igual ou superior a 20 mm	1	vg.	160
Total:			1590

Tabela 90 - Estimativa Orçamental: Caldeira a Pellets.

Descrição	Qtd.	Un.	Preço [€]
Fornecimento e instalação de caldeira a pellets (Marca: <i>Solzaima</i> / Modelo: <i>SZM ECO C12 13 kW</i>), incluindo kit de exaustão de fumos. Nota: Preço não inclui silo de armazenamento extra.	1	vg.	2860
Fornecimento e instalação de rede de tubagem isolada para interligação à rede de distribuição existente. Espessura de isolamento: igual ou superior a 20 mm	1	vg.	160
Total:			3020

Tabela 91 – Estimativa orçamental: Bomba de Calor.

Descrição	Qtd.	Un.	Preço [€]
Fornecimento e instalação de bomba de calor monobloco ar-água. Inclui conduta para ligação ao exterior. (Marca: <i>Daikin</i> / Modelo: <i>Altherma M AQS</i> 200 litros)	1	vg.	3260
Fornecimento e instalação de rede de tubagem isolada para interligação à rede de distribuição existente. Espessura de isolamento: igual ou superior a 20 mm	1	vg.	160
Total:			3420

APÊNDICE J – ANÁLISE DE INVESTIMENTO

Nas tabelas 92 a 102 apresentam-se os valores considerados para a análise de investimento das soluções de sistemas de produção de AQS propostos. Para a análise de investimento considera-se a média de preços do gás natural, eletricidade e *pellets* registados ao longo das últimas duas décadas recorrendo a sites certificados como PORDATA e a DGEG. Considera-se, também, que o preço dos combustíveis sofre uma inflação anual de 3%.

Tabela 92 – Fluxo de Caixa: Sistema solar tipo termossifão + Resistência elétrica integrada no depósito de acumulação.

	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10	Ano 11	Ano 12	Ano 13
Poupança Consumo de Energia Final [kWh]	1292,7	1292,7	1292,7	1292,7	1292,7	1292,7	1292,7	1292,7	1292,7	1292,7	1292,7	1292,7	1292,7
Custo Anual Eletricidade [€]	0,210	0,216	0,223	0,229	0,236	0,243	0,251	0,258	0,266	0,2674	0,282	0,291	0,299
Poupança Anual [€]	271,48€	279,62	288,01	296,65	305,55	314,72	324,16	333,88	343,90	354,22	364,84	375,79	387,06
Custo Anual Manutenção Periódica [€]	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00
Fluxo de Caixa Anual [€]	211,48€	219,62	228,01	236,65	245,55	254,72	264,16	273,88	283,90	294,22	304,84	315,79	327,06

Tabela 93 - Fluxo de Caixa: Sistema solar tipo termossifão + Esquentador.

	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10	Ano 11	Ano 12	Ano 13
Consumo de Energia Final [kWh]	1049,33	1049,33	1049,33	1049,33	1049,33	1049,33	1049,33	1049,33	1049,33	1049,33	1049,33	1049,33	1049,33
Custo Anual Gás Natural [€]	0,100	0,103	0,106	0,109	0,113	0,116	0,119	0,123	0,127	0,130	0,134	0,138	0,143
Poupança Anual [€]	345,28	355,64	366,30	377,29	388,61	400,27	412,28	424,65	437,39	450,51	464,02	477,94	492,28
Custo Anual Manutenção Periódica [€]	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00

Tabela 93 - Fluxo de Caixa: Sistema solar tipo termossifão + Esquentador (cont.).

	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10	Ano 11	Ano 12	Ano 13
Fluxo de Caixa Anual [€]	285,28	295,64	306,30	317,29	328,61	340,27	352,28	364,65	377,39	390,51	404,02	417,94	432,28

Tabela 94 - Fluxo de Caixa: Sistema solar tipo circulação forçada + Resistência elétrica integrada no depósito de acumulação.

	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10	Ano 11	Ano 12	Ano 13
Poupança Consumo de Energia Final [kWh]	1598,30	1598,30	1598,30	1598,30	1598,30	1598,30	1598,30	1598,30	1598,30	1598,30	1598,30	1598,30	1598,30
Custo Anual Eletricidade [€]	0,210	0,216	0,223	0,229	0,236	0,243	0,251	0,258	0,266	0,2674	0,282	0,291	0,299
Poupança Anual [€]	335,64	345,71	356,08	366,77	377,77	389,10	400,78	412,80	425,18	437,94	451,08	464,61	478,55
Custo Anual Manutenção Periódica [€]	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00
Fluxo de Caixa Anual [€]	275,64	285,71	296,08	306,77	317,77	329,10	340,78	352,80	365,18	377,94	391,08	404,61	418,55

Tabela 95 - Fluxo de Caixa: Sistema solar tipo circulação forçada + Esquentador.

	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10	Ano 11	Ano 12	Ano 13
Consumo de Energia Final [kWh]	532,00	532,00	532,00	532,00	532,00	532,00	532,00	532,00	532,00	532,00	532,00	532,00	532,00
Custo Anual Gás Natural [€]	0,100	0,103	0,106	0,109	0,113	0,116	0,119	0,123	0,127	0,130	0,134	0,138	0,143

Tabela 95 - Fluxo de Caixa: Sistema solar tipo circulação forçada + Esquentador (cont.).

