



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

João Paulo dos Santos Pontes

Análise multicritério de soluções construtivas
para reabilitação de edifícios

João Paulo dos Santos Pontes Análise multicritério de soluções construtivas para
reabilitação de edifícios



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

João Paulo dos Santos Pontes

Análise multicritério de soluções construtivas
para reabilitação de edifícios

Dissertação de Mestrado
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao
Grau de Mestre em Engenharia Civil

Trabalho efectuado sob a orientação do
Professora Doutora Manuela Almeida
Engenheira Catarina Araújo

julho de 2018

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora, Professora Manuela Almeida, pela oportunidade de realizar esta tese de dissertação, pelo seu apoio, disponibilidade e orientação ao longo deste projeto.

À Engenheira Catarina Araújo Brandão, pelo seu apoio, disponibilidade e orientação ao longo deste projeto.

A todas as empresas e respetivos colaboradores, pelo apoio e fornecimento de informações essenciais para a elaboração deste projeto.

A todos os meus amigos, especialmente, ao André Oliveira, Bruno Vaz, Alexandre Ferreira, Tiago Martins, Nuno Fernandes, Pedro Vilela e José Carvalho pelo apoio e amizade ao longo deste percurso académico.

Por fim, um sincero e especial agradecimento aos meus pais, à minha madrinha e à Adriana Gonçalves, pelo apoio, motivação, carinho, incentivo e confiança, ao longo de todo o percurso académico.

RESUMO

Em 2011, o número de alojamentos em Portugal superou em 45% o número de famílias sendo que cerca de 32% dos alojamentos existentes eram residências secundárias ou estavam desocupados. Além disso, os edifícios são responsáveis por uma percentagem muito significativa de emissões de gases que contribuem para o efeito de estufa bem como de energia consumida, devido às elevadas necessidades energéticas dos mesmos.

Assim, torna-se imperativo proceder à reabilitação do parque habitacional em detrimento da construção nova. Esta mudança de paradigma contribuirá para um desenvolvimento mais sustentável do setor da construção, para uma valorização do nosso património, bem como para uma melhoria do conforto térmico dos ocupantes dos edifícios.

Com este estudo pretende-se identificar, avaliar e analisar materiais e soluções construtivas, aplicáveis em situações de reabilitação que visem melhorar o conforto térmico e desempenho energético dos edifícios, aliado a um custo de ciclo de vida reduzido.

Para tal, realizou-se uma pesquisa de mercado de modo a identificar as soluções construtivas e respetivas características técnicas para posteriormente serem simuladas no *software* de simulação numérica *EnergyPlus*, bem como avaliadas segundo uma análise multicritério baseada na metodologia *MARS-SC*. Deste modo, foi possível avaliar o desempenho térmico, energético e económico de cada solução construtiva individualmente, mas também conjugando algumas soluções simultaneamente segundo propostas de cenários de reabilitação.

Espera-se assim que este trabalho contribua de forma positiva e significativa, não só em obras de reabilitação, mas também em obras novas para a seleção de soluções construtivas por parte dos projetistas que pretendam proporcionar, em simultâneo, uma otimização do desempenho energético, térmico e económico do edifício, visando também uma reabilitação mais sustentável.

Palavras-chave: Reabilitação, Desempenho Energético, Eficiência Energética, Economia, Social

Abstract

In 2011, the number of accommodations in Portugal overcame in 45% the number of families, being that about 32% of the existing accommodations were secondary residences or they were unoccupied. Moreover, the buildings are responsible for a very significant percentage of pollutant emissions that contribute for the greenhouse effect as well as the energy consumed, due to their energy needs.

Thus, it is imperative to proceed with the rehabilitation of the existing stock in detriment of the new construction. This paradigm shift will contribute to a more sustainable development of the construction sector, a valuation of our heritage, as well as an improvement in the thermal comfort of the occupants of the buildings.

This study intends to identify, evaluate and analyze constructive materials and solutions applicable in rehabilitation situations that aim to improve thermal comfort and energy performance of buildings, together with a reduced life cycle cost.

For that, a market research was carried out in order to identify the construction solutions and their technical characteristics to be simulated later in the EnergyPlus numerical simulation software, as well as evaluated according to a multicriteria analysis based on the MARS-SC methodology. In this way, it was possible to evaluate the thermal, energy and economic performance of each construction solution individually, but also to conjugate some solutions simultaneously according to rehabilitation scenarios proposals.

It is hoped that this work will contribute positively and significantly, not only to rehabilitation works but also to new works, for the selection of constructive solutions on the part of the designers who wish to simultaneously provide an optimization of the energy, thermal performance and economic development of the building, aiming also for a more sustainable rehabilitation.

Keywords: Rehabilitations, Thermal Performance; Energy Efficiency; Economic; Social

ÍNDICE

CAPÍTULO 1 – ENQUADRAMENTO	1
1.1 Âmbito.....	1
1.2 Objetivos	3
1.3 Estrutura da dissertação.....	4
CAPÍTULO 2 – ESTADO DE ARTE	5
2.1 Parque habitacional Português	5
2.2. Eficiência energética	8
2.3. A importância da reabilitação.....	14
2.4. Programas de apoio e incentivo à reabilitação	15
2.5. Reabilitação Sustentável.....	18
CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA	21
3.1 Procedimento	21
3.1.1. Conforto térmico e desempenho energético	22
3.1.2. Desempenho económico	24
3.1.3. Análise multicritério	25
3.2. Programas de simulação – <i>Energy Plus</i> e <i>Design Builder</i>	26
3.2.1. <i>Energy Plus</i>	26
3.2.2. <i>Design Builder</i>	28
3.3. Caso de estudo	29
CAPÍTULO 4 – SOLUÇÕES PARA A REABILITAÇÃO ENERGÉTICA	35
4.1 Tipos de Sistemas	35
4.1.1. Fachadas.....	35
4.1.2. Cobertura.....	45
4.1.3 Vãos envidraçados.....	50
4.2. Tipos de isolamentos	53
4.2.1. Poliestireno Expandido Moldado - EPS	53
4.2.2. Poliestireno Expandido Extrudido – XPS	55
4.2.3. Lã de Rocha	56
4.2.4. Aglomerado de cortiça expandida - ICB	57
4.2.5. Poliisocianurato (PIR).....	58
4.2.5. EPS grafitado.....	59
4.2.6. Reboco térmico	60
4.3. Soluções adotadas.....	61
4.3.1. Fachadas.....	61

4.3.2. Coberturas	68
4.3.3. Envidraçados e caixilharia	73
4.4. Sistemas de climatização e produção de AQS.....	75
4.4.1. Ar condicionado.....	75
4.4.2. Caldeira condensação	76
4.4.3. Bomba de calor	76
4.4.4. Energias renováveis.....	77
CAPÍTULO 5 – ANÁLISE DAS SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS.....	81
5.1 Fachada.....	81
5.1.1. Desempenho energético.....	81
5.1.2. Análise conforto térmico.....	86
5.1.3. Viabilidade económica	89
5.2 Cobertura.....	92
5.2.1. Desempenho energético.....	92
5.2.2. Análise conforto térmico.....	96
5.2.3. Viabilidade económica	99
5.3. Envidraçados e caixilharias.....	102
5.3.1. Desempenho energético.....	103
5.3.2. Análise conforto térmico	105
5.3.4. Outras cidades	109
5.4. Análise multicritério	111
5.4.1. Fachadas.....	111
5.4.2. Cobertura.....	113
5.4.2. Envidraçados e caixilharia	114
5.4.3. Cenários de reabilitação	115
CAPÍTULO 6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	123
6.1. Conclusões.....	123
6.2. Trabalhos futuros.....	125
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	127

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Gráfico referente à variação do número de famílias clássicas e de alojamentos familiares clássicos	5
Figura 2 - Gráfico referente à distribuição dos edifícios clássicos por estado de conservação, 2011.....	6
Figura 3 - Gráfico referentes à distribuição de alojamentos familiares clássicos segundo o estado de conservação do edifício, por forma de ocupação	7
Figura 4 - Gráfico referente à proporção de edifícios concluídos por tipo de obra (2011-2016).....	7
Figura 5 - Evolução das paredes exteriores ao longo dos anos	8
Figura 6 - Gráfico referente ao consumo de energia primária (ktep)	9
Figura 7 - Contribuição para o consumo total de energia no alojamento.....	9
Figura 8 - Interface referente ao EP-Launch	27
Figura 9 - Interface relativa ao IDF-Editor	28
Figura 10 - Plantas do edifício	30
Figura 11 – Alçado da Fachada Sul (à esquerda) e Norte (à direita).....	30
Figura 12 – Alçado da Fachada Oeste (à esquerda) e Este (à direita).....	31
Figura 13 - Sistema ETICS com revestimento espesso.....	36
Figura 14 - Sistema ETICS com revestimento delgado	37
Figura 15 - Composição tipo de uma fachada ventilada	39
Figura 16 - Solução de contra-fachada interior em alvenaria (esquerda) e solução de contra-fachada em gesso cartonado (direita).	42
Figura 17 - Exemplo exterior de um jardim vertical	43
Figura 18 – Extração de características técnicas utilizadas na simulação de jardins verticais.....	45
Figura 19 - Constituição tipo recorrendo à solução cobertura invertida	46
Figura 20 - Aplicação de isolamento na esteira horizontal	47
Figura 21 - Aplicação de isolamento na vertente inclinada	48
Figura 22- Constituição-tipo de uma cobertura verde.....	50
Figura 23 - Exemplo de uma caixilharia em alumínio	53
Figura 24 - Exemplo de placa em EPS.....	54
Figura 25 - Exemplo de placa em XPS	55
Figura 26 - Exemplo de painel isolante em lã de rocha	56
Figura 27 - Exemplo de painel isolante em ICB	57
Figura 28 - Exemplo de placa isolante em PIR	58
Figura 29 – Exemplo de placa EPS grafitado.....	59
Figura 30 - Pormenor construtivo referente à solução construtiva ETICS	61
Figura 31 - Pormenor construtivo referente à solução construtiva fachada ventilada.....	63

Figura 32 - Pormenor construtivo referente à solução construtiva parede dupla	65
Figura 33 - Pormenor construtivo referente à solução construtiva isolamento pelo interior com contra-fachada em alvenaria.....	66
Figura 34 - Pormenor construtivo referente à solução construtiva isolamento pelo interior com contra-fachada em gesso acartonado	67
Figura 35- Pormenor construtivo referente à solução construtiva jardim vertical	68
Figura 36 - Pormenor construtivo referente à solução construtiva isolamento na vertente inclinada na face superior.....	69
Figura 37 - Pormenor construtivo referente à solução construtiva isolamento na vertente vertical na face inferior	70
Figura 38 - Pormenor construtivo referente à solução construtiva painel “sandwich”	71
Figura 39 - Pormenor construtivo referente à solução construtiva isolamento na esteira horizontal na face inferior – teto falso	72
Figura 40 - Pormenor construtivo referente à solução construtiva isolamento na esteira horizontal na face superior.....	73
Figura 41 – caldeira convencional vs condensação	76
Figura 42 - Sistema solar térmico termossifão	78
Figura 43 - Sistema solar térmico circulação forçada	79
Figura 44 - Kit autoconsumo.....	80
Figura 45 - Gráfico ilustrativo das temperaturas médias em Portugal	84
Figura 46 - Gráfico referente às necessidades energéticas avaliando uma solução de cada sistema referente à fachada do edifício	85
Figura 47 - PPD intervencionando as fachadas do edifício.....	87
Figura 48 - PPD avaliando apenas uma solução de cada sistema construtivo	88
Figura 49 - Custos de ciclo de vida associados a cada sistema construtivo de fachadas	91
Figura 50 - Necessidades energéticas do edifício, avaliando uma solução de cada sistema construtivo de cobertura.....	94
Figura 51 - PPD, intervencionando a cobertura do edifício	96
Figura 52 - Comparação do valor de PPD entre a solução de referência e cobertura isolada termicamente, mês de Agosto	97
Figura 53 - Comparação do valor de PPD entre a solução de referência e cobertura isolada termicamente, mês de Janeiro	98
Figura 54 - PPD, avaliando apenas uma solução de cada sistema construtivo da cobertura.....	99
Figura 55 - Custo de ciclo de vida associado a cada sistema construtivo de cobertura	101

Figura 56 - Necessidades energéticas do edifício, substituindo os envidraçados	103
Figura 57 - Necessidades energéticas do edifício, substituindo a caixilharia	104
Figura 58 - PPD substituindo os envidraçados do edifício	105
Figura 59 - PPD substituindo a caixilharia.....	106
Figura 60 - Custo ciclo de vida associado aos diferentes tipos de envidraçado em estudo.....	107
Figura 61 - Custo ciclo de vida associado aos diferentes tipos de caixilharia	108
Figura 62 - Necessidades energéticas do edifício, na cidade de Bragança	109
Figura 63 - Necessidades energéticas do edifício, na cidade de Lisboa.....	110
Figura 64 - Necessidades energéticas do edifício, na cidade Faro	110

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Envolvente do edifício	31
Tabela 2 - Envidraçados de cada compartimento.....	32
Tabela 3 - Perfis de funcionamento referentes aos equipamentos e iluminação	33
Tabela 4 - Potência associada aos equipamentos e iluminação.....	33
Tabela 5 - Quatro principais tipologias de coberturas verdes	50
Tabela 6 - Constituição e características técnicas referentes à solução ETICS.....	62
Tabela 7 - Outros isolamentos térmicos utilizados no sistema ETICS e respetivas características	62
Tabela 8 - Constituição e características técnicas referentes à solução Fachada ventilada.....	64
Tabela 9 - Outros isolamentos térmicos utilizados no sistema Fachada ventilada e respetivas características	64
Tabela 10 - Constituição e características técnicas referentes à solução parede dupla	65
Tabela 11 - Constituição e características técnicas referentes à solução isolamento pelo interior com contra fachada em alvenaria.....	66
Tabela 12 - Constituição e características técnicas referentes à solução isolamento pelo interior com contra fachada em gesso cartonado.....	67
Tabela 13 - Constituição e características técnicas referente à solução isolamento na vertente inclinada	69
Tabela 14 - Constituição e características técnicas referente à solução isolamento na vertente inclinada na face inferior	70
Tabela 15 - Constituição e características técnicas referentes à solução painel sandwich.....	71
Tabela 16 - Constituição e características técnicas referente à solução isolamento na esteira horizontal na face inferior	72
Tabela 17 - Constituição e características técnicas referente à solução isolamento na esteira horizontal na face superior	73
Tabela 18 - Características técnicas dos envidraçados estudados.....	74
Tabela 19 - Características técnicas referentes às caixilharias	75
Tabela 20 - Necessidades energéticas do edifício intervencionando as fachadas	82
Tabela 21 - Legenda utilizada ao longo deste capítulo	84
Tabela 22 - Custos de instalação associados a cada sistema construtivo de fachadas	89
Tabela 23 - Custos de manutenção associados a cada sistema construtivo de fachadas	90
Tabela 24 - Necessidades energéticas do edifício intervencionando a cobertura do edifício	93
Tabela 25 - legenda utilizada nas soluções de cobertura ao longo do capítulo	94
Tabela 26 - Custos de instalação associados a cada sistema construtivo de cobertura	100

Tabela 27 - Custos de manutenção associados a cada sistema construtivo de cobertura	101
Tabela 28 - Legenda utilizada nos envidraçados ao longo do capítulo	103
Tabela 29 - Custos de instalação e manutenção associados à envolvente não opaca do edifício	107
Tabela 30 – Metodologia MARS-SC aplicada à fachada do edifício	112
Tabela 31 – Metodologia MARS-SC aplicada à cobertura do edifício.....	113
Tabela 32 – Metodologia MARS-SC aplicada às caixilharias	114
Tabela 33 – Metodologia MARS-SC aplicada aos envidraçados	115
Tabela 34 - Custos de instalação, custos manutenção e período de vida útil associado a cada sistema	117
Tabela 35 - Custo de instalação e manutenção associados a cada cenário de reabilitação	117
Tabela 36 – Metodologia MARS-SC aplicada a cada cenário de reabilitação.....	119

LISTA DE ABREVIATURAS

AC – Ar condicionado

ADENE – Agência para a Energia

AQS – Águas Quentes Sanitárias

ARU – Área de Reabilitação Urbana

CS – Coletor Solar Térmico

DGEG – Direção Geral de Energia e Geologia

EPBD – Diretiva Relativa ao Desempenho Energético do Edifício

EPS – Poliestireno Expandido Moldado

ETICS – External Thermal Insulation Composite Systems

ICB – Aglomerado de Cortiça

IFRRU – Instrumento Financeiro para a Reabilitação e Revitalização Urbana

IHRU – Instituto da Habitação e da Reabilitação Urbana

IMI – Imposto Municipal sobre Imóveis

IMT – Imposto Municipal sobre a Transmissão

INE – Instituto Nacional de Estatística

IVA – Imposto de Valor Acrescentado

MW – Lã de Rocha

NTArref – Necessidades Energéticas de Arrefecimento

NTAquec – Necessidades Energéticas de Aquecimento

Ntc – Necessidades nominais de energia primária

NTE – Necessidades Totais de Energia

kWh – Quilowatt hora

MARS-SC – Metodologia de Avaliação Relativa da Sustentabilidade de Soluções Construtivas

m – Metros

PF – Pannel Fotovoltaico

PIR – Polissociarunato

PMV – Voto Médio Previsto

PPD – Percentagem de Pessoas Insatisfeitas

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

RECS – Regulamento de Desempenho Energético de Edifícios de Comércio e Serviços

REH – Regulamento do Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação

SCE – Sistema de Certificação Energética dos Edifícios

XPS – Poliestireno Expandido Extrudido

CAPÍTULO 1 – ENQUADRAMENTO

No presente capítulo apresenta-se o âmbito, os objetivos e a estrutura deste trabalho de dissertação.

1.1 Âmbito

O termo reabilitação refere-se às intervenções necessárias num edifício ou propriedade, implicando obras mais ou menos extensas de beneficiação, visando aumentar a vida útil do imóvel e o seu valor económico, melhorar a qualidade de vida dos habitantes e implementar boas medidas de eficiência energética (Santos, Sá and Pereira, 2003).

Em 2011, o número de alojamentos em Portugal superou em 45% o número de famílias sendo que cerca de 32% dos alojamentos existentes eram residências secundárias ou estavam desocupados (INE, 2012). Por todo o País, existe um elevado número de edifícios degradados, principalmente nas principais cidades. Estes edifícios possuem grandes necessidades de intervenções, sejam elas de cariz estrutural, funcional ou apenas de melhorias relativas ao conforto térmico.

Os edifícios são responsáveis por uma percentagem muito significativa de energia consumida e de emissões de gases que contribuem para o efeito de estufa, cerca de 40% e 36% respetivamente (European Commission, 2010). A reabilitação dos mesmos pode significar consumir menores quantidades de energia na produção e aplicação de produtos de construção, reduzir as emissões de CO₂ e limitar as quantidades de produtos de demolição a remover e destruir (Santos, Sá and Pereira, 2003).

Assim, torna-se imperativo proceder à reabilitação do parque habitacional em detrimento da construção nova. Esta mudança de paradigma contribuirá para um desenvolvimento mais sustentável do setor da construção e para uma valorização do nosso património.

A reabilitação sustentável caracteriza-se por ir mais além das preocupações centradas na qualidade do produto, uma vez que envolve o equilíbrio entre o impacte ambiental, económico e social. Criam-se assim, novos requisitos que têm de ser incorporados no modo tradicional da construção (Barbosa, Bragança and Mateus, 2012).

Com o evoluir do tempo, a Humanidade tem-se tornado cada vez mais exigente no que diz respeito ao conforto térmico da sua habitação, mas, infelizmente, grande parte do parque habitacional tem um desempenho térmico muito fraco. No entanto, quando é necessário melhorar esse parâmetro é extremamente importante que se analisem soluções passivas que vão além da simples instalação ou substituição de meios mecânicos. Esta abordagem poderá traduzir-se na diminuição da energia consumida pelo edifício e, conseqüentemente, numa diminuição mensal da fatura de eletricidade.

No caso específico de Portugal, a maioria dos edifícios apresentam diversas deficiências no que respeita ao conforto térmico no Inverno devido à ausência de características que permitam receber ganhos térmicos (INE and LNEC, 2011). Este facto traduz-se, também, num défice de eficiência energética devido, principalmente, ao uso de sistemas mecânicos de baixo rendimento que permitem colmatar essa falta de conforto térmico. Assim, pode-se concluir que o conforto térmico e a eficiência energética são dois dos aspetos mais problemáticos dos edifícios portugueses, tornando-se imperativo que as reabilitações dos edifícios incidam, principalmente, nestas lacunas.

Com o objetivo de diminuir o consumo de energia e otimizar o conforto térmico da habitação dos Estados Membros, a União Europeia tem lançado uma série de diretivas. Concretamente, no que se refere aos edifícios, foi lançada em 2002 a diretiva *Energy Performance of Buildings Directive* (2002/91/EC), que depois foi reformulada pela *EPBD recast* 2010/31/EU. Estas diretivas foram transpostas para a legislação Portuguesa, e no que se refere aos edifícios residenciais, através dos DL 78/2006 (SCE), DL 80/2006 (RCCTE), e depois os DL 118/2013 e DL 251/2015 (REH). Estes documentos regulam e caracterizam o desempenho energético dos edifícios (em particular dos edifícios residenciais) ao mesmo tempo que asseguram uma qualidade térmica mínima dos mesmos.

De um modo geral, as principais medidas adotadas para aumentar o conforto térmico e, conseqüentemente, reduzir as necessidades energéticas do edifício, passam pelo aumento do nível de isolamento térmico, pelo controlo da estanquidade ao ar da envolvente de modo a diminuir as trocas de calor com o exterior e a adoção de sistemas de climatização (Pinto, 2014).

No entanto, com a adoção deste tipo de medidas, podem surgir conseqüências negativas para outros aspetos, como por exemplo a qualidade do ar interior. É o caso do incumprimento de níveis de ventilação mínima que origina elevadas concentrações de poluentes no interior dos edifícios que podem causar desconforto ou, em casos extremos, problemas de saúde para os

ocupantes (Santos, Teixeira and Batista, 2010). Assim, torna-se muito relevante proceder a uma avaliação multicritério das soluções construtivas, tendo em conta todos estes parâmetros, ao invés do foco ser apenas o conforto térmico sem atender aos restantes parâmetros.

Outro fator a ter em conta, seja na reabilitação ou na construção nova de edifícios é o custo de ciclo de vida que está associado aos custos relativos à aquisição, implementação, energia, manutenção e desmontagem das soluções construtivas (Manual de Engenharia, no date).

Tendo em conta o panorama apresentado, é importante desenvolver estudos que efetuem uma análise multicritério de soluções construtivas para a reabilitação deste tipo de edifícios.

1.2 Objetivos

O objetivo principal da dissertação passa pelo estudo de soluções construtivas, aplicáveis em situações de reabilitação de edifícios residenciais. Estas soluções devem focar-se na melhoria do conforto térmico e desempenho energético dos edifícios. Pretende-se uma consolidação de conhecimentos acerca de soluções construtivas tradicionais e inovadoras disponíveis em Portugal, que permita uma comparação das mesmas através da análise do desempenho energético, conforto térmico e custo de ciclo de vida de um edifício tipo, com aplicação das mesmas.

Para atingir os objetivos supramencionados, efetuou-se uma pesquisa recorrendo a bibliografia recomendada e ao mercado profissional. Também se realizou uma simulação numérica através do *software EnergyPlus* e uma análise multicritério baseada na metodologia *MARS-SC*.

De forma a atingir estes objetivos foi necessário definir um caso de estudo. Optou-se pela análise de um edifício residencial unifamiliar uma vez que este tipo de edifício representa a maioria dos edifícios residenciais portugueses. Em Portugal, os edifícios afetos exclusivamente à habitação representam cerca de 93.2% do parque edificado português, sendo que 87% destes são do tipo unifamiliar (INE and LNEC, 2011).

1.3 Estrutura da dissertação

A presente dissertação assenta numa estrutura constituída por seis capítulos.

No primeiro capítulo apresenta-se uma introdução ao tema, os objetivos do presente trabalho, bem como a estrutura do mesmo.

O capítulo dois é referente à análise bibliográfica sobre o tema em estudo, onde se apresentam fundamentos teóricos acerca do paradigma atual dos edifícios em Portugal e respetiva reabilitação energética, de processos construtivos, programas de incentivo referentes à reabilitação de edifícios, assim como as diferentes fases que compõem um processo de obras de reabilitação.

No capítulo três enuncia-se a metodologia utilizada ao longo de todo o trabalho realizado. Apresenta-se, também, uma breve introdução aos programas de simulação numérica e dinâmica inerentes à realização deste estudo e, por último, descreve-se detalhadamente o caso de estudo.

O capítulo quatro diz respeito aos sistemas construtivos de reabilitação adotados na presente dissertação. São descritos todos estes sistemas, enumeradas as respetivas vantagens e inconvenientes, bem como as características técnicas utilizadas nas simulações numéricas do edifício. Neste capítulo pormenorizam-se todos os sistemas construtivos adotados, de modo a ser mais perceptível a constituição dos mesmos.

No capítulo cinco procede-se a uma análise dos resultados obtidos através das simulações numéricas, de modo a avaliar o desempenho térmico, energético e económico de cada solução em estudo. Assim, pretende-se perceber de que modo cada uma das soluções influencia o conforto térmico dos edifícios, a eficiência energética e o custo de ciclo de vida do edifício. De seguida, é realizada uma análise multicritério, baseada na metodologia MARS-SC, destas soluções construtivas. Após a análise destes resultados, propõem-se e analisam-se cinco cenários de reabilitação com a finalidade de diminuir as necessidades energéticas do edifício, otimizando assim a sua envolvente.

Por fim, no capítulo seis são apresentadas as conclusões e propostas de trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2 – ESTADO DE ARTE

2.1 Parque habitacional Português

Em Portugal, nas últimas décadas tem-se registado uma tendência de discrepância entre o número de alojamentos e o número de famílias clássicas, Figura 1, sendo que o primeiro é sempre superior ao segundo, o que revela uma forte expansão do mercado imobiliário.

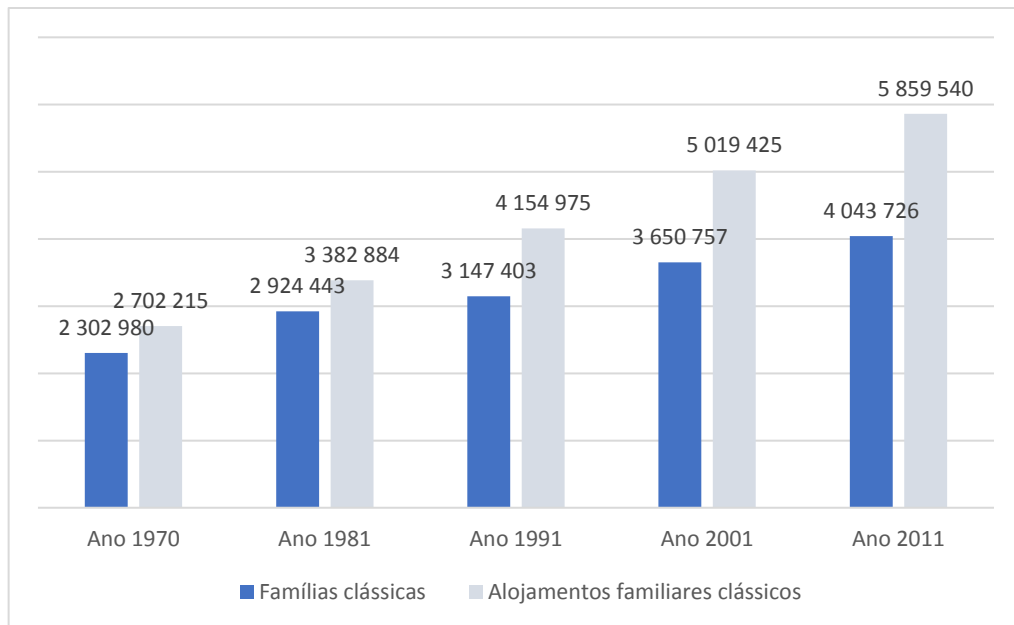


Figura 1 - Variação do número de famílias clássicas e de alojamentos familiares clássicos (INE and LNEC, 2011)

Entende-se por família clássica como o “conjunto de pessoas que residem no mesmo alojamento e que têm relações de parentesco entre si, podendo ocupar a totalidade ou parte do alojamento; ou qualquer pessoa independente que ocupe uma parte ou a totalidade de uma unidade de alojamento. O alojamento familiar clássico é constituído por uma divisão ou conjunto de divisões e seus anexos num edifício de carácter permanente ou numa parte estruturalmente distinta do edifício” (INE and LNEC, 2011).

No entanto, segundo os dados presentes no documento “Estatísticas da Construção e Habitação de 2016”, o parque habitacional português foi estimado em 5 932 697 alojamentos, mantendo-se o aumento dos alojamentos embora a um ritmo inferior (INE, 2016).

O facto de o número de alojamentos ser significativamente superior ao número de famílias, significa que parte destes alojamentos se encontra desabitado. Assim, pode-se constatar que a

reabilitação dos edifícios existentes é essencial, de modo a valorizar o património edificado e a atingir as metas definidas na EPBD *recast*.

Uma parte significativa dos edifícios existentes em Portugal é relativamente recente. Conforme se pode verificar na Figura 2, do total dos edifícios clássicos, 3 544 389, cerca de 71%, não necessitavam de reparações e apenas cerca de 5% careciam de grandes reparações ou se encontravam muito degradados (INE, 2012).

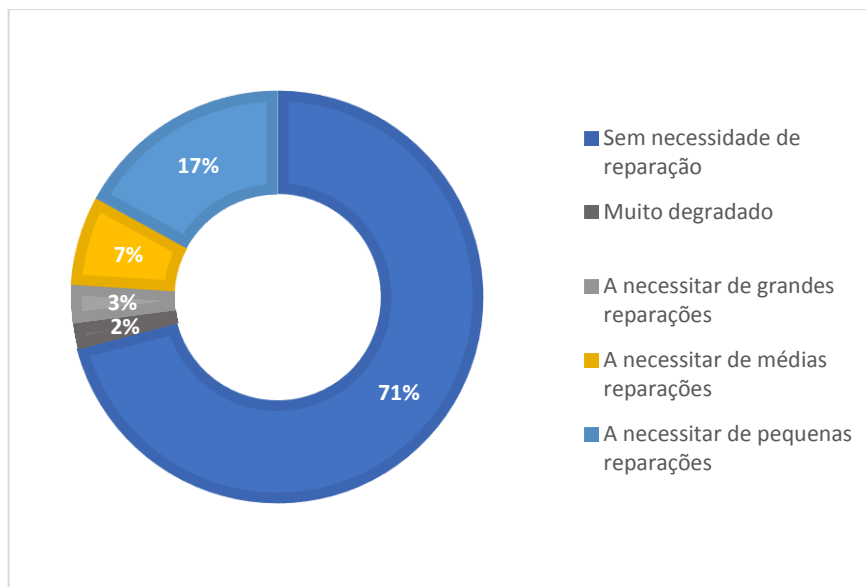


Figura 2 - Distribuição dos edifícios clássicos por estado de conservação, 2011 (INE, 2012)

Pelos dados presentes na Figura 3, no que diz respeito aos alojamentos familiares clássicos, seja de residência habitual ou de uso sazonal/residência secundária, cerca de 75% não necessitam de reparação e 3% encontram-se muito degradados ou a necessitar de grandes reparações (INE and LNEC, 2011). No entanto, é preciso ter em conta que apesar de a percentagem de alojamentos a necessitarem de algum tipo de intervenção não ser muito elevada, 25%, representa uma percentagem de um total de milhões de alojamentos, o que significa que o parque habitacional apresenta um número significativo de edifícios a necessitarem de intervenção.

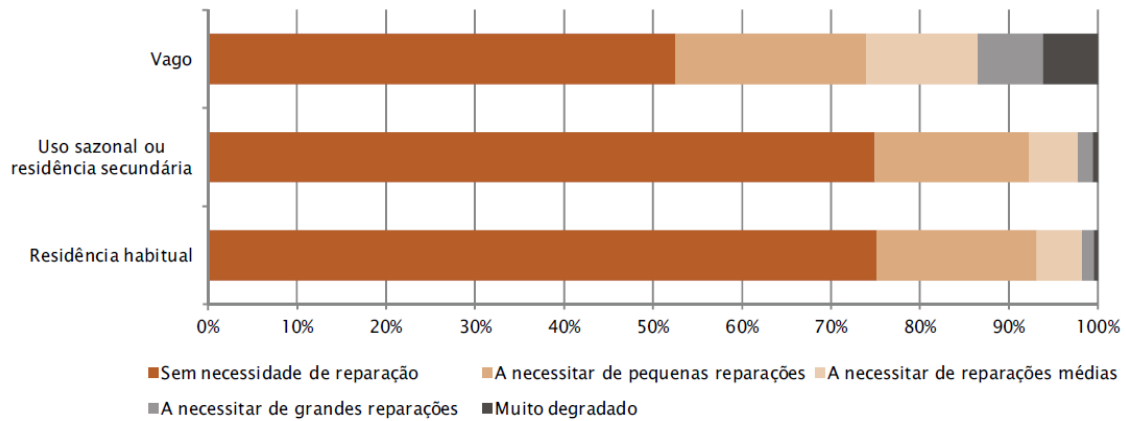


Figura 3 - Distribuição de alojamentos familiares clássicos segundo o estado de conservação do edifício, por forma de ocupação (INE and LNEC, 2011)

Apesar de terem perdido uma importância relativa, face a anos anteriores, as obras concluídas em construções novas continuaram a ser predominantes, representando 68,6% do total de obras concluídas em 2016. Por outro lado, as obras de reabilitação apresentaram um peso de 31,4% do total das obras concluídas em 2016, ainda assim, um valor bastante distante da construção nova (INE, 2016).

No entanto, conforme se pode verificar pelos valores da Figura 4, grande parte das obras de reabilitação dizem respeito a obras de ampliação do edifício.

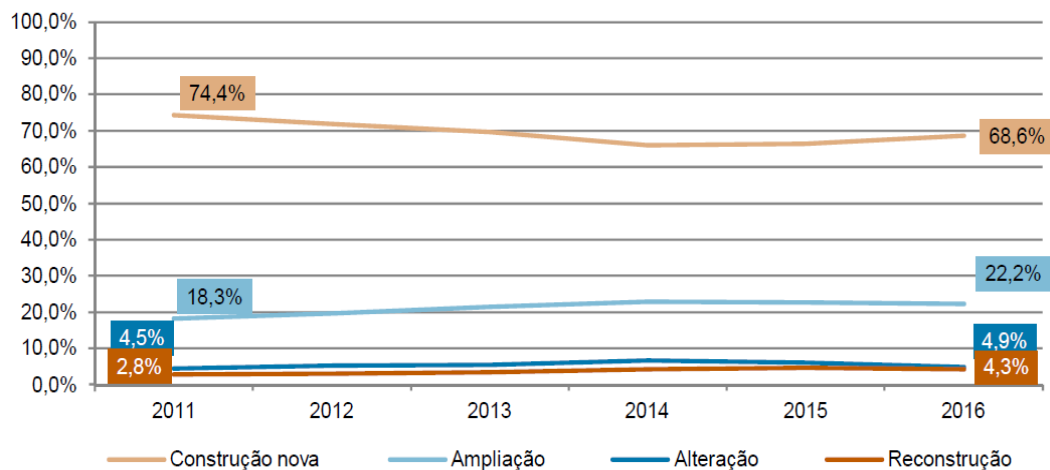
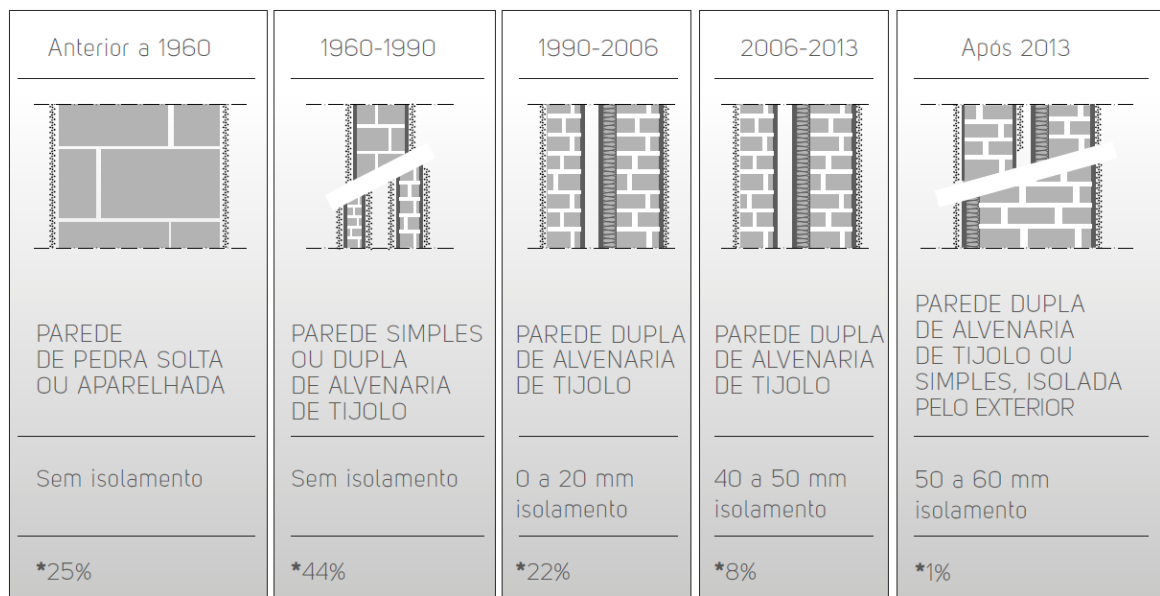


Figura 4 - Proporção de edifícios concluídos por tipo de obra (2011-2016) (INE, 2016)

No que diz respeito à evolução dos sistemas construtivos em Portugal, ao longo dos anos, as soluções construtivas de paredes simples de elevada espessura em tijolo maciço ou em pedra

utilizados até aos anos 1960 foram evoluindo, adaptando-se às exigências de cada época. Esta evolução visa o cumprimento das exigências impostas pelos ocupantes dos edifícios e pela regulamentação existente, principalmente desde 1991, data de entrada em vigor do RCCTE. Este regulamento provocou uma mudança da prática construtiva tendo em vista a aplicação de isolamento térmico de modo a proporcionar um maior conforto aos ocupantes e tratamento das pontes térmicas (Freitas, 2005).

Na Figura 5, apresenta-se uma síntese aproximada da evolução das paredes exteriores em Portugal.



* % de edifícios por tipo de parede

Figura 5 - Evolução das paredes exteriores ao longo dos anos (ADENE, 2016)

2.2. Eficiência energética

O uso de energia proporciona uma qualidade de vida, como o aquecimento/arrefecimento do espaço interior do edifício, o que seria impossível de usufruir se não se dispusesse de recursos energéticos. No entanto, os edifícios são responsáveis por uma percentagem muito significativa de energia consumida, cerca de 40% (European Commission, 2010).

De acordo com os dados presentes no gráfico da Figura 6, esta energia é proveniente, em grande parte, de combustíveis fósseis o que origina mudanças climáticas e uma redução das reservas deste tipo de combustíveis. Conforme se pode verificar nesse mesmo gráfico, o consumo de energia primária tem diminuído desde o ano de 2007 até 2016, registando-se uma quebra no

consumo de energia proveniente do petróleo na ordem dos 3500 ktep. Por outro lado, o consumo de energias renováveis regista um aumento, no entanto, estes valores ainda ficam aquém do desejado.

