

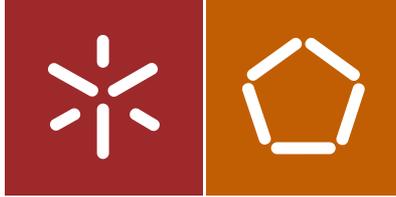


Cátia Isabel Teixeira de Freitas

Análise comparativa do desempenho ambiental de diferentes produtos utilizados na reabilitação energética de edifícios

Universidade do Minho
Escola de Engenharia





Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Cátia Isabel Teixeira de Freitas

Análise comparativa do desempenho
ambiental de diferentes produtos utilizados
na reabilitação energética de edifícios

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

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Doutor Ricardo Mateus
Professor Doutor Luís Bragança

AGRADECIMENTOS

Nem sempre agradecer é fácil, mas distinguir quem merece o nosso agradecimento, deve ser sempre o mais simples. Assim, agradeço a todas as pessoas envolvidas no processo de desenvolvimento desta dissertação e no meu desenvolvimento como pessoa.

Ao meu orientador, Professor Doutor Ricardo Mateus, cuja paciência não tem fim. Pelos conselhos, as correções, a paciência, as horas de reuniões e toda a ajuda, que foi essencial. Foi, de certeza, a melhor escolha que poderia ter feito. Ao Professor Doutor Luís Bragança, pela disponibilidade demonstrada.

Aos meus pais, pelo esforço, o apoio e toda a motivação e força que sempre me deram ao longo destes cinco anos, e que sem eles, nada disto seria possível. E à minha irmã, pela companhia, pela compreensão nas reprimendas e por toda a má disposição que aguentou.

À Vó Céu, que infelizmente não me viu chegar à reta final do curso, mas que certamente estaria orgulhosa do meu percurso e de ver este sonho, das duas, realizado.

Ao João, pela paciência, a compreensão, os conselhos, a aceitação, pelas horas de “leitura chata” que lhe proporcionei, as reprimendas, mas principalmente, pelo amor e toda a amizade. Sem ti, todo este percurso não seria a mesma coisa, e não seria, certamente, tão bom.

À Adriana e à Paula, pelas conversas, as partilhas, os conselhos e as informações partilhadas. Mas também, pelas gargalhadas, o apoio e toda a amizade. Foi um prazer conhecer-vos e é tão bom partilhar uma amizade assim com pessoas como vocês. E a todas as amizades que fiz ao longo deste percurso, todos são especiais e merecem o meu agradecimento.

E a todas as pessoas que se cruzaram comigo ao longo de todo este percurso académico e da vida, e que de alguma forma, ou de outra, contribuíram para o meu sucesso escolar e realização pessoal.

A todos, o meu sentido obrigado.

RESUMO

Apesar da sua grande influência na economia nacional e europeia, o mercado da construção continua a ser um dos maiores consumidores de recursos energéticos e matérias-primas e um grande produtor de resíduos. Nos últimos anos, com o aumento das preocupações ambientais e a consciencialização da população, a construção sustentável iniciou a sua escalada no setor da construção. Atualmente, um dos aspetos da sustentabilidade que tem merecido mais atenção, é o aumento da eficiência energética do edificado, particularmente no contexto da renovação do parque edificado existente. Com vista a suportar as decisões da equipa de projeto na seleção do cenário de renovação energética que se traduz em menores consumos de energia e impactes ambientais, foi desenvolvido, num trabalho anterior, a Metodologia para a Análise Integrada dos Consumos de Energia e Impactes Ambientais, que permite a determinação das necessidades energéticas dos edifícios, assim como dos impactes ambientais a cada cenário de renovação.