	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10	Ano 11	Ano 12	Ano 13
Poupança Anual [€]	397,01	408,92	421,19	433,82	446,84	460,24	474,05	488,27	502,92	518,01	533,55	549,56	566,04
Custo Anual Manutenção Periódica [€]	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00
Fluxo de Caixa Anual [€]	337,01	348,92	361,19	373,82	386,84	400,24	414,05	428,27	442,92	458,01	473,55	489,56	506,04

Tabela 96 - Fluxo de Caixa: Sistema solar tipo circulação forçada + Caldeira a gás natural.

	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10	Ano 11	Ano 12	Ano 13
Consumo de Energia Final [kWh]	645,33	645,33	645,33	645,33	645,33	645,33	645,33	645,33	645,33	645,33	645,33	645,33	645,33
Custo Anual Gás Natural [€]	0,100	0,103	0,106	0,109	0,113	0,116	0,119	0,123	0,127	0,130	0,134	0,138	0,143
Poupança Anual [€]	385,68	397,25	409,16	421,44	434,08	447,11	460,52	474,33	488,56	503,22	518,32	533,87	549,88
Custo Anual Manutenção Periódica [€]	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00
Fluxo de Caixa Anual [€]	325,68	337,25	349,16	361,44	374,08	387,11	400,52	414,33	428,56	443,22	458,32	473,87	489,88

Tabela 97 - Fluxo de Caixa: Sistema solar tipo circulação forçada + Caldeira a *pellets*.

	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10	Ano 11	Ano 12	Ano 13
Consumo de Energia Final [kWh]	650,67	650,67	650,67	650,67	650,67	650,67	650,67	650,67	650,67	650,67	650,67	650,67	650,67
Custo Anual Gás Natural [€]	0,100	0,103	0,106	0,109	0,113	0,116	0,119	0,123	0,127	0,130	0,134	0,138	0,143
Poupança Anual [€]	385,14	396,70	408,60	420,86	433,48	446,49	459,88	473,68	487,89	502,53	517,60	533,13	549,12
Custo Anual Manutenção Periódica [€]	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00
Fluxo de Caixa Anual [€]	325,14	336,70	348,60	360,86	373,48	386,49	399,88	413,68	427,89	442,53	457,60	473,13	489,12

Tabela 98 - Fluxo de Caixa: Sistema solar tipo circulação forçada + Bomba de Calor Ar-Água.

	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10	Ano 11	Ano 12	Ano 13
Poupança Consumo de Energia Final [kWh]	1927,46	1927,46	1927,46	1927,46	1927,46	1927,46	1927,46	1927,46	1927,46	1927,46	1927,46	1927,46	1927,46
Custo Anual Eletricidade [€]	0,210	0,216	0,223	0,229	0,236	0,243	0,251	0,258	0,266	0,2674	0,282	0,291	0,299
Poupança Anual [€]	404,77	416,91	429,42	442,30	455,57	469,24	483,31	497,81	512,75	528,13	543,97	560,29	577,10
Custo Anual Manutenção Periódica [€]	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00
Fluxo de Caixa Anual [€]	344,77	356,91	369,42	382,30	395,57	409,24	423,31	437,81	452,75	468,13	483,97	500,29	517,10

Tabela 99 - Fluxo de Caixa: Termoacumulador Elétrico 150 litros.

	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10	Ano 11	Ano 12	Ano 13
Poupança Consumo de Energia Final [kWh]	107,19	107,19	107,19	107,19	107,19	107,19	107,19	107,19	107,19	107,19	107,19	107,19	107,19
Custo Anual Eletricidade [€]	0,210	0,216	0,223	0,229	0,236	0,243	0,25	0,258	0,266	0,2674	0,282	0,291	0,299
Fluxo de Caixa Anual [€]	22,51	22,65	22,80	22,94	23,09	23,24	23,39	23,54	23,70	23,85	24,01	24,18	24,34

Tabela 100 - Fluxo de Caixa: Esquentador e Caldeira a Gás Natural.

	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10	Ano 11	Ano 12	Ano 13
Consumo de Energia Final [kWh]	2444,0	2444,0	2444,0	2444,0	2444,0	2444,0	2444,0	2444,0	2444,0	2444,0	2444,0	2444,0	2444,0
Custo Anual Gás Natural [€]	0,100	0,103	0,106	0,109	0,113	0,116	0,119	0,123	0,127	0,130	0,134	0,138	0,143
Fluxo de Caixa Anual [€]	205,81	211,98	218,34	224,89	231,64	238,59	245,75	253,12	260,71	268,54	276,59	284,89	293,44