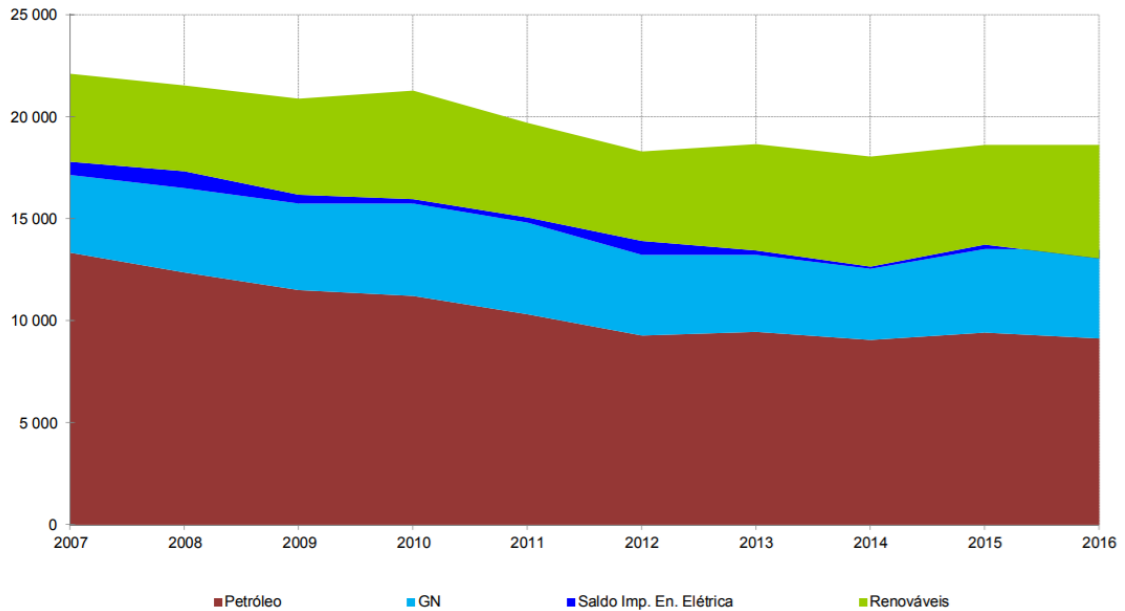


Figura 6 - Consumo de energia primária (ktep) (INE and DGEG, 2011)

A contribuição para o consumo total de energia no alojamento, por tipo de energia e tipo de utilização em 2010, apresenta-se na Figura 7.

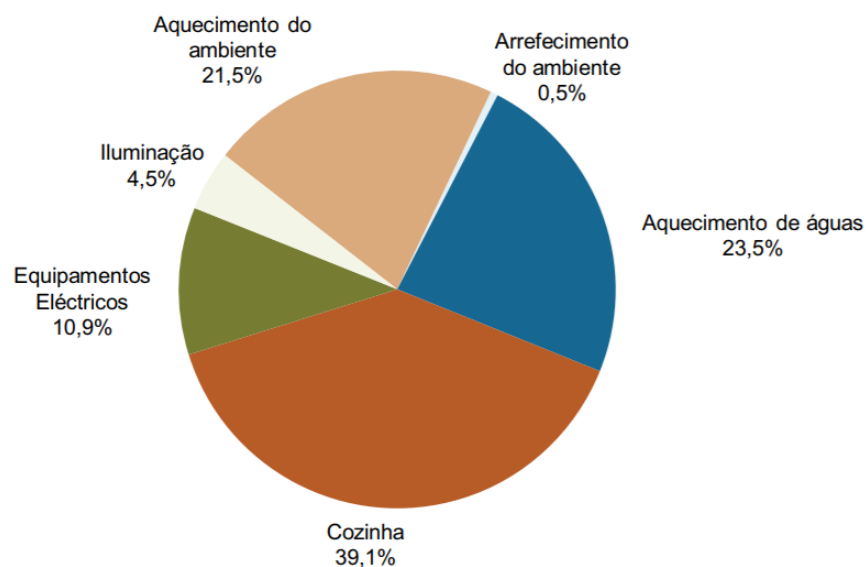


Figura 7 - Contribuição para o consumo total de energia no alojamento (INE and DGEG, 2011)

De acordo com a Figura 7, é na cozinha onde se registam gastos mais elevados de energia, seguindo-se o aquecimento de águas sanitárias e o aquecimento do ambiente.

Portugal apresenta um dos preços mais elevados de energia na Europa (Eurostat, 2017). O elevado consumo de energia, aliado ao elevado preço desta, origina que o nosso País seja um dos que apresenta maior pobreza energética o que acaba por se refletir numa grande percentagem do orçamento das famílias (Thompson and Snell, 2013; Simões, Gregório and Seixas, 2016).

Assim, torna-se essencial haver uma utilização racional de energia, aumentando a eficiência energética dos edifícios de modo a reduzir a dependência energética e as emissões de gases de efeito de estufa. Por isso, todos os edifícios novos ou reabilitados devem apresentar um consumo energético quase nulo até dezembro de 2020 (EPBD-recast, 2010).

O conceito de eficiência energética está associado a uma perspetiva de obter, para um mesmo nível de conforto, um consumo inferior de energia, aliado igualmente a uma utilização mais racional desta (Portal da energia, 2010). A satisfação das necessidades energéticas de climatização e/ou de produção de AQS em cada edifício, através de energia proveniente de fontes renováveis como o Sol, a água, o vento, ou a biomassa, é uma das formas de reduzir significativamente o consumo de energia de origem fóssil.

No entanto, quando se analisa a possibilidade de incluir medidas de eficiência energética num edifício, é importante ter em conta o seu grau de deterioração e características atuais que podem conduzir a uma redução do seu desempenho térmico e a consumos de energia elevados. De seguida apresentam-se as características mais importantes a ter em consideração (Anselmo and Nascimento, 2004):

- Isolamento térmico insuficiente nos elementos opacos da envolvente;
- Existência de pontes térmicas na envolvente do edifício;
- Presença de humidade e/ou condensações;
- Baixo desempenho térmico de vãos envidraçados e portas;
- Falta de proteções solares adequadas nos vãos envidraçados;
- Ventilação não controlada, criando maiores necessidades energéticas em aquecimento no Inverno, ou sobreaquecimento no Verão;

Também é necessário ter em conta comportamentos inadequados dos ocupantes que se possa refletir num elevado consumo de energia como a utilização dos sistemas de climatização enquanto as janelas estão abertas; e uma climatização desnecessária dos espaços que provoque temperaturas interiores fora dos níveis recomendados (Anselmo and Nascimento, 2004).

Com o intuito de diminuir as necessidades energéticas e, conseqüentemente, reduzir o consumo de energia, foram desenvolvidas, a nível Europeu, algumas diretivas.

A nível Europeu, foi criada, em 2002, a Diretiva nº 2002/91/EC do Parlamento Europeu e do Conselho, conhecida como EPBD – *Energy Performance of Buildings Directive*/Diretiva relativa ao Desempenho Energético de Edifícios. Esta diretiva tinha como objetivo promover a melhoria do desempenho energético dos edifícios de todos os países da União Europeia, tendo em conta as condições climáticas exteriores e as condições locais, bem como os requisitos de clima interior e de rentabilidade. Esta diretiva tinha de ser implementada na legislação de cada um dos países, pertencentes à União, até Janeiro de 2006 (EPBD, 2002). A EPBD obrigava a que os edifícios fossem classificados com uma classe mínima de eficiência energética que é avaliada através de um processo de certificação energética. No entanto, esta diretiva aplicava-se apenas a construções novas ou grandes remodelações.

Deste modo, Portugal foi obrigado a rever a regulamentação do desempenho térmico dos edifícios, resultando na publicação de três Decretos-Lei, nomeadamente:

- Decreto-Lei nº78/2006 que implementava o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar no Interior dos Edifícios, denominado como SCE. Este sistema teve como finalidade assegurar: a aplicação regulamentar no que respeita às condições de eficiência energética, à utilização de sistemas de energias renováveis e às condições de garantia qualidade do ar interior de acordo com o RCCTE e RSECE; certificar o desempenho energético e a qualidade do ar interior nos edifícios; identificar as medidas corretivas ou de melhoria de desempenho aplicáveis aos edifícios e respetivos sistemas energéticos (Decreto-Lei nº78/2006);
- Decreto-Lei nº79/2006 que diz respeito à revisão do RSECE em quatro aspetos: definir as condições de conforto térmico e de higiene que devem ser requeridas nos diferentes espaços dos edifícios; melhorar a eficiência energética global dos edifícios em todos os tipos de consumos de energia que neles têm lugar; impor regras de eficiência aos sistemas de climatização que permitam melhorar o seu desempenho energético efetivo

e garantir meios para a sua manutenção; monitorizar com regularidade as práticas da manutenção destes sistemas (Decreto-Lei nº79/2006);

- Decreto-Lei nº80/2006 que diz respeito à revisão do RCCTE. A primeira versão do RCCTE foi implementada em 6 de Fevereiro de 1990, no entanto apresentava algumas limitações. Esta nova versão acrescentava a obrigatoriedade de contabilização das AQS, numa ótica de consideração de todos os consumos de energia utilizando fontes de energia renovável. Estabelecia também valores máximos, que não poderiam ser excedidos, para necessidades nominais de energia útil para aquecimento e arrefecimento, de preparação de AQS e necessidades globais de energia primária, de modo que estas necessidades sejam satisfeitas sem dispêndio excessivo de energia. Esta legislação impunha ainda a instalação de painéis solares térmicos e valoriza a utilização de outras fontes de energia renovável (Decreto-Lei nº80/2006).

O sistema de certificação energética nos edifícios existentes permite obter a informação sobre as medidas de melhoria de desempenho que o proprietário pode implementar, com viabilidade económica, visando a redução das suas despesas energéticas e, simultaneamente melhorar a eficiência energética do edifício. Nos edifícios novos, permite comprovar a correta aplicação da regulamentação térmica em vigor para o edifício bem como para os respetivos sistemas energéticos (Decreto-Lei nº78/2006).

O documento que atesta e comprova a habitação em causa, é o certificado energético. Este certificado é emitido por peritos qualificados autorizados pela ADENE (Decreto-Lei nº78/2006). Este documento atribui uma classe energética ao edifício, que vai desde a classe A⁺, a melhor, até à classe F, a pior.

Segundo a ADENE, o número de certificados energéticos emitidos no âmbito de construção nova ou requalificação entre os anos de 2015 e 2017 dispararam. Em 2015 o número de certificados emitidos foi de 13 558, no ano de 2017 foram 30 146. No entanto, os certificados emitidos para edifícios novos representam uma percentagem muito maior do que para o edificado reabilitado, apresentando uma proporção na ordem dos 80 – 20 %.

Em 2010, a EPBD foi reformulada dando origem à Diretiva 2010/31/EU do Parlamento Europeu e do Conselho que visa essencialmente dois objetivos (adaptado (EPBD-recast, 2010)):

- A redução das emissões de carbono como forma de combater as alterações climáticas e, conseqüentemente cumprir o Protocolo de Quioto da Convenção-Quadro das Nações Unidas;
- Promover o desenvolvimento de soluções sustentáveis e de eficiência energética.

Esta diretiva, com vista ao aumento da eficiência energética, traça as seguintes metas para o ano 2020 (European Commission, 2017a):

- Redução de 20% do consumo de energia;
- Redução de 20% das emissões de carbono;
- Aumento de 20% da utilização de energias renováveis.

Com o cumprimento das metas supramencionadas, surge o conceito de edifícios de balanço energético quase nulos (nZEB). Este conceito traduz-se em edifícios com baixas necessidades energéticas sendo que, as necessidades energéticas remanescentes devem ser asseguradas pela utilização de fontes de energia renovável sempre que possível. Este conceito deverá ser aplicado obrigatoriamente em edifícios públicos a partir de 2018 e em todos os novos edifícios até ao fim de 2020 (EPBD-recast, 2010).

No que diz respeito ao ano de 2030, as metas fixadas pela União Europeia são (European Commission, 2017b):

- Redução de 27% no consumo de energia;
- Redução de 40% das emissões de carbono – em relação a 1990;
- Aumento de 27% da utilização de energias renováveis.

Quanto ao ano de 2050, a meta da União Europeia passa pela redução em 90% das emissões de carbono, comparativamente aos níveis de 1990 (European Commission, 2017c).

Assim, Portugal teve de reformular as diretivas anteriores, surgindo o Decreto-Lei nº118/2013. Este Decreto-Lei tem como objetivo melhorar a sistematização e o âmbito de aplicação do sistema de certificação energética e respetivos regulamentos, concentrando num só diploma o

SCE, o RECS e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação – REH (Decreto-Lei nº 118/2013).

Segundo os Decretos-Lei nº118/2013 e nº 251/2015, o REH, regulamento que se encontra atualmente em vigor, estabelece os requisitos para os edifícios de habitação novos ou sujeitos a intervenções, além dos parâmetros e metodologias de caracterização do desempenho energético, em condições nominais, de todos os edifícios de habitação e dos seus sistemas técnicos, promovendo assim a melhoria do respetivo comportamento térmico, a eficiência dos seus sistemas técnicos bem como a minimização do risco de ocorrência de condensações superficiais nos elementos da envolvente (Decreto-Lei nº 118/2013).

Este regulamento aplica-se aos edifícios destinados a habitação, nas seguintes condições (Decreto-Lei nº 118/2013):

- Projeto e construção de edifícios novos;
- Grande intervenção na envolvente ou nos sistemas técnicos de edifícios existentes;
- Avaliação energética dos edifícios novos, sujeitos a grande intervenção e existentes, no âmbito do SCE.

2.3. A importância da reabilitação

O termo reabilitação refere-se às intervenções necessárias num edifício ou propriedade, implicando obras mais ou menos extensas de beneficiação, visando aumentar a vida útil do imóvel e o seu valor económico, melhorar a qualidade de vida dos habitantes e implementar boas medidas de eficiência energética (Santos, Sá and Pereira, 2003).

Pelas várias razões mencionadas nos subcapítulos anteriores, pode-se afirmar que a reabilitação térmica e energética de edifícios é extremamente importante a vários níveis, como por exemplo, reduzir a discrepância entre o número de alojamentos e o número de famílias, corrigir patologias existentes em edifícios, cumprir as diretivas em vigor proporcionando um aumento do conforto térmico dos ocupantes, e uma redução das necessidades energéticas dos edifícios resultando na diminuição do consumo de energia e emissão de gases que contribuem para o efeito de estufa. A reabilitação permite assim implementar medidas de eficiência energética, proporcionar conforto térmico, acústico, de qualidade do ar interior, e sustentabilidade da construção.

A reabilitação térmica e energética de um edifício pode ser implementada de diversas maneiras (Silva, 2012; Rocha, 2013):

- Melhoria do desempenho térmico/energético da envolvente opaca do edifício através da implementação de isolamento térmico na fachada e na cobertura do mesmo;
- Melhoria do desempenho térmico/energético da envolvente não opaca do edifício substituindo os vãos envidraçados simples por duplos, preenchimento da lâmina de ar com gases raros e implementar caixilharias com um valor de condutibilidade térmica mais baixo;
- Sistemas solares passivos que se caracterizam por não recorrerem à energia mecânica e contribuírem para a climatização do ambiente interior. Podem ser divididos por sistemas passivos de aquecimento de ganho direto, indireto e isolado e por sistemas passivos de arrefecimento por ventilação natural, arrefecimento pelo solo, evaporativo e radiativo. Destes destacam-se os de ganho direto que dizem respeito a uma boa orientação e dimensionamento dos vãos envidraçados de modo a permitir uma boa captação solar; e os de arrefecimento por ventilação natural que o posicionamento dos dispositivos de ventilação origina uma diferença de pressões fazendo circular o ar que permite um arrefecimento do ambiente e renovação do ar interior do edifício;
- Sistemas ativos: sistemas de climatização e preparação de AQS, e sistemas que transformam a energia proveniente de fontes renováveis como o Sol, vento, biomassa e geotérmica em energia final. Destes sistemas, destacam-se o sistema de aproveitamento solar através da implementação na cobertura do edifício de painéis fotovoltaicos ou coletores solares térmicos.

2.4. Programas de apoio e incentivo à reabilitação

Conforme já foi referido, atualmente as obras de reabilitação representam ainda uma pequena percentagem das obras concluídas no País.

Esses números devem-se a alguns obstáculos existentes à reabilitação urbana, nomeadamente (EGIFRRU, 2017):

- Custo da reabilitação: o alto custo da reabilitação urbana face à rentabilidade gerada dos projetos prejudica a atratividade deste segmento do mercado;

- Acesso a financiamento: conjuntura macroeconómica prejudica o acesso ao crédito;
- Resistência da procura: resistência por parte dos proprietários e investidores em procurar este tipo de produtos, face à procura de nova construção;
- Burocracia: existência de obstáculos ao nível de regulamentos e questões burocráticas ligadas ao setor da reabilitação;
- Custo de financiamento;
- Ausência de maior diversidade de incentivos.

Assim, torna-se relevante que haja por parte do Governo incentivos à reabilitação do parque edificado.

O IHRU, Instituto da Habitação e da Reabilitação Urbana, IP, é um instituto público de regime especial e de gestão participada, integrado na administração indireta do Estado, dotado de autonomia administrativa e financeira e património próprio. Concede participações e empréstimos, com ou sem bonificação de juros destinados ao financiamento de ações de natureza pública, privada ou cooperativa, designadamente relativos à aquisição, construção e reabilitação de imóveis e à reabilitação urbana (Portal da habitação, 2018).

Este Instituto tem sob orientação alguns programas de apoio e incentivos à reabilitação dos edifícios, dos quais se destacam o Reabilitar para Arrendar, Reabilitar para Arrendar – Habitação Acessível, IFRRU 2020.

O programa Reabilitar para Arrendar tem uma dotação inicial de 50 milhões de euros, proveniente de um empréstimo concedido pelo Banco Europeu de Investimento e destina-se prioritariamente aos seguintes tipos de intervenções (Portal da habitação, 2016b):

- Reabilitação ou reconstrução de edifícios cujo uso seja maioritariamente habitacional e cujos fogos se destinem a arrendamento nos regimes de renda apoiada ou condicionada;
- Reabilitação ou criação de espaços de domínio municipal para uso público desde que ocorram no âmbito de uma operação de reabilitação urbana sistemática;
- Reabilitação ou reconstrução de edifícios que se destinem a equipamentos de uso público, incluindo residências para estudantes;

- Construção de edifícios cujo uso seja maioritariamente habitacional cujos fogos se destinem a arrendamento nos regimes de renda apoiada ou condicionada, desde que se trate de intervenções relevantes de preenchimento do tecido urbano antigo.

Serão financiados 50% dos custos do investimento total de cada intervenção. Destina-se a candidaturas de Municípios, Empresas Municipais e Sociedades de Reabilitação Urbana.

No que diz respeito ao programa Reabilitar para Arrendar – Habitação Acessível destina-se à reabilitação de edifícios com idade igual ou superior a 30 anos, situados em Área de Reabilitação Urbana, que careçam de obras de reabilitação integral e que após a reabilitação se destinem predominantemente a fim habitacional. Também podem ser elegíveis edifícios situados fora de ARU, desde que careçam de obras de reabilitação integral (IHRU, 2017).

O empréstimo pode atingir os 90% do investimento total da operação de reabilitação e podem-se candidatar qualquer pessoa singular ou coletiva, de natureza pública ou privada, que seja proprietária do edifício ou de parte do edifício a reabilitar (IHRU, 2017).

O IFRRU 2020 é o Instrumento Financeiro para a Reabilitação e Revitalização Urbana que disponibiliza empréstimos em condições mais favoráveis face às existentes no mercado, para a reabilitação integral de edifícios, destinados a habitação ou a outras atividades, incluindo as soluções integradas de eficiência energética mais adequadas no âmbito dessa reabilitação. Num único pedido de financiamento, o candidato pode apresentar o seu projeto de investimento como um todo, reunindo as componentes de reabilitação urbana e as componentes de eficiência energética (IHRU, 2016).

Os apoios são concedidos através de produtos financeiros de dois tipos: empréstimos ou garantias. Podem-se candidatar a este Instrumento qualquer entidade, singular ou coletiva, pública ou privada, com título que lhe confira poderes para realizar a intervenção (IHRU, 2016).

Além dos programas de apoio existem alguns incentivos fiscais aplicáveis à reabilitação, como por exemplo (Portal da habitação, 2016a):

- Isenção de IMI por um período de 3 anos com possibilidade de renovação por mais 5 anos, destinado a prédios urbanos ou frações autónomas concluídas há mais de 30 anos ou localizadas em ARU desde que cumpram as condições de elegibilidade. Estes beneficiam também de redução a metade das taxas devidas pela avaliação do estado de conservação;

- Isenção de IMT na aquisição de imóveis destinados a intervenções de reabilitação ou prédios urbanos ou frações autónomas concluídas há mais de 30 anos ou localizadas em ARU desde que cumpram as condições de elegibilidade;
- Taxa de IVA ao valor de 6% para empreitadas de reabilitação urbana; empreitadas realizadas em imóveis ou em espaços públicos; localizadas em áreas de reabilitação urbana; empreitadas de reabilitação de imóveis que independentemente da localização sejam contratadas diretamente para o Fundo Nacional de Reabilitação do Edificado ou pelo IHRU. Esta taxa não abrange os materiais, salvo se o respetivo valor não exceder 20% do valor global da prestação de serviços.

2.5. Reabilitação Sustentável

A reabilitação sustentável caracteriza-se por ir mais além das preocupações centradas na qualidade do produto, uma vez que envolve o equilíbrio entre o impacto ambiental, económico e social. Criam-se assim, novos requisitos que têm de ser incorporados no modo tradicional da construção (Barbosa, Bragança and Mateus, 2012). Para que a reabilitação se torne sustentável, é fundamental que o edifício responda positivamente aos indicadores de sustentabilidade da construção, melhorando a eficiência energética e a qualidade do ambiente interior, diminuído também o impacto ambiental sobre o local, o consumo de materiais e geração de poluição (Lopes, 2010).

Além disso, necessita também de ser realizada seguindo um determinado número de etapas, nomeadamente: análise e diagnóstico; projeto; construção; utilização/manutenção; desconstrução (Lopes, 2010).

Na fase de análise e diagnóstico deve ser realizada uma análise do estado de conservação e segurança do edifício, identificados todos os tipos de anomalias existentes, quais os materiais e soluções construtivas presentes, bem como uma avaliação do contexto urbano no qual o edifício está inserido (Lopes, 2010).

Além disso, devem ser analisados e avaliados outros aspetos como a orientação solar do edifício, o nível de inércia térmica, conforto térmico e acústico, necessidades energéticas, ventilação e iluminação natural existentes, bem como recursos que possam ser reaproveitados (Lopes, 2010).

Por estas razões, a fase de análise e diagnóstico revela-se fundamental uma vez que permite uma otimização do ponto de vista económico, térmico e de qualidade final da intervenção, associados a um tempo de desenvolvimento do projeto e execução da obra mais reduzido.

Na fase de projeto são tomadas as decisões sobre as intervenções a realizar no edifício, tendo em conta a análise da fase anterior. São escolhidas as soluções construtivas a adotar tendo em consideração a melhoria de aspetos fundamentais para a sustentabilidade da obra como o desempenho energético, da qualidade do ar, do conforto térmico e acústico; da produção de gases que contribuem para o efeito de estufa, assim como o aumento da reutilização de materiais existentes (Lopes, 2010).

Nesta fase, são elaborados projetos relativos a várias especialidades, como a estrutura, térmica, acústica, instalações elétricas e de climatização, entre outras. Como tal, é essencial que a equipa de projetistas desempenhe um papel dinamizador e influenciador perante o dono de obra, de modo a que seja possível obter o melhor equilíbrio entre os parâmetros funcionais em estudo.

A fase de construção diz respeito à execução do que foi preconizado na fase anterior sendo iniciada a partir do momento em que for adjudicada a um empreiteiro. Nesta fase é essencial que seja cumprido integralmente, sem atrasos nem erros de execução, o projeto delineado anteriormente de modo a que a reabilitação seja tão eficaz, a todos os níveis, como foi projetada. Assim, é fundamental, que aquando da adjudicação da obra, sejam verificadas as qualificações da(s) empresa(s) que executarão as diversas atividades de modo a garantir o sucesso da intervenção (Lopes, 2010).

A fase de utilização/manutenção é bastante importante, uma vez que por mais e melhores medidas que se adotem na fase de construção, se os utilizadores do edifício não adotarem uma utilização adequada ao correto funcionamento dos sistemas implementados, o consumo de energia e conforto térmico não serão os desejados (Lopes, 2010).

Assim, para que o edifício seja utilizado conforme previsto, em termos de eficiência e conforto, é essencial a elaboração de um manual de utilização para usufruto dos ocupantes de forma a que estes fiquem a conhecer a forma correta de utilização dos diversos sistemas implementados e, conseqüentemente, que o desempenho do edifício se mantenha tal como foi projetado. Deve ser realizado, também, um manual de manutenção (Lopes, 2010).

Por último, a fase de desconstrução está associada à fase de projeto e construção, uma vez que depende dos materiais adotados terem ou não uma elevada capacidade de reciclagem, maior

capacidade de reutilização e que não originem resíduos com substâncias perigosas (Lopes, 2010).

CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA

No presente capítulo descreve-se toda a metodologia desenvolvida ao longo do trabalho, atendendo ao objetivo principal do mesmo, análise multicritério de soluções construtivas para a reabilitação de edifícios. Descreve-se, também, o caso de estudo e os programas utilizados para simulação.

Um edifício para ser considerado sustentável tem de ter em conta, em todo o seu ciclo de vida, as três diferentes dimensões de sustentabilidade – ambiental, social e económica.

Nesta dissertação, a avaliação destas dimensões é realizada através de uma metodologia de análise relativa, cuja base de comparação é, para cada elemento construtivo, a solução de referência. Deste modo, é possível verificar se, ao nível de cada parâmetro analisado, a solução em estudo é melhor ou pior que a solução de referência.

3.1 Procedimento

De modo a alcançar os objetivos mencionados no Capítulo 1, desenvolveu-se um trabalho atento quer ao nível da planificação como ao nível da execução. Tratou-se de uma investigação de natureza quantitativa, contextualizada pelas necessidades do parque habitacional português e de conforto térmico dos seus ocupantes tendo em conta outros parâmetros como o custo de ciclo de vida, eficiência energética e sustentabilidade.

Inicialmente selecionou-se e descreveu-se o caso de estudo fazendo referência à caracterização geométrica e construtiva do respetivo edifício, bem como aos parâmetros relativos à sua ocupação diária e dispositivos de proteção solar, nomeadamente os estores. Este ponto revela-se de extrema importância uma vez que afeta diretamente os ganhos e perdas solares do edifício.

De seguida, procedeu-se a uma revisão da literatura onde foram analisados outros documentos como teses de mestrado e doutoramento, bibliografia recomendada e artigos científicos, de modo a adquirir mais conhecimentos sobre os vários parâmetros em estudo.

Neste trabalho, realizou-se uma extensa pesquisa de mercado a fim de identificar soluções construtivas de reabilitação de edifícios ao nível de fachadas, coberturas, envidraçados e caixilharias, bem como de sistemas AVAC. Esta pesquisa foi realizada a nível empresarial e em páginas *web*.

Após a devida identificação das soluções a estudar, passou-se à análise do seu desempenho. Nos pontos que se seguem será apresentada a metodologia utilizada nas diferentes fases do trabalho, nomeadamente na análise de:

- Desempenho térmico e energético;
- Desempenho económico;
- Análise multicritério.

3.1.1. Conforto térmico e desempenho energético

Após a devida identificação das soluções construtivas em estudo, realizou-se uma simulação numérica das mesmas, através do software “*EnergyPlus*”. Estas simulações permitiram, simulando cada solução isoladamente, obter o desempenho do edifício do ponto de vista do:

- Consumo energético - onde se analisaram os resultados das necessidades energéticas de arrefecimento (NTArref), necessidades energéticas de aquecimento (NTAquec) e necessidades totais de energia (NTE);
- Conforto térmico onde foi tida em conta a percentagem de pessoas descontentes (PPD) e do voto médio das pessoas (PMV) (ISO, 2005; EN_15251, 2006). Segundo o relatório “*Developing and Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference*”, a análise do conforto térmico através destes parâmetros é válida para o edifício em estudo, tendo em conta as suas características, perfis de utilização e ocupação (De Gear, Brager and Cooper, 1997).

O parâmetro PPD foi utilizado por permitir agregar num único valor o conforto térmico anual proporcionado por cada solução construtiva. Contudo é importante referir que as temperaturas de conforto utilizadas no cálculo deste parâmetro correspondem a 20°C na estação de aquecimento e 25°C na estação de arrefecimento. De acordo com a regulamentação térmica Portuguesa as temperaturas de conforto correspondem a 18°C na estação de aquecimento e 25°C na estação de arrefecimento, tendo sido estas as temperaturas consideradas na simulação dinâmica. Por este motivo os valores de PPD obtidos serão sempre elevados e superiores à realidade.

Após obter os resultados referentes ao consumo energético, foi necessário calcular as necessidades de aquecimento de águas quentes sanitárias (N_{ac}), de modo a ficar a saber as necessidades energéticas do edifício (N_{tc}). Para tal, para cada tipo de solução adotada, utilizou-se o seguinte procedimento (Decreto-Lei nº 118/2013):

- 1) Cálculo das necessidades de aquecimento de águas quentes sanitárias:

$$N_{ac} = \frac{M_{AQS} \times 4187 \times \Delta T \times nd}{3600000 \times Ap} \quad [1]$$

$$M_{AQS} = 40 \times n \times feh \quad [2]$$

Em que:

ΔT – Variação de temperatura da água, que se considera 35°;

N_d – Número dias de aquecimento da água, que se considera 365;

A_p – Área útil de pavimento;

N – Número de ocupantes do edifício (número de quartos + 1);

feh – fator de eficiência hídrica (considera-se 1).

Importa referir que o valor de N_{ac} obtido para este caso de estudo 16,21 kWh/m².

E de

- 2) Cálculo das necessidades energéticas do edifício:

$$N_{tc} = \frac{N_{ic}}{\eta} \times F_{pu} + \frac{N_{vc}}{\eta} \times F_{pu} + \frac{N_{ac}}{\eta} \times F_{pu} - E_{ren} \quad [3]$$

Em que:

F_{pu} – Fatores de conversão. Utilizados conforme Despacho 15793D (Despacho nº15793-D/2013)

η – Eficiência do sistema correspondente

E_{ren} – Contribuição das renováveis

3.1.2. Desempenho económico

No que respeita ao desempenho económico este foi determinado através de uma abordagem de custo de ciclo de vida, onde se optou por adotar os preços da mão-de-obra e de materiais, que constam na base de dados “CYPE”. Contudo, houve o cuidado de comparar os valores fornecidos por esta base de dados com preços praticados no setor, efetuando-se alguns ajustes, quando necessário. Esta decisão foi tomada com o objetivo de se obter valores o mais realistas possível.

No cálculo do custo de ciclo de vida, para além dos custos iniciais dos materiais e mão-de-obra, foram ainda contabilizados os custos de manutenção, calculados para uma vida útil de 30 anos. Para tal, teve-se como referência os preços da base de dados “CYPE”. Em situações em que não foi possível aceder aos valores através desta base de dados, aplicou-se o valor de 5% do preço de construção conforme consta no documento (Ferreira *et al.*, 2014).

No que diz respeito aos custos de energia proveniente da eletricidade, gás e *pellets*, foram adotados os valores atualmente praticados no mercado.

O custo de ciclo de vida do edifício foi calculado baseado no método proposto pelo regulamento delegado nº 244/2012, de 16 de Janeiro de 2012 (European, 2012), conforme apresentado na equação 4.

$$C_g(t) = C_1 + \sum_j \left[\sum_{i=1}^{\tau} (C_{a,i(j)} \times R_d(i) - V_{f,\tau}(j)) \right] \quad [4]$$

Onde:

τ - Período

$C_g(\tau)$ – Custo global durante o período de cálculo

CI – Custo de investimento inicial para a medida j

$C_{a,i}(j)$ - Custo anual durante o ano i para a medida j

$R_d(i)$ – Taxa de desconto para o ano i

$V_{f,\tau}(j)$ – Valor residual da medida j no final do período de cálculo

Também se teve em conta uma taxa de desconto, inflação, de 3%, assim como a evolução dos custos de energia. Os preços da energia previstos nas tendências energéticas da UE até 2030, publicados pela Comissão Europeia em 2009, foram considerados para o período entre 2018 e 2030 (Capros *et al.*, 2009). Para o período compreendido entre 2030 e 2048 foram utilizados os preços previstos no Energy Road Map 2050 (COM, 2011).

3.1.3. Análise multicritério

De seguida, realizou-se uma análise comparativa multicritério das soluções construtivas adotadas que permitiu analisar quais as soluções construtivas com melhor/pior desempenho nos parâmetros em estudo. Para tal, recorreu-se à metodologia MARS-SC que assenta na avaliação de parâmetros ambientais, funcionais e económicos. No caso deste trabalho, estes parâmetros correspondem, respetivamente, ao desempenho energético, térmico e custo de ciclo de vida cujos pesos atribuídos foram de 40%, 30% e 30% conforme o guia SBTOOL (Mateus and Bragança, 2016).

De forma a permitir a agregação e comparação de diferentes aspetos, esta metodologia utiliza a normalização dos parâmetros em estudo. A normalização de parâmetros tem como objetivos evitar os efeitos de escala na agregação dos parâmetros de cada indicador e resolver o problema de alguns dos indicadores serem do tipo “quanto maior melhor” e outros do tipo “quanto maior pior”. Na normalização é utilizada a equação de Diaz Balteiro, equação 5 (adaptado (Mateus and Bragança, 2016):

$$\bar{P}_i = \frac{P_i - P_{*i}}{P_i^* - P_{*i}} \forall_i \quad [5]$$

Em que:

P_i representa o resultado da quantificação do parâmetro i ;

$P_i^* - P_{*i}$ são respetivamente o melhor e o pior resultado do parâmetro de sustentabilidade i .

A utilização desta equação [5] converte o valor dos parâmetros numa escala adimensional, em que o valor 1 corresponde ao nível de melhor prática (Mateus and Bragança, 2016).

Por último, foram propostos e analisados, utilizando a mesma metodologia, cinco cenários de reabilitação com a finalidade de diminuir as necessidades energéticas, aumentar o conforto

térmico e otimizar o custo de ciclo de vida do edifício. Nestes cenários já foram incluídos, separadamente, sistemas de produção de energia renovável, nomeadamente, coletores solares e painéis fotovoltaicos. A quantidade de energia produzida pelo primeiro sistema foi calculada através da folha de cálculo distribuída pela “Direção-Geral de Energia e Geologia”, quanto à produção de energia do segundo sistema, foi obtido através de fichas técnicas.

3.2. Programas de simulação – *Energy Plus* e *Design Builder*

3.2.1. *Energy Plus*

Neste estudo recorreu-se ao programa de simulação dinâmica *EnergyPlus* como motor de cálculo e ao *DesignBuilder* como programa de interface gráfica.

O *EnergyPlus* é um programa de simulação desenvolvido para modelar edifícios, ou parte deles, orientado para o estudo e análise do seu comportamento térmico e energético, nomeadamente em questões de aquecimento, arrefecimento, iluminação, ventilação e energia (EnergyPlus, 2018).

Este programa computacional, foi criado a partir de dois programas existentes reconhecidos – BLAST e DOE-2. Apresenta determinadas características que o diferenciam de outros programas, nomeadamente (Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, 2009; EnergyPlus, 2018):

- Solução simultânea e integrada em que a resposta do edifício e o sistema primário e secundário estão acoplados;
- Solução baseada em equilíbrio de calor de efeitos radiantes e convectivos que produzem cálculos de conforto térmico e condensação das temperaturas da superfície;
- Intervalos de tempo definidos pelo utilizador, com fração de hora, para interação entre as zonas térmicas e o ambiente; e intervalos de tempo variáveis para interação entre a zona térmica e o sistema AVAC;
- Modelo combinado de transferência de calor e massa que considera o movimento do ar entre as zonas;

- Cálculo de balanço de calor de envidraçados que permite o controlo eletrónico de persianas, balanço térmico camada por camada, o que permite a identificação do comprimento de onda da energia solar absorvida pelo vidro da janela;
- Resumo padrão e relatórios de resultados detalhados, bem como relatórios definidos pelo usuário com resoluções de tempo selecionáveis desde anuais até sub horárias;
- Sistemas de ar condicionado configuráveis, o que permite ao utilizador simular sistemas típicos comuns e sistemas pouco modificados, sem ter de recompilar o código fonte do programa;
- Interface de exportação e importação para co-simulação com outros programas.

Apresenta-se sob a forma de dois aplicativos principais: *EP-Launch* e *IDF Editor*.

No *EP – Launch* introduz-se o ficheiro idf relativo à geometria do edifício em estudo bem como o ficheiro de dados climáticos (*Weather File*) onde estão definidos detalhadamente as propriedades relativas ao comportamento do meio ambiente local. É, também, nesta interface que se simula o comportamento do edifício, obtém os resultados em formato de tabela e se consultam os erros que não permitam uma simulação eficiente.

No que diz respeito ao ficheiro climático, o distribuidor do *EnergyPlus* disponibiliza dois tipos de ficheiros – em tempo real registados por estações meteorológicas estrategicamente posicionadas e outro com base em dados estatísticos respetivos ao País e à zona em estudo. No presente trabalho, optou-se por um ficheiro climático elaborado estatisticamente, ou seja, uma simulação para um ano típico.

De seguida, na Figura 8, apresenta-se a interface relativa ao *EP-Launch*.

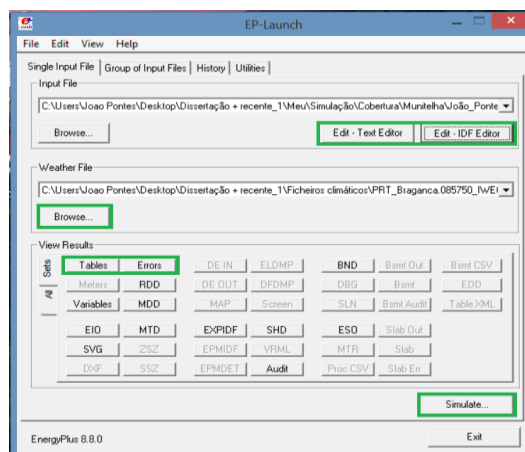


Figura 8 - Interface referente ao EP-Launch

Na Figura 9, apresenta-se a interface relativa ao *IDF Editor*. É nesta interface que se introduzem todas as variáveis/características necessárias para a simulação energética do edifício.

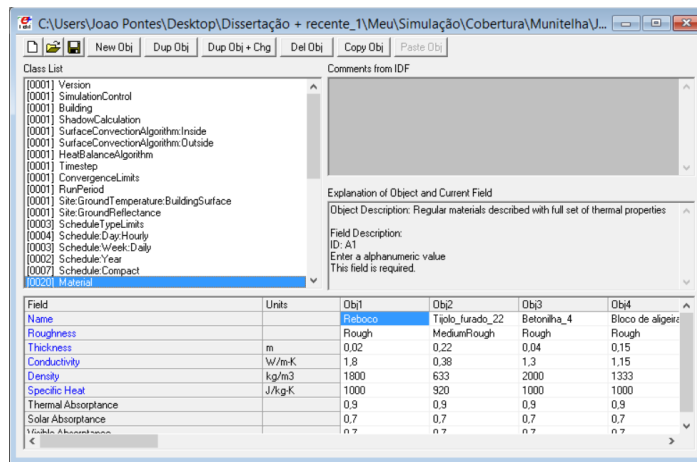


Figura 9 - Interface relativa ao IDF-Editor

Uma simulação energética no *EnergyPlus*, pode ser definida numa metodologia de três passos (adaptado Sá, 2015):

- Criação de um modelo no programa, adicionando os vários dados que definem o edifício, nomeadamente a sua geometria, dimensões e constituição;
- Correr a simulação, calculando o edifício com as características propostas pelo utilizador, tendo em conta um ficheiro de dados climáticos proposto pelo mesmo;
- Por último, obtenção de resultados, realizando uma análise dos mesmos e, caso seja necessário, elaborar uma análise de sensibilidade das diversas variáveis relativas ao edifício.

3.2.2. Design Builder

Uma das limitações do *EnergyPlus* é a inexistência de uma interface gráfica para a definição da geometria do edifício. De forma a ultrapassar esta dificuldade, foi utilizado o *software DesignBuilder* que oferece uma plataforma de modelação gráfica em 3D de rápida e fácil utilização.

Este *software* apresenta as seguintes características (Pinto, 2014):

- Possibilita atribuir características aos elementos de construção;

- Construção de predefinições consoante as necessidades de cada projeto;
- Alteração de forma fácil e rápida das características do edifício;
- Os dados das simulações podem ser exportados.

Importa referir que este programa é uma ferramenta paga, por isso foi apenas utilizado no período experimental gratuito para a inserção das características geométricas do edifício em estudo.

O processo de criação é bastante rápido e intuitivo:

- Adicionar um novo edifício;
- Traçar o contorno do edifício;
- Introduções das dimensões das partições, portas e envidraçados do edifício;
- Exportação para o *EnergyPlus*.

3.3. Caso de estudo

De modo a realizar a análise pretendida foi necessário definir um caso de estudo. Para tal, recorreu-se a um edifício virtual equivalente a uma moradia unifamiliar, localizada no Grande Porto.

O edifício em questão é de tipologia T2, apresenta uma geometria retangular com uma área total de cento e dez metros quadrados e três metros de pé-direito, é constituído por um total de sete divisões distintas:

- Quarto 1: 16m²
- Quarto 2: 20m²
- Quarto de banho 1: 8m²
- Quarto de banho 2: 9m²
- Cozinha: 12m²
- Sala de estar: 28m²

- Hall: 17m²

De seguida nas Figuras 10, 11 e 12, , apresentam-se as plantas e alçados esquemáticos do edifício, tal como obtidos do programa *DesignBuilder*.