Na presente dissertação, será então utilizada a metodologia referida para a determinação das necessidades energéticas do edifício, bem como os seus impactes ambientais, antes e após a reabilitação. Pretende-se assim efetuar uma comparação do desempenho ambiental, energético e económico de diferentes produtos de isolamento, quando aplicados na reabilitação energética de edifícios através de diferentes soluções de reabilitação, definindo-se 31 cenários de reabilitação. De forma a estudar a influência do contexto climático, o edifício será implantado em localizações pertencentes a diferentes zonas climáticas de Portugal. Assim, será considerada a aplicação de um caso de estudo, que consiste num edifício padrão construído entre os anos 60 e 90. Com isto, pretende-se avaliar o desempenho do ciclo de vida do edifício após a sua reabilitação energética, de forma a serem conhecidas as alterações causadas pelo processo de renovação e a melhor e pior solução a aplicar em cada localização.

Posteriormente, será elaborado um guia de boas práticas para a aplicação de isolamento de elevada espessura em aglomerado negro de cortiça, que se baseia nas melhores práticas do mercado. Pretende-se então preencher uma lacuna existente no mercado português da construção, uma vez que não existem guias com informação técnica aprofundada.

Palavras-chave: reabilitação energética, impactes ambientais, necessidades energéticas, soluções de reabilitação, aglomerado negro de cortiça.

ABSTRACT

Despite the influence on the national and European economy, the construction market continues to be one of the biggest consumers of energetic resources and raw-materials, and a big producer of waste. In the last years, with the increase of the environmental concerns and the awareness of the population, the sustainable construction began its journey on the construction market. Now a days, one of the sustainability factors deserving more attention, is the increasing of the energetic efficiency of the edified, particularly in the edified renovation context. In order to support the project team decisions in the selection of the energetic renovation scenario, which allows less energy consumption and environmental impacts, the Energy Consumption and Environmental Impacts Integrated Analysis Methodology was developed, in a former project, providing the energetic needs of the buildings, as well as the environmental impacts of each renovation scenario.

In this dissertation the mentioned methodology will be used for the quantification of the energy needs, as well as for the quantification of the life-cycle environmental impacts, before and after the rehabilitation. The aim is to make side-by-side comparisons of the environmental, energetic and economic performance of different insulation products, when applied on different energy renovation scenarios, establishing 31 rehabilitation scenarios. To study the influence of the climatic context, the building will be implanted in different locations, belonging to different climatic areas. To achieve this objectives, a case study will be used, consisting on a standard building, built between the 60's and the 90's. With this study, it is intended to understand the building's life cycle performance after the energy renovation, knowing the changes caused by the renovation process as well as the best and worst solution for each location studied.

Subsequently, a Good Practice Guide for the application of high thickness corkboard insulation will be developed, based on the best practices recommended by the most prominent manufacturers. This guide intends to fill a void in the Portuguese construction market, since there are no guides with technical information.

Key words: energy renovation, environmental impacts, energy needs, renovation solutions, corkboard insulation.

ÍNDICE GERAL

Agradecimentos	iii
Resumo	v
Abstract.....	vii
Índice Geral	ix
Índice de figuras	xv
Índice de quadros.....	xix
Siglas e Acrónimos	xxix
1. Introdução.....	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Objetivos.....	5
1.3 Organização da dissertação.....	6
2. Estado da arte.....	9
2.1 Enquadramento	9
2.2 A evolução das fachadas em Portugal	9
2.3 A eficiência energética do parque habitacional português	12
2.4 A reabilitação energética na Europa	17
2.5 A reabilitação energética em Portugal	18
2.6 Reabilitação energética de edifícios	21
2.6.1 Âmbito.....	21
2.6.2 Aspetos influentes no desempenho energético dos edifícios.....	23
2.6.3 Soluções de reabilitação energética de fachadas	24
2.7 Produção dos materiais de construção: consumos e impactes	25
2.7.1 Energia incorporada no material	26
2.7.2 Impacte ecológico incorporado do material	28
2.7.3 Potencial de reutilização e reciclagem dos materiais	28
2.7.4 Toxicidade do material	29
2.7.5 Custos económicos inerentes ao ciclo de vida.....	30
2.8 Métodos de avaliação de impactes ambientais	31
2.8.1 Life Cycle Assessment – LCA	31
2.8.2 Inventory of Carbon and Energy – ICE.....	32
2.8.3 Environmental Improvement Made Easy – EIME	33
2.8.4 Análise comparativa dos métodos apresentados	33