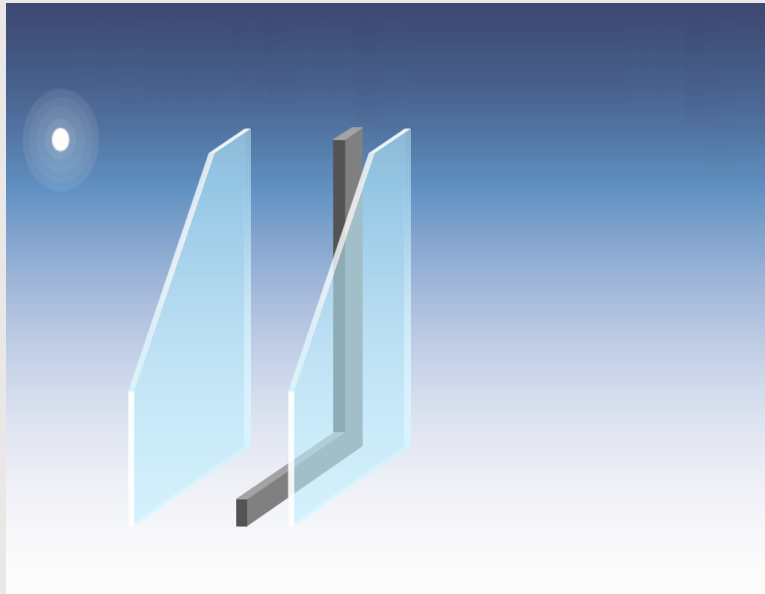
Tabela 101 - Fluxo de Caixa: Caldeira a Pellets.

	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10	Ano 11	Ano 12	Ano 13
Consumo de Energia Final [kWh]	2444,0	2444,0	2444,0	2444,0	2444,0	2444,0	2444,0	2444,0	2444,0	2444,0	2444,0	2444,0	2444,0
Custo Anual Pellets [€]	0,100	0,103	0,106	0,109	0,113	0,116	0,119	0,123	0,127	0,130	0,134	0,138	0,143
Fluxo de Caixa Anual [€]	205,81	211,98	218,34	224,89	231,64	238,59	245,75	253,12	260,71	268,54	276,59	284,89	293,44

Tabela 102 - Fluxo de Caixa: Bomba de Calor Ar-Água.

	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10	Ano 11	Ano 12	Ano 13
Poupança Consumo de Energia Final [kWh]	1410,66	1410,66	1410,66	1410,66	1410,66	1410,66	1410,66	1410,66	1410,66	1410,66	1410,66	1410,66	1410,66
Custo Anual Eletricidade [€]	0,210	0,216	0,223	0,229	0,236	0,243	0,251	0,258	0,266€	0,2674	0,282	0,291	0,299
Fluxo de Caixa Anual [€]	296,24	305,13	314,28	323,71	333,42	343,42	353,72	364,34	375,27	386,52	398,12	410,06	422,37

ANEXO A – FICHAS TÉCNICAS DOS VIDROS



Vidro 1	PLANICLEAR 6 mm
Câmara 1	AIR 16 mm
Vidro 2	PLANICLEAR 4 mm

Apelido: Renata Pereira

País: Portugal

Notas:

FACTORES LUMINOSOS EN410 (2011-04)

Transmissão Luminosa	82 %
Reflexão Exterior (RLe)	15 %
Reflexão Interior (RLi)	15 %

FACTORES ENERGÉTICOS EN410 (2011-04)

Transmissão Directa (TE)	75 %
Reflexão Exterior (Ree)	13 %
Reflexão Interior (Rei)	14 %
Absorção A1	8 %
Absorção A2	4 %

TRANSMISSÃO TÉRMICA EN673-2011

Ug	2.7 W/(m².K)
em Relação à Vertical	0 °

FACTORES SOLARES EN410 (2011-04)

Factores Solares (g)	0.78
Coef. Sombreamento	0.90

DIMENSÕES DE FABRICO

Espessura Nominal	26.00 mm
Peso	25.0 kg/m²

RESTITUIÇÃO DE COR

Transmissão Luminosa (Ra)	98
Reflexão Exterior (Ra)	98

ACÚSTICA EN 12758

Valores acústicos de acordo com a EN 12758 e provenientes de um Organismo

Rw (C;Ctr)	35 (-1; -5) dB
STC (ASTM E413)	N/A
OITC (ASTM E1332)	N/A

RESISTÊNCIA ATAQUE MANUAL EN 356

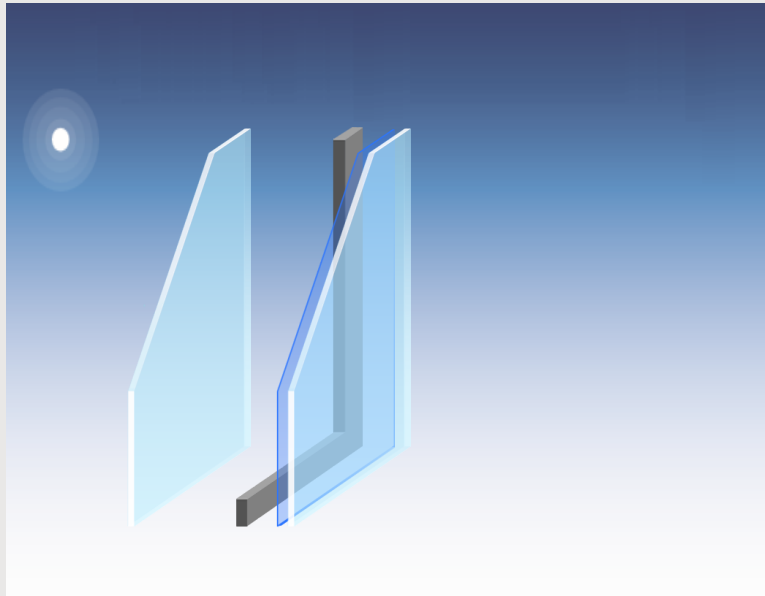
Resistência Ataque Manual	NPD
---------------------------	-----