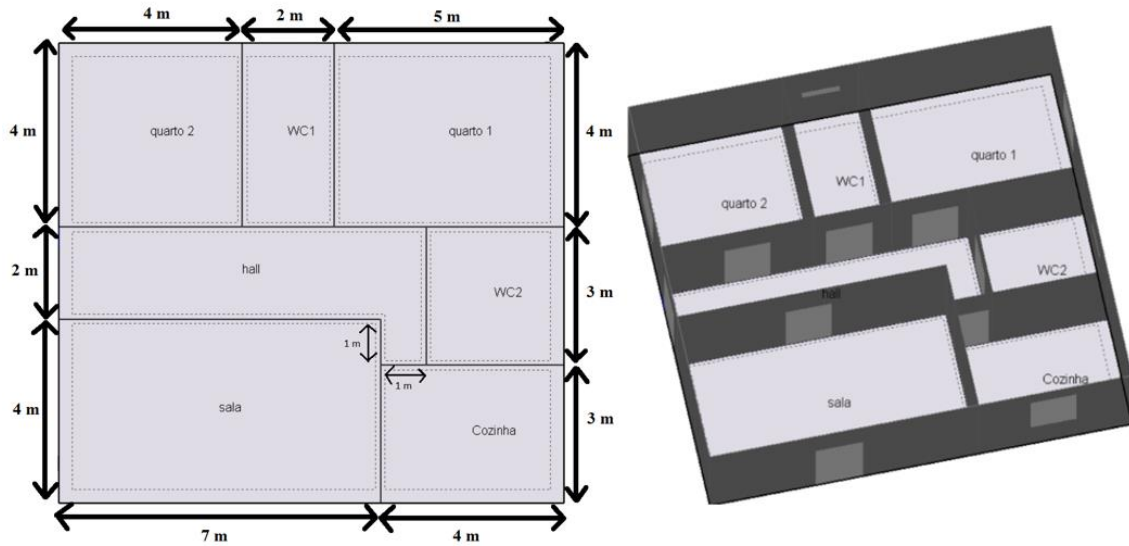


Figura 10 - Plantas do edifício

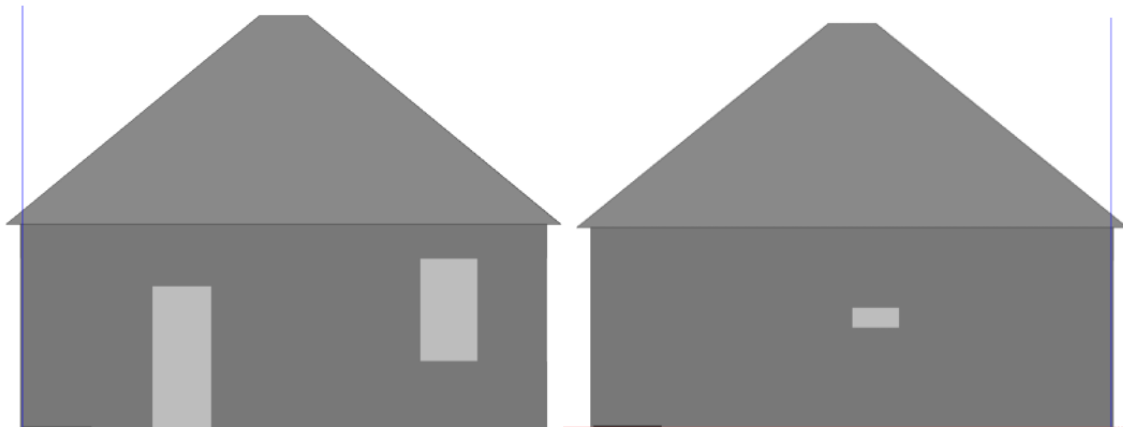


Figura 11 – Alçado da Fachada Sul (á esquerda) e Norte (à direita)

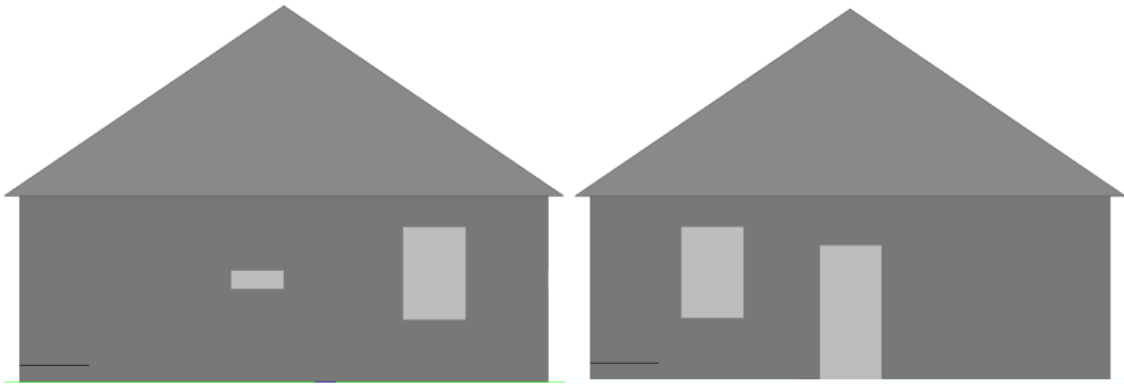


Figura 12 – Alçado da Fachada Oeste (à esquerda) e Este (à direita)

As soluções construtivas definidas para o caso de estudo foram selecionadas tendo em conta as soluções tipicamente existentes em edifícios construídos em Portugal entre 1960 e 1990. Estes dados foram obtidos a partir da base de dados de todos os certificados energéticos emitidos pela ADENE. Na Tabela 1 apresentam-se as mesmas, iniciando a descrição na face exterior.

Tabela 1 - Envoltente do edifício

	Materiais	Espessura (m)
Paredes exteriores	Reboco exterior	0,02
	Tijolo furado	0,22
	Reboco interior	0,02
Paredes interiores	Reboco exterior	0,02
	Tijolo furado	0,22
	Reboco interior	0,02
Cobertura	Telha cerâmica	0,01
	Betonilha	0,04
	Laje aligeirada	0,15
	Reboco interior	0,02
Laje intermédia	Reboco	0,02
	Betonilha	0,04
	Laje aligeirada	0,15
	Reboco	0,02
Piso térreo	Isolamento	0,04
	Betão armado	0,20
	Betonilha	0,15
	Reboco	0,02

No que diz respeito aos vãos envidraçados, estes são constituídos por vidro simples de 6 mm de espessura com caixilharia metálica sem corte térmico.

Na Tabela 2 apresentam-se as dimensões, áreas e orientação dos envidraçados de cada compartimento.

Tabela 2 - Envidraçados de cada compartimento

Compartimento	Dimensão (m)	Área (m ²)	Orientação
Sala de estar	1,50 x 2,10	3,15	Sul
Cozinha	1,50 x 1,20	1,80	Sul
Quarto de banho 2	1,00 x 0,30	0,30	Este
Quarto 2	1,50 x 1,20	1,80	Este
Quarto de banho 1	1,00 x 0,30	0,30	Norte
Quarto 1	1,50 x 1,20	1,80	Oeste

Como dispositivos de proteção solar, considerou-se a existência de estores. Os perfis de funcionamento destes dispositivos foram os seguintes:

- Estação de aquecimento (Inverno): Considerou-se os estores fechados à noite e abertos durante o dia (das 7 às 19 horas), com o intuito de se maximizar os ganhos solares obtidos durante o dia;
- Estação de arrefecimento (Verão): Considerou-se que os estores se encontram 100% abertos das 7 às 8 horas e das 19 às 21 horas, 30% abertos entre as 8 e as 19 horas e fechados durante a noite.

Quanto às Estações de aquecimento e arrefecimento, definiu-se que a primeira se iniciava a 21 de Setembro e terminava a 20 de Março e a segunda iniciava-se a 21 de Março e terminava a 20 de Setembro.

No que se refere à ocupação do edifício, tendo em conta que se trata de uma tipologia T2, foi definida uma ocupação de três pessoas da seguinte maneira:

- Dias úteis (Segunda a Sexta-feira): As pessoas encontram-se no edifício, exceto das 8 às 19 horas;
- Fim de semana (Sábado e Domingo): As pessoas encontram-se 24 horas no edifício.

A carga térmica associada à ocupação dos indivíduos foi considerada, em média, da seguinte forma:

- 15% do tempo de ocupação nos quartos de banho e no hall;
- 85% do tempo de ocupação nos quartos, cozinha e sala.

Os perfis de funcionamento dos equipamentos e iluminação foram estabelecidos conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - Perfis de funcionamento referentes aos equipamentos e iluminação

Horário de funcionamento	Equipamentos	Iluminação
Até às 7 horas	0,10	0,05
Até às 8 horas	0,30	0,30
Até às 19 horas	0,10	0
Até às 20 horas	0,80	0,60
Até às 23 horas	0,60	0,80
Até às 24 horas	0,40	0,40

Na Tabela 4 apresenta-se a potência associada aos equipamentos e iluminação.

Tabela 4 - Potência associada aos equipamentos e iluminação

Compartimento	Equipamentos (W)	Iluminação (W)
Sala de estar	120	50
Cozinha	30	36
Hall	80	18
Quarto de banho 2	40	27
Quarto 1	60	28
Quarto de banho 1	40	27
Quarto 2	60	28

Com o intuito de otimizar a qualidade do ar interior e o conforto ambiental, definiu-se um número de renovações de ar por hora (Rph) igual a 1. Este caudal é assegurado através de ventilação natural.

De modo a manter as temperaturas num intervalo de conforto para os ocupantes, no edifício simulado foi considerado um sistema de climatização para arrefecimento e aquecimento. Este sistema foi definido para ser ativado quando a temperatura interior for superior a 25°C para a estação de arrefecimento e inferior a 18°C para a estação de aquecimento. Definiram-se estas temperaturas por corresponderem às temperaturas de conforto estabelecidas no Despacho nº 15793-F/2013 (Diário da República).

CAPÍTULO 4 – SOLUÇÕES PARA A REABILITAÇÃO ENERGÉTICA

Neste capítulo, apresentam-se os vários tipos de sistemas construtivos de reabilitação de fachadas, coberturas e vão envidraçados, bem como as respetivas vantagens e desvantagens.

Apresentam-se, também, os tipos de isolamentos térmicos mais usuais seja na reabilitação ou na construção nova, assim como as respetivas vantagens e desvantagens.

Por fim, pormenorizaram-se as soluções que foram alvo de estudo na presente dissertação. Para cada solução descreve-se a sua constituição e o valor de propriedades (como o calor específico, condutividade térmica, espessura e densidade), relativas a cada um dos materiais respeitantes a essas soluções.

4.1 Tipos de Sistemas

4.1.1. Fachadas

A reabilitação das fachadas exteriores dos edifícios revela-se um ponto de extrema importância no que diz respeito ao desempenho energético do edifício, uma vez que a grande parte da perda de energia, cerca de 25%, está relacionada com estes elementos (Viero, 2018b).

Uma eficiente reabilitação deste elemento, permite obter uma otimização dos ganhos de calor no Inverno e das perdas no Verão, bem como, reduzir a probabilidade de ocorrência de condensações e, conseqüentemente, o aparecimento de fungos e/ou bolor.

Assim, o sistema de isolamento térmico, aplicado de modo contínuo contribui para a otimização do desempenho térmico dos edifícios.

O reforço do isolamento térmico das fachadas é possível recorrendo a três diferentes opções, que se distinguem pela posição do material isolante: isolamento térmico pelo exterior, pelo interior ou na caixa-de-ar. Este último diz respeito ao caso de paredes duplas (Paiva *et al.*, 2006).

A seleção do tipo de solução a utilizar é condicionada por fatores de diferentes ordens e situações (Paiva *et al.*, 2006) :

- Se por condicionamentos arquitetónicos houver necessidade de que o paramento exterior se tenha de manter, a solução viável passa por isolar pelo interior;

- Se esses condicionamentos não se verificarem e o paramento exterior se encontrar em bom estado e isento de defeitos significativos, o reforço de isolamento pode ser tanto pelo exterior como pelo interior;
- Se as áreas interiores forem de pequena dimensão e o paramento exterior não apresente condicionantes de ordem arquitetónica, a solução mais indicada será o reforço do isolamento térmico pelo exterior;

De seguida, são apresentados os sistemas construtivos mais usuais na reabilitação de fachadas de edifícios.

4.1.1.1. Sistema ETICS (External Thermal Insulation Composite Systems)

O sistema ETICS consiste na aplicação de placas de isolamento térmico pelo lado exterior da fachada, em que numa das faces é aplicado um revestimento contínuo armado. As placas são fixadas mecanicamente, por colagem ou por ambos os processos.

Este sistema pode ser subdividido em dois tipos, sistema com revestimento espesso e sistema com revestimento delgado, que se distinguem pela espessura do revestimento aplicado. Na Figura 13 e 14 ilustram-se esses subsistemas, respetivamente.

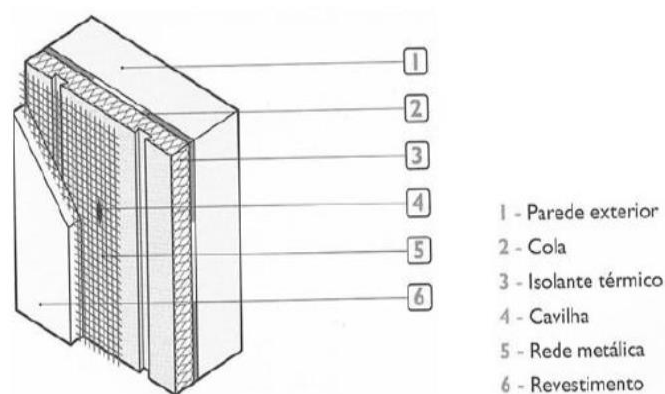


Figura 13 - Sistema ETICS com revestimento espesso (Paiva et al., 2006)

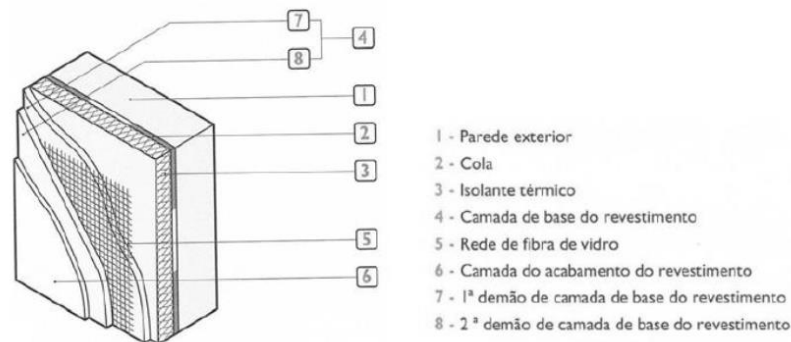


Figura 14 - Sistema ETICS com revestimento delgado (Paiva *et al.*, 2006)

No sistema com revestimento espesso é utilizado normalmente EPS ou lã mineral para as placas de isolamento térmico e um revestimento de ligante mineral armado com uma rede metálica. As placas de isolamento devem possuir ranhuras de modo a permitir uma melhor aderência do revestimento.

No caso do sistema com revestimento delgado, são utilizadas, sobretudo, placas de EPS como isolamento térmico, sobre as quais é aplicado um revestimento de ligante sintético ou misto, armado com rede de fibra de vidro. Esta armadura tende a reduzir a fissuração e melhorar a resistência mecânica do isolamento.

De seguida, apresentam-se as vantagens e desvantagens associadas a este sistema construtivo (Mendes, 2009; Painço, 2013; Portal da Construção Sustentável, 2015):

Vantagens:

- Permite aplicar grandes espessuras de isolamento sem comprometer a área interna da habitação;
- Permite uma correção mais fácil das pontes térmicas e, conseqüentemente previne a ocorrência de condensações;
- Permite melhorar a estética do edifício;
- Diversidade de materiais de isolamento térmico;
- Não introduz cargas significativas que afetem a resistência estrutural do edifício;
- Aumento da inércia térmica interior dos edifícios, dado que a maior parte da massa das paredes se encontra pelo interior do isolamento térmico;

- Diminuição do risco de ocorrência de condensações, uma vez que o ponto de orvalho fica do lado exterior do edifício;
- Colocação em obra sem perturbar os ocupantes dos edifícios, o que torna esta técnica de isolamento particularmente adequada na reabilitação de fachadas.

Desvantagens:

- Não pode ser aplicado em condomínios cujos condóminos não estejam em pleno acordo, devido à alteração estética da fachada;
- Se o lado exterior da fachada se encontrar degradado, não é aconselhável aplicação deste sistema;
- Trata-se de um sistema menos resistente a intempéries;
- É necessária uma manutenção mais atempada;
- Maior risco de degradação por vandalismo;
- Requer mão-de-obra qualificada e com experiência;
- Os trabalhos de reabilitação são condicionados pelas condições climatéricas.

4.1.1.2. Fachada Ventilada

A fachada ventilada pode ser definida como um sistema de proteção e revestimento exterior, caracterizado pela separação entre a parede exterior e o revestimento, criando assim um espaço de ar (Luque-Fern, 2006). Diz-se “ventilada” porque se cria um efeito chaminé onde o ar entra frio pela parte inferior e sai mais quente pela parte superior; deste modo, com o fluxo de ar da parede, evitam-se humidades e condensações características das fachadas tradicionais e consequentemente alcança-se um maior conforto térmico (Futureng, 2018a)

Este sistema é composto, além dos dispositivos de fixação, por um suporte de fixação, uma camada de material de isolamento térmico, câmara-de-ar ventilada e, por último, um material de revestimento (Mendes, 2009).

De salientar que as fachadas ventiladas permitem um leque muito vasto de opções de revestimento final, nomeadamente, painéis de pedra, cerâmicos, alumínio composto, fenólicos - compostos à base de resinas termo endurecidas, e betão polímero (Dutra, 2010).

De seguida, na Figura 15 apresenta-se uma composição tipo de uma fachada ventilada.



Figura 15 - Composição tipo de uma fachada ventilada (Mendes, 2009)

As soluções de fachada ventilada, apesar de na reabilitação serem menos utilizadas, estão associadas a uma imagem de qualidade e prestígio. Esta imagem é traduzida pela utilização de um revestimento exterior descontínuo executado por elementos pré-fabricados.

De seguida, apresentam-se as vantagens e desvantagens associadas a este sistema construtivo (Mendes, 2009; Futureng, 2018a) :

- Permite aplicar grandes espessuras de isolamento;
- Devido à ventilação natural, é evitado o aquecimento provocado pela radiação solar protegendo os elementos estruturais e evitando gretas e fissuras nas paredes;
- Corrige pontes térmicas;
- Reduz o risco de formação de condensações intersticiais, uma vez que transfere o ponto de orvalho para o exterior das paredes;
- Menos manutenção e maior durabilidade;
- Permite uma maior resistência a intempéries;

- Permite melhorar a estética do edifício, uma vez que as soluções de revestimento compatíveis com este sistema são inúmeras;
- Permite que sejam acomodadas instalações técnicas ou outro tipo de acessórios;
- Permite uma significativa redução da transmissão do som, na ordem dos 50%.
- Inúmeras opções de revestimento final.

No entanto, também apresenta alguns inconvenientes, nomeadamente:

- Trata-se de uma solução muito cara;
- Não tem uma gama de materiais de isolamento térmico tão vasta como o sistema ETICS;
- Podem ocorrer problemas de desprendimento do revestimento exterior devido a fatores como sistemas de fixação mal colocados ou aplicação deficiente.

4.1.1.3. Isolamento térmico na caixa-de-ar – Paredes duplas

Consistem no reforço do isolamento por preenchimento da caixa-de-ar com materiais isolantes ou espumas injetadas. Esta solução permite optar por duas alvenarias de tijolo vazado convencional, exterior e interior, de diferentes espessuras; ou então por uma alvenaria interior de tijolo vazado convencional e outra, exterior, de tijolo térmico.

De seguida, apresentam-se as vantagens e desvantagens associadas a este sistema construtivo (Anselmo and Nascimento, 2004; Rodrigues, 2011)

Vantagens:

- Permite manter o aspeto exterior da fachada;
- Vasta variedade no tipo de isolamento possível de aplicar;
- Reduz grande parte das perdas de calor.

No entanto, também apresenta alguns inconvenientes:

- Possível presença de argamassa e/ou detritos na caixa-de-ar;
- Materiais de isolamento soltos, necessitam de uma aplicação mais cuidadosa de modo a evitar assentamentos e, conseqüentemente pontes térmicas;

- Preço mais elevado do que outras soluções como ETICS e isolamento pelo interior;
- Execução mais lenta.

4.1.1.4. Isolamento pelo interior

O isolamento pelo interior é uma opção válida quando é imperativo preservar determinados aspetos arquitetónicos da fachada ou quando é necessário intervir numa fração autónoma pertencente a um edifício multifamiliar (Martins, 2013).

Caracteriza-se pela adição de um material de isolamento térmico no interior da parede como painéis isolantes prefabricados ou na execução de uma contra-fachada no lado interior da parede a reabilitar.

No caso de painéis isolantes prefabricados, é usual aplicar painéis com a mesma altura que o pé direito do andar em questão, constituídos por um paramento de gesso cartonado e uma camada de isolamento térmico normalmente de EPS, XPS ou ICB. Estes painéis podem ser colados diretamente contra o paramento interior da parede a reabilitar ou fixados através de uma estrutura de apoio, que define uma caixa-de-ar intermédia (Anselmo and Nascimento, 2004).

Em relação a soluções de isolamento pelo interior, recorrendo à execução de uma contra-fachada no lado interior da parede a reabilitar, têm como base a incorporação de um isolamento térmico entre a parede e essa contra-fachada. Dois tipos de soluções são correntemente utilizados: um pano de alvenaria de pequena espessura ou um forro de placas de gesso cartonado com a respetiva estrutura de apoio fixada à parede em que o isolante térmico é aplicado de modo independente da placa de gesso cartonado (Anselmo and Nascimento, 2004).

Na Figura 16 apresentam-se os esquemas de aplicação do isolamento térmico pelo interior recorrendo à execução de uma contra-fachada.

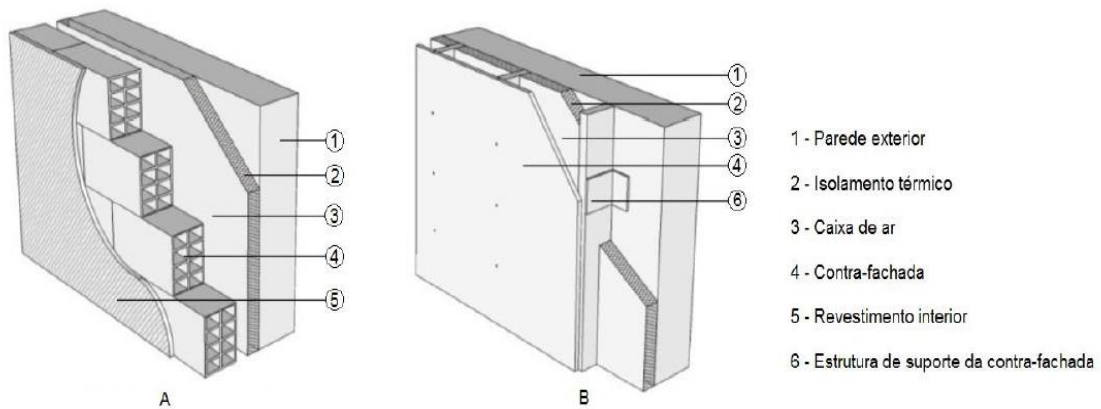


Figura 16 - Solução de contra-fachada interior em alvenaria (esquerda) e solução de contra-fachada em gesso cartonado (direita). (Paiva et al., 2006)

De seguida, apresentam-se as vantagens e desvantagens associadas a este sistema construtivo: (Ferreira, 2006; Portal da Construção Sustentável, 2015)

- É apropriado para situações em que apenas parte do edifício apresenta necessidades de reabilitação e para condomínios em que os condóminos não estejam totalmente de acordo quanto à necessidade de reabilitação do edifício em causa;
- Mais fácil de instalar e manter que o isolamento pelo exterior;
- A parede interna aquece mais depressa;
- Permite a incorporação de tubagens sem deterioração do pano de parede;
- Maior isolamento sonoro a ruídos provenientes do exterior;
- Não depende das condições climáticas exteriores.

No entanto, este sistema também apresenta algumas desvantagens:

- A espessura do isolamento térmico fica limitada;
- A área útil sofre uma redução;
- Os rodapés, sancas, aros de portas e janelas, têm de ser retirados;
- Não permite corrigir pontes térmicas planas;
- A inércia térmica é reduzida em consequência da inutilização da parede exterior como massa de armazenamento térmico;

- Necessidade de desocupação do edifício.

4.1.1.5. Jardim vertical – fachadas verdes

Jardim vertical é um termo descritivo usado para referir a formas de adicionar uma camada de vegetação na totalidade ou em parte das fachadas de edifícios (Mir, 2011). Uma solução de fachadas que inclua vegetação, permite aumentar a eficiência energética de escudo protetor contra a radiação solar.

Dividem-se, essencialmente, em duas categorias, fachadas verdes e paredes vivas. A primeira inclui um substrato (terra) para a sobrevivência das plantas. As paredes vivas, por sua vez, podem ser pré-fabricadas ou produzidas no local - in situ.

Os benefícios dos jardins verticais são inúmeros, nomeadamente (Sousa, 2012) :

- Redução do efeito de ilha de calor;
- Aumento da biodiversidade;
- Melhoria da qualidade do ar exterior e interior;
- Melhoria da estética do edifício e do meio urbano.

No entanto, como é um tema bastante atual, existe ainda controvérsia na opinião de vários autores no que diz respeito à relação custo/benefício deste sistema (Sousa, 2012). Além disso, é necessário ter em conta alguns inconvenientes como o facto de ser necessário mão-de-obra especializada e aumentos de cargas na cobertura.

Na Figura 17 apresenta-se o aspeto exterior de uma fachada verde.



Figura 17 - Exemplo exterior de um jardim vertical

No que diz respeito à simulação deste tipo de fachadas no EnergyPlus, não existe consenso na comunidade científica de ser ou não correto ou de qual o modelo mais apropriado para o fazer, uma vez que as plantas são seres vivos que sofrem adaptações à sua envolvente que não são fáceis de prever.

O programa Energyplus inclui um modelo que estima o comportamento térmico de uma cobertura verde, baseado no balanço energético.

No entanto, Flores, Filippín e Lesino, defendem ser evidente que este modelo não pode ser usado em jardins verticais, pelas seguintes razões (Flores, Filippín and Lesino, 2014) :

- i) Toda a exposição solar das superfícies que ficam atrás do jardim vertical são eliminados pelo modelo, logo não é possível simular a radiação solar transmitida pela fachada verde;
- ii) As propriedades do solo passam a ser similares às propriedades da parede, uma vez que as trocas de calor entre a folhagem e o solo são calculadas para uma determinada temperatura do solo e emissividade;
- iii) A troca convencional de calor entre a folhagem e o sol é calculada automaticamente por um modelo que apenas é válido para substrato horizontal.

Para além das razões supramencionadas, também foi possível detetar outra dificuldade na simulação deste sistema construtivo que se prende com o facto de ser necessário inserir dados que permitam ter em conta um sistema de rega.

Por outro lado, Carlos, defende ser plausível adaptar este modelo a jardins verticais. (Carlos, 2015).

Devido a todos estes argumentos, neste presente estudo, optou-se por fazer a simulação no programa *EnergyPlus*, considerando que se tratava de uma fachada normal, inserindo as propriedades para uma camada de terra e outra para a parede verde conforme ilustrado na Figura 18.

Field	Units	Obj25	Obj26
Name		Terra	Parede Verde
Roughness		Rough	VerySmooth
Thickness	m	0,17	0,05
Conductivity	W/m-K	0,77	0,59
Density	kg/m ³	1500	76,5
Specific Heat	J/kg-K	1840	1000
Thermal Absorptance		0,9	0,3
Solar Absorptance		0,6	0,3
Visible Absorptance		0,6	0,3

Figura 18 – Extração de características técnicas utilizadas na simulação de jardins verticais

4.1.2. Cobertura

A necessidade de isolar termicamente a cobertura de um edifício torna-se particularmente evidente ao se verificar que este, de todos os elementos da envolvente, é aquele que se encontra mais exposto, tanto no Inverno, estação de aquecimento, como especialmente no Verão, estação de arrefecimento. Enquanto no Verão se pretende evitar o seu sobreaquecimento e a transmissão de calor para o interior do edifício, no Inverno é necessário minimizar as perdas de calor para o exterior.

Assim, quanto maior for a diferença de temperatura entre exterior e interior, maior será o fluxo de calor que tende a atravessar a cobertura e maiores serão os ganhos de calor, precisamente na estação em que se pretende evitá-los. Um isolamento térmico adequado e corretamente aplicado, diminui drasticamente aquele fluxo de calor e, conseqüentemente, consegue-se uma enorme diminuição dos ganhos de calor.

Relativamente às coberturas inclinadas, consideram-se dois procedimentos de reforço de isolamento: isolamento da esteira horizontal e isolamento das vertentes inclinadas. A priori, no caso de se tratar de um desvão não habitável, é mais benéfico isolar a esteira horizontal uma vez que assim se evita de isolar um espaço não habitável. No entanto, no presente estudo, estudar-se-ão ambos os procedimentos, de modo a saber definitivamente qual o mais benéfico.

No que diz respeito às coberturas horizontais existem três maneiras distintas de isolamento térmico que se distinguem pela posição relativa do mesmo: isolamento térmico superior, intermédio e inferior.

O modo mais aconselhável é o isolamento térmico superior em sistema de cobertura invertida, uma vez que permite aumentar a vida útil da impermeabilização ao protegê-la de amplitudes

térmicas significativas, além de que, aquando a sua aplicação em reabilitação, permite aproveitar a impermeabilização já existente, caso esta se encontre em bom estado (Anselmo and Nascimento, 2004).

Na presente dissertação, não se avaliaram coberturas horizontais, uma vez que no caso de estudo a cobertura existente é do tipo inclinada.

A título meramente exemplificativo, apresenta-se, na Figura 19, a constituição tipo do sistema de cobertura invertida.

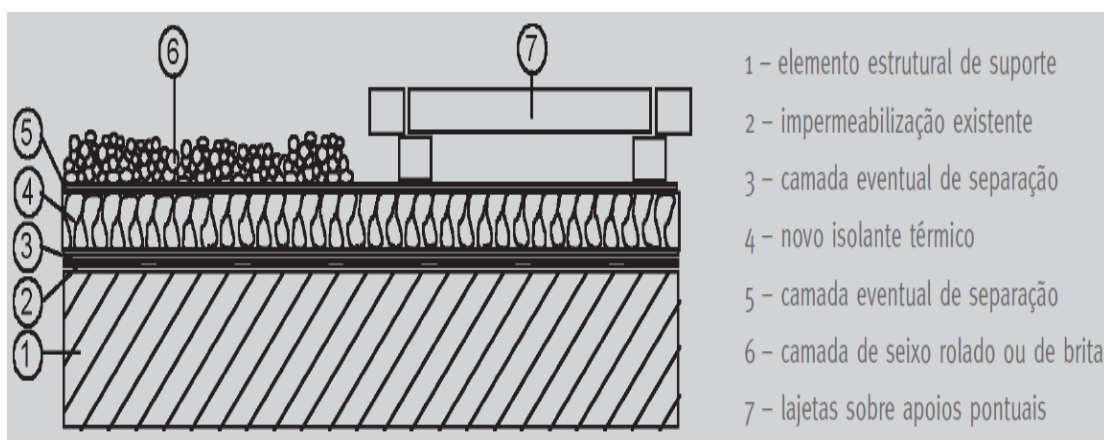


Figura 19 - Constituição tipo recorrendo à solução cobertura invertida (Anselmo and Nascimento, 2004)

4.1.2.1. Isolamento da esteira horizontal

No caso do isolamento da esteira horizontal, existem duas posições possíveis para o isolamento térmico: por cima da laje ou por baixo formando um teto falso.

Isolar a esteira horizontal na face superior apresenta as seguintes vantagens: (Anselmo and Nascimento, 2004; Minho, 2017)

- É possível tirar proveito da inércia térmica da laje;
- A priori é mais barato do que soluções com isolamento na cobertura inclinada, uma vez que necessita de menos material e mão-de-obra;
- Fácil aplicação;

- Quando se trata de um desvão não habitável na estação fria não é necessária energia para o seu aquecimento;
- Quando se trata de um desvão não habitável e não acessível, não necessita de nenhuma estrutura de proteção ao isolamento.

No entanto também apresenta algumas limitações:

- No caso de o desvão ser acessível, é necessário implementar uma estrutura de proteção do isolamento térmico, conforme ilustrado na Figura 20, de modo a evitar que este se danifique.

Na Figura 20 representa-se o esquema da aplicação de isolamento térmico na parte superior da esteira horizontal de três modos possíveis.

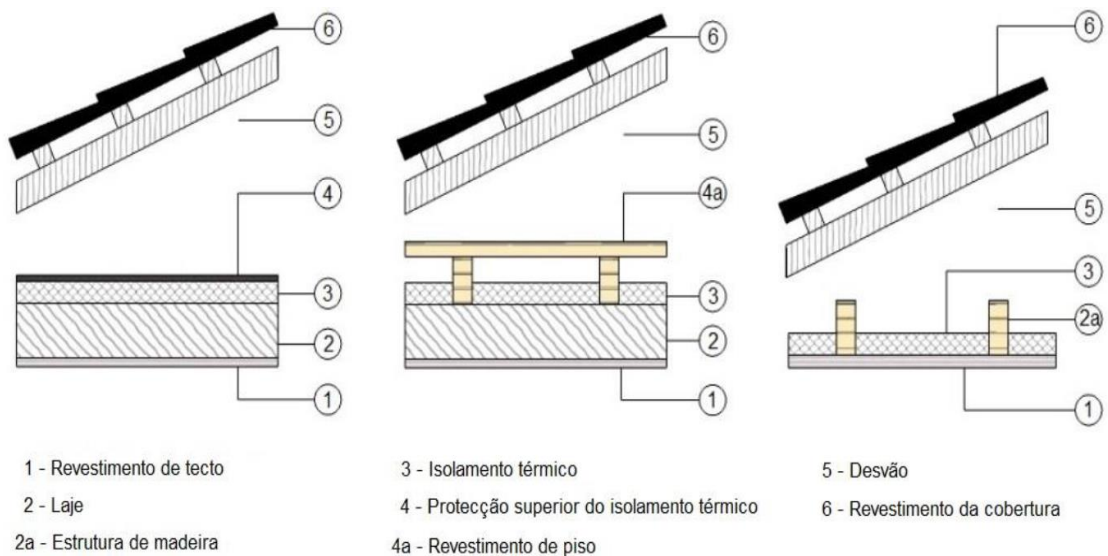


Figura 20 - Aplicação de isolamento na esteira horizontal (Anselmo and Nascimento, 2004)

No que diz respeito à colocação de isolamento térmico no lado inferior da esteira horizontal, este sistema apresenta as seguintes vantagens (Minho, 2017) :

- Fácil manutenção;
- Pode ser realizado quando o proprietário entender;
- Permite criar um “teto falso” onde é possível embutir a iluminação, otimizando a sua distribuição escondendo os fios elétricos.

No entanto também apresenta alguns inconvenientes (Minho, 2017) :

- Menor inércia térmica;
- Redução do pé direito;
- Maior incómodo para os ocupantes.

4.1.2.2. Isolamento na vertente inclinada

Este tipo de solução deve ser aplicado em situações que o desvão seja habitável, ou então quando há necessidade de intervir na vertente inclinada, por alguma razão, e esta ainda não possua qualquer tipo de isolamento.

Neste sistema, é possível colocar o isolamento térmico na face superior ou na inferior da vertente inclinada recorrendo a simples materiais de isolamento ou então, no caso de se optar por isolar a face superior, a painéis isolantes como por exemplo o denominado “painel sandwich”.

Na Figura 21, apresenta-se um esquema de aplicação do isolamento térmico na vertente inclinada.

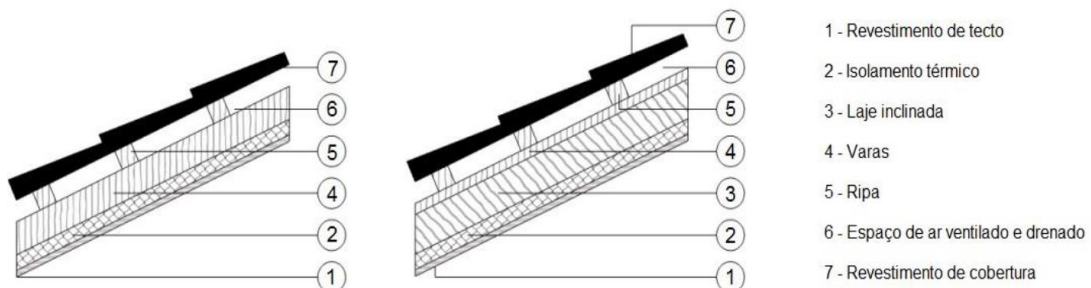


Figura 21 - Aplicação de isolamento na vertente inclinada (Paiva et al., 2006)

No que diz respeito ao isolamento na face superior, este apresenta as seguintes vantagens (Minho, 2017) :

- Maior inércia térmica;
- Estrutura protegida das variações de temperatura;

No entanto, apresenta alguns inconvenientes (Anselmo and Nascimento, 2004; Minho, 2017) :

- É necessário assegurar a existência de uma lâmina de ar de modo a evitar a degradação dos materiais e condensação do isolamento térmico;
- É essencial a proteção superior do isolante através de uma camada que impeça a passagem de água;
- Isolamento térmico fica mais exposto à humidade;
- Caso a vertente inclinada não possua um apoio contínuo, a aplicação desta solução torna-se mais dispendiosa e trabalhosa.

Importa salientar que no caso de se optar por painéis isolantes, estes apresentam algumas vantagens relativamente a aplicar apenas um material isolante, nomeadamente o facto de ser mais rápido de executar e não necessitar de um material impermeabilizante.

Relativamente ao isolamento na face inferior, este apresenta as seguintes vantagens (Minho, 2017) :

- Fácil manutenção e/ou substituição;
- Isolamento mais protegido em relação às alterações climáticas;
- Fácil aplicação;
- Não requer tantos materiais nem mão-de-obra como a solução de isolar na face superior.

4.1.2.2. Cobertura Verde

A cobertura verde consiste num sistema artificial de construção de coberturas de edifícios sobre os quais são aplicados diversos tipos de materiais, nomeadamente vegetação, que permitem o correto funcionamento do mesmo e tirar partido das suas enormes vantagens ao nível arquitetónico, estético e ambiental (Engenharianaweb, 2018).

Como se trata de um sistema em todo idêntico ao dos jardins verticais (ver subcapítulo 4.1.1.4), as vantagens e inconvenientes são comuns a ambos os sistemas.

Este sistema construtivo pode ser classificado em quatro tipologias distintas, conforme a Tabela 5.

Tabela 5 - Quatro principais tipologias de coberturas verdes (Silva, 2014)

	Tipologia			
	Extensiva	Semi-intensiva	Intensiva	Castanha
Manutenção	Baixa ou nenhuma	Média	Elevada	Nenhuma
Rega	Baixa ou nenhuma	Média	Elevada	Sem rega
Tipo de vegetação	Sedum; herbáceas; espécies de relva	Arbustos; herbáceas	Arbustos; árvores	Qualquer
Profundidade do substrato (cm)	6 até 25	12 até 40	15 até 70	6 até 25
Peso (kg/m)	60 até 150	120 até 200	180 até 500	60 até 200
Custo	Baixo	Médio	Elevado	Baixo
Utilização	Proteção e funções ecológicas	Biodiversidade; lazer	Lazer e convívio	Proteção e funções ecológicas

De seguida, na Figura 22, apresenta-se a constituição tipo de uma cobertura verde.

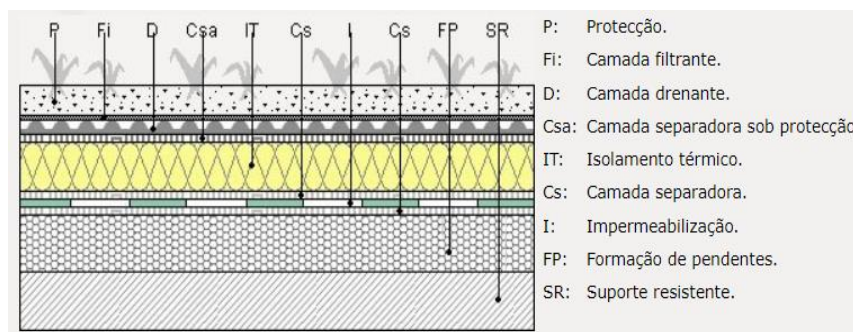


Figura 22- Constituição-tipo de uma cobertura verde (CYPE and Danosa, 2018)

4.1.3 Vãos envidraçados

Os envidraçados são responsáveis por cerca de 35% a 40% das perdas totais dos edifícios, seja na estação fria ou na estação quente (Rodrigues, 2011).