2.9	Enquadramento à legislação térmica pelas normas europeias e portuguesas	35
3.	Metodologia.....	39
3.1	Enquadramento	39
3.2	Ferramentas de avaliação	39
3.2.1	Metodologia MARS-SC	40
3.2.2	Simapro.....	41
3.2.3	Mixtri 2.0.....	42
3.2.4	Metodologia para Avaliação Integrada dos Consumos de Energia e Impactes Ambientais.....	43
3.2.5	Gerador de preços on-line, CYPE	46
3.3	Análise comparativa dos materiais de isolamento através da metodologia MARS-SC.....	46
3.4	Análise de sensibilidade ao nível de sustentabilidade dos materiais de isolamento térmico.....	52
3.5	Caracterização do caso de estudo	52
3.6	Avaliação das necessidades energéticas do edifício	55
3.6.1	Informação do edifício.....	56
3.6.2	Necessidades energéticas para aquecimento	58
3.6.3	Necessidades energéticas para arrefecimento.....	60
3.6.4	Necessidades energéticas para a produção de águas quentes sanitárias	62
3.7	Avaliação do desempenho ambiental do edifício	64
3.7.1	Desempenho ambiental do edifício	66
3.8	Avaliação do desempenho económico do edifício.....	71
3.9	Guia de boas práticas	74
4.	Reabilitação energética da envolvente exterior de edifícios	77
4.1	Enquadramento	77
4.2	Soluções de reabilitação energética para fachadas com isolamento pelo interior	79
4.2.1	Painéis isolantes prefabricados	79
4.2.2	Contra-fachada.....	87
4.2.3	Vantagens da reabilitação da fachada com isolamento pelo interior.....	89
4.2.4	Desvantagens da reabilitação da fachada com isolamento pelo interior	89
4.3	Soluções de reabilitação energética para fachadas com isolamento pelo exterior.....	90

4.3.1	Sistemas compósitos de isolamento térmico pelo exterior com aplicação de revestimento sobre o isolante – ETICS	90
4.3.2	Componentes prefabricados constituídos por um isolante e um paramento, fixados diretamente à parede – Painéis isolantes prefabricados (<i>Vêture</i>)	97
4.3.3	Rebocos isolantes	99
4.3.4	Revestimentos independentes descontínuos com interposição de um isolante térmico na caixa-de-ar (fachada ventilada)	100
4.3.5	Painéis de betão reforçados com fibras de vidro – GRC.....	105
4.3.6	Módulo de reabilitação prefabricado – MRP	107
4.3.7	Vantagens da reabilitação da fachada com isolamento pelo exterior	110
4.3.8	Desvantagens da reabilitação da fachada com isolamento pelo exterior.....	111
4.4	Soluções de reabilitação energética para fachadas com isolamento na caixa-de-ar	111
4.4.1	Injeção de isolamento na caixa-de-ar	112
4.5	Materiais de isolamento geralmente utilizados.....	113
4.5.1	Origem mineral.....	115
4.5.2	Origem vegetal	122
4.5.3	Origem sintética.....	125
4.5.4	Aplicação dos materiais de isolamento às soluções apresentadas.....	135
4.5.5	Análise comparativa dos materiais apresentados através da metodologia MARS-SC.....	136
4.5.6	Análise de sensibilidade	141
5.	Caso de estudo	145
5.1	Enquadramento	145
5.2	Apresentação das soluções a aplicar	146
5.3	Localização 1: Beja.....	152
5.3.1	Desempenho energético e ambiental inicial do edifício.....	152
5.3.2	Desempenho energético após a reabilitação	153
5.3.3	Desempenho ambiental após a reabilitação.....	155
5.3.4	Desempenho económico após a reabilitação	158
5.3.5	Definição da melhor solução de reabilitação.....	160
5.4	Localização 2: Lisboa	162
5.4.1	Desempenho energético e ambiental inicial do edifício.....	162
5.4.2	Desempenho energético após a reabilitação	163
5.4.3	Desempenho ambiental após a reabilitação.....	165