CLASSE DE SEGURANÇA EN 12600

Resistência ao Ensaio do Pêndulo	NPD
----------------------------------	-----

PEGADA DE CARBONO EN 15804+A2 (2019)

Potencial de aquecimento global (kg, CO ₂ equiv/m²) Média europeia (A1-A3)	38
------------------------------------------------------------------------------------------	----



Vidro 1	PLANICLEAR 6 mm
Câmara 1	AIR 16 mm
Vidro 2	PLANITHERM ONE PLANICLEAR 4 mm

Apelido: Renata Pereira

País: Portugal

Notas:

FACTORES LUMINOSOS EN410 (2011-04)

Transmissão Luminosa	70 %
Reflexão Exterior (RLe)	22 %
Reflexão Interior (RLi)	23 %

FACTORES ENERGÉTICOS EN410 (2011-04)

Transmissão Directa (TE)	45 %
Reflexão Exterior (Ree)	38 %
Reflexão Interior (Rei)	39 %
Absorção A1	11 %
Absorção A2	7 %

TRANSMISSÃO TÉRMICA EN673-2011

Ug	1.3 W/(m².K)
em Relação à Vertical	0 °

FACTORES SOLARES EN410 (2011-04)

Factores Solares (g)	0.51
Coef. Sombreamento	0.59

DIMENSÕES DE FABRICO

Espessura Nominal	26.00 mm
Peso	25.0 kg/m²

RESTITUIÇÃO DE COR

Transmissão Luminosa (Ra)	97
Reflexão Exterior (Ra)	97

ACÚSTICA EN 12758

Valores acústicos de acordo com a EN 12758 e provenientes de um Organismo

Rw (C;Ctr)	35 (-1; -5) dB
STC (ASTM E413)	N/A
OITC (ASTM E1332)	N/A

RESISTÊNCIA ATAQUE MANUAL EN 356

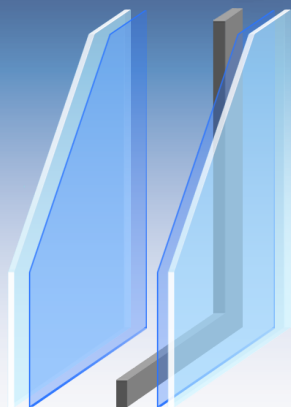
Resistência Ataque Manual	NPD
---------------------------	-----

CLASSE DE SEGURANÇA EN 12600

Resistência ao Ensaio do Pêndulo	NPD
----------------------------------	-----

PEGADA DE CARBONO EN 15804+A2 (2019)

Potencial de aquecimento global (kg, CO ₂ equiv/m²) Média europeia (A1-A3)	39
------------------------------------------------------------------------------------------	----



Vidro 1	PLANICLEAR 6 mm COOL-LITE SKN 165
Câmara 1	AIR 16 mm
Vidro 2	PLANITHERM XN PLANICLEAR 4 mm

Apelido: Renata Pereira

País: Portugal

Notas:

FACTORES LUMINOSOS EN410 (2011-04)

Transmissão Luminosa	60 %
Reflexão Exterior (RLe)	15 %
Reflexão Interior (RLi)	15 %

TRANSMISSÃO TÉRMICA EN673-2011

Ug	1.3 W/(m².K)
em Relação à Vertical	0 °

DIMENSÕES DE FABRICO

Espessura Nominal	26.00 mm
Peso	25.0 kg/m²

ACÚSTICA EN 12758

Valores acústicos de acordo com a EN 12758 e provenientes de um Organismo

Rw (C;Ctr)	35 (-1; -5) dB
STC (ASTM E413)	N/A
OITC (ASTM E1332)	N/A

CLASSE DE SEGURANÇA EN 12600

Resistência ao Ensaio do Pêndulo	NPD
----------------------------------	-----

FACTORES ENERGÉTICOS EN410 (2011-04)

Transmissão Directa (TE)	30 %
Reflexão Exterior (Ree)	36 %
Reflexão Interior (Rei)	38 %
Absorção A1	30 %
Absorção A2	3 %

FACTORES SOLARES EN410 (2011-04)

Factores Solares (g)	0.35
Coef. Sombreamento	0.40

RESTITUIÇÃO DE COR

Transmissão Luminosa (Ra)	93
Reflexão Exterior (Ra)	81

RESISTÊNCIA ATAQUE MANUAL EN 356

Resistência Ataque Manual	NPD
---------------------------	-----

PEGADA DE CARBONO EN 15804+A2 (2019)