As janelas e portas com vidro simples podem provocar situações de desconforto tanto no Inverno como no Verão, devido às perdas e aos ganhos térmicos, respetivamente.

A reabilitação dos envidraçados tem em vista colmatar esses efeitos nos edifícios, através de determinadas medidas, tais como (Martins, 2013) :

- Reforço do isolamento térmico dos vãos envidraçados e redução das trocas de calor associadas às diferenças de temperatura entre o ambiente interior e exterior através da substituição de vidros simples por vidros duplos;
- Controlar as infiltrações de ar não desejadas através das juntas de caixilharia. Este controlo é possível através da implementação de caixilharias com corte térmico, reduzindo assim as perdas de calor no interior e minimizar os problemas de desconforto devido à permeabilidade da envolvente;
- Reforçar a proteção contra o excesso de radiação solar pelos envidraçados durante a estação quente, controlando os ganhos térmicos através da implementação de dispositivos proteção;
- Aplicação de envidraçados de baixa emissividade, denominados por vidros de “controlo solar”;
- Utilização de dispositivos de sombreamento mais eficazes.

A reabilitação dos envidraçados revela-se um ponto de extrema importância, uma vez que grande parte das trocas de energia entre o ambiente exterior e interior se dá através dos envidraçados.

Este tipo de reabilitação visa por um lado reforçar o isolamento térmico do edifício, a redução das infiltrações de ar não-controladas e a melhoria da ventilação natural, e por outro, o aumento da captação de ganhos solares no Inverno e o reforço da proteção da radiação solar no Verão. Contribuem, assim, não só para a redução das necessidades de consumo de energia como também para a melhoria das condições de conforto, de qualidade do ar interior e para a diminuição da possibilidade de ocorrência de fenómenos de condensação (Anselmo and Nascimento, 2004).

A reabilitação dos envidraçados pode ser conseguida através da substituição de vidros simples por duplos ou triplos, pela implementação de uma caixilharia com características que permitam a redução da permeabilidade ao ar, bem como da possibilidade de preenchimento da lâmina de ar com gases raros como o *krypton* ou o *árgon*. Assim, torna-se importante estudar as alternativas existentes no mercado.

4.1.3.1. Tipos de caixilharias e envidraçados

O material utilizado na composição das caixilharias influencia características físicas como a espessura, peso e durabilidade, mas também tem preponderância nas características térmicas das mesmas bem como no desempenho total da janela (Ferreira, 2009).

De seguida são apresentadas as propriedades dos materiais de caixilharias (Ferreira, 2009; Windows, 2018) :

- Alumínio: material duradouro, leve e que requer pouca manutenção. No entanto apresenta uma elevada condutividade térmica, e em climas frios, uma caixilharia simples pode conduzir facilmente à condensação de humidade ou formação de gelo;
- Alumínio com corte térmico: apresenta benefícios ao nível do conforto e da economia. A condução de calor é reduzida através da ruptura térmica da caixilharia, promovendo assim uma redução da transmissão térmica;
- Madeira: aparência tradicional e excelente desempenho térmico. No entanto, o prazo de longevidade é limitado pela suscetibilidade ao apodrecimento e empeno, o que requer uma manutenção mais cuidada e contínua. A caixilharia em madeira lamelada colada garante prestações superiores no que diz respeito à durabilidade e desempenho térmico;
- Madeira composta: o pano exterior da caixilharia é revestido por PVC ou alumínio, constituindo uma superfície resistente durante o tempo de vida útil. Reduz os custos de manutenção relativamente à caixilharia tradicional de madeira e mantém uma aparência atrativa no interior;
- PVC: Comparativamente às caixilharias tradicionais, apresenta um melhor isolamento térmico e acústico e estanquidade perfeita. A resistência do material cria vantagens ao nível da longevidade e não exige necessidade de conservação. Os últimos avanços neste tipo de material, permitiram criar estabilidade dimensional e resistência à degradação causada pelo sol e temperaturas extremas;
- PVC termicamente melhorado: o preenchimento das cavidades ocas da caixilharia permite melhorar o desempenho térmico das mesmas;
- Híbrido: Proporciona menores custos, no entanto a diversidade de materiais utilizados na sua composição dificulta estimar as propriedades térmicas da caixilharia.

Além do tipo de caixilharia, também é possível optar por diferentes tipos de abertura nomeadamente, oscilo-batente, batente, de correr e basculante.

No que diz respeito aos envidraçados, atualmente existe uma vasta variedade de vidros que visam melhorar o desempenho térmico do edifício sem prejudicar o aproveitamento da iluminação natural.

Geralmente, o tipo de envidraçados mais utilizados são os vidros transparentes; vidros refletantes; vidros de baixa emissividade e espectralmente seletivos.

De seguida, na Figura 23, apresenta-se um exemplo de caixilharia em alumínio.



Figura 23 - Exemplo de uma caixilharia em alumínio

4.2. Tipos de isolamentos

Atualmente, no mercado, existem variados tipos de isolamentos a aplicar a fim de melhorar o desempenho térmico do edifício.

No entanto, cada um apresenta vantagens e desvantagens, bem como especificidades que o tornam mais ou menos eficientes termicamente.

De seguida, são detalhados a maioria dos isolamentos térmicos existentes no mercado.

4.2.1. Poliestireno Expandido Moldado - EPS

O poliestireno expandido, mais conhecido por EPS, é um produto sintético proveniente do petróleo e deriva da natureza, tal como o vidro, a cerâmica e os metais. A matéria-prima deste material é o poliestireno (PS) expansível, um polímero de estireno que contém um agente

expansor e é obtido, a partir do petróleo, por meio de diversas transformações químicas (Ecocasa, 2018).

Na Figura 24 apresenta-se um exemplo de uma placa de EPS.

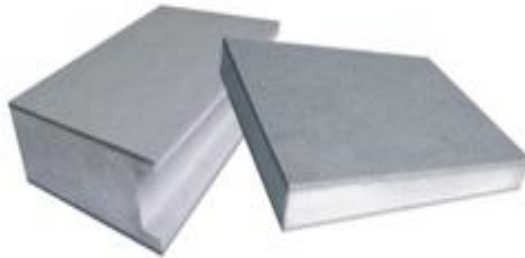


Figura 24 - Exemplo de placa em EPS (Construtor.pt, 2018)

De seguida, são enumeradas as principais vantagens e desvantagens deste material (Silva, 2013; Ecocasa, 2018; Futureng, 2018b; Majodir, 2018).

Vantagens:

- Baixo custo, sendo mesmo o material de isolamento térmico com melhor relação preço/resistência térmica;
- Fácil aplicabilidade;
- Material muito moldável;
- Extremamente leve;
- Fácil transporte;
- Baixa absorção de água;
- Compatível com a maioria dos materiais correntemente utilizados na construção;
- Resistente ao envelhecimento.

Desvantagens:

- Material frágil;
- Vulnerável a parasitas, nomeadamente ratos;
- Muito baixa resistência ao fogo, deve ser associado a um revestimento à prova de fogo;

- A radiação solar direta deteriora as características do EPS;
- Baixa contribuição para o isolamento acústico;
- Método de fabrico poluente.

4.2.2. Poliestireno Expandido Extrudido – XPS

O poliestireno extrudido, é tal como o EPS, uma espuma rígida de poliestireno, mas diferencia-se deste por ser obtida por um processo de extrusão em contínuo e por empregar outros gases expansores. Trata-se de um material homogéneo (Ecocasa, 2018).

Na Figura 25 apresenta-se um exemplo de placa em XPS.



Figura 25 - Exemplo de placa em XPS (Cruz, 2018)

De seguida, são enumeradas as principais vantagens e desvantagens deste material (Painço, 2013; Silva, 2013; Fibrosom, 2015; Ecocasa, 2018):

Vantagens:

- Baixo custo;
- Fácil aplicabilidade;
- Elevada resistência mecânica - mais resistente do que o EPS;
- Não é propício ao aparecimento de bolor ou outras eflorações;
- Facilmente lavável e não é afetado por chuva, neve ou ciclo gelo-degelo;
- Leveza e facilidade de transporte;

- Boa permeabilidade ao vapor de água.

Desvantagens:

- Baixa resistência ao fogo;
- Sofre grandes alterações dimensionais irreversíveis quando exposto a altas temperaturas por um longo período;
- Baixa contribuição para o isolamento acústico;
- Material com elevada energia incorporada.

4.2.3. Lã de Rocha

A lã de rocha provém de fibras minerais de rochas vulcânicas, entre elas o basalto e o calcário. Estas fibras são de utilização bastante antiga, uma vez que eram utilizadas pelos nativos das ilhas havaianas na cobertura de moradias a fim de proteger contra as variações temporais (Naia, 2012).

Na Figura 26 apresenta-se um exemplo de painel isolante em lã de rocha.



Figura 26 - Exemplo de painel isolante em lã de rocha (Sotecnico1, 2018)

De seguida, são inumeradas as principais vantagens e desvantagens deste material (Silva, 2013; Ecocasa, 2018):

Vantagens:

- Incombustível;
- Não retém água devido à sua estrutura não capilar;
- Excelente resistência mecânica ao fogo;

- Excelente material de isolamento acústico.

Desvantagens:

- Recurso não-renovável;
- Danos mecânicos e desempenho térmico na presença de humidade;

4.2.4. Aglomerado de cortiça expandida - ICB

O aglomerado de cortiça expandida, deriva da cortiça, uma matéria-prima totalmente natural e renovável cuja extração da árvore se enquadra no seu ciclo de vida.

Na Figura 27 apresenta-se um exemplo de painel isolante em ICB.



Figura 27 - Exemplo de painel isolante em ICB (CYPE, 2018b)

De seguida, são enumeradas as principais vantagens e desvantagens deste material. (Amorim, 2018).

Vantagens:

- Produto 100% natural;
- Isolamento acústico, térmico e antivibrático;
- Permeável ao vapor de água;
- Produto reciclável e reutilizável;
- Excelente resistência mecânica;
- Não atacável a roedores;

- Suporta temperaturas entre os -180°C e 120°C ;
- Em caso de incêndio, não liberta gases tóxicos.

Desvantagens:

- Baixa resistência ao fogo;
- Menor condutibilidade térmica;
- Preço.

4.2.5. Polissocianurato (PIR)

O polissocianurato trata-se de um plástico termo fixo, obtido através de uma reação entre dois ou mais componentes, resultando numa espuma rígida.

Na Figura 28 apresenta-se um exemplo de painel isolante em PIR.

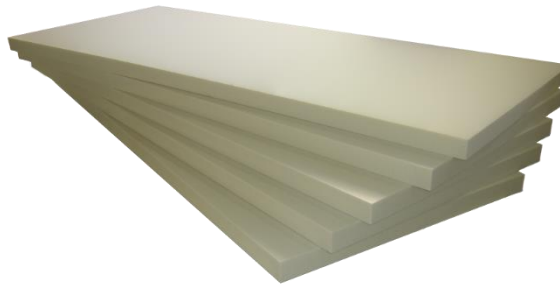


Figura 28 - Exemplo de placa isolante em PIR (Bulltrade, 2015)

De seguida, são enumeradas as principais vantagens e desvantagens deste material (VIERO, 2011; Impermachado, 2014; Imperialum, 2018):

Vantagens:

- Excelente estabilidade dimensional o que evita o aparecimento de fissuras e deformações;
- Excelente resistência mecânica;
- Facilidade de aplicação e boa aderência;

- Índice de condutibilidade térmica muito baixo;
- Não contém CFC's;
- Leveza: cerca de 97% do volume das placas é composto por gás;
- Excelente comportamento ao fogo;
- Resistente à água e humidade.

Desvantagens:

- Elevado custo ambiental e a libertação de CO₂ em obra, que inviabiliza a sua colocação em obras já fechadas;
- Caro;
- Baixa contribuição para o isolamento acústico;

4.2.5. EPS grafitado

A adição de pó grafitado com as matérias-primas de uma placa EPS normal, melhora o desempenho térmico da placa. Este tipo de placas possui uns cortes, conforme ilustra a Figura 29, que a diferencia de uma placa EPS convencional.

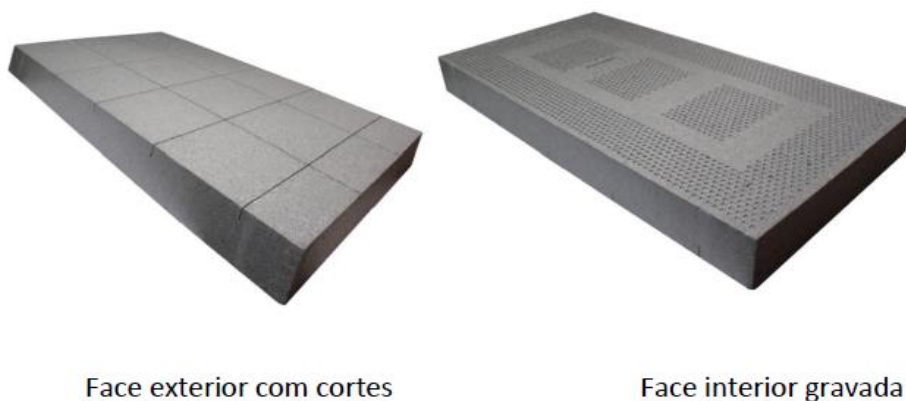


Figura 29 – Exemplo de placa EPS grafitado (FassaBortolo, 2018b)

Relativamente ao EPS normal, estas placas grafitados apresentam as seguintes vantagens (FassaBortolo, 2018b):

- Índice de condutibilidade térmica menor devido à adição de pó de grafite com matérias-primas;
- A placa de cor cinza prata, tem cortes em cruz no lado exterior, para absorver as tensões, onde será efetuado o barramento armado.
- Melhor estabilidade dimensional e menores tensões induzidas pelos ciclos térmicos, devido a estes cortes;
- Graças a uma superfície de gravada em relevo com desenho regular, sobre a face interior, torna intuitivo o modo de colagem e aumenta a superfície útil para a adesão do adesivo.

No que diz respeito aos inconvenientes, estes são os mesmos que uma placa de EPS normal. No entanto apresenta a limitação de ser apenas aplicada em sistema ETICS.

4.2.6. Reboco térmico

Trata-se de uma argamassa pré-doseada reforçada com fibras naturais, composto por cortiça ou granulado de EPS, argila não expansiva, terra diatómica e cal hidráulica. Reboco pronto a usar para isolamentos térmicos exteriores e desumidificações em interiores e exteriores. É um reboco completamente natural e ideal quando a utilização de materiais ecológicos é exigida (Diasen, 2018)

De seguida, apresentam-se as vantagens e desvantagens associadas a este reboco térmico (Diasen, 2018).

Vantagens:

- Altamente permeável;
- Isolamento contra o frio e o calor;
- Resistente ao fogo;
- Ecológico;
- Não fissura entre as paredes e os elementos estruturais.

Desvantagens:

- Só pode ser aplicado por camadas, de 2 em 2 cm;
- Cada camada só pode ser aplicada quando a camada anterior estiver completamente seca (aproximadamente 24h).

4.3. Soluções adotadas

Neste subcapítulo pormenorizam-se as soluções adotadas com indicação das características técnicas que são necessárias conhecer de modo a simular corretamente cada solução no programa *EnergyPlus*. Nomeadamente, a espessura, condutibilidade térmica, densidade e calor específico.

4.3.1. Fachadas

4.3.1.1. Sistema ETICS

De seguida, na Figura 30 pormenoriza-se a solução construtiva referente ao sistema ETICS.

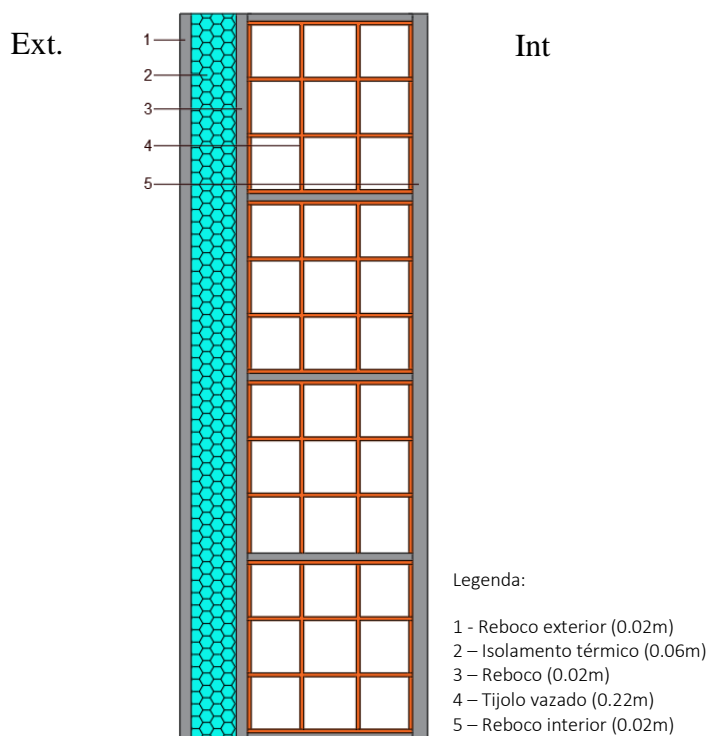


Figura 30 - Pormenor construtivo referente à solução construtiva ETICS

Na tabela seguinte, apresenta-se a constituição respeitante à Figura 30, bem como as respetivas características técnicas.

Tabela 6 - Constituição e características técnicas referentes à solução ETICS (FassaBortolo, 2018a; Viero, 2018a)

Material	Cond. Térmica (W/m.K)	Densidade (Kg/m ³)	Calor específico (J/kg.K)	Espessura (m)
Reboco exterior	0,490	1390	1046	0,015
EPS 100	0,036	21	1450	0,060
Argamassa colagem	0,490	1390	1046	0,015
Tijolo 22	0,380	633	920	0,220
Reboco interior	1,800	1800	1000	0,020

Na Tabela 7 apresentam-se os restantes tipos de isolamentos utilizados neste sistema construtivo, bem como as respetivas características.

Tabela 7 - Outros isolamentos térmicos utilizados no sistema ETICS e respetivas características (Mendonça, 2005; VIERO, 2011; Fibrosom, 2015; Diasen, 2018; FassaBortolo, 2018b; Sotecnisol, 2018)

Material	Cond. Térmica (W/m.K)	Densidade (Kg/m ³)	Calor específico (J/kg.K)	Espessura (m)
XPS	0,035	30	1300	0,060
Lã de rocha	0,035	165	840	0,060
ICB	0,040	130	170	0,060
PIR	0,023	35	1400	0,060
EPS grafitado	0,031	20.5	1450	0,060
Reboco térmico	0,045	370	991.85	0,060

4.3.1.2. Sistema de fachada ventilada

De seguida, na Figura 31 pormenoriza-se a solução construtiva referente ao sistema fachada ventilada.

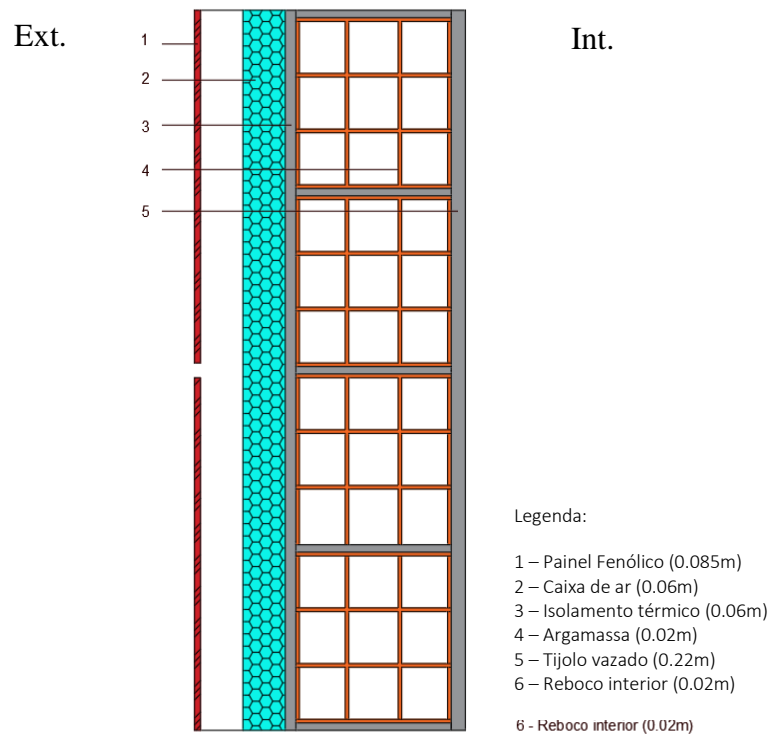


Figura 31 - Pormenor construtivo referente à solução construtiva fachada ventilada

Como já foi referido anteriormente, na seção 4.1.1.2, na fachada ventilada existe uma enorme variedade de revestimentos exteriores. No entanto, no presente estudo, optou-se por estudar apenas o painel fenólico uma vez que os objetivos do mesmo se prendem com o impacto que cada solução tem no desempenho energético, social e económico do edifício, considera-se que a utilização de diferentes revestimentos não iria ter uma influência significativa nos aspetos em estudo. Além de que se trata de um revestimento aplicado frequentemente neste tipo de soluções.

Na Tabela seguinte, Tabela 8, apresenta-se a constituição respeitante à Figura 31, bem como as respetivas características técnicas.

Tabela 8 - Constituição e características técnicas referentes à solução Fachada ventilada (Mendonça, 2005; Cedral, 2013; Despacho nº15793-K/2013; FassaBortolo, 2018a; Jular, 2018)

Material	Cond. Térmica (W/m.K)	Densidade (Kg/m ³)	Calor específico (J/kg.K)	Espessura (m)	Resistência térmica (m ² .C/W)
Painel fenólico	0,212	1450	1040	0,0085	-
Caixa-de-ar	-	-	-	-	0,18
EPS	0,036	21	1450	0,060	-
Argamassa	1,80	1800	1000	0,015	-
Tijolo 22	0,380	633	920	0,220	-
Reboco interior	1,80	1800	1000	0,020	-

Nota: Como não se encontrava o valor do calor específico do painel fenólico, adotou-se o valor do PVC por ser um material semelhante.

De seguida, na Tabela 9 apresentam-se os restantes tipos de isolamentos utilizados neste sistema construtivo, bem como as respetivas características. É de salientar que estes isolamentos térmicos e respetivos valores para as características técnicas foram utilizados em todas as soluções construtivas apresentadas daqui em diante.

Tabela 9 - Outros isolamentos térmicos utilizados no sistema Fachada ventilada e respetivas características (VIERO, 2011; Fibrosom, 2015; Sotecnisol, 2018)

Material	Cond. Térmica (W/m.K)	Densidade (Kg/m ³)	Calor específico (J/kg.K)	Espessura (m)
XPS	0,035	30	1300	0,060
Lã de rocha	0,035	165	840	0,060
ICB	0,040	130	170	0,060
PIR	0,023	35	1400	0,060

4.3.1.3. Sistema parede dupla

Neste caso, além de se estudarem os vários tipos de isolamento térmico também se estudou a influência de se optar por um pano de alvenaria exterior em tijolo cerâmico ou bloco térmico, bem como a implementação de um painel fachada. Este painel isolante substitui a alvenaria exterior e o isolamento térmico representados na Figura 32.

De seguida, na Figura 32, pormenoriza-se a solução construtiva referente à solução construtiva de parede dupla.

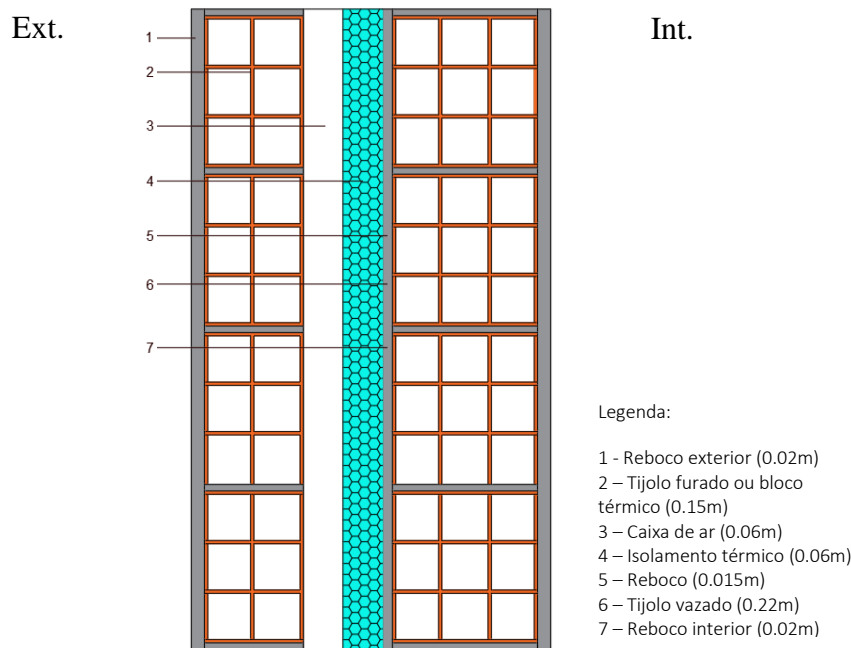


Figura 32 - Pormenor construtivo referente à solução construtiva parede dupla

Na Tabela 10, apresenta-se a constituição respeitante à figura anterior, bem como as respetivas características técnicas. Apresenta-se também, as características relativas ao bloco térmico.

Tabela 10 - Constituição e características técnicas referentes à solução parede dupla (Mendonça, 2005; Despacho nº15793-K/2013; MundiPerfil, 2015; Preceram, 2017; FassaBortolo, 2018a)

Material	Cond. Térmica (W/m.K)	Densidade (Kg/m ³)	Calor específico (J/kg.K)	Espessura (m)	Resistência térmica (m ² .C/W)
Reboco exterior	1,800	1800	1000	0,020	-
Tijolo furado 15	0,360	645	920	0,150	-
Caixa-de-ar	-	-	-	-	0,180
EPS	0,036	21	1450	0,060	-
Argamassa	1,80	1800	1000	0,015	-
Tijolo furado 22	0,380	633	920	0,220	-
Reboco interior	1,80	1800	1000	0,020	-
Bloco térmico	0,183	754	1055	0,150	-
Painel Fachada	0,0228	40	1045	0,060	-

4.3.1.4. Sistema isolamento pelo interior

De seguida, na Figura 33, pormenoriza-se a solução construtiva referente à solução construtiva de isolamento pelo interior com contra-fachada em alvenaria.

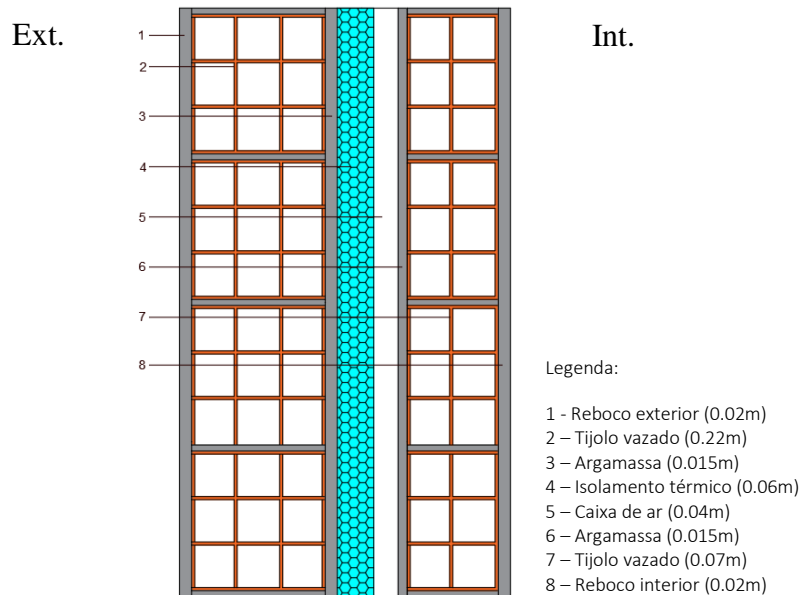


Figura 33 - Pormenor construtivo referente à solução construtiva isolamento pelo interior com contra-fachada em alvenaria

Na Tabela 11, apresenta-se a constituição respeitante à figura anterior, bem como as respetivas características técnicas.

Tabela 11 - Constituição e características técnicas referentes à solução isolamento pelo interior com contra fachada em alvenaria (Mendonça, 2005; Despacho nº 15793-K/2013; Preceram, 2017; FassaBortolo, 2018a)

Material	Cond. Térmica (W/m.K)	Densidade (Kg/m ³)	Calor específico (J/kg.K)	Espessura (m)	Resistência térmica (m ² .C/W)
Reboco exterior	1,800	1800	1000	0,020	-
Tijolo furado 22	0,380	633	920	0,220	-
Argamassa	1,800	1800	1000	0,015	-
EPS	0,036	21	1450	0,060	-
Caixa-de-ar	-	-	-	-	0,180
Argamassa	1,800	1800	1000	0,015	-
Tijolo furado 7	0,280	754	920	0,070	-
Reboco interior	1,800	1800	1000	0,020	-

Na Figura 34, pormenoriza-se a solução construtiva referente à solução construtiva de isolamento pelo interior com contra-fachada em gesso cartonado.

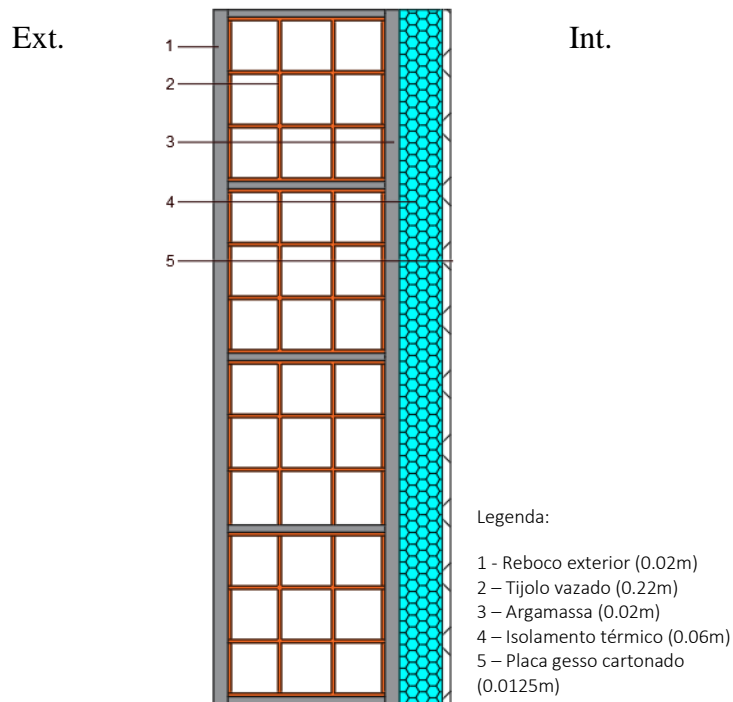


Figura 34 - Pormenor construtivo referente à solução construtiva isolamento pelo interior com contra fachada em gesso acartonado

Na Tabela 12, apresenta-se a constituição respeitante à figura anterior, bem como as respetivas características técnicas.

Tabela 12 - Constituição e características técnicas referentes à solução isolamento pelo interior com contra fachada em gesso cartonado (Mendonça, 2005; FassaBortolo, 2018a; Gyptec, 2018)

Material	Cond. Térmica (W/m.K)	Densidade (Kg/m ³)	Calor específico (J/kg.K)	Espessura (m)
Reboco exterior	1,800	1800	1000	0,020
Tijolo furado 22	0,380	633	920	0,220
Argamassa	1,800	1800	1000	0,015
EPS	0,036	21	1450	0,060
Placa gesso cartonado	0,100	568	1210	0,0125

4.3.1.4. Sistema jardim vertical

De seguida, na Figura 35, pormenoriza-se a solução construtiva referente à solução construtiva jardim vertical – “fachada verde”.

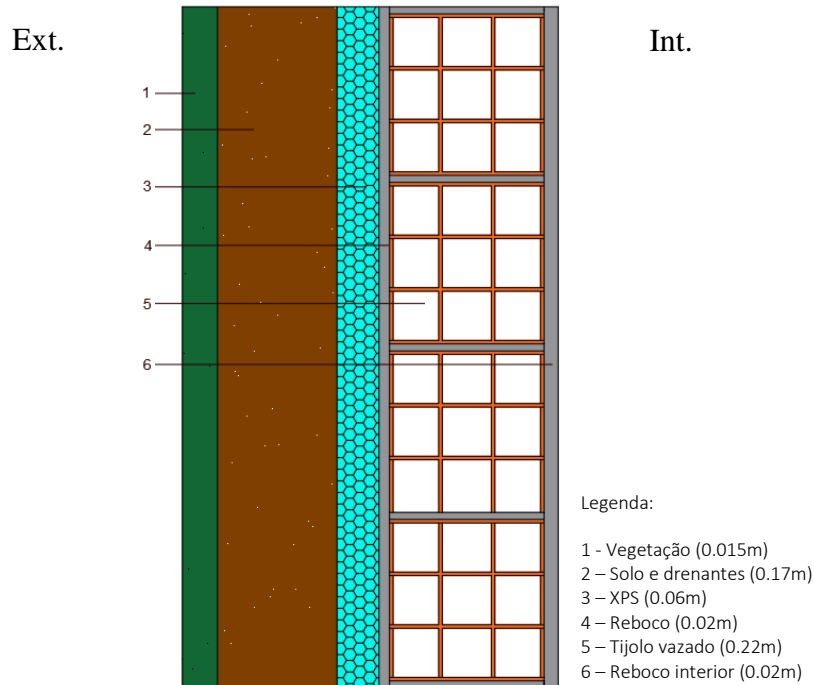


Figura 35- Pormenor construtivo referente à solução construtiva jardim vertical

No que diz respeito às características dos materiais, estas já foram explicadas no subcapítulo 4.1.1.4 na Figura 18. Quanto aos valores do XPS, tijolo furado e reboco interior são os mesmos já utilizados em soluções anteriores.

4.3.2. Coberturas

A cobertura do edifício é composta por uma laje de esteira e uma estrutura de cobertura inclinada, definindo um telhado de quatro águas, criando entre estas, um desvão não habitável.

A laje de esteira é aligeirada, revestida por reboco tradicional e uma camada de betonilha. A estrutura inclinada é constituída por uma camada de regularização, uma laje aligeirada, uma camada de betonilha e revestida por telha cerâmica.

4.3.2.1. Isolamento na vertente inclinada

Como foi referido atrás, no subcapítulo 4.1.2.2, no caso de isolar a vertente inclinada na face superior, é necessário assegurar que o material de isolamento térmico fica protegido da água. Neste estudo, optou-se, para este efeito, pela subtelha uma vez que é um material que facilita a pendente da água e muito leve. É um elemento flexível que se adapta a qualquer estrutura já existente e permite uma pequena poupança no número de telhas.

Na Figura 36, pormenoriza-se a solução construtiva referente ao isolamento da cobertura recorrendo ao isolamento na vertente inclinada, na face superior.

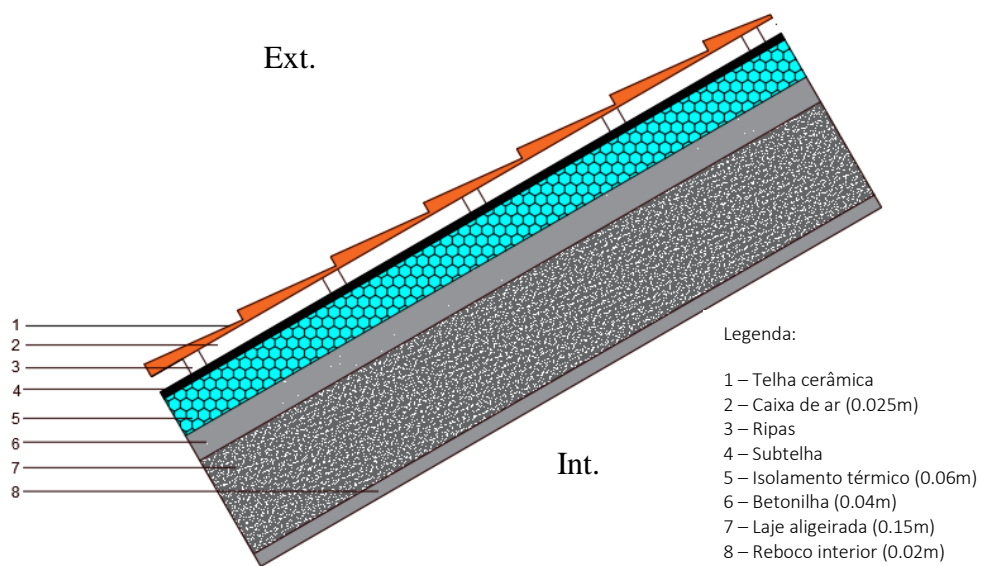


Figura 36 - Pormenor construtivo referente à solução construtiva isolamento na vertente inclinada na face superior

Na Tabela 13, apresenta-se a constituição respeitante à figura anterior, bem como as respetivas características técnicas.

Tabela 13 - Constituição e características técnicas referente à solução isolamento na vertente inclinada (Despacho nº15793-K/2013; FassaBortolo, 2018a)

Material	Cond. Térmica (W/m.K)	Densidade (Kg/m ³)	Calor específico (J/kg.K)	Espessura (m)	Resistência térmica (m ² .C/W)
Telha cerâmica	0,690	1700	800	0,010	-
EPS	0,036	21	1450	0,060	-
Caixa de ar	-	-	-	-	0,160
Betonilha	1,300	2000	1000	0,040	-

Laje aligeirada	1,150	1333	1000	0,150	-
Reboco interior	1.,800	1800	1000	0,020	-

Na Figura 37, pormenoriza-se a solução construtiva referente ao isolamento da cobertura recorrendo ao isolamento na vertente inclinada, na face inferior.

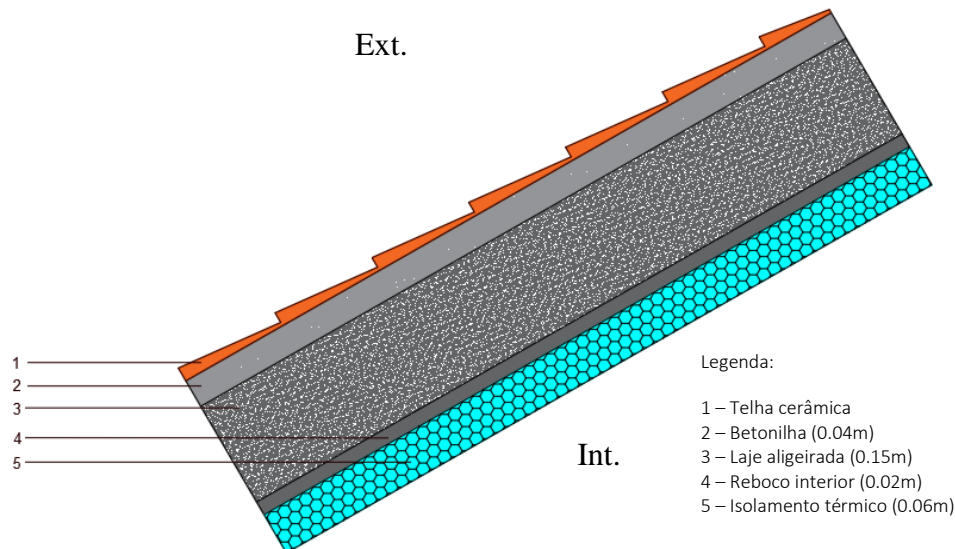


Figura 37 - Pormenor construtivo referente à solução construtiva isolamento na vertente vertical na face inferior

No quadro seguinte, apresenta-se a constituição respeitante à figura anterior, bem como as respetivas características técnicas.

Tabela 14 - Constituição e características técnicas referente à solução isolamento na vertente inclinada na face inferior (FassaBortolo, 2018a)

Material	Cond. Térmica (W/m.K)	Densidade (Kg/m ³)	Calor específico (J/kg.K)	Espessura (m)
Telha cerâmica	0,690	1700	800	0,010
Betonilha	1,300	2000	1000	0,040
Laje aligeirada	1,150	1333	1000	0,150
Reboco interior	1,800	1800	1000	0,020
EPS	0,036	21	1450	0,060

4.3.2.1.1 Painel isolante

Na Figura 38, pormenoriza-se a solução construtiva referente ao isolamento da cobertura recorrendo a painéis “sandwich”.