5.4.4	Desempenho económico após a reabilitação	168
5.4.5	Definição da melhor solução de reabilitação.....	170
5.5	Localização 3: Porto	173
5.5.1	Desempenho energético e ambiental inicial do edifício.....	173
5.5.2	Desempenho energético após a reabilitação.....	173
5.5.3	Desempenho ambiental após a reabilitação.....	175
5.5.4	Desempenho económico após a reabilitação	178
5.5.5	Definição da melhor solução de reabilitação.....	180
5.6	Localização 4: Vila Real.....	182
5.6.1	Desempenho energético e ambiental inicial do edifício.....	182
5.6.2	Desempenho energético após a reabilitação.....	183
5.6.3	Desempenho ambiental após a reabilitação.....	185
5.6.4	Desempenho económico após a reabilitação	188
5.6.5	Definição da melhor solução de reabilitação.....	190
6.	Conclusões e perspectivas futuras	193
6.1	Conclusões	193
6.2	Perspetivas futuras	199
	Referências bibliográficas	201
	Anexos.....	211
	Anexo I – Soluções de reabilitação energética de fachadas e possíveis materiais de isolamento para aplicação.....	211
	Anexo II – Aplicação da Metodologia MARS-SC.....	213
	Anexo III – Análise de sensibilidade através da metodologia Mixtri	220
	Anexo IV – Constituição das soluções de reabilitação energética a aplicar na reabilitação da fachada do edifício.....	221
	Anexo V – Códigos de identificação das soluções a aplicar, por localização e material de isolamento.....	222
	Anexo VI – Inventário dos materiais necessários para as soluções em cada localização ..	226
	Anexo VII – Preenchimento das folhas de cálculo da metodologia para a melhor solução em Beja, B.3.1, e respetivos resultados	230
	Anexo VIII - Preenchimento das folhas de cálculo da metodologia para a melhor solução em Lisboa, L.3.1, e respetivos resultados.....	249

Anexo IX - Preenchimento das folhas de cálculo da metodologia para a melhor solução no Porto, P.3.1, e respetivos resultados	267
Anexo X - Preenchimento das folhas de cálculo da metodologia para a melhor solução em Vila Real, VR.3.1, e respetivos resultados	285
Anexo XI – Avaliação do desempenho energético, ambiental e económico do edifício em Beja.....	303
Anexo XII – Avaliação do desempenho energético, ambiental e económico do edifício em Lisboa	308
Anexo XIII – Avaliação do desempenho energético, ambiental e económico do edifício no Porto	313
Anexo XIV – Avaliação do desempenho energético, ambiental e económico do edifício em Vila Real.....	318
Anexo XV – Guia de boas práticas para a utilização eficiente do isolamento de elevada espessura em aglomerado negro de cortiça	323