Potencial de aquecimento global (kg, CO ₂ equiv/m²) Média europeia (A1-A3)	40
------------------------------------------------------------------------------------------	----

ANEXO B – FICHA TÉCNICA DO VENTILADOR DE EXTRAÇÃO



TD-SILENT ECOWATT

5211006300 - TD-500/150-160 SILENT ECOWATT (230V 50/60) NE - VENTILADORES EM LÍNHA

Referência: Ventilador de Extração



Helicocentrífugos fãs de perfil baixo (modelos de 350 a 1000), extremamente silencioso, feito de material plástico com elementos acústicos (estrutura interna perfurada que direciona as ondas sonoras e absorção de som de isolamento interior que absorve o ruído irradiado), corpo-máquina distante sem precisa tocar os tubos, juntas de borracha e descarregue unidade para reforçar o selo. Motor brushless DC, alto desempenho e baixo consumo de energia, 230V ± 15% / 50-60 Hz, classe B, IP44, rolamentos e caixa de ligação externa. velocidade de 100% ajustável através do potenciômetro localizado na caixa do terminal ou por tipo de controle externo REB-ECOWATT. A entrada analógica para controlar o ventilador com um sinal externo 0-10. Capaz de trabalhar a partir de -20 a + 40 ° C. Indicado para resolver muitos problemas de ventilação em aplicações residenciais, comerciais e industriais onde o baixo ruído é um elemento importante de conforto, especialmente em instalações onde o extrator deve ser muitas horas em operação, o que trará importantes poupanças de energia, ou em aqueles que requerem um sistema de ventilação adaptados para exigir envolvendo o controlo sensores externos. Mark S&P modelo TD-500/150-160 SILENT ECOWATT (230V 50/60) NE para um fluxo 275 m³/h e pressão estática 110 Pa.

Ponto de Operação Teórico

Caudal de ar	275 m ³ /h
Pressão Estática	110 Pa
Temperatura	20 °C
Altitude	0 m
Densidade	1,2 kg/m ³
Frequência	50 Hz

Ponto de Operação

Sentido do ar	275 m ³ /h
pressão estática	110 Pa
Pressão dinamica	12,3 Pa
Pressão total	123 Pa
INPUTPOWER	0,024 kW
Outlet speed	4,5 m/s
Velocidade do ventilador (r.p.m)	2032 rpm
Ventilador específico de energia	0,31 W/l/s
SFPREG	0,31 W/l/s
Voltaje de control	6,9 V

Construção

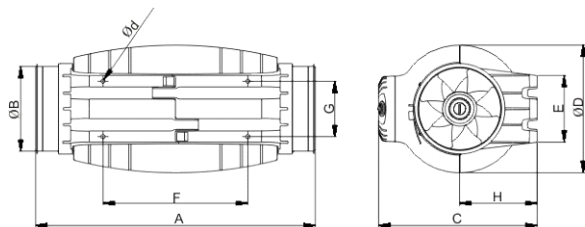
Diâmetro da boca de Descarga	150 mm
Tamanho do ventilador	150
Peso	6,00 kg

Características do Motor

Tensão	1-230V-50Hz
Máxima absorvida	0,3 A
Índice de Protecção	IP44
Classe motor	B

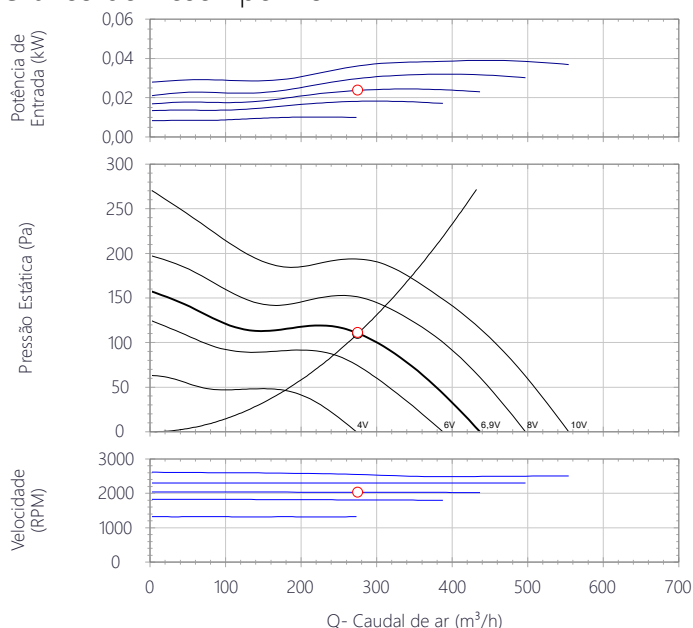
Warning

Desenho



A	B	C	D	E	F	G	H	d
484	147	274	221	116	250	96	134	5.4

Gráfico de Desempenho



Desempenho de Ruído

	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	Global
Aspiração (LwA)	28	30	44	52	54	50	43	34	58
Aspiração LpA @ 1,5m	13	15	30	38	40	35	28	20	43
Descarga (LwA)	29	29	47	53	55	47	39	32	58
Descarga LpA @ 1,5m	14	15	32	39	40	32	24	17	43
Radiado (LwA)	21	24	38	43	45	38	32	23	49
Radiado LpA @ 1,5m	6	9	24	29	31	24	18	8	34