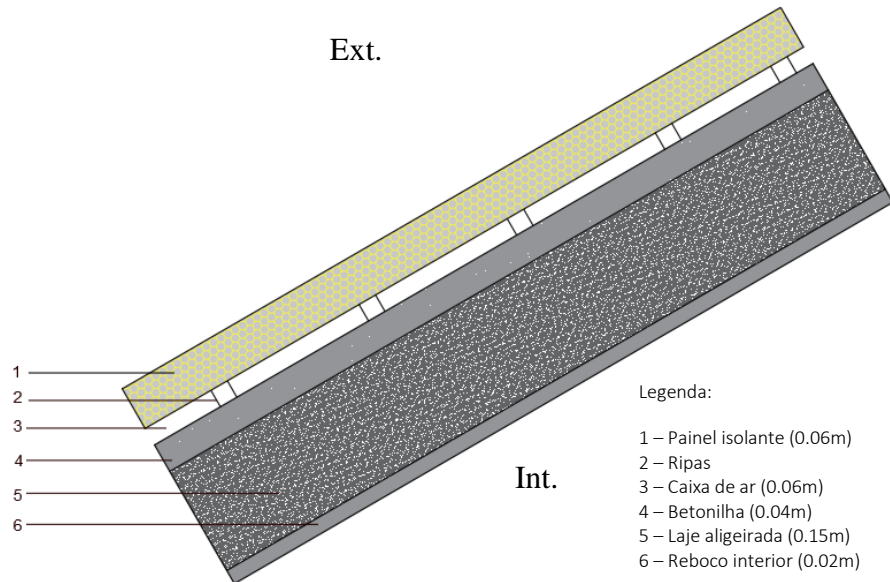


Figura 38 - Pormenor construtivo referente à solução construtiva painel “sandwich”

Na Tabela 15, apresenta-se a constituição respeitante à figura anterior, bem como as respetivas características técnicas. Apresentam-se também as características técnicas referentes ao painel de isolamento em chapa. É de referir que nesta solução de isolamento da cobertura, foi a única exceção em que não se estudaram os isolamentos que constam na Tabela 9.

Tabela 15 - Constituição e características técnicas referentes à solução painel sandwich (Mendonça, 2005; Despacho nº15793-K/2013; MundiPerfil, 2015)

Material	Cond. Térmica (W/m.K)	Densidade (Kg/m ³)	Calor específico (J/kg.K)	Espessura (m)	Resistência térmica (m ² .C/W)
Painel isolante	0,0168	44	1045	0,060	-
Painel isolante - Chapa	0,021	39	1400	0,060	-
Caixa-de-ar	-	-	-	-	0,160
Betonilha	1,300	2000	1000	0,040	-
Laje aligeirada	1,150	1333	1000	0,150	-
Reboco interior	1,800	1800	1000	0,020	-

Optou-se por estudar dois tipos de painéis isolantes uma vez que no primeiro caso se trata de um painel cujo revestimento permite uma imitação estética da telha, sendo que difere do segundo caso no preço e na condutibilidade térmica.

4.3.2.2. Isolamento na esteira horizontal

Na Figura 39, pormenoriza-se a solução construtiva referente ao isolamento da cobertura recorrendo ao isolamento na esteira horizontal, na face inferior.

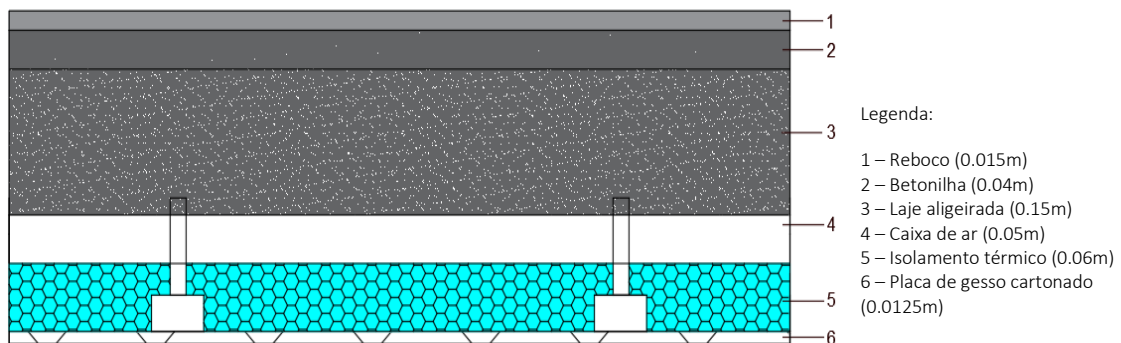


Figura 39 - Pormenor construtivo referente à solução construtiva isolamento na esteira horizontal na face inferior – teto falso

No quadro seguinte, apresenta-se a constituição respeitante à figura anterior, bem como as respetivas características técnicas.

Tabela 16 - Constituição e características técnicas referente à solução isolamento na esteira horizontal na face inferior (Despacho nº15793-K/2013; FassaBortolo, 2018a; Gyptec, 2018)

Material	Cond. Térmica (W/m.K)	Densidad e (Kg/m ³)	Calor específico (J/kg.K)	Espessura (m)	Resistência térmica (m ² .C/W)
Reboco	1,800	1800	1000	0,015	-
Betonilha	1,300	2000	1000	0,040	-
Laje aligeirada	1,150	1333	1000	0,150	-
Caixa-de-ar	-	-	-	-	0,160
EPS	0,036	21	1450	0,060	-
Placa gesso cartonado	0,100	568	1210	0,0125	-

Na Figura 40, pormenoriza-se a solução construtiva referente ao isolamento da cobertura recorrendo ao isolamento na esteira horizontal, na face superior.

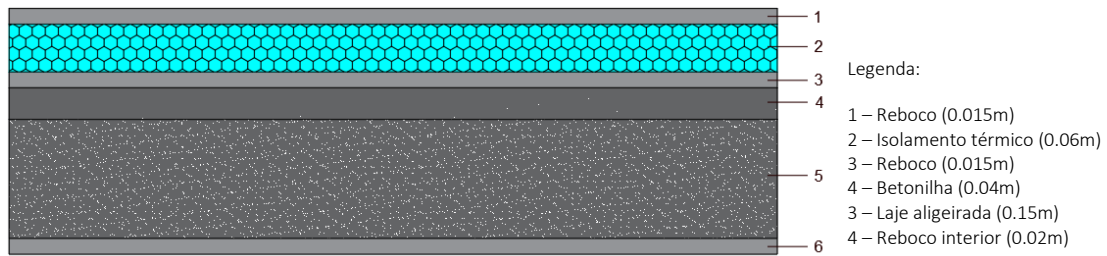


Figura 40 - Pormenor construtivo referente à solução construtiva isolamento na esteira horizontal na face superior

Na Tabela 17, apresenta-se a constituição respeitante à figura anterior, bem como as respetivas características técnicas.

Tabela 17 - Constituição e características técnicas referente à solução isolamento na esteira horizontal na face superior (FassaBortolo, 2018a)

Material	Cond. Térmica (W/m.K)	Densidade (Kg/m ³)	Calor específico (J/kg.K)	Espessura (m)
Reboco	1,800	1800	1000	0,015
EPS	0,036	21	1450	0,060
Reboco- regularização	1,800	1800	1000	0,015
Betonilha	1,300	2000	1000	0,040
Laje aligeirada	1,150	1333	1000	0,150
Reboco	1,800	1800	1000	0,015

4.3.3. Envidraçados e caixilharia

No que diz respeito aos envidraçados, foi uma das fases mais complicadas da presente dissertação, uma vez que houve bastante dificuldade em obter informação acerca de todas as características necessárias para realizar uma simulação viável. Facilmente se obtiveram informações relativas aos envidraçados. No entanto estas já englobavam a solução toda, ou seja, as características obtidas diziam respeito à solução global do vidro exterior, gás de preenchimento da lâmina de ar e vidro interior.

O software *EnergyPlus* permite simular o desempenho dos envidraçados através de um método mais simplificado que apenas requer a inserção dos dados desta forma. Contudo, o *site* de apoio

ao programa avisa sobre o facto de este método poder levar à obtenção de resultados pouco fidedignos. Foram efetuadas simulações através deste método, mas os resultados obtidos não se demonstraram credíveis.

Posteriormente, após contacto com empresas do ramo foi possível obter dados individualizados para cada elemento constituinte do vão envidraçado.

Na Tabela 18, apresenta-se as características técnicas dos envidraçados estudados nesta dissertação.

Tabela 18 - Características técnicas dos envidraçados estudados (Guardian, 2018)

Características	Vidro	Vidro	Clima Guard	Guardia n Sun	SNX
Espessura (m)	0,006	0,005	0,006	0,006	0,006
Transmitância solar em incidência normal	0,775	0,796	0,640	0,440	0,300
Refletância solar no lado exterior com incidência normal	0,071	0,072	0,270	0,350	0,370
Refletância solar no lado interior com incidência normal	0,071	0,072	0,230	0,420	0,460
Transmitância visível com incidência frontal	0,881	0,884	0,890	0,760	0,650
Refletância visível no lado exterior com incidência normal	0,080	0,080	0,050	0,140	0,090
Refletância visível no lado interior com incidência normal	0,080	0,080	0,060	0,100	0,060
Emissividade hemisférica infravermelha no lado exterior	0,840	0,840	0,030	-	-
Emissividade hemisférica infravermelha no lado exterior	0,840	0,840	-	0,010	0,010
Condutividade (W/M.K)	1	1	1	1	1

De seguida, na Tabela 19 apresentam-se as características referentes às caixilharias estudadas.

Tabela 19 - Características técnicas referentes às caixilharias (CYPE, n.d., 2018, braluminios)

	Alumínio com corte térmico	Alumínio sem corte térmico	Madeira	PVC
Conductividade (W/m ² -K)	1,55	4,10	1,43	1,3

4.4. Sistemas de climatização e produção de AQS

Na reabilitação energética de um edifício, além de se intervir na envolvente opaca e na envolvente não opaca, também é necessário implementar sistemas de climatização que permitam manter a temperatura definida como padrão de conforto dos ocupantes do edifício nas diferentes estações do ano e sistemas de produção e AQS com a finalidade de produzir energia limpa, reduzindo assim as necessidades energéticas do edifício e, conseqüentemente, tentar reduzi-las ao ponto de tornar o edifício num nZEB.

Um edifício nZEB caracteriza-se por ser um edifício com necessidades energéticas nulas ou quase nulas. Para tal, é necessário implementar sistemas de produção de energias renováveis, sendo estas utilizadas para climatização e/ou produção e AQS.

De seguida, apresentam-se os diversos tipos de climatização e produção de AQS.

4.4.1. Ar condicionado

O sistema de ar condicionado permite assegurar a regulação da temperatura, da humidade, da limpeza e distribuição do ar.

O princípio de funcionamento deste tipo de sistemas resume-se à absorção de energia (calor ou frio) de um lugar e a sua libertação noutra. Este processo requer uma unidade interior, outra exterior e tubos de cobre a ligar as duas unidades, através das quais circula um gás refrigerante que absorve a energia de uma unidade e a liberta na outra (Portal da energia, 2017).

Existem vários tipos de aparelhos de ar condicionado, nomeadamente: monobloco, portátil, *split* e *multi split*. Estes dois últimos podem, e devem, incluir a tecnologia *inverter* uma vez que esta funciona com base no princípio da bomba de calor, ou seja, o ar condicionado recupera o calor a partir do exterior, o que é possível invertendo o sentido de circulação do fluido refrigerante (Merlin, 2018).

Na escolha de um sistema de ar condicionado, é necessário ter em conta: a potência em frio, potencia em quente, taxa de desumidificação e a potência real consumida.

No edifício em estudo existe um sistema de ar condicionado, no entanto, de modo a otimizar a eficiência energética, optou-se pela sua substituição por um mais eficiente.

Optou-se assim por um sistema de ar condicionado constituído por aparelhos *split* com características *SEER*, eficiência em arrefecimento, de 5.6 e *SCOP*, eficiência de aquecimento, de 3.8.

4.4.2. Caldeira condensação

A caldeira de condensação mural a gás permite que a energia contida nos gases de combustão seja reutilizada, permitindo assim um maior rendimento.

De seguida, apresenta-se uma figura ilustrativa do sistema de funcionamento de uma caldeira convencional e de uma caldeira de condensação.

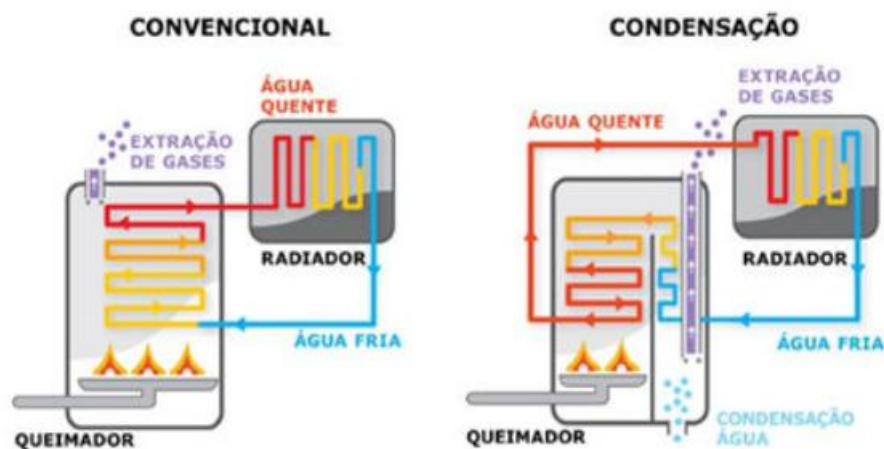


Figura 41 – caldeira convencional vs condensação ((ATD-RM, 2018)

Este sistema permite produção de energia para AQS e aquecimento ambiente.

O rendimento do sistema em estudo é de 93%.

4.4.3. Bomba de calor

Uma bomba de calor tem um modo de funcionamento inverso ao de um frigorífico, ou seja, o calor do ar é conduzido para o interior da casa através de um sistema de aquecimento. Para

aumentar a temperatura, o vapor do líquido refrigerante é comprimido até ser suficientemente alto para o aquecimento e água quente. As calorias gratuitas presentes no ar exterior são aproveitadas por um módulo exterior, proporcionando assim a energia necessária. A água quente é armazenada num acumulador no interior do edifício.

De salientar que a bomba de calor pode ser associada a um sistema de energia renovável.

O sistema escolhido para o caso de estudo apresenta um valor de SCOP de 3.84 e de SEER de 5.50.

4.4.4. Energias renováveis

4.4.4.1. Sistema solar térmico

Os sistemas solares térmicos produzem energia, uma vez que apresentam como função transformar a energia da radiação solar incidente em energia térmica, sendo possível transferir o calor produzido para um fluido.

Podem ser divididos em dois tipos, circulação natural, termossifão e de circulação forçada.

O sistema de termossifão caracteriza-se por a circulação do fluido térmico ser feita por convecção natural e o acumulador se encontrar anexado ao painel. O seu funcionamento baseia-se na diferença de densidade do fluido de transferência. A radiação solar incide sobre a cobertura do painel solar, penetrando no seu interior, transferindo assim o calor para o fluido térmico que circula pela tubagem interna do painel. Ao aquecer o fluido, este torna-se menos denso provocando a sua subida do painel para o depósito de água. A água mais fria, menos densa, desloca-se para a entrada do coletor reiniciando-se assim um novo ciclo. O caudal de circulação aumenta com o aumento da intensidade de radiação solar. (Mexa, 2011).

Este tipo de sistema apresenta algumas vantagens, nomeadamente (Mexa, 2011):

- Funciona sem qualquer tipo de bomba circulador;
- Não consome energia elétrica;
- É mais fiável e tem um tempo de vida útil superior aos sistemas de circulação forçada.

No entanto, o facto de o depósito ter de ficar obrigatoriamente a uma cota superior ao coletor, torna-o um sistema relativamente alto, o que pode originar problemas estéticos. Além disso, águas muito ácidas provocam incrustações no depósito (Mexa, 2011).

De seguida, apresenta-se uma figura ilustrativa de um sistema solar térmico termossifão.

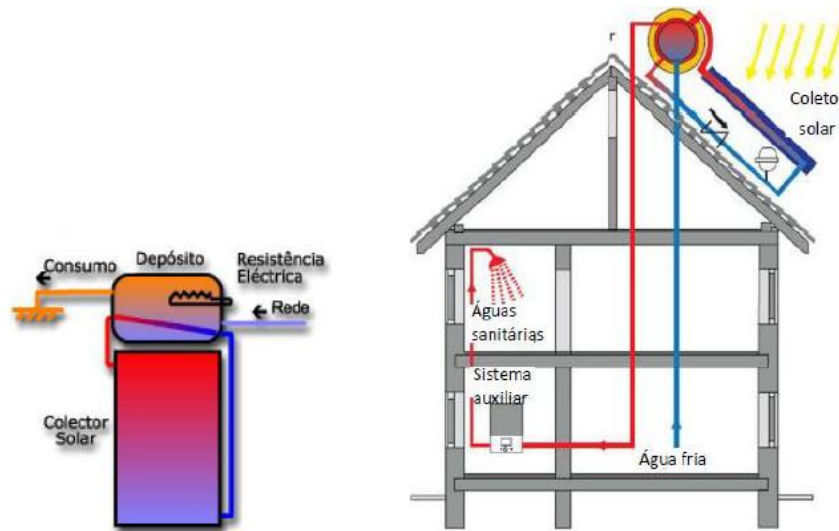


Figura 42 - Sistema solar térmico termossifão (Sampaio, 2010)

Por outro lado, o sistema de circulação forçada caracteriza-se pelo fluido térmico circular por ação de um sistema de bombagem controlado por um sistema de regulação eletrónico. A radiação solar provoca um aumento da temperatura do painel até ser garantido um determinado diferencial de temperatura entre este e o acumulador, assim o sistema de controlo dará indicação ao circulado para colocar o fluido térmico em movimento. Quando for atingido um determinado diferencial mínimo, o sistema de controlo dará indicação ao sistema de bombagem para interromper a circulação do fluido térmico (SunEnergy, 2018).

Uma vez que a circulação do fluido é realizada por intermédio de uma bomba, deixa de ser necessário ter o depósito junto ao coletor, podendo localizar-se no interior do edifício e podendo, também, usufruir de mecanismos mais eficazes para evitar o sobreaquecimento ou o congelamento (Mexa, 2011).

A circulação do fluido pode dar-se através de um sistema direto ou indireto.

De seguida, apresenta-se uma figura ilustrativa de um sistema solar térmico de circulação forçada.

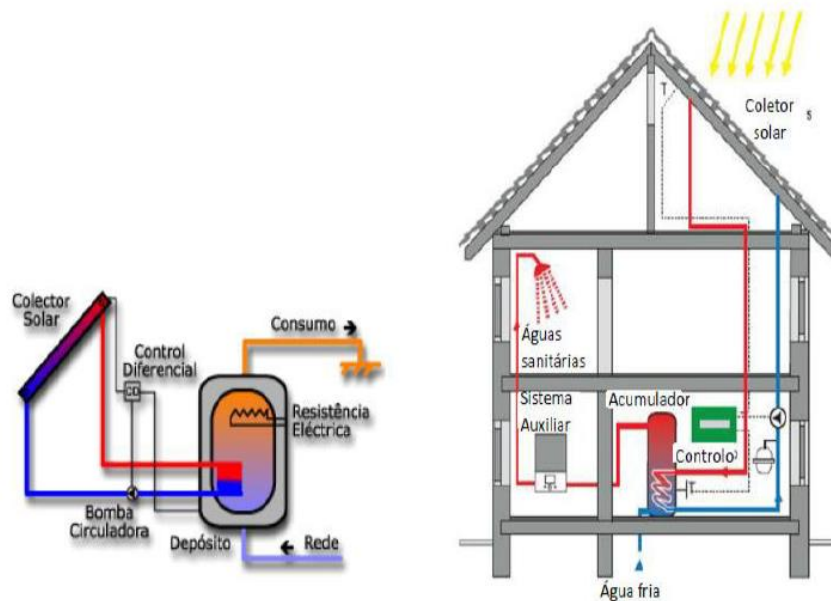


Figura 43 - Sistema solar térmico circulação forçada (Sampaio, 2010)

No presente caso de estudo, optou-se por um kit solar térmico de circulação natural, com uma produção de 1183 kWh.ano.

4.4.4.2. Sistema solar fotovoltaico

Os painéis solares fotovoltaicos são dispositivos que convertem a energia da luz do Sol em energia elétrica, essa energia é captada através de células fotoelétricas que compõem estes painéis. Estas células geralmente são denominadas de células fotovoltaicas por criarem uma diferença de potencial elétrico por ação da luz. As células solares contam com o efeito fotovoltaico para absorver a energia do sol e fazer a corrente elétrica fluir entre as duas camadas com cargas opostas. Estas células são ligadas em serie para formarem um painel solar fotovoltaico (cbbs energia, 2018).

Este sistema apresenta diversas vantagens, nomeadamente (Isolini *et al.*, 2008):

- Alta fiabilidade;
- Adaptabilidade dos módulos – os sistemas podem ser dimensionados para aplicações com diferentes gamas de potência;
- A energia gerada durante as horas de radiação pode ser armazenada em baterias para o seu aproveitamento nas horas de inexistência de insolação;

- Trata-se de uma energia renovável, logo apresenta vantagens ambientais, uma vez que o seu produto final é não poluente, silencioso e não perturba o ambiente.

No entanto apresenta, também, alguns inconvenientes (Isolini *et al.*, 2008):

- Custo de investimento inicial elevado;
- O rendimento de conversão do módulo é reduzido em comparação com o custo de investimento inicial do sistema;
- Quando é necessário proceder ao armazenamento de energia sob a forma química, baterias, o custo do sistema fotovoltaico torna-se ainda mais elevado.

Existem dois tipos de sistemas fotovoltaicos, autónomos ou ligados à rede. Um sistema autónomo tem a funcionalidade de assegurar, através de meios próprios, o fornecimento de energia necessária sem a necessidade de utilizar energia elétrica nacional. Este sistema é composto por um kit, que além do painel fotovoltaico necessita de baterias, controlador de carga e um inversor.

O sistema adotado no presente caso de estudo diz respeito a um sistema de autoconsumo composto por seis *kit's* com 250 Wp cada um, produzindo no total 2200 kWh/ano (DAPE, 2018)

De seguida, apresenta-se uma figura ilustrativa de um sistema solar fotovoltaico autónomo.



Figura 44 - Kit autoconsumo (Enat, 2018)

CAPÍTULO 5 – ANÁLISE DAS SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS

Neste capítulo procede-se à apresentação e análise dos resultados obtidos, relativamente ao desempenho energético, térmico e económico das soluções de reabilitação do edifício.

Como foi referido no capítulo 3, as simulações foram realizadas individualmente para cada uma das soluções adotadas. Como tal, a análise ao desempenho das mesmas foi realizada, também, de forma individual. Primeiro analisaram-se as soluções construtivas referentes à fachada, de seguida à cobertura, depois aos envidraçados e por último às caixilharias. Foram ainda analisados diferentes sistemas de climatização e sistemas de produção de energia a partir de fontes renováveis.

No desempenho energético foram analisados os resultados obtidos referentes às necessidades energéticas de aquecimento, arrefecimento e totais. Quanto ao desempenho térmico, a análise incidiu sobre o parâmetro PPD. No que diz respeito à viabilidade económica, analisaram-se os custos de instalação, manutenção e operação. Nos custos de instalação incluíram-se todos os custos de materiais e de mão-de-obra.

Todas as simulações foram realizadas com o sistema de climatização existente no edifício em modo de funcionamento ativo. Este sistema é composto por um ar condicionado uma eficiência de aquecimento e arrefecimento igual a 1 e 3.5, respetivamente.

Realiza-se, também, uma análise multicritério baseada na metodologia MARS-SC (Mateus and Bragança, 2006). Após esta análise, são identificados e analisados cenários de reabilitação do edifício, incluindo a implementação de sistemas de climatização, produção e AQS e energias renováveis.

5.1 Fachada

Ao longo deste subcapítulo apresentam-se os resultados obtidos na simulação numérica que permitem fazer uma análise ao desempenho energético, térmico e económico no que diz respeito à fachada do edifício.

5.1.1. Desempenho energético

De seguida, na Tabela 20, apresentam-se as necessidades energéticas de aquecimento, arrefecimento e totais do edifício, aplicando os diversos tipos de soluções construtivas adotadas.

Tabela 20 - Necessidades energéticas do edifício intervencionando as fachadas

Solução	NEArref (kWh/m ²)	NEAquec (kWh/m ²)	NTE (kWh/m ²)	% redução NTE
Referência	2,49	55,19	163,77	-
ETICS				
EPS 100	1,92	45,18	138,33	15,53
XPS	1,92	45,08	138,08	15,68
Lã Rocha	1,92	45,07	138,06	15,70
ICB	1,91	45,55	139,25	14,97
PIR	1,95	43,72	134,71	17,75
Reboco térmico	1,90	45,97	140,30	14,33
EPS grafitado	1,93	44,68	137,09	16,29
Fachadas ventiladas				
XPS	1,95	44,71	137,18	16,23
PIR	1,97	43,49	134,15	18,09
Lã Rocha	1,94	44,71	137,17	16,24
ICB	1,94	45,11	138,17	15,63
EPS 100	1,95	44,80	137,41	16,1
Isolamento pelo interior – tijolo				
XPS	2,14	44,30	136,29	16,78
Lã Rocha	2,13	44,31	136,31	16,77
ICB	2,13	44,65	137,16	16,25
EPS 100	2,14	44,37	136,47	16,67
PIR	2,17	43,25	133,69	18,37
Isolamento pelo interior – gesso cartonado				
XPS	2,23	44,72	137,41	16,10
Lã Rocha	2,22	44,72	137,40	16,10
ICB	2,22	45,15	138,47	15,45
EPS 100	2,23	44,81	137,63	15,96
PIR	2,26	43,46	134,28	18,01
Parede dupla - tijolo térmico				
PIR	2,01	42,79	132,42	19,14
XPS	1,98	43,60	134,43	17,92
Lã Rocha	1,97	43,60	134,42	17,92
ICB	1,98	43,86	135,08	17,52
EPS 100	1,98	43,65	134,55	17,84
Parede dupla - tijolo convencional				
PIR	2,03	43,09	133,19	18,67
XPS	2,01	44,05	135,57	17,22
Lã Rocha	2,00	44,08	135,64	17,18
ICB	2,00	44,37	136,37	16,73
EPS 100	2,01	44,12	135,75	17,11
Outros sistemas				
Fachada Verde	1,74	44,58	136,71	16,53
Painel Fachada	1,97	43,51	134,20	18,06
% melhoria NTE com introdução de isolamento				16,79

Analisando os resultados presentes na Tabela 20 é possível afirmar que existe uma tendência, independentemente do tipo de sistema construtivo em causa. As soluções que incluem o PIR, são aquelas que apresentam necessidades de energia útil para aquecimento e necessidades anuais globais de energia primária mais baixas, representando, neste último caso, uma redução na ordem dos 18% relativamente à solução de referência.

Este facto pode justificar-se, principalmente, pelo facto de este material apresentar um valor de condutibilidade térmica bastante mais baixo do que os restantes materiais de isolamento térmico.

Ao invés, as soluções construtivas que incluem como material de isolamento térmico o ICB, apresentam necessidades anuais globais de energia primária mais elevadas do que as restantes soluções. Estes valores podem justificar-se com o facto de este material apresentar um valor de condutibilidade térmica mais elevado do que qualquer outro. Contudo, considera-se importante referir que o ICB apresenta como grande vantagem, face aos restantes, o facto de isolar térmica e acusticamente.

No entanto, no que diz respeito às necessidades anuais de energia para arrefecimento, verifica-se que acontece exatamente o contrário do analisado anteriormente. Ou seja, as soluções construtivas que incluam como isolamento térmico o PIR, são as que apresentam valores mais elevados de energia, ao invés das soluções que incluam LR/ICB.

Fazendo uma média dos valores das necessidades anuais globais de energia primária de todas as soluções de reabilitação de fachadas estudadas, pode-se verificar que aplicar isolamento térmico apenas na fachada do edifício, representa, em média, uma melhoria destas necessidades na ordem de 16,79% face à solução de referência.

Pode-se afirmar, também, que no caso em estudo, as necessidades energéticas para aquecimento são muito mais elevadas do que as necessidades energéticas para arrefecimento, ou seja, é necessário consumir mais energia na estação de Inverno para manter o edifício a uma temperatura de conforto para os ocupantes do que na estação de arrefecimento. Pode justificar-se esta afirmação com o facto de Portugal apresentar, nos meses mais frios do ano, uma temperatura média significativamente distante da temperatura de 18°C, definida pelo Decreto-Lei 118/2013 como a temperatura mínima de conforto para os ocupantes de um edifício.

Na figura seguinte, apresenta-se um gráfico onde constam as temperaturas médias registadas em Portugal.

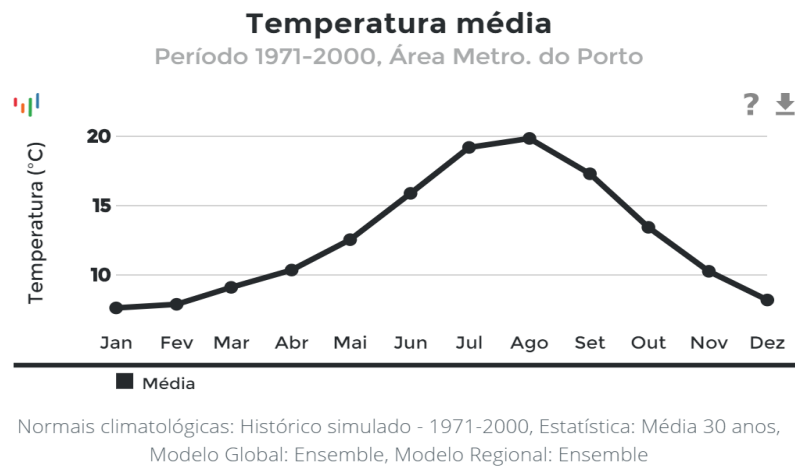


Figura 45 - Gráfico ilustrativo das temperaturas médias em Portugal (ipma, 2015)

Este fator acaba por ter um grande peso no que diz respeito à presente análise, uma vez que o desempenho energético total das respetivas soluções é afetado, em grande parte, pela sua eficiência na estação de aquecimento, ou seja, nas necessidades energéticas para aquecimento.

No gráfico da Figura 46, apresentam-se os resultados dos diferentes tipos de sistemas construtivos, tendo por base o mesmo tipo de isolamento, neste caso o XPS. Assim, pretende-se perceber, de uma forma mais clara, qual o impacto que os diferentes tipos de sistemas construtivos representam nas necessidades energéticas do edifício.

De seguida, na Tabela 21, apresenta-se a legenda referente às da Figura 46.

Tabela 21 - Legenda utilizada ao longo deste capítulo

Sigla	Legenda
Ref	Referência
FV	Fachada ventilada
IPI_T	Isolamento pelo Interior contra-fachada em tijolo
IPI_P	Isolamento pelo interior contra-fachada em gesso cartonado
PD-BT	Parede dupla bloco térmico
PD-TV	Parede dupla tijolo vazado
JV	Jardim Vertical
Painel	Painel fachada

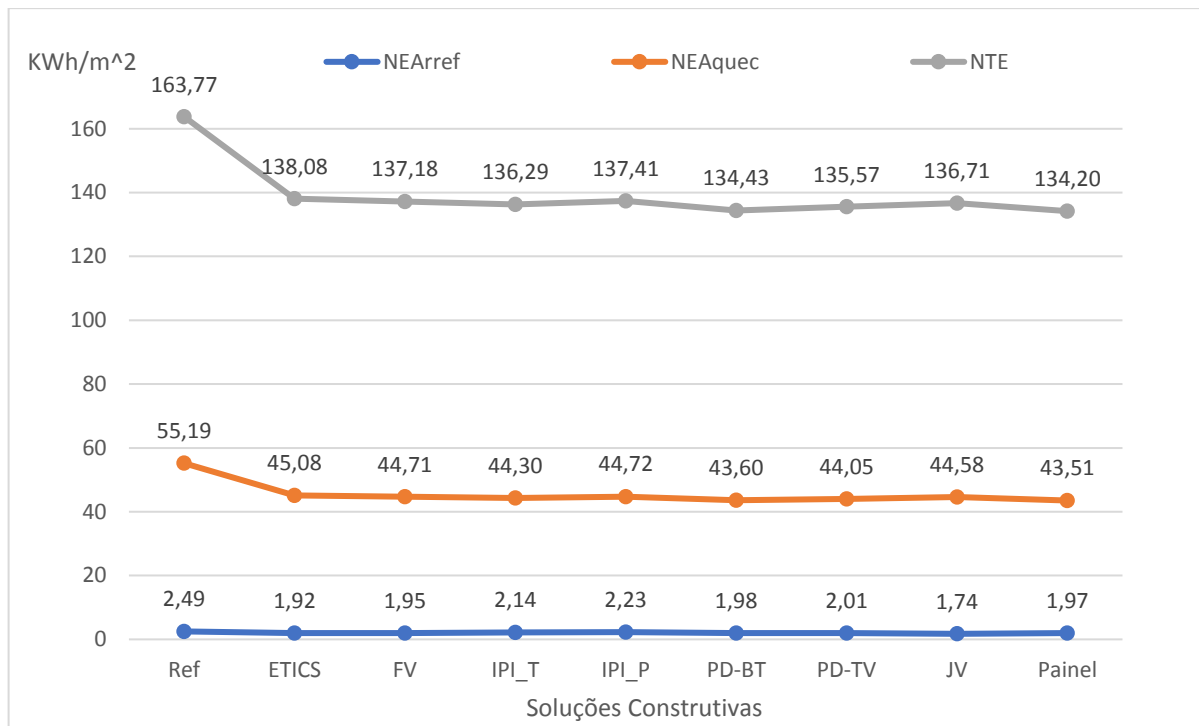


Figura 46 - Gráfico referente às necessidades energéticas avaliando uma solução de cada sistema referente à fachada do edifício

Conforme se pode verificar no gráfico apresentado, a solução construtiva ETICS é aquela que conduz a um valor mais elevado de necessidades anuais globais de energia primária. Isto pode-se dever, a priori, ao facto de ser uma solução construtiva em que apenas se adiciona, à solução de referência, o material de isolamento térmico, uma argamassa reforçada com fibra de vidro e uma tinta como revestimento. Ou seja, não é adicionado mais nenhum material ou outro tipo de constituinte que influencie um pouco mais o desempenho energético deste sistema. Contudo, como já foi referido no capítulo 4, esta solução construtiva apresenta outro tipo de vantagens face aos restantes sistemas, nomeadamente a correção de pontes térmicas e facilidade de montagem, embora este aspeto não tenha sido considerado no modelo em estudo. No entanto, trata-se de uma solução que apresenta um excelente desempenho em termos de necessidades anuais de energia útil para arrefecimento, o que provavelmente pode ser justificado com o facto de o material de isolamento térmico ser o elemento exterior da solução construtiva, influenciando assim a inércia térmica do edifício.

Quanto ao isolamento pelo interior, quer seja constituído por contra fachada de gesso cartonado quer seja de tijolo convencional, verifica-se que conduz a valores de necessidades anuais globais de energia primária mais satisfatórios do que a solução construtiva ETICS. Tal justifica-

se com o facto de, no primeiro caso, existir um revestimento interior (gesso cartonado) que influencia um pouco o desempenho energético da solução. No segundo caso, para além do revestimento, neste caso o tijolo, implementou-se também uma caixa-de-ar. De forma a comprovar esta justificação, realizou-se uma simulação numérica em que apenas se adicionou, pelo interior, o material XPS à solução de referência, tendo-se obtido o valor de 138,35 kWh/m² para as necessidades anuais globais de energia primária.

No que diz respeito à solução construtiva jardins verticais, apesar de os resultados obtidos se enquadrarem nos restantes, tais podem não ser totalmente fidedignos pelas razões apresentadas no capítulo anterior.

As soluções construtivas parede dupla e painel fachada revelam-se as mais vantajosas no que diz respeito ao desempenho energético. No primeiro caso, a alvenaria exterior por ser constituída por blocos térmicos, cuja condutibilidade térmica é superior à grande parte de outros materiais de revestimento, o que justifica os resultados obtidos. No segundo caso, tais valores de necessidades energéticas podem ser justificados por se tratar de um painel cujo núcleo isolante é composto por uma espuma rígida de PUR com uma excelente condutibilidade térmica. Além destes fatores, estas soluções construtivas incluem caixa-de-ar o que influencia o respetivo desempenho térmico.

5.1.2. Análise conforto térmico

Neste subcapítulo pretende-se analisar em que medida as soluções construtivas adotadas permitem conferir um nível de conforto térmico mais satisfatório para os utilizadores do edifício.

No gráfico da Figura 47, apresentam-se as percentagens de pessoas insatisfeitas (PPD), implementando cada uma das soluções construtivas no edifício.

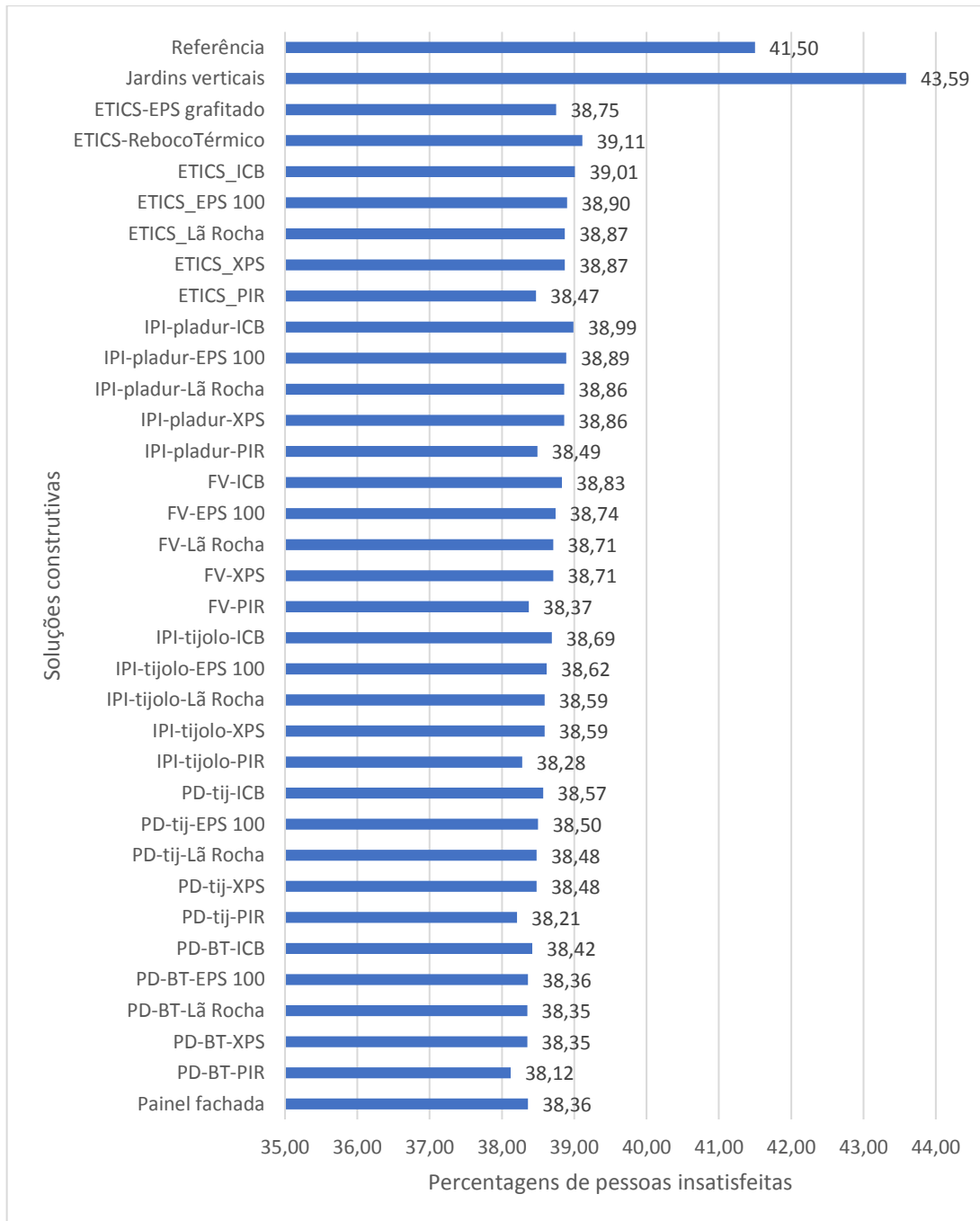


Figura 47 - PPD intervencionando as fachadas do edifício

Analisando o gráfico, verifica-se que entre os diferentes sistemas construtivos em análise não existe uma grande variação na percentagem de pessoas insatisfeitas, com exceção do sistema construtivo jardim vertical e das soluções que incluem o PIR. No primeiro caso, esta solução conduz a valores mais elevados de PPD, no entanto tal resultado pode não ser fidedigno pelas razões apresentadas no capítulo 4. No segundo caso, este tipo de solução construtiva revela-se sempre como a que conduz a um melhor desempenho. Ao calcular uma média destes valores,

pode-se afirmar que aplicar isolamento térmico apenas na fachada do edifício, representa uma melhoria deste parâmetro na ordem de 6,94% face à solução de referência.