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução das fachadas em Portugal	11
Figura 2 – Necessidades de reparação dos edifícios em Portugal	12
Figura 3 - Percentagem de certificados energéticos emitidos para edifícios existentes.....	14
Figura 4 - Percentagem de certificados energéticos emitidos para edifícios novos.....	15
Figura 5 - Gráficos comparativos dos valores médios dos certificados energéticos com o valor máximo regulamentado, para o valor de U e das necessidades energéticas.....	15
Figura 6 – Principais recomendações dos peritos.....	16
Figura 7 - Peso da reabilitação residencial na produção total da construção, em 2009	18
Figura 8 – Peso das obras de reabilitação no total de obras concluídas e do destino da habitação familiar no total de obras de reabilitação para 2009 a 2014.....	19
Figura 9 - Proporção dos edifícios concluídos por tipo de obra para 2009 a 2014	20
Figura 10 – Número de fogos concluídos em obras de construção nova para 2009 a 2015	20
Figura 11 - Ciclo de vida dos materiais de construção e consumos energéticos associados....	27
Figura 12 - Custos económicos associados ao ciclo de vida dos materiais e componentes da construção.....	31
Figura 13 - Evolução da regulamentação em Portugal.....	37
Figura 14 - Secção transversal da parede de fachada inicial do edifício.....	54
Figura 15 - Excerto do quadro de apresentação dos resultados gerados pela introdução dos materiais de reabilitação	69
Figura 16 - Gráfico representativo da determinação do tempo de retorno do impacte ambiental de cada solução.....	70
Figura 17 - Gráfico representativo da determinação do tempo de retorno do investimento inicial de cada solução.....	73
Figura 18 - Representação de uma solução de isolamento prefabricada por sistema direto	80
Figura 19 - Método de aplicação do produto de colagem no sistema direto	81
Figura 20 - Representação das irregularidades que poderão existir numa parede e como as ultrapassar na aplicação da solução	82
Figura 21 - Representação da constituição da solução de reabilitação pelo sistema semi-direto	83
Figura 22 - Representação dos perfis em ómega utilizados	84
Figura 23 - Representação da constituição da solução de reabilitação através do sistema autoportante	85

Figura 24 - Representação da constituição da solução de reabilitação de contra-fachada em gesso cartonado	87
Figura 25 - Representação da constituição da solução de reabilitação de contra-fachada em alvenaria.....	88
Figura 26 - Representação da constituição da solução de reabilitação pelo sistema ETICS com revestimento espesso	91
Figura 27 - Representação da constituição da solução de reabilitação pelo sistema ETICS com revestimento delgado	92
Figura 28 - Esquema de fixação dos perfis de arranque.....	94
Figura 29 - Esquemas de colagem do isolamento térmico no sistema ETICS	94
Figura 30 - Esquema de colocação das placas de isolamento para desencontro das juntas	95
Figura 31 - Esquema dos pontos de fixação por placa conforme as necessidades do local	96
Figura 32 - Esquema de reforço da armadura e pontos singulares	96
Figura 33 - Representação da constituição da solução de reabilitação pela aplicação de <i>vêtures</i>	98
Figura 34 – Painel <i>Vêture</i>	98
Figura 35 - Aplicação de reboco isolante	100
Figura 36 - Representação da constituição da solução de reabilitação por fachada ventilada.....	101
Figura 37 - Funcionamento da fachada ventilada.....	102
Figura 38 - Grampos de fixação dos painéis da fachada ao suporte	103
Figura 39 - Estrutura intermédia simples	104
Figura 40 - Estrutura intermédia dupla.....	104
Figura 41 - Representação da constituição dos painéis de GRC	106
Figura 42 - Constituição dos módulos de reabilitação prefabricados.....	108
Figura 43 - a) módulo para zonas correntes; b) módulo para zonas com tubagens ou passagem de cablagens; c) módulo para zonas de aplicação de tubagens novas	108
Figura 44 - Estrutura de suporte para colocação dos módulos de reabilitação	109
Figura 45 - Otimização da zona de encaixe entre módulos.....	109
Figura 46 - Painéis de remate para portas e janelas.....	110
Figura 47 - Perfil sustentável de comparação do material de base (EPS) com todos os materiais em estudo	138
Figura 48 - Perfil sustentável de comparação do material base (EPS) com a espuma de poliuretano.....	139