TD-SILENT ECOWATT

5211006300 - TD-500/150-160 SILENT ECOWATT (230V 50/60) NE - VENTILADORES EM LÍNHA

Referência: Ventilador de Extração

Dados ErP

Diseño ecológico	
Reglamento (UE) N°1253/2014 de la comisión de 7 de julio de 2014	
Requisitos de información (anexo V)	
Descrição do produto	TD-500/150-160 SILENT ECOWATT (230V 50/60) NE
Manufacturer's Info	S&P
Identificador	-
Tipo declarado	UVNR unidireccional
Accionamiento	Velocidad variable
Tipo SRC	Ninguno
Eficiencia térmica (%)	No aplica
Qnom (m3/s)	0,09
Pelec (kW)	0,04
PVEint (W/m3/s)	No aplica
Velocidad frontal (m/s)	5,62
$\Delta p_{s,ext}$ (Pa)	176,3
$\Delta p_{s,int}$ (Pa)	No aplica
$\Delta p_{s,add}$ (Pa)	No aplica
Eficiencia estática ventiladores (%)	51,6
Indice de fuga externa (%)	3
Indice de fuga interna (%)	No aplica
Rendimiento filtro	No aplica
Señal de aviso del filtro	No aplica
LWA dB(A)	53
https://www.solerpalau.com/	

Alertas

Este esquema de dimensões pode não coincidir com o equipamento seleccionado, especialmente na orientação da descarga

A intensidade do motor pode sofrer ligeiras modificações em função do motor instalado

ANEXO C – FICHA TÉCNICA DO RECUPERADOR DE CALOR



CAD COMPACT

5153135100 - CAD-COMPACT 500 ECOWATT N8

Referência: Recuperador de Calor



Recuperadores de calor, com permutador de calor de placas tipo counterflow de alta eficiência (até 88%) certificado por EUROVENT, montados em uma envolvente de aço galvanizado, de dupla parede com isolamento interior termo acústico não inflamável (A1/M0) de lã mineral de 25 mm de espessura nos modelos 500 a 1800 e 30 mm de espessura nos modelos 3200 e 4500. Bocas de entrada e saída circulares com junta nos modelos 500 a 1800 e rectangulares nos modelos 3200 e 4500.

Apenas disponível para instalação horizontal.

Temperatura mínima de ar exterior -10°C.

Para temperaturas inferiores é necessário utilizar baterias de pré aquecimento colocadas na aspiração do ar exterior.

Aplicações

Renovação ambiental em locais comerciais, escritórios, hotelaria, edifícios públicos e escolas.

A gama CAD-COMPACT não está disponível com baterias adicionais de pós aquecimento integradas no equipamento, é possível adiciona-las como acessórios.

Ventiladores

Plug-fans de alhetas para trás.

Motores EC de alimentação monofásica, com proteção electrónica integrada. IP44, Classe B.

Filtros

F7: Filtros F7 (ePM1 70%) de baixa perda de carga para a aporção do ar.

M5: Filtros M5 (ePM10 50%) para a extração de ar

Possibilidade de montar um segundo filtro no interior do equipamento (fornecido como acessório).

Controlo

As unidades CAD-COMPACT podem ser fornecidas com 3 níveis de controlo de funcionamento.

Versão ECOWATT: sem controlo integrado. As unidades são fornecidas com o pré cablado de componentes ao armário eléctrico (ventiladores, by-pass, pressostatos filtros e sondas de temperatura).

Versões BASIC e ADVANCED incluem: Um controlo de funcionamento integral, colocado no interior do armário eléctrico e cablado a todos os componentes (ventiladores, by-pass, detetores de sujidade de filtros, sondas de temperatura, etc...).

Incluem terminal de comando para o controlo remoto (cablado).

Permite o controlo manual ou automático dos ventiladores.

Ver características detalhadas de ambos os controlos na tabela sobre funcionalidades das versões PLUGPLAY.

Outros dados

Alimentação eléctrica monifásica 230V 50-60Hz nos modelos 500 a 3200, trifásica 400V 50-60Hz no modelo 4500.

Caudais nominais de 460 a 4165 m³/h com 150Pa de pressão disponível.

Todos os modelos e versões incluem by-pass interno.