Na figura seguinte, apresentam-se os resultados dos diferentes tipos de sistemas construtivos, tendo por base o mesmo tipo de isolamento, neste caso o XPS. Assim, pretende-se perceber, de uma forma mais clara, qual o impacto que os diferentes tipos de sistemas construtivos têm no conforto térmico dos ocupantes do edifício. A legenda utilizada na identificação das soluções construtivas consta da Tabela 21.

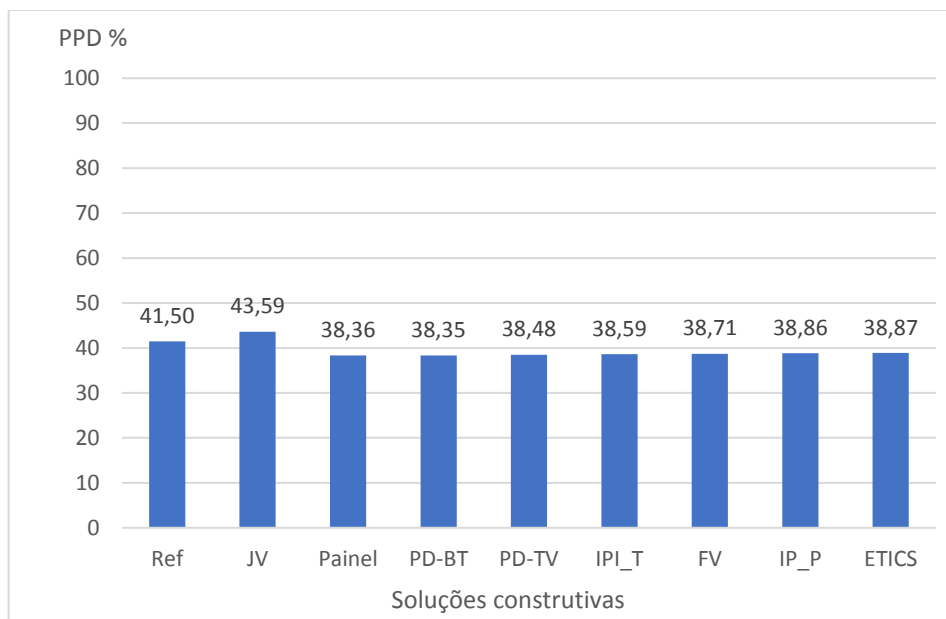


Figura 48 - PPD avaliando apenas uma solução de cada sistema construtivo

Analisando o gráfico da Figura 48 verifica-se que as soluções construtivas referentes ao painel fachada e às paredes duplas são as que apresentam valores mais baixos de percentagem de pessoas insatisfeitas no interior do edifício. Esta percentagem vai aumentando gradualmente desde a solução construtiva respeitante ao isolamento pelo interior com contra fachada em tijolo até, ao pior valor, ETICS, embora as diferenças sejam muito pequenas, menos de 0,51%.

5.1.3. Viabilidade económica

A análise de resultados relativos à viabilidade económica foi realizada através do custo de ciclo de vida de 30 anos, uma vez que este parâmetro engloba os custos de instalação, manutenção e energéticos para cada solução em estudo.

De seguida, na Tabela 22, apresentam-se os custos de instalação considerados para as soluções estudadas.

Tabela 22 - Custos de instalação associados a cada sistema construtivo de fachadas (CYPE, 2018a, e valores pontuais fornecidos por outras empresas)

Solução	Custo de instalação €/m ²
ETICS	
EPS 100	25,89 €
XPS	28,74 €
Lã Rocha	32,43 €
ICB	40,50 €
PIR	44,30 €
Reboco térmico	20,28 €
EPS Grafitado	25,24 €
Fachadas ventiladas	
XPS	159,90 €
PIR	175,18 €
Lã Rocha	163,58 €
ICB	171,65 €
EPS 100	157,04 €
Isolamento pelo interior – tijolo	
XPS	30,42 €
Lã Rocha	34,11 €
ICB	42,18 €
EPS 100	27,57 €
PIR	45,71 €
Isolamento pelo interior – gesso cartonado	
XPS	24,08 €
Lã Rocha	27,77 €
ICB	33,39 €
EPS 100	21,23 €
PIR	36,92 €
Parede dupla – bloco térmico	
PIR	58,87 €
XPS	43,58 €
Lã Rocha	47,27 €
ICB	55,34 €

EPS 100	40,73 €
Parede dupla – tijolo convencional	
PIR	54,51 €
XPS	39,22 €
Lã Rocha	42,91 €
ICB	50,98 €
EPS 100	36,37 €
Outros sistemas	
Fachada Verde	400 €
Painel Fachada	25,52 €

De seguida, na Tabela 23, apresentam-se os custos de manutenção considerados para as soluções estudadas.

Tabela 23 - Custos de manutenção associados a cada sistema construtivo de fachadas (CYPE, 2018a, e valores fornecidos por outras empresas)

Solução	Custo de manutenção €/m ² .ano
ETICS	0,25 €
Fachadas ventiladas	0,31 €
Isolamento pelo interior - tijolo	0,26 €
Isolamento pelo interior – gesso cartonado	0,33 €
Parede dupla – bloco térmico	0,38 €
Parede dupla – tijolo vazado	0,34 €
Painel fachada	1,02 €
Jardim Vertical	4,00 €

De seguida, na Figura 49, apresentam-se os valores relativos ao custo de ciclo de vida de cada solução estudada.

Estes valores correspondem ao somatório dos custos de instalação, dos custos de manutenção e dos custos de energia ao longo de 30 anos. Dizem respeito a uma área de fachada correspondente a 114,21m².

Analisando os valores da Figura 49, verifica-se que as soluções construtivas mais dispendiosas dizem respeito às fachadas ventiladas. Este facto é justificado por se tratar de uma solução com um custo de instalação significativamente superior ao das restantes, uma vez que o revestimento exterior, painel fenólico, é um material caro e a instalação deste sistema requer mão-de-obra especializada. Além disso, este sistema construtivo requer uma vistoria, intervalada por um determinado número de anos, de um técnico especializado que verifique se o sistema de fixação

e o revestimento exterior não apresentam anomalias que requeiram substituição; este facto acarreta determinados custos de manutenção extra relativamente aos restantes sistemas (Mendes, 2009).

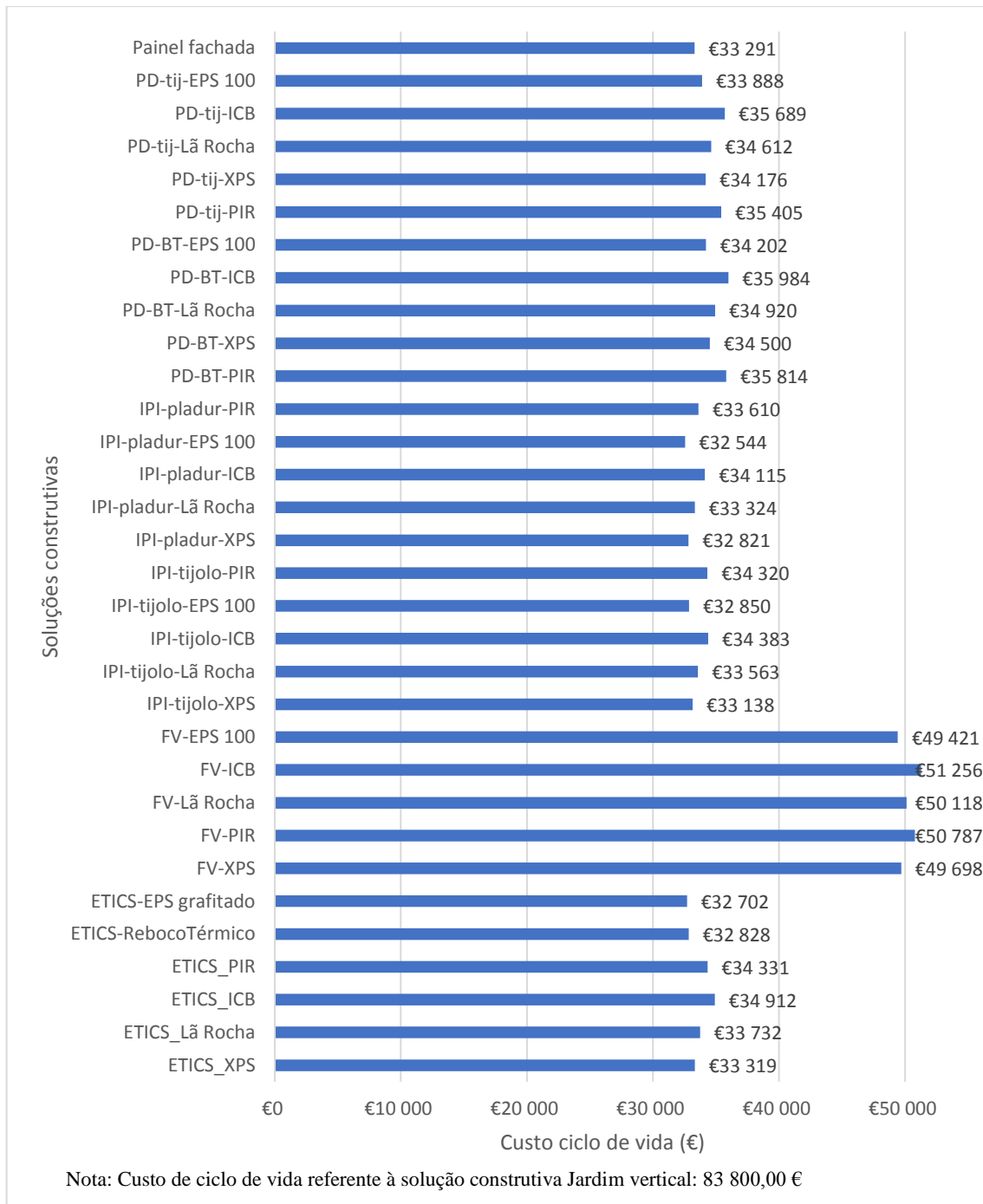


Figura 49 - Custos de ciclo de vida associados a cada sistema construtivo de fachadas

Ao invés, os sistemas construtivos respeitantes ao isolamento pelo interior constituído por uma contra fachada em gesso cartonado, ao painel fachada e ao ETICS, revelam-se os menos

dispendiosos durante o seu ciclo de vida. Nos dois primeiros casos, o custo de instalação e de manutenção mais baixo do que as restantes soluções, aliado a um bom desempenho energético, justificam estes valores de custo de ciclo de vida. No caso do sistema ETICS, tais valores devem-se ao facto de ser um dos sistemas com menores custos associados à sua instalação e manutenção.

No que diz respeito à solução construtiva jardins verticais o seu valor é de 83 800,00€, o mais alto de todas as soluções em estudo, o que se justifica com os elevados custos associados à instalação e manutenção.

5.2 Cobertura

Ao longo deste subcapítulo apresentam-se os resultados obtidos na simulação numérica que permitem fazer uma análise ao desempenho energético, térmico e económico no que diz respeito à cobertura do edifício.

5.2.1. Desempenho energético

Na Tabela 24, apresentam-se as necessidades energéticas de aquecimento, arrefecimento e totais do edifício, aplicando, na cobertura do edifício, os diversos tipos de soluções construtivas considerados.

Analisando os resultados presentes na Tabela 24 é possível afirmar que, tal como verificado na análise das soluções de reabilitação de fachada, existe uma tendência, independentemente do tipo de sistema construtivo em causa. As soluções que incluem o PIR, são aquelas que apresentam necessidades anuais de energia útil para aquecimento, para arrefecimento e necessidades anuais globais de energia primária mais baixas, representando, neste último caso, uma redução na ordem dos 20% relativamente à solução de referência.

Ao invés, as soluções construtivas que incluem como material de isolamento térmico o ICB, apresentam necessidades energéticas mais elevadas do que as restantes soluções

Tabela 24 - Necessidades energéticas do edifício intervencionando a cobertura do edifício

Solução	NEArref (kWh/m ²)	NEAquec (kWh/m ²)	NTE (kWh/m ²)	% redução NTE
Referência	2,49	55,19	163,77	-
Isolamento vertente inclinada – face superior				
XPS	0,31	46,21	139,76	14,66
Lã Rocha	0,31	46,20	139,73	14,68
ICB	0,33	46,67	140,92	13,95
EPS 100	0,32	46,30	139,99	14,52
PIR	0,26	44,84	136,30	16,77
Painel “sandwich”	0,23	43,95	134,05	18,15
Painel chapa	0,24	44,23	134,76	17,71
Isolamento vertente inclinada – face inferior				
XPS	0,52	45,82	138,93	15,16
Lã Rocha	0,52	45,82	138,93	15,16
ICB	0,57	46,28	140,12	14,44
EPS 100	0,53	45,92	139,19	15,01
PIR	0,4	44,52	135,60	17,20
Isolamento na esteira horizontal – face superior				
XPS	0,57	42,42	130,47	20,33
Lã Rocha	0,57	42,42	130,47	20,33
ICB	0,62	42,95	131,83	19,50
EPS 100	0,58	42,53	130,75	20,16
PIR	0,45	40,94	126,68	22,64
Isolamento na esteira horizontal – face inferior				
XPS	0,83	42,08	129,81	20,74
Lã Rocha	0,82	42,12	129,90	20,68
ICB	0,88	42,53	130,97	20,03
EPS 100	0,84	42,19	130,09	20,57
PIR	0,71	40,81	126,55	22,73
Outros sistemas				
Cobertura Verde	0,29	42,46	130,37	20,39
% melhoria do NTE com introdução de isolamento				18,07

Verifica-se, também, que isolar termicamente a cobertura do edifício, neste caso de estudo, conduz a uma grande melhoria no valor das necessidades anuais globais de energia útil para arrefecimento, nomeadamente, em média, uma melhoria na ordem dos 18,07% face à solução de referência.

Pode-se concluir então que, para este caso de estudo, na hipótese de os ocupantes do edifício optarem por isolar, do ponto de vista térmico, parcialmente o edifício, isolar apenas a cobertura torna-se um pouco mais vantajoso do que a fachada.

No Figura 50, apresentam-se os resultados dos diferentes tipos de sistemas construtivos, tendo por base o mesmo tipo de isolamento, neste caso o XPS. Assim, pretende-se perceber, de uma forma mais clara, qual o impacto que os diferentes tipos de sistemas construtivos representam nas necessidades energéticas do edifício.

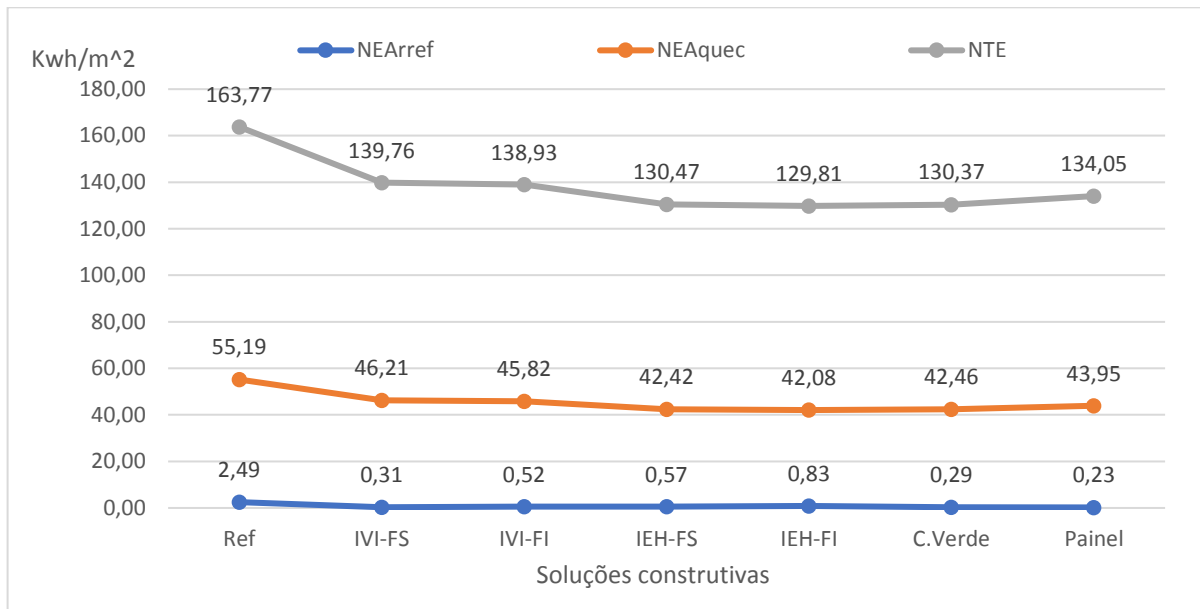


Figura 50 - Necessidades energéticas do edifício, avaliando uma solução de cada sistema construtivo de cobertura

De seguida, na Tabela 25, apresenta-se a legenda referente às siglas da Figura 50.

Tabela 25 - legenda utilizada nas soluções de cobertura ao longo do capítulo

Sigla	Legenda
Ref	Referência
IVI-FS	Isolamento vertente inclinada – face superior
IVI-FI	Isolamento vertente inclinada – face inferior
IEH-FS	Isolamento esteira horizontal – face superior
IEH-FI	Isolamento esteira horizontal – face inferior
C.Verde	Cobertura Verde
Painel	Painel “sandwich”

Conforme se pode verificar no gráfico apresentado na Figura 50, a solução construtiva relativa ao isolamento da vertente inclinada, seja na face superior ou inferior é aquela que apresenta um

valor mais elevado de necessidades anuais globais de energia primária. Isto deve-se, a priori, ao facto de ser uma solução construtiva em que apenas se adiciona, à solução de referência, o material de isolamento térmico e uma tinta como revestimento. Ou seja, não é adicionado mais nenhum material ou outro tipo de constituinte que influencie um pouco mais o desempenho energético deste sistema. Contudo, como já foi referido no capítulo 4, esta solução construtiva apresenta outro tipo de vantagens face aos restantes sistemas, nomeadamente o facto de isolar termicamente o desvão entre a cobertura e a laje estrutural. Esta característica torna-se relevante no que diz respeito às necessidades anuais de energia útil para arrefecimento, uma vez que o desvão ao estar isolado termicamente impede que haja um efeito de estufa nesta área, diminuindo assim a transferência de calor entre o exterior e o interior. Este facto poderá justificar a diminuição das necessidades energéticas na estação de arrefecimento.

No caso da solução construtiva painel “*sandwich*”, apesar de também se tratar de um isolamento da vertente inclinada, revela um melhor desempenho energético por se tratar de um painel cujo núcleo isolante é composto por uma espuma rígida de PUR com uma excelente condutibilidade térmica, reduzindo assim as necessidades energéticas do edifício.

As soluções construtivas referentes à cobertura verde e ao isolamento da esteira horizontal são aquelas que apresentam um desempenho energético mais elevado. No primeiro caso, trata-se de um sistema construtivo cujas propriedades da sua constituição, nomeadamente o solo e a vegetação causam o efeito de evapotranspiração (ou arrefecimento natural) permitindo diminuir o efeito de ilha de calor devido às suas propriedades de elevada refletância. Estas características, aliadas a um material de isolamento térmico permitem diminuir as necessidades energéticas do edifício. O efeito de ilha de calor verifica-se na maior parte das grandes cidades e traduz-se na existência de uma temperatura mais elevada nas zonas urbanas, em comparação com a temperatura de zonas florestais e rurais adjacentes devido à substituição de espaços verdes por grandes áreas de betão/asfalto (Mateus and Bragança, 2016).

No segundo caso, como o material de isolamento térmico se encontra na esteira horizontal, ou seja, o desvão não está isolado termicamente, proporciona-se uma otimização dos ganhos solares na estação de aquecimento e o facto de não ser necessário gastar energia no aquecimento desta zona, diminui as necessidades anuais globais de energia útil para aquecimento e, consequentemente, as necessidades anuais globais de energia primária do edifício. Como já foi anteriormente referido, este pormenor revela-se prejudicial na estação de arrefecimento. No entanto, como também já foi dito no subcapítulo 5.1.1, o desempenho energético na estação de

aquecimento influencia muito mais as necessidades energéticas do edifício do que na estação de arrefecimento.

Importa referir que a solução construtiva de isolamento da esteira horizontal na face inferior apresenta um melhor desempenho energético face ao isolamento da esteira horizontal na face superior uma vez que se implementaram dois constituintes que influenciam o coeficiente de transmissão térmica da solução, nomeadamente o gesso cartonado e a caixa-de-ar.

5.2.2. Análise conforto térmico

Neste subcapítulo pretende-se analisar em que medida as soluções construtivas adotadas permitem conferir um nível de conforto térmico mais satisfatório para os utilizadores do edifício.

Na Figura 51, apresentam-se as percentagens de pessoas insatisfeitas (PPD), implementando cada uma das soluções construtivas no edifício. A legenda utilizada na identificação das soluções construtivas consta da Tabela 25.

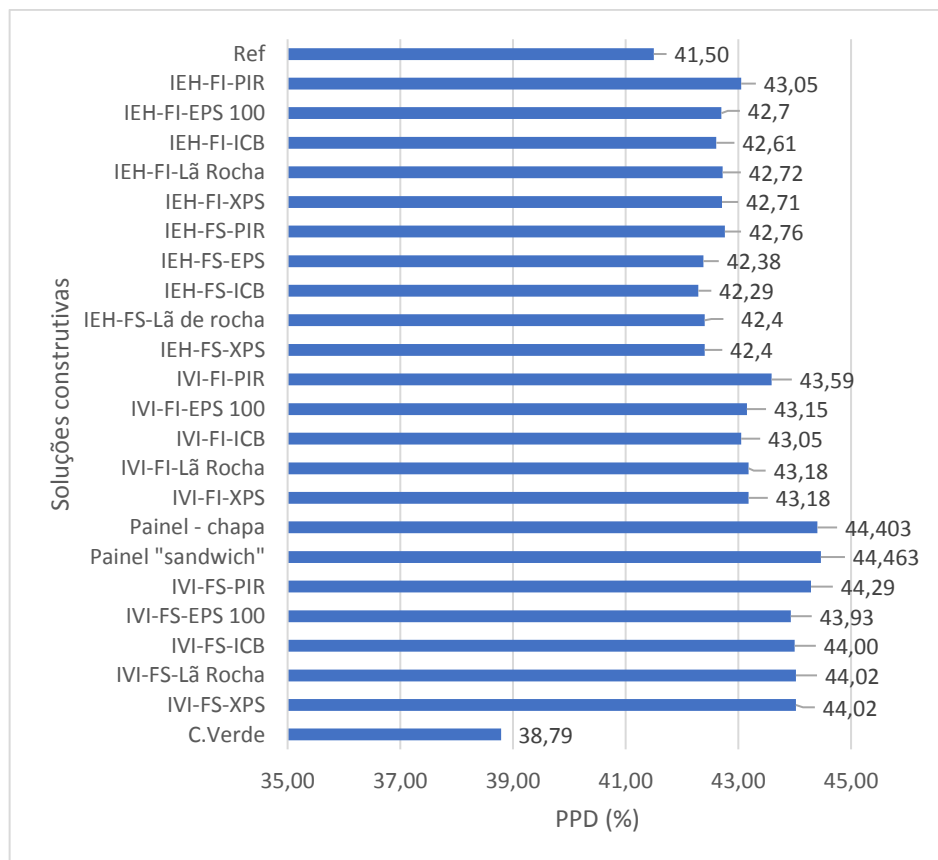


Figura 51 - PPD, intervencionando a cobertura do edifício

Analisando o gráfico da Figura 51, verifica-se que todas as soluções construtivas, com exceção do sistema construtivo cobertura verde, apresentam uma percentagem de pessoas insatisfeitas superior à solução de referência. Contudo, este facto pode justificar-se, provavelmente, por a laje superior se encontrar mais quente o que acaba por afetar a zona mais sensível do corpo humano, a cabeça. Assim, decidiu-se realizar uma nova simulação numérica de uma solução construtiva referente à cobertura, pedindo *outputs* horários de forma a analisar a oscilação da percentagem de pessoas insatisfeitas no mês de janeiro e de agosto, respetivamente, um mês representativo da estação de aquecimento e arrefecimento.

Conforme se pode verificar no gráfico da Figura 52, no mês de Agosto, representativo da estação de arrefecimento onde os ganhos solares são mais elevados e, conseqüentemente, a laje superior aquece mais afetando assim a zona mais sensível do corpo humano, o conforto térmico sentido pelos ocupantes piora face à solução de referência.

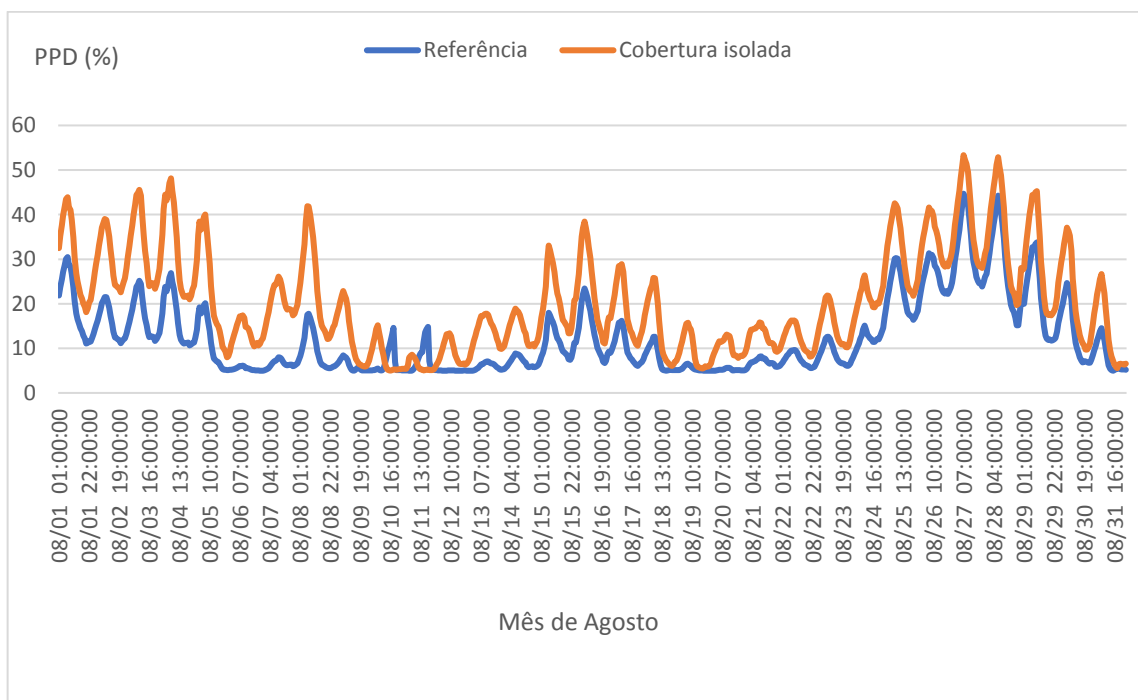


Figura 52 - Comparação do valor de PPD entre a solução de referência e cobertura isolada termicamente, mês de Agosto

Contudo, verifica-se através do gráfico da Figura 53, que isolar termicamente a cobertura se revela benéfico, uma vez que na altura mais crítica do ano, ou seja, na estação de aquecimento, as pessoas sentem-se mais confortáveis se a cobertura estiver isolada termicamente.

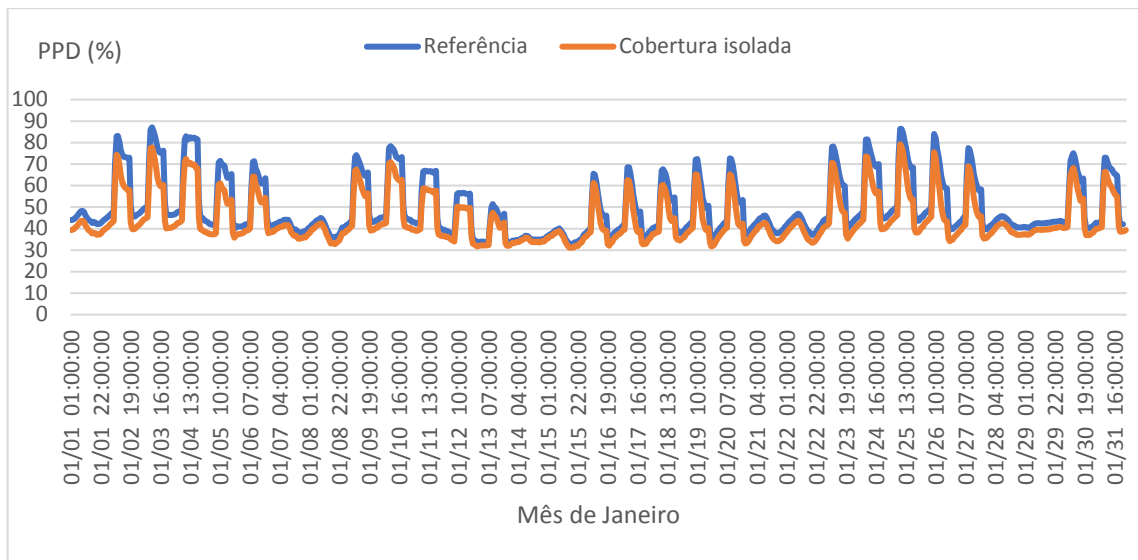


Figura 53 - Comparação do valor de PPD entre a solução de referência e cobertura isolada termicamente, mês de Janeiro

O valor do PPD não depende apenas da temperatura de conforto mas também de outros aspetos como a humidade relativa, assimetrias de temperatura entre os pés e a cabeça, do facto do teto e pavimento estarem muito quentes ou muito frios (independentemente da temperatura do ar) ou de um elemento estar muito frio e outro muito quente (ISO, 2005). Além disso, é importante referir o facto de se estar a analisar os resultados tendo isolado termicamente apenas a cobertura do edifício. Ou seja, o resto da envolvente não apresenta materiais de isolamento térmico o que consequentemente se vai traduzir em que estes elementos apresentem uma temperatura mais fria do que a cobertura, causando assimetrias. Isto poder-se-á traduzir num maior desconforto por parte dos ocupantes.

Apesar de todas as soluções apresentarem um PPD mais elevado do que a solução de referência, essa diferença é de apenas 3%. Verifica-se também que, numa análise Janeiro vs Agosto, o aumento do desconforto poderá estar maioritariamente associado à estação de arrefecimento.

Na Figura 54, apresentam-se os resultados dos diferentes tipos de sistemas construtivos, tendo por base o mesmo tipo de isolamento, neste caso o XPS. Assim, pretende-se perceber, de uma forma mais clara, qual o impacto que os diferentes tipos de sistemas construtivos representam no conforto térmico dos ocupantes do edifício. A legenda utilizada na identificação das soluções construtivas consta da Tabela 25.

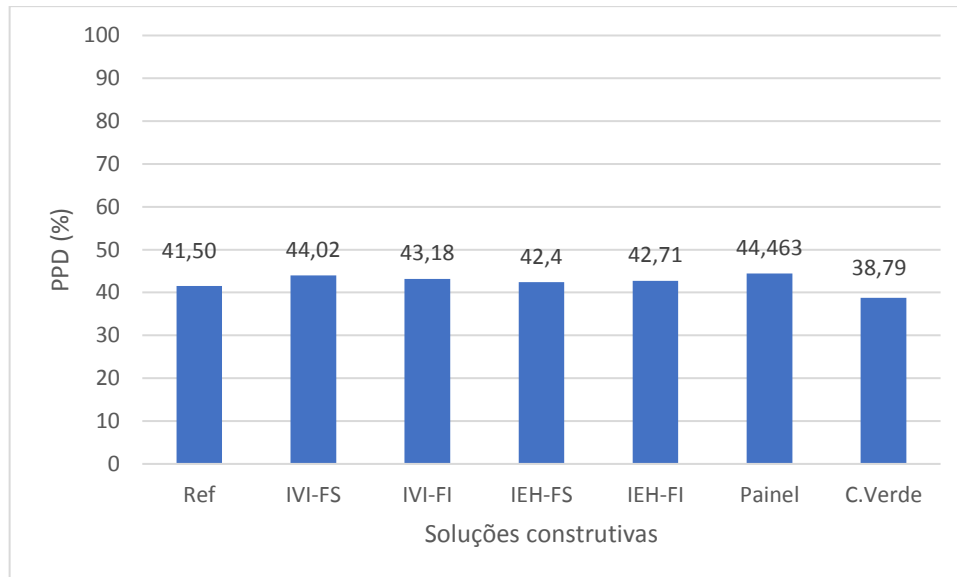


Figura 54 - PPD, avaliando apenas uma solução de cada sistema construtivo da cobertura

Analisando o gráfico presente na Figura 54, verifica-se que grande parte dos sistemas construtivos apresentam valores de percentagens de pessoas insatisfeitas superiores à solução de referência. No entanto, a solução referente à cobertura verde representa uma exceção a esta tendência, uma vez que apresenta valores mais satisfatórios comparativamente à solução de referência. Entre os sistemas que conduzem a um valor de PPD superior ao da solução de referência, os que dizem respeito ao isolamento na esteira horizontal conduzem aos valores mais baixos. Esta percentagem vai aumentando gradualmente desde a solução construtiva respeitante ao isolamento na vertente inclinada na face interior até, ao pior valor, painel “sandwich”.

O facto de as soluções construtivas referentes ao isolamento na vertente inclinada apresentarem os valores mais elevados de pessoas insatisfeitas termicamente, está intrinsecamente associado ao facto de estas soluções terem revelado, também, o desempenho energético mais insatisfatório entre as soluções em estudo, ou seja, permitem uma maior transferência de calor entre o exterior e o interior, originando assim um maior desconforto térmico por parte dos ocupantes do edifício.

5.2.3. Viabilidade económica

A análise de resultados relativos à viabilidade económica foi realizada através do custo de ciclo de vida, uma vez que este parâmetro engloba os custos de instalação, manutenção e energéticos para cada solução em estudo.

De seguida, na Tabela 26, apresentam-se os custos de instalação considerados para as soluções estudadas.

Tabela 26 - Custos de instalação associados a cada sistema construtivo de cobertura (CYPE, 2018a, e valores fornecidos por outras empresas)

Solução	Custo instalação (€/m ²)
Isolamento vertente inclinada – face superior	
XPS	27,00 €
Lã Rocha	30,69 €
ICB	38,76 €
EPS 100	24,15 €
PIR	42,29 €
Painel “sandwich”	
Painel chapa	21,18 €
Isolamento na vertente inclinada – face inferior	
XPS	11,90 €
Lã Rocha	15,59 €
ICB	23,66 €
EPS 100	9,05 €
PIR	27,19 €
Isolamento esteira horizontal – face superior	
XPS	11,90 €
Lã Rocha	15,59 €
ICB	23,66 €
EPS 100	9,05 €
PIR	27,19 €
Isolamento esteira horizontal – face inferior	
XPS	23,45 €
Lã Rocha	27,14 €
ICB	35,21 €
EPS 100	20,60 €
PIR	38,74 €
Outros sistemas	
Cobertura Verde	95,43 €

De seguida, na Tabela 27, apresentam-se os custos de manutenção considerados para as soluções estudadas.

Tabela 27 - Custos de manutenção associados a cada sistema construtivo de cobertura (CYPE, 2018a, e valores fornecidos por outras empresas)

Solução	Custo de manutenção €/m ² .ano
Isolamento vertente inclinada – Fase superior	0,32 €
Isolamento vertente inclinada – Fase inferior	0,032 €
Isolamento esteira horizontal – Fase superior	0,032 €
Isolamento esteira horizontal – Fase inferior	0,34€
Cobertura verde	2,74 €
Painel	0,78 €

Na Figura 55, apresentam-se os valores relativos ao custo de ciclo de vida de cada solução estudada.

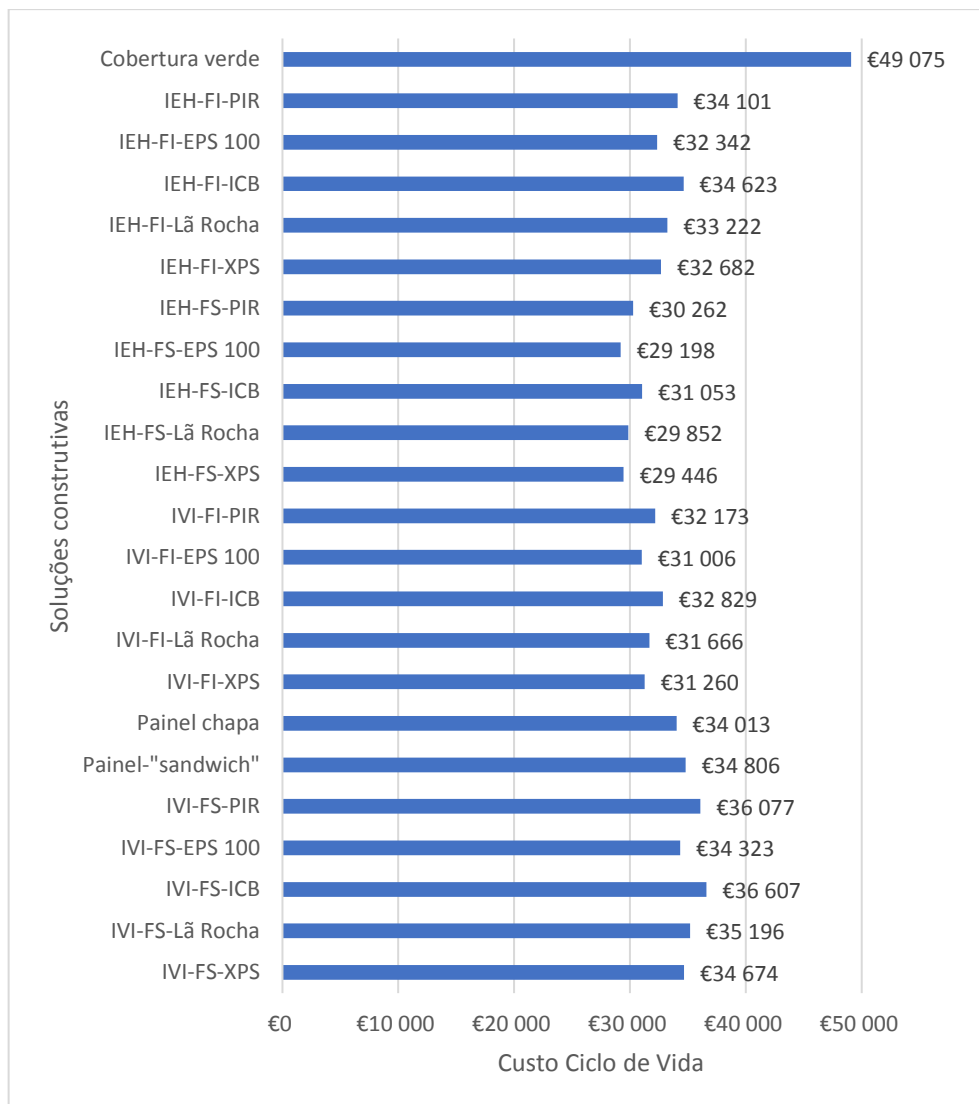


Figura 55 - Custo de ciclo de vida associado a cada sistema construtivo de cobertura

Estes valores correspondem ao somatório dos custos de instalação, dos custos de manutenção e dos custos de energia ao longo de 30 anos. Dizem respeito a uma área de cobertura correspondente a 140 m², no caso de isolamento na vertente inclinada e 110m² no caso de isolamento na esteira horizontal.

Analisando o gráfico presente na Figura 55, verifica-se que a solução construtiva mais dispendiosa diz respeito à cobertura verde, o que se justifica com os elevados custos associados à sua instalação e manutenção.

Quanto aos sistemas construtivos respeitantes ao isolamento da vertente inclinada, na face superior e ao isolamento da esteira horizontal, na face inferior representam, também, um custo de ciclo de vida elevado. Tal facto justifica-se por se tratar de soluções construtivas com custos de instalação e manutenção elevados, uma vez que além do material de isolamento necessitam, no primeiro caso, de um material que impermeabilize o sistema construtivo e, no segundo caso, de um material que revista o material de isolamento térmico, criando assim um “teto falso”. Além disso, a solução construtiva de isolamento da vertente inclinada na face superior, revela-se, como já foi dito no subcapítulo respeitante, a pior em termos de desempenho energético. Estes fatores originam um custo de ciclo de vida elevado.

Ao invés, os sistemas construtivos referentes ao isolamento da vertente inclinada na face inferior e ao isolamento da esteira horizontal na face superior, revelam-se os menos dispendiosos durante o seu ciclo de vida o que se justifica por serem soluções em que apenas se acrescenta, relativamente à solução de referência, o material de isolamento térmico. Além disso, no caso do sistema construtivo referente ao isolamento da esteira horizontal na face superior, revela-se, como já foi dito anteriormente, a melhor solução em termos de desempenho energético.