Figura 49 - Perfil sustentável de comparação do material base (EPS) com a manta de lã mineral.....	139
Figura 50 – Comparação da contribuição de cada material para o valor total de GWP.....	141
Figura 51 - Gráfico resultante da utilização da metodologia Mixtri	142
Figura 52 – Relação entre a energia consumida e as emissões de carbono a si associadas ...	157
Figura 53 - Relação entre a energia consumida e as emissões de carbono a si associadas	167
Figura 54 - Relação entre a energia consumida e as emissões de carbono a si associadas	177
Figura 55 - Relação entre a energia consumida e as emissões de carbono a si associadas	187
Figura AVII. 1 - Necessidade energética de aquecimento na situação inicial do edifício...236	
Figura AVII. 2 - Necessidades energéticas de arrefecimento na situação inicial do edifício	237
Figura AVII. 3 - Necessidades energéticas do edifício para preparação de AQS na sua situação inicial.....	238
Figura AVII. 4 - Necessidades de energia global primária na situação inicial do edifício	239
Figura AVII. 5 - Necessidades energéticas do edifício na estação de aquecimento após a reabilitação.....	240
Figura AVII. 6 - Necessidades energéticas do edifício na estação de arrefecimento após a reabilitação.....	241
Figura AVII. 7 - Necessidades energéticas para a preparação de AQS após a reabilitação do edifício.....	242
Figura AVII. 8 - Necessidade de energia global primária do edifício após a reabilitação	243
Figura AVII. 9 - Tempo de retorno dos impactes ambientais para a melhor solução em Beja	248
Figura AVIII. 1 - Necessidade energética de aquecimento na situação inicial do edifício.	255
Figura AVIII. 2 - Necessidades energéticas de arrefecimento na situação inicial do edifício	256
Figura AVIII. 3 - Necessidades energéticas para a preparação de AQS na situação inicial do edifício.....	257
Figura AVIII. 4 - Necessidade de energia global primária na situação inicial do edifício	258
Figura AVIII. 5 - Necessidades energéticas do edifício na estação de aquecimento após a reabilitação.....	259
Figura AVIII. 6 - Necessidades energéticas do edifício na estação de arrefecimento após a reabilitação.....	260
Figura AVIII. 7 - Necessidades energéticas para a preparação de AQS após a reabilitação do edifício.....	261
Figura AVIII. 8 - Necessidade de energia global primária do edifício após a reabilitação....	262

Figura AVIII. 9 - Gráfico do tempo de retorno dos impactes ambientais	266
Figura AIX. 1 - Necessidade energética de aquecimento na situação inicial do edifício.....	273
Figura AIX. 2 - Necessidade energética de arrefecimento na situação inicial do edifício.....	274
Figura AIX. 3 - Necessidades energéticas para a preparação de AQS na situação inicial do edifício.....	275
Figura AIX. 4 - Necessidade de energia global primária na situação inicial do edifício	276
Figura AIX. 5 - Necessidades energéticas do edifício na estação de aquecimento após a reabilitação.....	277
Figura AIX. 6 - Necessidades energéticas do edifício na estação de arrefecimento após a reabilitação.....	278
Figura AIX. 7 - Necessidades energéticas para a preparação de AQS após a reabilitação do edifício.....	279
Figura AIX. 8 - Necessidades de energia global primária do edifício após a reabilitação.....	280
Figura AIX. 9 - Tempo de retorno dos impactes ambientais para a melhor solução no Porto	284
Figura AX. 1 - Necessidade energética de aquecimento na situação inicial do edifício.....	291
Figura AX. 2 - Necessidade energética para arrefecimento na situação inicial do edifício ...	292
Figura AX. 3 - Necessidades energéticas para a preparação de AQS na situação inicial do edifício.....	293
Figura AX. 4 - Necessidade de energia global primária na situação inicial do edifício	294
Figura AX. 5 - Necessidades energéticas do edifício na estação de aquecimento após a reabilitação.....	295
Figura AX. 6 - Necessidades energéticas do edifício na estação de aquecimento após a reabilitação.....	296
Figura AX. 7 - Necessidades energéticas para a preparação de AQS após a reabilitação do edifício.....	297
Figura AX. 8 - Necessidade de energia global primária do edifício após a reabilitação.....	298
Figura AX. 9 - Tempo de retorno dos impactes ambientais para a melhor solução em Vila Real.....	302
Figura AXI. 1 - Tempo de retorno financeiro para a melhor solução em Beja.....	306
Figura AXII. 1 - Tempo de retorno financeiro para a melhor solução em Lisboa.....	311
Figura AXIII. 1 - Tempo de retorno financeiro para a melhor solução no Porto.....	316
Figura AXIV. 1 - Tempo de retorno financeiro para a melhor solução em Vila Real.....	321