Ponto de Operação Teórico

	Impulsão	Extração
Caudal de impulsão requerido	275 m ³ /h	275 m ³ /h
Pressão disponível requerida na impulsão	110 Pa	110 Pa
Frequência	50/60 Hz	
Altitude	77 m	
Densidade	1,19 kg/m ³	

Ponto de Operação

	Impulsão	Extração
Caudal de impulsão	275 m ³ /h	275 m ³ /h
Pressão estática disponível na impulsão	110 Pa	110 Pa
Temperatura de impulsão	15,8 °C	



CAD COMPACT

5153135100 - CAD-COMPACT 500 ECOWATT N8

Referência: Recuperador de Calor

Ventilador

	Impulsão	Extração
Tipo de motor	EC	EC
Tensão	230 V	230 V
r.p.m.	2884 rpm	2846 rpm
Tensão de controlo	7,2 V	7,1 V
Potência absorvida	0,070 kW	0,070 kW
Intensidade absorvida	1,02 A	1,02 A
SPF	0,91 W/l/s	0,88 W/l/s
Índice Proteção Elétrica	IP44	IP44
Classe de Motor	B	B

Recuperador de calor

	Impulsão	Extração
Geral		
Tipo de recuperador	Permutador contra-fluxo	
Inverno - Entrada		
Temperatura do ar	1,9 °C	18,2 °C
Humidade relativa do ar	100 %	63 %
Inverno - Saída		
Temperatura do ar	15,8 °C	7,8 °C
Humidade relativa do ar	39 %	99 %
Perda de carga do ar	68 Pa	62 Pa
Potência transferida	1 kW	
Condensação	1 l/h	
Eficiência húmida	85 %	
Eficiência seca	85 %	
Verão - Entrada		
Temperatura do ar	30,3 °C	27 °C
Humidade relativa do ar	36 %	61 %
Verão - Saída		
Temperatura do ar	27,5 °C	29,7 °C
Humidade relativa do ar	42 %	52 %
Perda de carga do ar	59 Pa	59 Pa
Potência transferida	0,25 kW	
Eficiência húmida	83 %	
Eficiência seca	83 %	

Filtro

	Impulsão	Extração
Velocidade do ar através do filtro EN 779	F7	M5
Altura	226 mm	226 mm
Largura	319 mm	319 mm
Espessura	48 mm	48 mm
Cantidad	1	
Perda de carga inicial	23 Pa	19 Pa
Perda de carga a média vida	46 Pa	38 Pa
Máx. para substituição	68 Pa	56 Pa
Velocidade frontal	1,1 m/s	1,1 m/s



CAD COMPACT

5153135100 - CAD-COMPACT 500 ECOWATT N8

Referência: Recuperador de Calor

Resumo da Unidade

Tensão	1-230V-50Hz V
Frequência	50/60 Hz
Intensidade Absorvida	2 A
Potência Máxima	0,140 kW
SFP EN 13779	1,67 W/l/s