Importa salientar que, a área da vertente inclinada é superior à da esteira horizontal, o que influencia o custo de instalação e manutenção e, conseqüentemente, o custo de ciclo de vida.

5.3. Envidraçados e caixilharias

Ao longo deste subcapítulo apresentam-se os resultados obtidos na simulação numérica que permitem fazer uma análise ao desempenho energético, térmico e económico no que diz respeito à envolvente não opaca do edifício.

5.3.1. Desempenho energético

De seguida, na Figura 56, apresentam-se as necessidades energéticas de aquecimento, arrefecimento e totais do edifício, que resultam da aplicação dos diversos tipos de soluções de envidraçados em estudo.

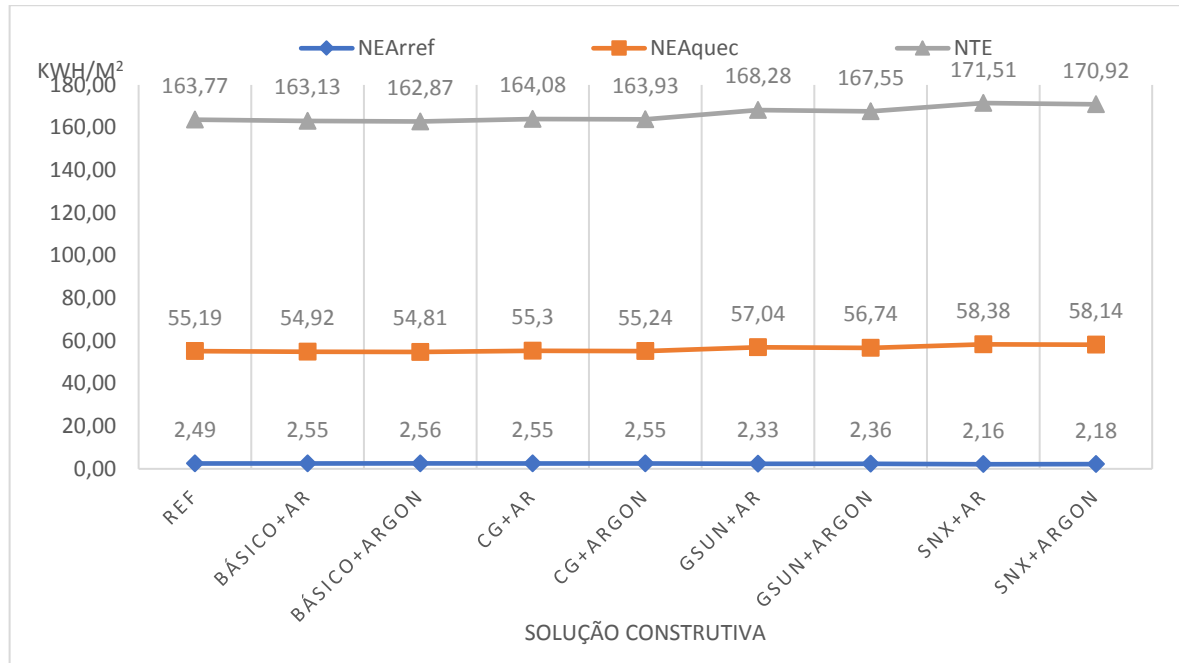


Figura 56 - Necessidades energéticas do edifício, substituindo os envidraçados

De seguida, no Tabela 28, apresenta-se a legenda referente às siglas da Figura 56.

Tabela 28 - Legenda utilizada nos envidraçados ao longo do capítulo

Sigla	Legenda
Ref	Referência
Básico	Vidro duplo básico
CG	ClimaGuard
GSUN	GuardianSun
SNX	SunGuard SNX

Analisando os resultados presentes na Figura 56, verifica-se que as soluções de envidraçados denominados por *GuardianSun* e *SNX* conduzem a necessidades anuais de energia útil para aquecimento e necessidades anuais globais de energia primária mais elevadas. Estes valores justificam-se por estes envidraçados apresentarem características cuja finalidade seja a

otimização do controlo solar, ou seja, que os ganhos solares do edifício sejam reduzidos. Como já foi referido nas análises energéticas anteriores, neste caso de estudo, as necessidades energéticas de aquecimento são muito mais elevadas do que as de arrefecimento, por isso, os ganhos solares na estação de aquecimento influenciam positivamente as respetivas necessidades energéticas, como tal, ao implementar envidraçados mais específicos para controlo solar, as necessidades anuais de energia útil para aquecimento aumentam. Contudo, revelam-se vantajosos na estação de arrefecimento, apresentando os valores de necessidades anuais de energia útil para arrefecimento mais baixos.

Ao invés, as soluções de envidraçados denominados como “básico”, são aqueles que apresentam valores de necessidades energéticas de aquecimento e de energia primária mais reduzidas, sendo mesmo a única solução em que estas necessidades são mais baixas do que as da solução de referência. Este facto justifica-se por este tipo de envidraçados apresentarem características “simples” de vidro duplo, ou seja, não têm a finalidade de reduzirem ao máximo os ganhos solares.

Pode-se afirmar, também, que, independentemente do tipo de envidraçado, ao preencher a caixa-de-ar com gás Árgon, as necessidades energéticas diminuem. Este facto justifica-se por este tipo de gás purificado da atmosfera e selado ser um mau condutor de calor e apresentar uma densidade maior que o ar atmosférico, conferindo assim um poder isolante consideravelmente maior (Vidraria Foco, 2003).

De seguida, na Figura 57, apresentam-se as necessidades energéticas de aquecimento, arrefecimento e totais do edifício, aplicando os diversos tipos de soluções de caixilharias em estudo.

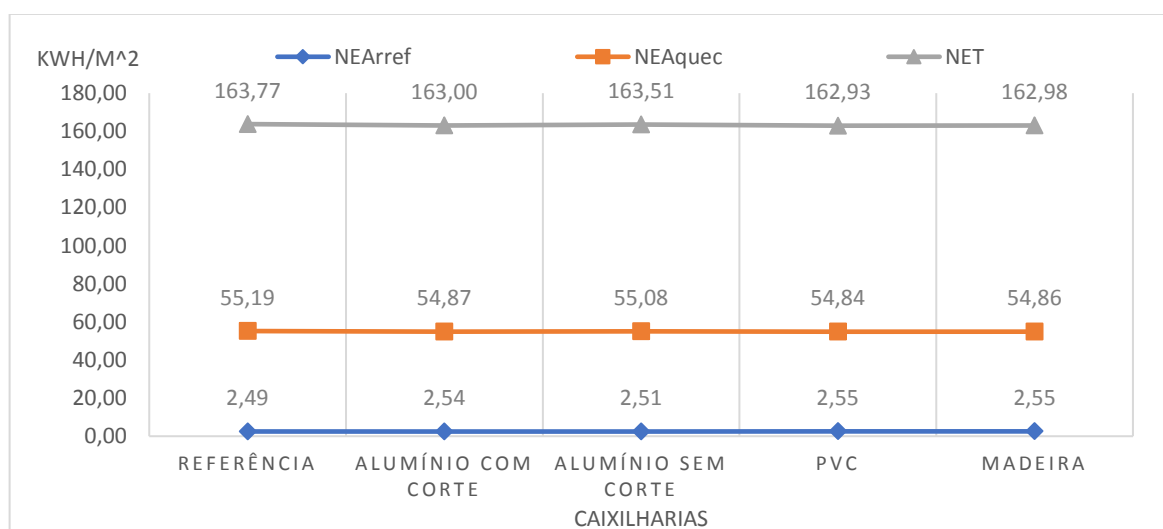


Figura 57 - Necessidades energéticas do edifício, substituindo a caixilharia

Analisando os valores presentes na Figura 57, verifica-se que os valores de necessidades energéticas não apresentam grandes oscilações entre os tipos de caixilharia estudados, no entanto, a caixilharia em PVC conduz a necessidades energéticas globais mais reduzidas. Este facto justifica-se por esta solução de caixilharia apresentar o valor mais baixo de condutibilidade térmica.

5.3.2. Análise conforto térmico

Neste subcapítulo pretende-se analisar em que medida as soluções construtivas em estudo permitem conferir um nível de conforto térmico mais satisfatório para os utilizadores do edifício.

Na Figura 58, apresentam-se as percentagens de pessoas insatisfeitas (PPD), implementando cada uma das soluções de envidraçado em estudo no edifício. A legenda utilizada na identificação das soluções construtivas consta da Tabela 28.

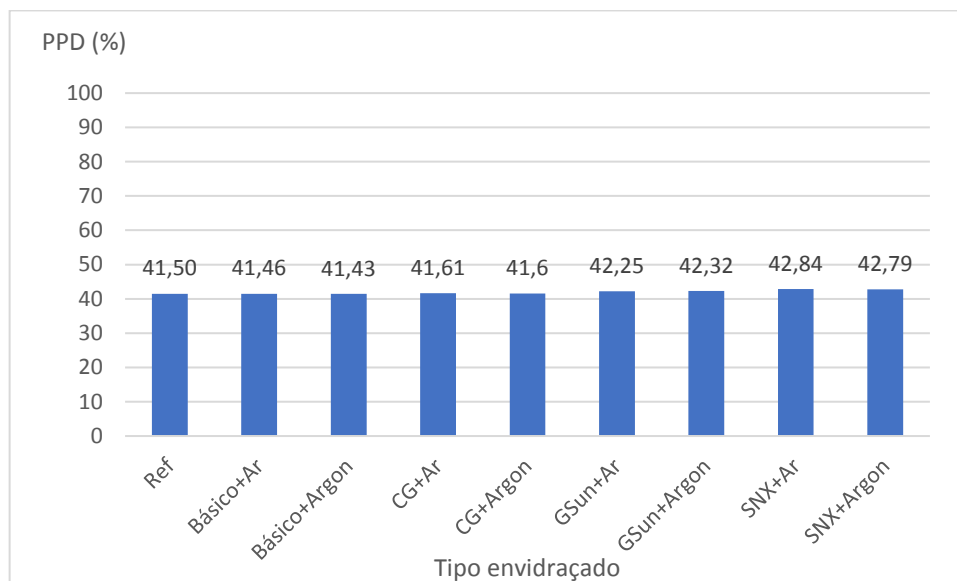


Figura 58 - PPD substituindo os envidraçados do edifício

Conforme se pode verificar pelos resultados apresentados na Figura 58, com exceção dos envidraçados denominados como “básicos”, o valor de percentagem de pessoas insatisfeitas termicamente é superior comparativamente à solução de referência, sendo que os envidraçados do tipo *SunGuard*, vidros de controlo solar, são os que apresentam valores menos satisfatórios.

Tal como já foi dito anteriormente, o facto de neste estudo a estação de aquecimento ser muito mais gravosa do que a de arrefecimento origina que haja uma necessidade de obter ganhos solares nessa estação de modo a aumentar a temperatura interior do edifício e, conseqüentemente, aumentar o conforto sentido pelos ocupantes. Assim, quanto melhor forem as características relativas ao controlo solar do envidraçado, maior desconforto se sentirá.

De seguida, no gráfico presente na Figura 59, apresentam-se as percentagens de pessoas insatisfeitas (PPD) implementando cada uma das soluções de caixilharias em estudo no edifício.

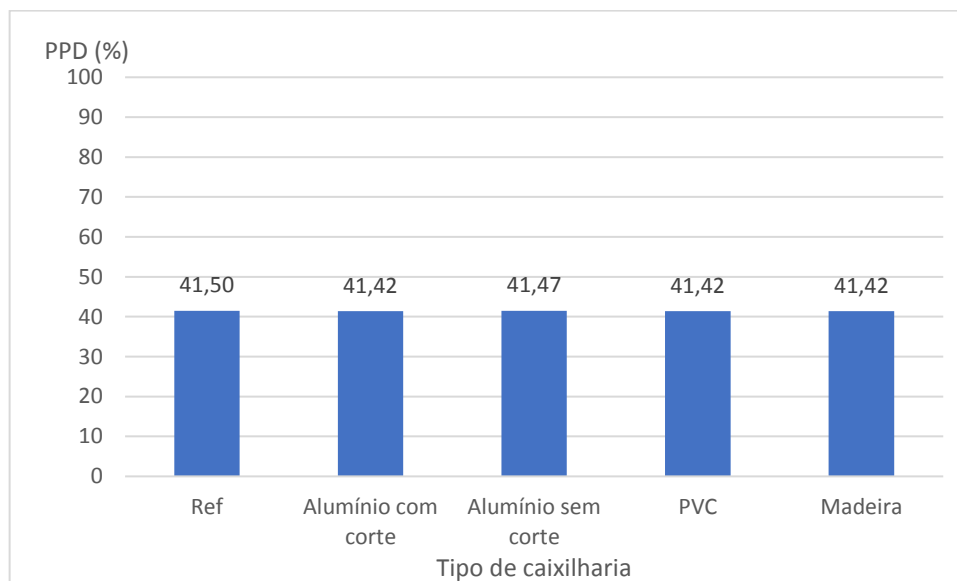


Figura 59 - PPD substituindo a caixilharia

Analisando o gráfico presente na Figura 59, verifica-se que todos os sistemas de caixilharia em estudo apresentam valores de pessoas insatisfeitas mais baixos comparativamente à solução de referência. No entanto, estes valores não apresentam variação significativa entre eles.

5.3.3. Viabilidade económica

De seguida, na Tabela 29, apresentam-se os custos de instalação considerados para as soluções estudadas.

Tabela 29 - Custos de instalação e manutenção associados à envolvente não opaca do edifício (CYPE, 2018a, e valores fornecidos por outras empresas)

Solução	Custo instalação (€/m ²)	Custo manutenção (€/m ²)
Envidraçados		
Básico + Ar	61,52€	0,25 €
CG + Ar	65,56€	0,26 €
GSun + Ar	75,45 €	0,30 €
SNX + Ar	130,38 €	0,52 €
Caixilharias		
Alumínio com corte térmico	405,61 €	1,62 €
Alumínio sem corte térmico	239,12 €	0,96 €
PVC	302,98 €	1,21 €
Madeira	1480 €	5,92 €

No caso das soluções em que a caixa-de-ar seja preenchida com gás árgon, o custo de instalação acresce 8,61€/m².

De seguida, na Figura 60, apresentam-se os valores relativos ao custo de ciclo de vida de cada solução de envidraçado estudada. A legenda utilizada consta da Tabela 28.

Estes valores correspondem ao somatório dos custos de instalação, dos custos de manutenção e dos custos de energia ao longo de 30 anos. Dizem respeito a uma área de envidraçado correspondente a 9,15m².

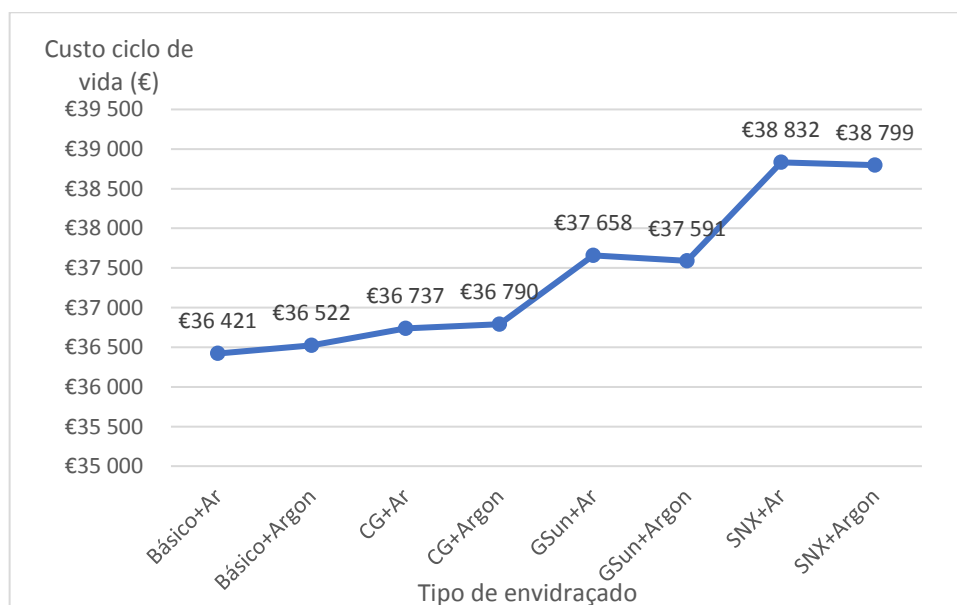


Figura 60 - Custo ciclo de vida associado aos diferentes tipos de envidraçado em estudo

Conforme se pode verificar pelos resultados presentes na Figura 60, os envidraçados com especificidades de controlo solar, ou seja, o GSun e SNX apresentam valores de custos de ciclo de vida mais elevados do que as restantes soluções, o que se justifica pelos respetivos custos de instalação e manutenção serem, também, os mais elevados. Além disso, o facto de conduzirem a necessidades energéticas mais elevadas também agrava o custo de ciclo de vida. Importa salientar que, nestes dois casos, o preenchimento da câmara-de-ar com gás árgon baixa ligeiramente os custos associados ao ciclo de vida da solução em causa, o que se justifica por este gás permitir uma redução das necessidades energéticas.

De seguida, na Figura 61, apresentam-se os valores relativos ao custo de ciclo de vida de cada solução de caixilharia estudada.

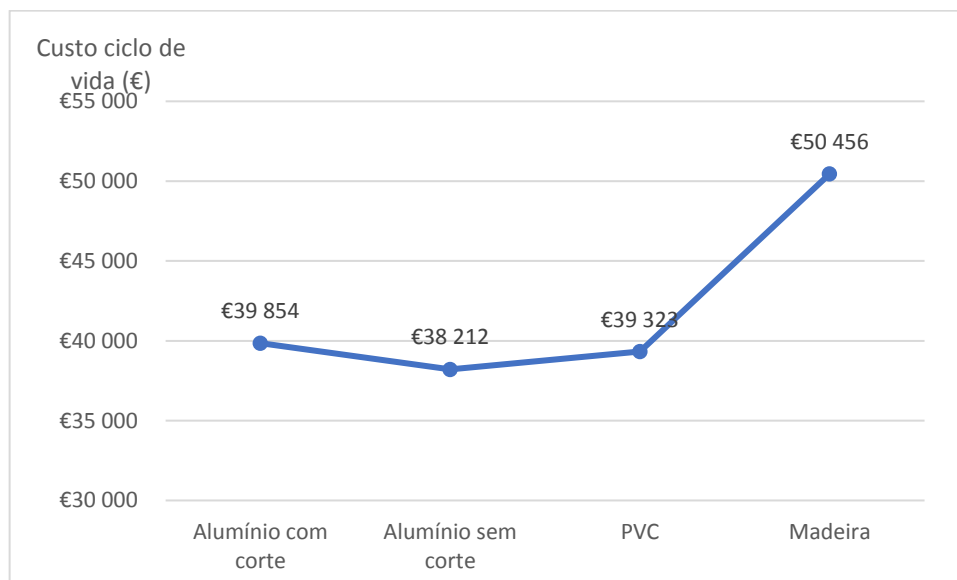


Figura 61 - Custo ciclo de vida associado aos diferentes tipos de caixilharia

Analisando o gráfico apresentado na Figura 61, verifica-se que a solução menos dispendiosa diz respeito ao alumínio sem corte térmico, ao invés da madeira que se apresenta como a mais dispendiosa. Tal se justifica por estas soluções apresentarem os custos de instalação e manutenção mais reduzidos e mais elevados, respetivamente.

5.3.4. Outras cidades

De seguida, apresentam-se os resultados obtidos relativos ao desempenho energético das soluções construtivas para as cidades de Bragança, Lisboa e Faro.

Esta análise incidiu apenas sobre algumas soluções construtivas de reabilitação, de modo a perceber de que forma o desempenho de cada sistema construtivo é afetado pela localização do edifício.

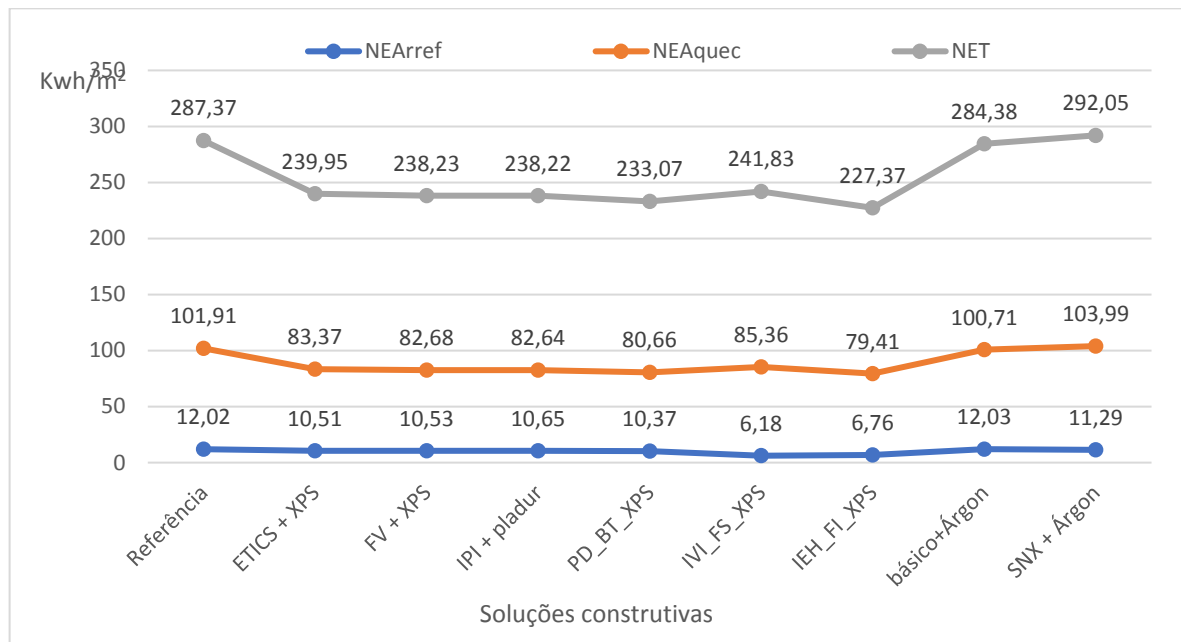


Figura 62 - Necessidades energéticas do edifício, na cidade de Bragança

Conforme se pode analisar pelo gráfico presente na Figura 62, a tendência verificada na análise referente à cidade do Porto mantém-se, independentemente da envolvente do edifício em causa, o que já seria de esperar, uma vez que tal como na cidade do Porto, as necessidades energéticas de aquecimento são muito maiores do que as de arrefecimento.

Quanto aos resultados obtidos para a cidade de Lisboa, Figura 63, verifica-se que a tendência já não é a mesma no que diz respeito à fachada, uma vez que a solução construtiva referente à fachada ventilada conduz a necessidades energéticas globais inferiores ao isolamento pelo interior. Este facto pode justificar-se por esta cidade apresentar um maior equilíbrio entre as necessidades energéticas de aquecimento e de arrefecimento.

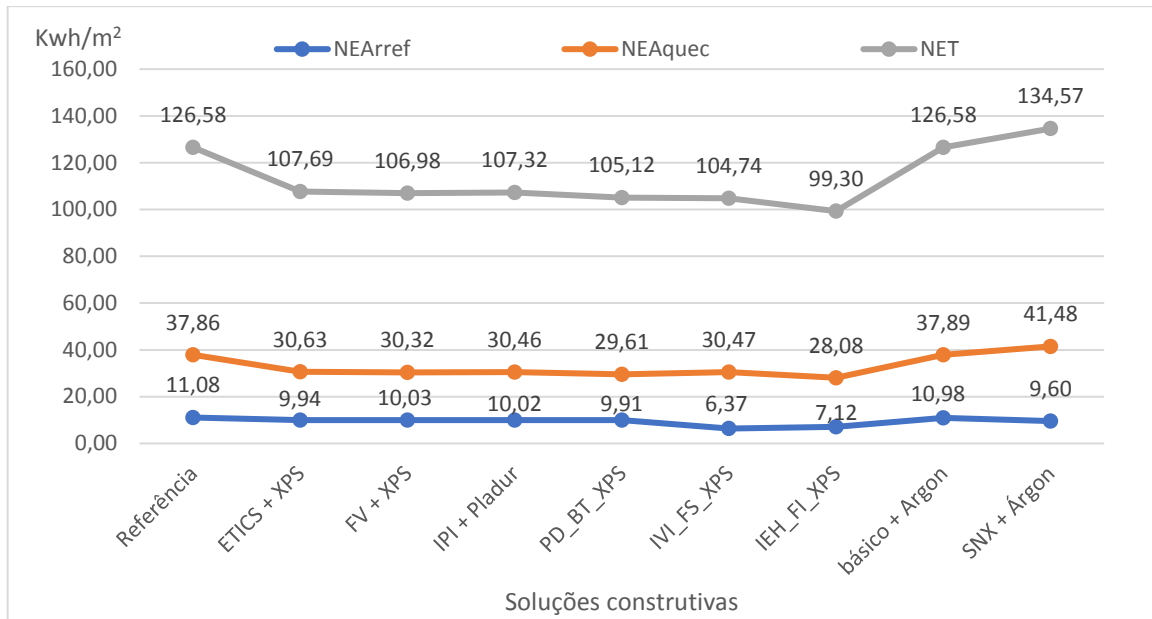


Figura 63 - Necessidades energéticas do edifício, na cidade de Lisboa

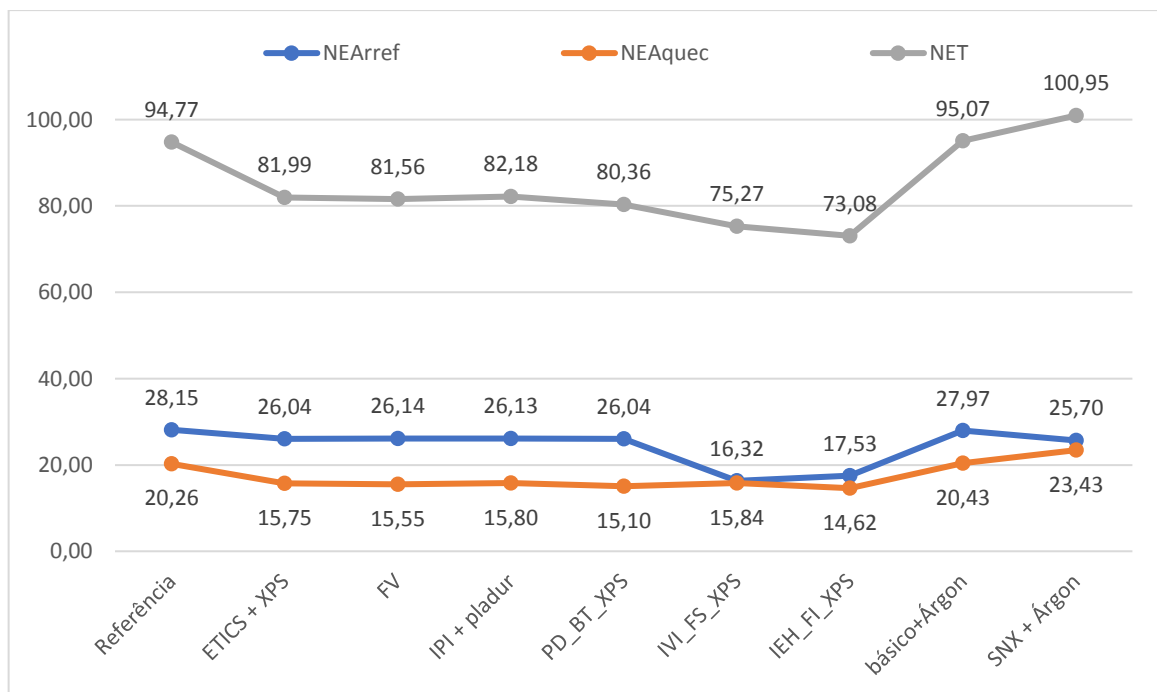


Figura 64 - Necessidades energéticas do edifício, na cidade Faro

Quanto à cidade de Faro, verifica-se uma tendência completamente diferente comparativamente à cidade do Porto. As necessidades energéticas de aquecimento são inferiores às de arrefecimento, ou seja, a estação de arrefecimento é mais crítica do que a de aquecimento, o que já seria previsível uma vez que se trata de uma cidade com temperaturas mais elevadas ao

longo do ano, logo, o desempenho energético dos diferentes sistemas construtivos também é diferente.

No que diz respeito à cobertura do edifício, o sistema de isolamento na esteira horizontal continua a apresentar necessidades energéticas globais inferiores. No entanto a diferença para o isolamento na vertente inclinada não é tao significativa, o que se justifica por este último apresentar um melhor desempenho no que diz respeito às necessidades energéticas de arrefecimento.

Quanto aos envidraçados, verifica-se que o envidraçado de controlo solar, o SNX, conduz a necessidades energéticas globais mais próximas da solução de referência, o que se justifica por este tipo de envidraçado apresentar um melhor comportamento aos ganhos solares.

Por fim, no que se refere à fachada, os sistemas construtivos conduzem a necessidades energéticas globais muito idênticas, sendo que a parede dupla é aquela que conduz a valores mais satisfatórios. Por outro lado, o isolamento pelo interior revela-se como a pior solução. Estes valores justificam-se pelo respetivo desempenho na estação de arrefecimento das respetivas soluções.

5.4. Análise multicritério

Importa voltar a referir que os pesos atribuídos a cada um dos parâmetros em análise, ou seja, desempenho energético, social e económico foram, respetivamente, 40%, 30% e 30%.

5.4.1. Fachadas

De seguida, na Tabela 30, apresentam-se os valores obtidos na análise multicritério das soluções construtivas em estudo referente às fachadas do edifício.

Conforme se pode verificar pelos resultados apresentados na Tabela 30, existe uma tendência para as soluções construtivas que incluam o PIR, serem as que revelam um melhor desempenho global no respetivo sistema construtivo. Tal se justifica pelo facto de essas soluções serem as que conduzem a melhores resultados em termos de necessidades energéticas e de conforto, o que representa um peso total de 70% no desempenho total da solução. Nestas soluções, apesar de apresentarem um custo de ciclo de vida mais elevado, verifica-se que a diferença não é assim tão relevante comparativamente à maioria das restantes soluções, com exceção do EPS, uma

vez que apesar de representarem um custo de investimento mais elevado, tal investimento acaba por ser recuperado quase na totalidade. Isto porque nas soluções que incluem este material, como há menos necessidades energéticas, o custo da energia ao longo do ciclo de vida é mais baixo.

Tabela 30 – Metodologia MARS-SC aplicada à fachada do edifício

	Solução	Térmica - If		Social		Económico		Total
		Ntc	If	PPD	Is	Custo	Ie	
E T I C S	EPS 100	138,33	0,2491	38,57	0,8592	33 045,00 €	0,990	0,654
	XPS	138,08	0,2809	38,54	0,8644	33 319,00 €	0,985	0,667
	Lã Rocha	138,06	0,2841	38,54	0,8648	33 732,00 €	0,977	0,666
	ICB	139,25	0,1325	38,67	0,8398	34 912,00 €	0,954	0,591
	PIR	134,71	0,7101	38,17	0,9363	34 331,00 €	0,965	0,854
	Reboco térmico	140,30	0,0000	38,76	0,8223	32 828,00 €	0,994	0,545
	EPS grafitado	137,09	0,4069	38,43	0,8856	32 702,00 €	0,997	0,728
Fachada ventilada	XPS	137,18	0,3956	38,39	0,8939	49 698,00 €	0,665	0,626
	PIR	134,15	0,7813	38,01	0,9678	50 787,00 €	0,644	0,796
	Lã Rocha	137,17	0,3965	38,39	0,8945	50 118,00 €	0,657	0,624
	ICB	138,17	0,2695	38,50	0,8737	51 256,00 €	0,635	0,560
	EPS 100	137,41	0,3670	38,41	0,8895	49 421,00 €	0,671	0,615
Outros sistemas	Painel Fachada	134,20	0,7750	38,06	0,9580	33 291 €	0,985	0,893
	Jardim vertical	136,71	0,4560	43,03	0,0000	83 800 €	0,000	0,182
Isol. Pelo interior-tijolo	XPS	136,29	0,5086	38,28	0,9155	33 138,00 €	0,988	0,775
	Lã Rocha	136,31	0,5064	38,27	0,9164	33 563,00 €	0,980	0,772
	ICB	137,16	0,3984	38,37	0,8976	34 383,00 €	0,964	0,718
	EPS 100	136,47	0,4863	38,30	0,9116	32 850,00 €	0,994	0,766
	PIR	133,69	0,8394	38,18	0,9343	34 320,00 €	0,965	0,906
Isol. Pelo interior-pladur	XPS	137,41	0,3670	38,53	0,8677	32 821,00 €	0,995	0,706
	Lã Rocha	137,40	0,3679	38,52	0,8687	33 324,00 €	0,985	0,703
	ICB	138,47	0,2314	38,64	0,8452	34 115,00 €	0,969	0,637
	EPS 100	137,63	0,3385	38,55	0,8629	32 544,00 €	1,000	0,694
	PIR	134,28	0,7646	38,18	0,9336	33 610,00 €	0,979	0,880
PD-BT	PIR	132,42	1,0000	37,84	1,0000	35 814,00 €	0,936	0,981
	XPS	134,43	0,7455	38,05	0,9598	34 500,00 €	0,962	0,875
	Lã Rocha	134,42	0,7464	38,05	0,9601	34 920,00 €	0,954	0,873
	ICB	135,08	0,6629	38,12	0,9469	35 984,00 €	0,933	0,829
	EPS 100	134,55	0,7296	38,06	0,9571	34 202,00 €	0,968	0,869
PD-TV	PIR	133,19	0,9029	37,92	0,9844	35 405,00 €	0,944	0,940
	XPS	135,57	0,5998	38,17	0,9365	34 176,00 €	0,968	0,811
	Lã Rocha	135,64	0,5912	38,17	0,9355	34 612,00 €	0,960	0,805
	ICB	136,37	0,4990	39,04	0,7695	35 689,00 €	0,939	0,712
	EPS 100	135,75	0,5776	38,19	0,9330	33 888,00 €	0,974	0,803

No que diz respeito aos sistemas construtivos, verifica-se que a parede dupla revestida com bloco térmico é aquela que apresenta um desempenho global mais satisfatório, ao invés da fachada ventilada que se revela como a pior, excluindo desta análise o jardim vertical, pelas razões referidas anteriormente. No primeiro caso, o facto de este sistema conduzir ao melhor desempenho energético e térmico, o que representa um total de 70% do peso no desempenho global, justifica estes valores. Apesar de ser dos sistemas construtivos que apresentam um custo

de ciclo de vida mais elevado, tal não se reflete muito no desempenho global uma vez que estes valores representam apenas 30% do peso no desempenho global e, além disso, são valores relativamente próximos dos restantes sistemas. No segundo caso, por ser um sistema construtivo que apresenta elevados custos de instalação e manutenção, influencia bastante o custo de ciclo de vida, apresentando-se como o pior sistema neste aspeto. Além disso, apresenta um desempenho energético e térmico intermédio, ou seja, nem é o melhor nem o pior sistema construtivo.

5.4.2. Cobertura

De seguida, na Tabela 31, apresentam-se os valores obtidos na análise multicritérios das soluções construtivas em estudo referente à cobertura do edifício.

Tabela 31 – Metodologia MARS-SC aplicada à cobertura do edifício

	Solução	Térmica - If		Social		Económico		Total
		Ntc	If	PPD	Is	Custo	Ie	
Isol. Vertente inclinada-face exterior	Painel "sandwich"	134,05	0,478	44,46	0,0000	34 806 €	0,718	0,407
	Painel - chapa	134,76	0,429	44,40	0,0106	34 013 €	0,758	0,402
	Cobertura Verde	130,37	0,734	38,79	1,0000	49 075 €	0,000	0,594
	XPS	139,76	0,081	44,02	0,0781	34 674 €	0,725	0,273
	Lã Rcoha	139,73	0,083	44,02	0,0781	35 196 €	0,698	0,266
	ICB	140,92	0,000	44,00	0,0816	36 607 €	0,627	0,213
	EPS 100	139,99	0,065	43,93	0,0939	34 323 €	0,742	0,277
	PIR	136,30	0,322	44,29	0,0305	36 077 €	0,654	0,334
Isol. Vertente inclinada-face interior	XPS	138,93	0,138	43,18	0,2261	31 260 €	0,896	0,392
	Lã Rcoha	138,93	0,138	43,18	0,2261	31 666 €	0,876	0,386
	ICB	140,12	0,056	43,05	0,2490	32 829 €	0,817	0,342
	EPS 100	139,19	0,120	43,15	0,2314	31 006 €	0,909	0,390
	PIR	135,60	0,370	43,59	0,1538	32 173 €	0,850	0,449
Isol. Esteira hor - face inferior	XPS	129,81	0,773	42,71	0,3089	32 682 €	0,825	0,649
	Lã Rcoha	129,90	0,767	42,72	0,3071	33 222 €	0,798	0,638
	ICB	130,97	0,692	42,61	0,3265	34 623 €	0,727	0,593
	EPS 100	130,09	0,754	42,70	0,3107	32 342 €	0,842	0,647
	PIR	126,55	1,000	43,05	0,2490	34 101 €	0,753	0,701
Isol. Esteira hor - face superior	XPS	130,47	0,727	42,40	0,3635	29 446 €	0,988	0,696
	Lã Rcoha	130,47	0,727	42,40	0,3635	29 852 €	0,967	0,690
	ICB	131,83	0,632	42,29	0,3829	31 053 €	0,907	0,640
	EPS 100	130,75	0,707	42,38	0,3670	29 198 €	1,000	0,693
	PIR	126,68	0,990	42,76	0,3001	30 262 €	0,946	0,770

Analisando a Tabela 31, verifica-se que os sistemas construtivos referentes ao isolamento na esteira horizontal apresentam valores de desempenho global muito idênticos. No entanto, no caso do isolamento se localizar na face superior da esteira horizontal, apresenta-se como a melhor solução, uma vez que entre estes dois sistemas os desempenhos energéticos e térmicos são muito semelhantes, sendo a diferença marcada pela viabilidade económica, o que se justifica por este sistema construtivo apresentar custos de investimento e manutenção significativamente mais reduzidos.

Por outro lado, o isolamento na vertente inclinada na face exterior, excluindo os painéis de isolantes e a cobertura verde, apresenta um desempenho global menos satisfatório do que os restantes. Este facto justifica-se por este sistema apresentar um desempenho, nos três parâmetros em análise, mais baixo.

Por último, importa salientar que a solução referente à cobertura verde apresenta o melhor valor em termos térmicos e um valor bastante satisfatório no que diz respeito ao desempenho energético. No entanto, o custo de ciclo de vida associado a este sistema é bastante elevado, devido ao custo de instalação e manutenção, influenciado assim o respetivo desempenho global.

5.4.2. Envidraçados e caixilharia

De seguida, na Tabela 32, apresentam-se os valores obtidos na análise multicritérios das soluções construtivas em estudo referente à envolvente não opaca do edifício.

Tabela 32 – Metodologia MARS-SC aplicada às caixilharias

Solução	Térmica - If		Social		Económico		Total
	Ntc	If	PPD	Is	Custo	Ie	
Alumínio c/corte	163,00	0,881	41,42	0,3125	39 854 €	0,866	0,706
Alumínio sem corte	163,51	0,000	41,47	0,0000	38 212 €	1,000	0,300
PVC	162,93	1,000	41,42	0,3125	39 323 €	0,909	0,767
Madeira	162,98	0,913	41,31	1,0000	50 456 €	0,000	0,665

Analisando a Tabela 32, pode-se afirmar que a solução que apresenta um desempenho global mais elevado diz respeito ao PVC. Tal se justifica devido ao facto de esta solução conduzir a um desempenho energético mais alto do que as restantes soluções e uma viabilidade económica muito próxima do nível mais satisfatório que diz respeito à solução de caixilharia em alumínio sem corte térmico. Por outro lado, esta última, apesar da viabilidade económica, revela-se assim

como a solução com um desempenho global mais baixo, o que se justifica pelos desempenhos energético e térmico serem mais baixos do que as restantes soluções.

Tabela 33 – Metodologia MARS-SC aplicada aos envidraçados

Solução	Térmica - If		Social		Económico		Total
	Ntc	If	PPD	Is	Custo	Ie	
Básico + Ar	163,13	0,969	41,46	0,9787	36 421 €	1,000	0,981
Básico + Árgon	162,87	1,000	41,43	1,0000	36 522 €	0,958	0,987
CG + Ar	164,08	0,859	41,61	0,8723	36 737 €	0,869	0,866
CG + Árgon	163,93	0,876	41,6	0,8794	36 790 €	0,847	0,868
GS + Ar	168,28	0,374	42,25	0,4184	37 658 €	0,487	0,421
GS + Árgon	167,55	0,458	42,32	0,3688	37 591 €	0,515	0,448
SNX + Ar	171,51	0,000	42,84	0,0000	38 832 €	0,000	0,000
SNX + Árgon	170,92	0,068	42,79	0,0355	38 799 €	0,014	0,042

De salientar que as siglas utilizadas estão explícitas na Tabela 28.