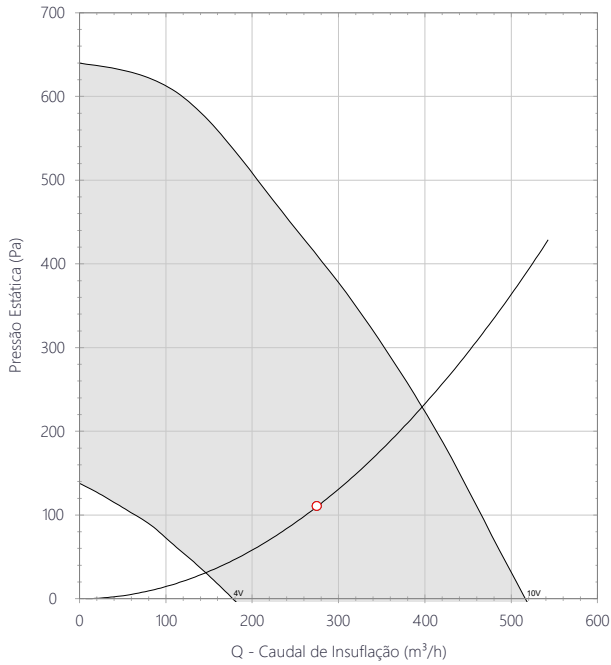
CAD COMPACT

5153135100 - CAD-COMPACT 500 ECOWATT N8

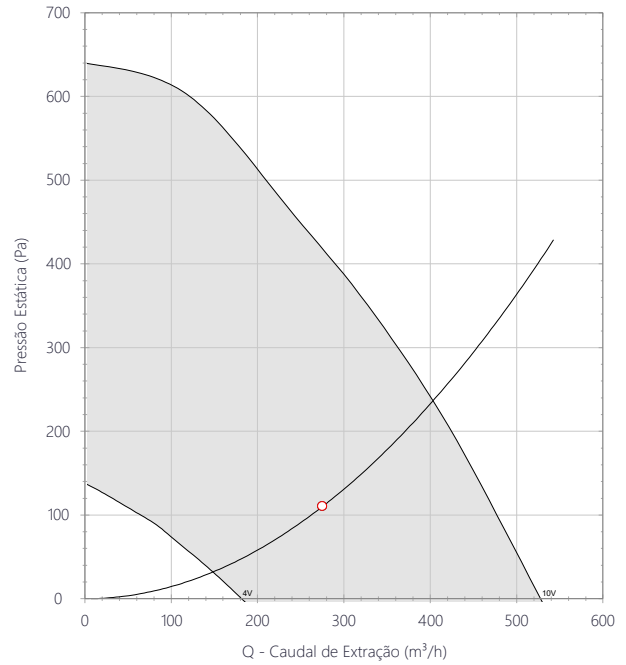
Referência: Recuperador de Calor

Gráfico de Desempenho

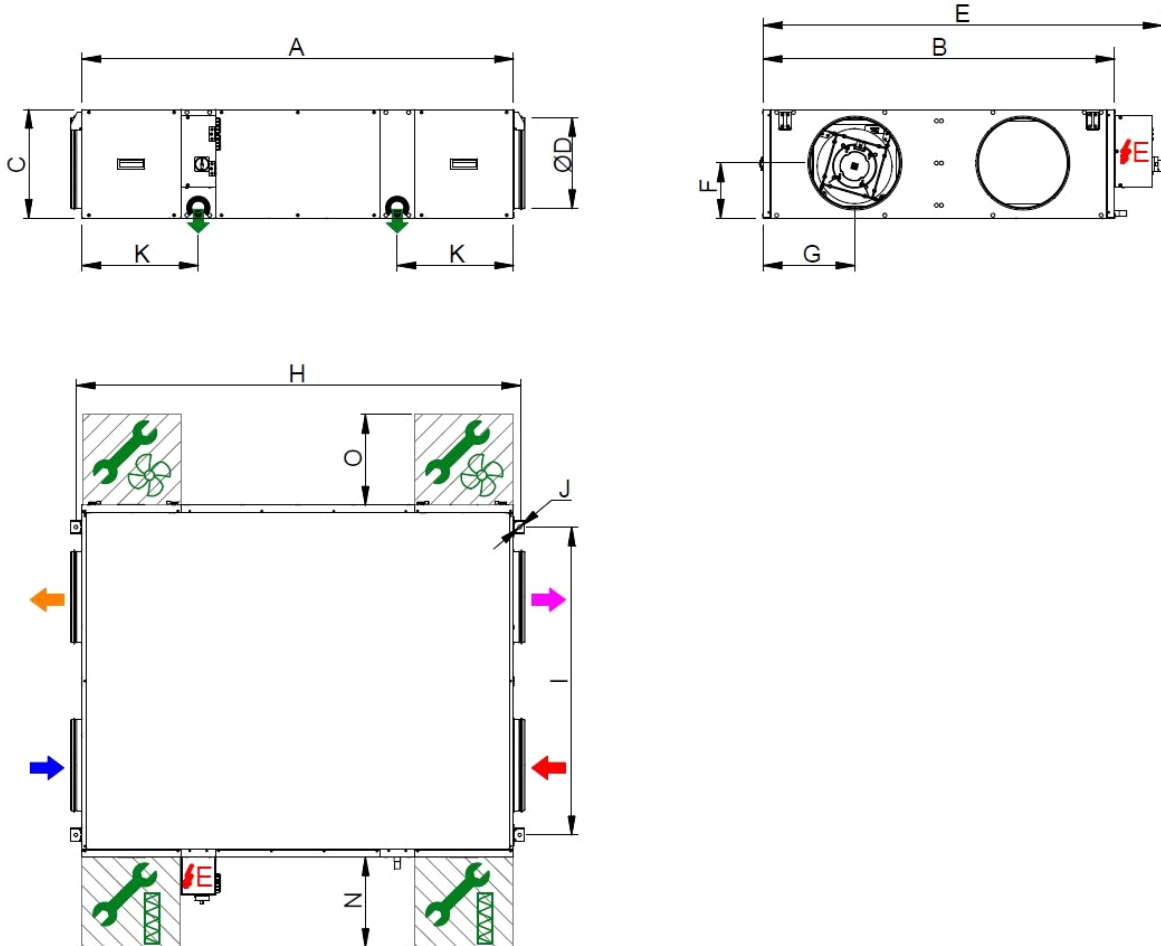
Insuflação



Extração



Dimensões e pesos



A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1120	698	289	200	862	147	188	1163	546	12	256.2



CAD COMPACT

5153135100 - CAD-COMPACT 500 ECOWATT N8

Referência: Recuperador de Calor

Dados ErP

Ecodesign

Regulamento da Comissão (UE) nº 1253/2014 de julho de 2014

CAD COMPACT

Requisitos de informação (Anexo V)

Diseño ecológico

Reglamento (UE) N°1253/2014 de la comisión de 7 de julio de 2014

Requisitos de información (anexo V)

Descrição do produto

CAD-COMPACT 500 ECOWATT N8

Manufacturer's Info

S&P

Identificador

-

Tipo declarado

UVNR bidireccional

Accionamiento

Velocidad variable

Tipo SRC

Recuperativo

Eficiencia térmica (%)

75

Qnom (m3/s)

0,13

Pelec (kW)

0,31

PVEint (W/m3/s)

1121

Velocidad frontal (m/s)

1,8

$\Delta p_{s,ext}$ (Pa)

125

$\Delta p_{s,int}$ (Pa)

196

$\Delta p_{s,add}$ (Pa)

No aplica

Eficiencia estática ventiladores (%)

35

Indice de fuga externa (%)

3

Indice de fuga interna (%)

3

Rendimiento filtro

No aplica

Señal de aviso del filtro

Presostato

LWA dB(A)

57

<https://www.solerpalau.com/>