Conforme se pode verificar, pelos resultados presentes na Tabela 33, o tipo de envidraçados que apresenta um desempenho global mais elevado diz respeito ao envidraçado como “básico” + árgon, o que se justifica por apresentar valores de desempenho, de todos os parâmetros em estudo, mais satisfatórios do que as restantes soluções. As soluções vão piorando, globalmente, à medida que o envidraçado em estudo apresenta características de controlo solar mais elevadas.

5.4.3. Cenários de reabilitação

Após analisar os resultados obtidos nas simulações realizadas, foram propostos e analisados cinco cenários de reabilitação com a finalidade de diminuir as necessidades energéticas, aumentar o conforto térmico e otimizar o custo de ciclo de vida do edifício.

Em todos os cenários descritos de seguida, implementaram-se sistemas de climatização, de produção de AQS e de energias renováveis, juntamente com as soluções construtivas de reabilitação do edifício. Estes sistemas foram descritos no capítulo 4.

Os cenários de reabilitação propostos são os seguintes:

- Cenário “referência + sistemas”: Neste cenário não foi alterada nenhuma solução construtiva do edifício em estudo. Inicialmente adicionaram-se sistemas de climatização ou de produção e AQS à solução de referência. De seguida, a esses cenários acrescentou-

se um sistema de produção de energias renováveis. Assim, pretende-se perceber qual o sistema de produção de energias renováveis aliado a um sistema de climatização e/ou produção de AQS, que permite resultados mais satisfatórios;

- Cenário 1: Neste cenário implementaram-se as soluções construtivas de reabilitação que permitem obter um desempenho global mais elevado. Ou seja, parede dupla com isolamento térmico PIR e revestida com bloco térmico, isolamento na esteira horizontal na face superior com isolamento térmico PIR, na cobertura, caixilharia em PVC e envidraçados “básico” preenchendo a lâmina de ar com gás argon.
- Cenário 2: Neste cenário implementaram-se as soluções construtivas com menores custos de ciclo de vida. Ou seja, isolamento pelo interior com contra fachada em pladur e EPS como isolamento térmico, isolamento na esteira horizontal na face superior e EPS, caixilharias em alumínio sem corte térmico e envidraçados do tipo “básico” preenchendo a lâmina de ar com ar.
- Cenário 3: Neste cenário implementaram-se soluções de reabilitação que permitem obter necessidades energéticas mais baixas. Ou seja, parede dupla com PIR revestida com bloco térmico, isolamento na esteira horizontal na face inferior com PIR, caixilharias em PVC e envidraçados do tipo “básico” preenchendo a lâmina de ar com gás argon;
- Cenário 4: Neste cenário implementaram-se soluções construtivas de reabilitação que permitem obter um desempenho térmico sentido pelos ocupantes mais elevado. Ou seja, parede dupla com PIR revestida com bloco térmico, cobertura verde, caixilharia em madeira e envidraçados do tipo “básico” preenchendo a lâmina de ar com gás Argon.

De seguida apresentam-se os preços de investimento, onde já se inclui o preço de mão-de-obra, e manutenção dos sistemas de climatização, de produção de AQS e de energias renováveis em estudo. Apresenta-se, também, o período de vida útil de cada sistema, ao fim do qual é necessário proceder à respetiva substituição.

Estes preços foram obtidos em catálogos respetivos a cada sistema em estudo. O período de vida útil dos sistemas foi considerado conforme a norma EN 15459 (CEN, 2006).

Tabela 34 - Custos de instalação, custos manutenção e período de vida útil associado a cada sistema (CYPE, 2018a, e valores fornecidos por outras empresas)

Sistema	Custo instalação (€)	Custo manutenção (€.ano)	Período de vida útil (anos)
Ar-condicionado	2393	150	15
Caldeira de Condensação	2597	200	20
Bomba de calor	8366.40	139	20
Biomassa	4177.40	200	20
Kit autoconsumo	2410	162.36	20
Coletor solar	1959.53	129.89	20

Importa referir que daqui em diante, neste subcapítulo, as abreviaturas utilizadas para o ar condicionado, painel fotovoltaico e coletor solar serão, respetivamente, AC, PF e CS.

De seguida, apresentam-se os preços de investimento e manutenção considerados nos diferentes cenários em estudo. Para tal, procedeu-se ao somatório do custo de cada uma das soluções construtivas e sistemas de climatização, AQS e energias renováveis que constituem cada um dos cenários.

Tabela 35 - Custo de instalação e manutenção associados a cada cenário de reabilitação

Cenário	Custo instalação (€)	Custo manutenção (€.ano)
Referência + AC	2393	150
Referência + biomassa	4117.40	200
Referência + bomba de calor	8366.40	139
Referência + caldeira condensação	2597	200
Referência + bomba de calor + PF	10776.40	301.36
Referência + bomba + CS	10325.93	268.89
Referência + AC + PF	4803	312.36
Referência + AC + CS	4352.53	279.89
Referência + caldeira condensação + PF	5007	363.36
Referência + caldeira condensação + CS	4556.53	329.89
Cenário 1 + AC	15520.92	211.03
Cenário 1 + biomassa	16945.37	261.03
Cenário 1 + caldeira condensação	15724.88	261.03
Cenário 1 + bomba de calor	21494.37	200.03
Cenário 1 + AC + PF	17930.92	373.39
Cenário 1 + AC + CS	17480.45	340.92
Cenário 1 + bomba de calor + PF	23904.37	362.39
Cenário 1 + bomba de calor + CS	23453.90	329.92
Cenário 2 + AC	8564.01	203.34
Cenário 2 + biomassa	10288.41	253.34
Cenário 2 + caldeira condensação	8768.01	253.34

Cenário 2 + bomba de calor	14537.41	192.34
Cenário 2 + AC + PF	10974.01	365.70
Cenário 2 + AC + CS	10523.54	333.23
Cenário 2 + bomba de calor + PF	16947.41	354.70
Cenário 2 + bomba de calor + CS	16496.94	322.23
Cenário 3 + AC	18031.06	254.31
Cenário 3 + biomassa	19755.46	304.31
Cenário 3 + caldeira condensação	18235.06	304.31
Cenário 3 + bomba de calor	24004.46	243.31
Cenário 3 + AC + PF	20441.06	416.67
Cenário 3 + AC + CS	19990.59	384.20
Cenário 3 + bomba de calor + PF	26414.46	405.67
Cenário 3 + bomba de calor + CS	25963.99	373.20
Cenário 4 + AC	36850.77	638.36
Cenário 4 + AC + PF	39260.77	800.72
Cenário 4 + AC + CS	38810.30	768.25
Cenário 4 + biomassa	38575.17	688.36
Cenário 4 + caldeira condensação	37054.77	688.36
Cenário 4 + bomba de calor	42824.17	627.36
Cenário 4 + bomba de calor + PF	45234.17	789.724
Cenário 4 + bomba de calor + CS	44783.70	757.25

De seguida, na Tabela 36 apresentam-se os resultados obtidos através da aplicação da metodologia MARS-SC aos cenários de reabilitação propostos.

Importa salientar que nesta análise, o valor do PPD dentro de cada cenário não varia, independentemente dos sistemas em causa, uma vez que não se teve em consideração a influência que diferentes sistemas de climatização teriam neste parâmetro.

Analisando os resultados presentes na Tabela 36, verifica-se que, implementando na solução de referência um sistema de climatização e/ou produção de AQS, a solução que apresenta um desempenho global mais satisfatório diz respeito à biomassa, o que se justifica por se tratar de um sistema cuja fonte de energia é renovável, os *pellets*. Assim, as necessidades energéticas primárias do edifício são quase nulas o que acaba por se refletir também no custo de ciclo de vida do edifício, uma vez que o custo de investimento e manutenção é amenizado ao longo dos anos na poupança do custo da energia. Verifica-se, também, que, independentemente do cenário de reabilitação em causa, a solução que inclua este sistema apresenta sempre o melhor desempenho global, em cada cenário.

Tabela 36 – Metodologia MARS-SC aplicada a cada cenário de reabilitação

Solução	Térmica - If		Social		Económico		Total
	Ntc	If	PPD	Is	Custo	le	
ref+ Ac	61,43	0,218	41,5	0,000	19 753 €	0,911	0,361
ref + biomassa	1,78	0,978	41,5	0,000	22 166 €	0,862	0,650
ref + bomba de calor	47,62	0,394	41,5	0,000	24 307 €	0,818	0,403
ref + condensação	78,55	0,000	41,5	0,000	22 735 €	0,850	0,255
ref + bomba de calor + PF	27,62	0,649	41,5	0,000	19 977 €	0,907	0,531
ref + bomba de calor + CS	36,86	0,531	41,5	0,000	24 430 €	0,815	0,457
ref + AC + FV	41,43	0,473	41,5	0,000	15 424 €	1,000	0,489
ref + AC + CS	50,68	0,355	41,5	0,000	22 999 €	0,845	0,395
ref+ condensação + FV	58,55	0,255	41,5	0,000	18 405 €	0,939	0,384
ref + condensação + CS	67,80	0,137	41,5	0,000	25 899 €	0,785	0,290
cenário 1 +AC	40,25	0,488	39,2	0,780	29 580 €	0,709	0,642
cenário 1 + biomassa	0,06	1,000	39,2	0,780	31 117 €	0,678	0,837
cenário 1 + condensação	43,96	0,440	39,2	0,780	30 591 €	0,689	0,617
cenário 1 + bomba de calor	26,62	0,661	39,2	0,780	34 175 €	0,615	0,683
cenário 1 + AC + PF	20,25	0,742	39,2	0,780	25 251 €	0,798	0,770
cenário 1 + AC + CS	29,49	0,625	39,2	0,780	32 745 €	0,644	0,677
Cenário 1 + bomba + PF	6,62	0,916	39,2	0,780	29 845 €	0,704	0,811
Cenário 1 + bomba + CS	15,86	0,798	39,2	0,780	33 662 €	0,626	0,741
cenário 2 + AC	41,51	0,472	38,55	1,000	22 657 €	0,852	0,744
cenário 2 + biomassa	0,14	0,999	38,55	1,000	24 265 €	0,819	0,945
cenário 2 + condensação	46,03	0,414	38,55	1,000	24 048 €	0,823	0,713
cenário 2 + bomba calor	27,87	0,645	38,55	1,000	27 249 €	0,757	0,785
cenário 2 + AC + PF	21,51	0,726	38,55	1,000	18 328 €	0,940	0,873
cenário 2 + AC + CS	30,76	0,609	38,55	1,000	25 822 €	0,787	0,779
cenário 2 + bomba + PF	7,87	0,900	38,55	1,000	22 920 €	0,846	0,914
cenário 2 + bomba + CS	17,12	0,782	38,55	1,000	26 737 €	0,768	0,843
cenário 3 + AC	40,28	0,487	39,22	0,773	32 843 €	0,642	0,620
cenário 3 + biomassa	0,09	0,999	39,22	0,773	34 383 €	0,611	0,815
cenário 3 + condensação	44,02	0,440	39,22	0,773	33 853 €	0,622	0,594
cenário 3 + bomba de calor	26,66	0,661	39,22	0,773	37 437 €	0,548	0,661
cenário 3 + AC + PF	20,28	0,742	39,22	0,773	28 519 €	0,731	0,748
cenário 3 + AC + CS	29,53	0,624	39,22	0,773	33 416 €	0,631	0,671
cenário 3 + bomba + PF	6,66	0,915	39,22	0,773	33 108 €	0,637	0,789
Cenário 3 + bomba + CS	15,90	0,798	39,22	0,773	36 925 €	0,559	0,719
cenário 4 + AC	41,88	0,467	40,9	0,203	59 334 €	0,099	0,277
cenário 4 + AC + PF	21,88	0,722	40,9	0,203	55 004 €	0,188	0,406
cenário 4 + AC + CS	31,12	0,604	40,9	0,203	62 498 €	0,034	0,313
Cenário 4 + biomassa	0,02	1,000	40,9	0,203	61 170 €	0,061	0,479
cenário 4 + condensação	46,62	0,407	40,9	0,203	60 738 €	0,070	0,245
cenário 4 + bomba de calor	28,23	0,641	40,9	0,203	64 140 €	0,000	0,317
cenário 4 + bomba + PF	8,23	0,895	40,9	0,203	59 811 €	0,089	0,446
cenário 4 + bomba + CS	17,47	0,778	40,9	0,203	63 628 €	0,011	0,375

Se for adicionado aos sistemas de climatização e/ou produção de AQS um sistema de produção de energia renovável, verifica-se que a solução referente à bomba de calor juntamente com um painel fotovoltaico é aquela que apresenta um desempenho global mais elevado, uma vez que esta energia produzida é fornecida ao aparelho de sistema de climatização e utilizada na

produção de AQS, reduzindo substancialmente as necessidades energéticas do edifício e, conseqüentemente, o custo de ciclo de vida do mesmo, porque apesar de ser um sistema que representa um avultado custo de investimento e manutenção, estes são amenizados através da poupança no custo de energia. No entanto, a solução referente ao ar condicionado juntamente com o painel fotovoltaico também apresenta um desempenho global bastante satisfatório, uma vez que o custo de ciclo de vida é mais baixo do que os restantes sistemas e o desempenho energético também se revela como um dos melhores. Assim, optou-se por adicionar aos restantes cenários de reabilitação, estas duas soluções, uma vez que uma representa o melhor desempenho global e, a outra, o custo de ciclo de vida mais baixo.

Importa salientar que entre os sistemas de produção de energia renovável, painel fotovoltaico e coletor solar, o primeiro representa uma opção mais vantajosa porque o rendimento associado a este sistema é mais elevado, o que se reflete na redução das necessidades energéticas primárias do edifício e, conseqüentemente, no custo de ciclo de vida.

Analisando os diferentes cenários de reabilitação em que se modifica toda a envolvente do edifício, verifica-se que o cenário 2 é aquele que apresenta um desempenho global mais elevado, o que se justifica pelo custo de ciclo de vida associado ser significativamente mais reduzido do que os restantes cenários. Além disso, apesar de se tratar do cenário que engloba as soluções construtivas de reabilitação mais económicas, o desempenho energético é satisfatório.

Por outro lado, o cenário 4 é aquele que apresenta um desempenho global mais reduzido, o que se justifica por apresentar um custo de ciclo de vida bastante elevado, uma vez que as soluções construtivas que o constituem apresentam custos de investimento e manutenção muito avultados. Este cenário requer especial atenção, pois apesar das soluções construtivas em causa serem aquelas que, individualmente, apresentam níveis de conforto térmico mais elevados, simulando-as todas no mesmo cenário, este acaba por se revelar como o pior em termos de desempenho térmico. Este facto acaba por ir de encontro à análise de resultados realizada no subcapítulo 5.2.2, ou seja, é possível que o aumento do valor do PPD verificado nessa análise seja devido a assimetrias de temperatura. Esta questão das assimetrias pode não se verificar quando se isola apenas a fachada devido ao facto de a cobertura no global apresentar um melhor desempenho térmico (por existir cobertura inclinada + o desvão + a laje horizontal), ou seja, ao se isolar apenas a fachada do edifício, a cobertura tem melhor desempenho energético o que pode originar a que o diferencial de temperatura não seja tão grande.

No que diz respeito ao cenário 1, apesar de este incluir as soluções construtivas com melhor desempenho global, a respetiva poupança no custo de energia não influencia suficientemente o custo de ciclo de vida do edifício ao ponto de compensar o custo de investimento e manutenção destas soluções construtivas. Importa salientar que este facto está associado aos pesos atribuídos aos parâmetros em estudo, uma vez que a diferença entre o aspeto energético e o aspeto económico apresentam uma diferença de relevância de apenas 10%. No entanto, este cenário apresenta um desempenho global muito satisfatório, sendo apenas inferior ao cenário 2.

CAPÍTULO 6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1. Conclusões

O presente estudo teve como objetivo a análise de soluções construtivas, aplicáveis em situações de reabilitação de edifícios residenciais, de modo a melhorar, em simultâneo, o desempenho energético, térmico e económico dos mesmos.

Este estudo foi realizado para a cidade do Porto, no entanto, com a finalidade de se perceber de que forma os diferentes sistemas construtivos em estudo se comportam quando sujeitos a outro tipo de clima, simulou-se também, o desempenho energético de algumas soluções construtivas para as cidades de Bragança, Lisboa e Faro.

Na análise individual a cada uma das soluções construtivas, no que diz respeito às fachadas do edifício, o sistema construtivo referente à parede dupla com alvenaria em bloco térmico e ao painel fachada apresentam um melhor desempenho energético e térmico do que os restantes sistemas, conduzindo a uma diminuição das necessidades anuais globais de energia primária, comparativamente à solução de referência de 17,93%. Por outro lado, o sistema construtivo ETICS conduz a um desempenho energético e térmico mais baixo do que os restantes sistemas. Quanto à viabilidade económica, o sistema construtivo respeitante ao isolamento pelo interior com contra fachada em pladur, apresenta o custo de ciclo de vida mais reduzido.

No que diz respeito à cobertura do edifício, o sistema construtivo referente ao isolamento da esteira horizontal na face inferior conduz a um melhor desempenho energético do que os restantes sistemas construtivos, representando uma diminuição das necessidades anuais globais de energia primária, comparativamente à solução de referência de 20,74%. O sistema construtivo de isolamento da esteira horizontal na face superior conduz a um melhor desempenho térmico e um custo de ciclo de vida mais reduzido do que os restantes sistemas.

Quanto aos envidraçados em estudo, o vidro duplo “básico” apresenta um desempenho térmico, energético e económico mais satisfatório do que os restantes tipos de envidraçados.

Nos diferentes tipos de caixilharias estudados, o sistema em PVC, alumínio sem corte térmico e o sistema de madeira, apresentam, respetivamente um melhor desempenho energético, térmico e económico.

Tendo em conta apenas os cinco tipos de material de isolamento térmico, verifica-se que independentemente do sistema construtivo em causa, as soluções que incluam PIR, apresentam

necessidades energéticas mais baixas do que os restantes. Por outro lado, aquelas que incluem o ICB, apresentam necessidades energéticas mais elevadas. O que pode justificar-se pelo facto de estes materiais de isolamento térmico apresentarem, respetivamente, um valor de condutibilidade térmica mais baixo e mais alto.

Aplicando a metodologia MARS-SC às soluções construtivas em estudo, concluiu-se, para o respetivo tipo de envolvente do edifício, que a parede dupla com alvenaria em bloco térmico, o isolamento da esteira horizontal na face superior, o vidro duplo “básico” e a caixilharia em PVC, apresentam um desempenho global mais elevado do que as restantes soluções.

No que diz respeito aos diferentes cenários de reabilitação propostos, concluiu-se que o cenário 2 é aquele que apresenta um desempenho global mais elevado. Conforme se pode verificar pelos resultados obtidos, reabilitar toda a envolvente do edifício e implementar um sistema de biomassa revela-se uma excelente opção, para o presente caso de estudo. O que se justifica por esta combinação de reabilitação apresentar necessidades energéticas quase nulas e um custo de ciclo de vida relativamente baixo, uma vez que a biomassa é uma fonte de energia renovável, ou seja, a energia produzida é utilizada para diversos fins. No caso de se optar pela instalação de um kit de autoconsumo juntamente com um sistema de climatização e/ou produção de AQS, também se revela uma opção bastante razoável, uma vez que o painel fotovoltaico permite produzir energia a partir de uma fonte renovável, o Sol, o que reduz significativamente as necessidades energéticas do edifício e, conseqüentemente, o custo de ciclo de vida do edifício.

A análise multicritério dos cenários de reabilitação propostos, baseada na metodologia MARS-SC, permitiu verificar que isolar o edifício integralmente se revela uma solução mais vantajosa do que intervir parcialmente, uma vez que além de se obterem necessidades energéticas mais reduzidas, evitam-se fenómenos térmicos que causam desconforto aos ocupantes.

Importa salientar que as conclusões da presente dissertação são influenciadas pelo facto de os pesos associados aos parâmetros energéticos, sociais e económicos serem, respetivamente, de 40, 30 e 30 %, conforme o guia SBTOOL. Estes valores são muito subjetivos, uma vez que dependem da importância que cada proprietário considera para cada um dos parâmetros em estudo.

Com este estudo, pretendeu-se perceber qual o tipo de reabilitação que permita uma melhor otimização do edifício. Conforme se pode verificar pelos resultados obtidos, para o edifício analisado, reabilitar apenas a fachada ou a cobertura do edifício representa, respetivamente, em média, uma melhoria das necessidades energéticas de 16,79% e 18,07%. Por outro lado,

intervencionar apenas na envolvente não opaca não representa uma melhoria significativa. No entanto, verifica-se que existem cenários de reabilitação que apresentam custos de ciclo de vida relativamente reduzidos e que permitem reduzir bastante as necessidades energéticas do edifício, como por exemplo, o cenário 2 com ar condicionado e kit de autoconsumo representa uma redução de 86,86% das necessidades energéticas e um custo de ciclo de vida de 18 328€, para o presente caso de estudo.

6.2. Trabalhos futuros

Pretende-se que este estudo contribua de uma forma positiva e significativa, tanto em obras de reabilitação como em obras novas, nas tomadas de decisão dos projetistas que tenham como objetivo otimizar as condições térmicas e energéticas dos edifícios, com um custo de ciclo de vida reduzido.

De seguida, apresentam-se propostas de trabalhos futuros que possam contribuir para a continuidade e aperfeiçoamento deste estudo:

- Este trabalho focou-se mais no comportamento térmico do edifício quando sujeito a diversos sistemas construtivos, no entanto, é relevante avaliar a durabilidade dos mesmos, bem como o respetivo impacte ambiental e desempenho acústico;
- Avaliar estas soluções construtivas nouro tipo de casos de estudo, tendo em conta diferentes tipologias, características e localização dos edifícios;
- Análises de sensibilidade de forma a ter em consideração diferentes pesos nos parâmetros em estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADENE (2016) ‘10 Soluções de Eficicência Energética’. Available at: <https://www.sce.pt/wp-content/uploads/2017/11/10see-01-isol-paredes-1.pdf>.

Amorim (2018) *Cortiça Amorim*. Available at: <https://www.amorimisolamentos.com/vantagens/porque-usar-esta-cortica/> (Accessed: 26 March 2018).

Anselmo, I. and Nascimento, C. (2004) ‘Reabilitação energética da envolvente de edifícios residenciais’. Available at: http://eficiencia-energetica.com/images/upload/Reabilitacao_energetica.pdf.

ATD-RM (2018) *caldeira condensação*. Available at: <http://atd-rm.pt/content/187-o-que-e-uma-caldeira-de-condensacao> (Accessed: 25 May 2018).

Barbosa, J. A., Bragança, L. and Mateus, R. (2012) ‘Development of a Sustainability Assessment Tool for office buildings’, *WORKSHOP CONSTRUÇÃO E REABILITAÇÃO SUSTENTÁVEIS: Soluções Eficientes para um Mercado em Crise*, pp. 41–53. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.

Bulltrade (2015) *Placa PIR*. Available at: <http://www.bulltrade.com.br/placapurpir.html> (Accessed: 26 March 2018).

Capros, P. *et al.* (2009) ‘EU energy trends to 2030 - update 2009, European Commission, Directorate-General for Energy’.

Carlos, J. S. (2015) ‘Simulation assessment of living wall thermal performance in winter in the climate of Portugal’, pp. 3–4. doi: 10.1007/s12273-014-0187-2.

cbbs energia (2018) *Fotovoltaico*. Available at: <https://www.cbbs-energia.pt/formacao-tecnica/solar-fotovoltaico/paineis-fotovoltaicos> (Accessed: 25 May 2018).

Cedral (2013) ‘Painel fenólico - ficha técnica 2’. Available at: <http://covema.pt/getattachment/b421d873-dbed-4c22-8579-72f1df627057/Painel-Cedral-Euronit/>.

CEN (2006) ‘Energy Performance of Buildings - Economic evaluation procedure for energy systems in buildings’.

COM (2011) ‘Communication from the European Parliament, The Council, The European

Economic and Social Committee And The Committee of the Regions - Roadmap to a Resource Efficient Europe. COM(2001) 571 Final’.

Construtor.pt (2018) *EPS*. Available at: <http://www.construtor.com/index.php?p=item1-3> (Accessed: 25 March 2018).

Cruz, N. (2018) *XPS*. Available at: http://www.nuno-cruz.com/itens_main_info.php?identif=324 (Accessed: 24 March 2018).

CYPE (2018a) *CYPE - Gerador de preços*. Available at: <http://www.geradordeprecos.info/> (Accessed: 9 April 2018).

CYPE (2018b) *Placa ICB*. Available at: http://www.geradordeprecos.info/obra_nova/Isolamentos_e_impermeabilizacoes/Isolamentos/Tectos_falsos/NAT030_Isolamento_sobre_tectos_falsos_com__1_0_0_0_0_0_0.html (Accessed: 26 March 2018).

CYPE and Danosa (2018) *Cobertura Verde*. Available at: http://danosa.geradordeprecos.info/obra_nova/Coberturas/Planas/Nao_acessiveis__nao_ventiladas/QAD032_Cobertura_plana_nao_acessivel__nao_.html (Accessed: 23 March 2018).

DAPE (2018) ‘Kit autoconsumo’. Available at: https://www.dape.pt/wp-content/uploads/2016/04/DAPE_autoconsumo_250W_rev1.pdf.

Decreto-Lei nº 118/2013 (2013) ‘D.R. I Série A. 159 (06-08-20) 4988’.

Decreto-Lei nº78/2006 (no date) ‘D.R. I Série A. 67 (06-04-04) 2411’.

Decreto-Lei nº79/2006 (no date) ‘D.R. I Série A. 67 (06-04-04) 2416’.

Decreto-Lei nº80/2006 (no date) ‘D.R. I Série A. 67 (06-04-04) 2468’.

Despacho nº15793-D/2013 (2013) ‘D.R. II Série. 234 (13-12-03) 35088-(13)’.

Despacho nº15793-F/2013 (2013) ‘D.R. II Série. 234 (13-12-03) 35088-(26)’.

Despacho nº15793-K/2013 (2013) ‘D.R. II Série. 234 (13-12-03) 35088-(58)’.

Diasen (2018) ‘Reboco térmico’. Available at: http://l.diasen.com/MTF//Content/Catalog/diasen/products/PRODUCTS/FT_Diathonite_Evolution_PT_rev_Hugo__2338535538745580313.pdf.

Dutra, M. R. (2010) *Caracterização de revestimentos em fachadas ventiladas. Análise do*

Comportamento. Tese Mestrado. Instituto Superior Técnico.

Ecocasa (2018) *Isolamentos térmicos*. Available at:

https://www.ecocasa.pt/construcao_content.php?id=28 (Accessed: 25 March 2018).

EGIFRRU (2017) ‘Programa de ação IFRRU 2020. Estrutura de Gestão do Instrumento Financeiro para a Reabilitação e Revitalização Urbana.’ Available at:

<http://www.portaldahabitacao.pt/pt/portal/reabilitacao/ifrru/>.

EN_15251 (2006) ‘Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings-addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics’.

Enat (2018) *Kit de autoconsumo*. Available at: <http://www.enat.pt/artigo/destaques/1/kit-autoconsumo> (Accessed: 26 May 2018).

EnergyPlus (2018) *EnergyPlus*. Available at: <https://energyplus.net/> (Accessed: 3 April 2018).

Engenharianaweb (2018) *Cobertura verde*. Available at:

<https://engenheironaweb.com/2017/07/29/como-montar-um-telhado-verde/> (Accessed: 23 March 2018).

EPBD-recast (2010) ‘Diretiva 2010/31/UE Do Parlamento Europeu e Do Conselho. (10/06/18). L 153/13’.

EPBD (2002) ‘Diretiva 2002/91/EC Do Parlamento Europeu e do Conselho. (03/01/04). L 1/65’.

European, C. (2012) ‘Commission Delegated Regulation (EU) n° 244/2012 of 16 January 2012. (12/03/21). L 81/18’.

European Comission (2017a) *European Comission*. Available at:

https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020_pt (Accessed: 6 June 2018).

European Comission (2017b) *European Comission 2030*. Available at:

https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_pt (Accessed: 6 June 2018).

European Comission (2017c) *European Comission 2050*. Available at:

https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_pt (Accessed: 6 June 2018).

European Commission (2010) ‘Directive 20/31/EC of the European Parliament and of the

Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast)', *Official Journal of the European Communities*, pp. 13–35. doi: 10.3000/17252555.L_2010.153.eng.

Eurostat (2017) *Eurostat*. Available at: [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Electricity_prices_for_household_consumers,_first_half_2017_\(EUR_per_kWh\).png](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Electricity_prices_for_household_consumers,_first_half_2017_(EUR_per_kWh).png) (Accessed: 6 June 2018).

FassaBortolo (2018a) 'EPS 100'. Available at: http://sistemaintegrado.fassabortolo.pt/fichas-tecnicas/EPS_100_FT.pdf.

FassaBortolo (2018b) 'EPS grafitado'. Available at: [http://sistemaintegrado.fassabortolo.pt/fichas-tecnicas/SILVERTECH_031_12_16_\(PT\).pdf](http://sistemaintegrado.fassabortolo.pt/fichas-tecnicas/SILVERTECH_031_12_16_(PT).pdf).

Ferreira, M. (2009) *A eficiência energética na reabilitação de edifícios. Tese Mestrado. Universidade Nova de Lisboa.*

Ferreira, M. *et al.* (2014) *Portugal EPBD National report on calculation of cost-optimal levels of minimum energy performance requirement.*

Ferreira, T. (2006) *Sobre a utilização do sistema de isolamento térmico pelo interior em edifícios residenciais em Portugal: Análise do desempenho higrotérmico. tese de Mestrado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.*

Fibrosom (2015) 'Soluções técnicas para a construção civil. Catálogo Geral'. Available at: <http://www.fibrosom.com/Catalogos.aspx>.

Flores, S., Filippín, C. and Lesino, G. (2014) 'Thermal simulation of a double skin façade with plants', *Energy Procedia*. Elsevier B.V., pp. 1763–1772. doi: 10.1016/j.egypro.2014.10.165.

Freitas, V. (2005) 'Evolução na conceção das fachadas em Portugal. Apresentação'. Available at: <https://paginas.fe.up.pt/~vpfreita/ETICS.pdf>.

Futureng (2018a) *Fachadas ventiladas*. Available at: <http://www.futureng.pt/fachadas-ventiladas> (Accessed: 20 March 2018).

Futureng (2018b) *futureng-eps*. Available at: <http://www.futureng.pt/printer-friendly/isolamento-termico> (Accessed: 25 March 2018).

De Gear, R., Brager, R. and Cooper, D. (1997) *Developing and Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference. Final Report.*

Guardian (2018) ‘Características dos envidraçados’. Available at:

<http://cemarking.eu.guardian.com/CeMarking/productliste.aspx?famid=81&prodrd=289&lng=>.

Gyptec (2018) ‘Gesso cartonado - ficha técnica’. Available at:

http://www.gyptec.eu/documentos/Ficha_Tecnica_Gyptec_A.pdf.

IHRU (2016) *Instrumento Financeiro para a Reabilitação e Revitalização Urbana. IFRRU 2020*. Available at:

<http://www.portaldahabitacao.pt/pt/portal/reabilitacao/ifrru/02IFRRU2020.html> (Accessed: 8 June 2018).

IHRU (2017) ‘RpA - Habitação Acessível’. Available at:

http://www.portaldahabitacao.pt/opencms/export/sites/portal/pt/portal/reabilitacao/reabilitarpa-raarrendar_ha/RpA_HA-Ficha-de-Produto.pdf.

Imperialum (2018) ‘Pirmate - mais isolamento com menos espuma. Ficha técnica’. Available at: <https://www.imperialum.com/cms/wp-content/uploads/2014/08/FOpt-PIRMATE.pdf>.

Impermachado (2014) *Isolamentos-impermachado*. Available at:

<http://www.impermachado.pt/isolamentos-termicos/> (Accessed: 26 March 2018).

INE (2012) ‘Parque Habitacional em Portugal : Evolução na última década’, *Destaque : Informação à comunicação social*, pp. 1–10. Available at: www.ine.pt.

INE (2016) ‘Estatísticas da Construção e da Habitação’.

INE and DGEG (2011) ‘Inquérito ao consumidor de energia’.

INE and LNEC (2011) ‘O Parque Habitacional e a sua Reabilitação - Análise e Evolução 2001-2011’, pp. 1–176. doi: 978-989-25-0246-5.

ISO (2005) ‘Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. ISO 7730’.

Isolini, P. *et al.* (2008) ‘Eficiência energética nos edifícios residenciais. Manual do Consumidor’.

Jular (2018) ‘Painel fenólico - ficha técnica’.

Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (2009) ‘Apóstila do Curso Básico de

EnergyPlus.’

Lopes, T. (2010) *Reabilitação Sustentável de Edifícios de Habitação. Tese de Mestrado. Universidade Nova de Lisboa.*

Luque-Fern, F. J. (2006) *Fachada ventilada. Dossier técnico-económico., Bolet.* doi: 10.3989/cyv.2011.v50.i2.985.

Majodir (2018) *Majodir.* Available at:

<http://www.majodir.com/index.php?id=00601201%23&idp=419&tbl=registos> (Accessed: 25 March 2018).

Manual de Engenharia (no date) ‘O Custo Do Ciclo De Vida Como fator de Economia’, pp. 1–25.

Martins, E. (2013) *Caracterização de Sistemas de Reabilitação de Fachadas : Soluções Existentes e Inovadoras. Tese de Mestrado. Universidade do Minho.*

Mateus, R. and Bragança, L. (2006) ‘Tecnologias Construtivas para a Sustentabilidade da Construção (in english Building Technologies for Sustainable Construction). Apresentação’, pp. 1–61.

Mateus, R. and Bragança, L. (2016). ‘Guia de avaliação SBTooL pt - H, iiSBE Portugal. ISBN: 978-989-96543-0-3. Guimarães, Portugal’.

Mendes, F. M. V. P. (2009) *Durabilidade Das Fachadas Ventiladas. Relatório para obtenção de requisitos de grau de Mestre. Universidade do Porto.*

Mendonça, P. (2005) *Propriedades Dos Materiais E Sistemas De Fachada. Tese Mestrado. Universidade do Minho.*

Merlin, L. (2018) *Ar-condicionado.* Available at: <http://www.leroymerlin.pt/Site/Fazer-e-facil/Tutoriais/Tudo-o-que-precisa-saber-sobre-ar-condicionados.aspx> (Accessed: 26 May 2018).

Mexa, N. (2011) *Sistemas Solares Térmicos - Simulação de perfis de consumo e cálculo do comportamento térmico a longo prazo. tese Mestrado Universidade de Lisboa.*

Minho, U. (2017) ‘Reabilitação de Edifícios no contexto nZeb’.

Mir, M. A. (2011) *Green Facades and Building Structures. Tese Mestrado., Faculty of Civil Engineering.*

MundiPerfil (2015) *MundiPerfil*. Available at: <https://www.mundiperfil.pt/#> (Accessed: 28 March 2018).

Naia, P. (2012) *Materiais eco-eficientes para a reabilitação Pedro Guilherme Loreto Norberto dos Santos Naia Materiais eco-eficientes para a reabilitação. tese Mestrado. Universidade do Minho.*

Painço, R. (2013) *Estratégias de Projeto Para Intervenção de Reabilitação Sustentável. Tese Mestrado. Universidade do Minho.*

Paiva, J. *et al.* (2006) ‘Guia Técnico para a Reabilitação Habitacional’. INE and LNEC.

Pinto, V. L. (2014) *Reabilitação Integrada de um Edifício Visando a Melhoria da Qualidade do Ambiente Interior Vera Lúcia Rodrigues Pinto Reabilitação Integrada de um Edifício Visando a Melhoria da Qualidade do Ambiente Interior. Tese Mestrado. Universidade do Minho.*

Portal da Construção Sustentável (2015) ‘Guia para a reabilitação energética de edifícios’.

Portal da energia (2010) *Eficiência energética*. Available at: <http://www.portal-eficienciaenergetica.com.pt/conceitos.html> (Accessed: 6 June 2018).

Portal da energia (2017) *Ar-condicionado*. Available at: <https://www.portal-energia.com/guia-compra-ar-condicionado-precos/> (Accessed: 26 May 2018).

Portal da habitação (2016a) *Isenções Fiscais*. Available at: <http://www.portaldahabitacao.pt/pt/portal/legislacao/beneficiosfiscais.html> (Accessed: 9 June 2018).

Portal da habitação (2016b) *RpA*. Available at: <http://www.portaldahabitacao.pt/pt/portal/reabilitacao/reabilitarparaarrendar/reabilitarparaarrendar.html> (Accessed: 9 June 2018).

Portal da habitação (2018) *IHRU*. Available at: <http://www.portaldahabitacao.pt/pt/ihru/> (Accessed: 9 June 2018).

Preceram (2017) ‘Tijolos - ficha técnica’. Available at: http://www.preceram.pt/documentos/FT_CE_PRECERAM.pdf;

Rocha, T. (2013) *Conforto Térmico no Parque Habitacional Construído - Efeito da Envoltente Construtiva. Tese Mestrado. Universidade do Minho.*

Rodrigues, A. C. R. A. (2011) *Reabilitação energética dos edifícios: caracterização em termos energéticos dos edifícios existentes e elaboração de proposta de reabilitação numa perspetiva custo/benefício*. Tese Mestrado. Universidade do Minho.

Sá, N. (2015) *Identificação do Tipo e Quantidade de PCM Adequado ao Clima Português*. Tese Mestrado. Universidade do Minho.

Sampaio, P. (2010) 'Coletores Solares Térmicos'.

Santos, J. C. dos, Teixeira, J. P. F. and Batista, J. M. A. dos S. (2010) *Avaliação da Qualidade do ar interior em jardins-de-infância*. Tese Mestrado. Universidade do Porto.

Santos, J., Sá, M. and Pereira, C. (2003) *Futureng*. Available at: <http://www.futureng.pt/reabilitacao> (Accessed: 1 February 2017).

Silva, F. (2013) *Estudo de materiais de isolamento térmico inovadores*. Tese Mestrado. Universidade do Porto.

Silva, J. (2012) *Reabilitação térmica de edifícios residenciais: propostas de intervenção*. Tese Mestrado. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.

Silva, M. (2014) *Marcelo Ferreira da Rocha e Silva*. Tese Mestrado. Instituto Técnico Lisboa.

Simões, S., Gregório, V. and Seixas, J. (2016) *Mapping fuel poverty in Portugal*. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610216316708?via%3Dihub>.

Sotecnisol (2018) *Painel Lã de Rocha*. Available at: <https://www.sotecnisol.pt/materiais/produtos/solucoes-de-impermeabilizacao-isolamentos-e-drenagens/isolamentos-termicos/la-de-rocha-novo/painel-la-de-rocha-sem-revestimento/> (Accessed: 26 March 2018).

Sotecnisol (2018) 'Lã de Rocha'. Available at: <https://www.sotecnisol.pt/materiais/produtos/solucoes-de-impermeabilizacao-isolamentos-e-drenagens/isolamentos-termicos/la-de-rocha-novo/painel-la-de-rocha-sem-revestimento/>.

Sousa, R. B. de (2012) *Jardins Verticais : um contributo para os espaços verdes urbanos e oportunidade na reabilitação do edificado*. Tese Mestrado. Universidade Lusófona do Porto. Available at: <http://recil.grupolusofona.pt/handle/10437/3078>.

SunEnergy (2018) *solar térmico*. Available at: <http://www.sunenergy.pt/particulares/aguas->

quentes-sanitarias/paineis-solares-termicos-como-funciona/.

Thompson, H. and Snell, C. (2013) *Quantifying the prevalence of fuel poverty across the European Union*. Available at:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421512008671?via%3Dihub>.

Vidraria Foco (2003) *Árgon*. Available at: <http://www.vidraria-foco.pt/argon.html> (Accessed: 24 May 2018).

Viero (2018a) 'Reboco - Adesan. Ficha técnica'. Available at:

http://tintasrobbialac.pt/media/134246/Adesan-CPV-22-122-9004_5-.pdf.

Viero (2018b) 'Viero - Sistema Capotto'. Available at: <http://tintasrobbialac.pt/isolamento-termico-viero/catalogos.aspx>.

VIERO (2011) 'Viero - PIR'. Available at:

<http://tintasrobbialac.pt/media/134297/Poliisocianurato-PIR-913-11XX-.pdf>.

Windows, E. (2018) *Window technologies*. Available at:

http://www.efficientwindows.org/ftypes_nonmetal.php (Accessed: 23 March 2018).