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Quadro comparativo dos valores retirados das bases de dados.....	34
Quadro 2 - Quadro resumo dos dados utilizados para a aplicação da metodologia MARS-SC	48
Quadro 3 - Impactes ambientais por quilograma de material.....	49
Quadro 4 - Importância relativa atribuída pela EPA a cada indicador ambiental em estudo e respetiva equivalência para o total.....	50
Quadro 5 - Importância relativa atribuída pela EPA o indicador funcional em estudo e respetiva equivalência para o total.....	50
Quadro 6 – Importância padrão correspondente a cada dimensão em estudo.....	51
Quadro 7 - Área de envidraçados do edifício	54
Quadro 8 - Área da envolvente opaca do edifício	55
Quadro 9 - Quadro para inserção dos dados iniciais da fração	56
Quadro 10 - Quadro para inserção da configuração geométrica dos elementos constituintes do edifício.....	57
Quadro 11 - Eficiência energética conforme a metodologia e o REH para os sistemas considerados	58
Quadro 12 - Parâmetros de entrada para determinação das necessidades energéticas para aquecimento do edifício.....	59
Quadro 13 - Dados essenciais para o cálculo das necessidades de energia global primária na estação de aquecimento	59
Quadro 14 - Dados essenciais para o cálculo das necessidades de energia global primária na estação de aquecimento	60
Quadro 15 - Dados essenciais para o cálculo das necessidades de energia global primária na estação de aquecimento (cont.).....	60
Quadro 16 - Parâmetros de entrada para determinação das necessidades energéticas para arrefecimento do edifício.....	61
Quadro 17 - Dados essenciais para o cálculo das necessidades de energia global primária na estação de arrefecimento	61
Quadro 18 - Dados essenciais para o cálculo das necessidades de energia global primária na estação de arrefecimento (cont.).....	62
Quadro 19 - Parâmetros de entrada para determinação das necessidades energéticas para a preparação das águas quentes sanitárias.....	62

Quadro 20 - Dados essenciais para o cálculo das necessidades de energia global primária na produção de águas quentes sanitárias	63
Quadro 21 - Dados essenciais para o cálculo das necessidades de energia global primária na produção de águas quentes sanitárias (cont.).....	63
Quadro 22 - Dados essenciais para o cálculo das necessidades de energia global primária na produção de águas quentes sanitárias (cont.).....	64
Quadro 23 - Dados essenciais para o cálculo das necessidades de energia global primária na produção de águas quentes sanitárias (cont.).....	64
Quadro 24 - Pesos relativos atribuídos pela EPA para os indicadores ambientais existentes..	65
Quadro 25 - Categorias de impacte ambiental e respetivos acrónimos e unidades	65
Quadro 26 - Preenchimento dos dados relativos à constituição inicial da parede de fachada do edifício	66
Quadro 27 - Constituição do telhado do edifício na sua situação inicial	66
Quadro 28 - Constituição do pavimento do edifício na sua situação inicial	67
Quadro 29 - Constituição das janelas do edifício na sua situação inicial.....	67
Quadro 30 - Quadro para preenchimento com os materiais a acrescentar na reabilitação em cada elemento do edifício (excerto).....	68
Quadro 31 - Perspetivas do preço da energia para 30 anos.	72
Quadro 32 - Materiais de isolamento de possível utilização neste sistema.....	80
Quadro 33 - Grau de confiança de cada material suporte para aplicação de uma fachada ventilada	103
Quadro 34 - Materiais de isolamento a abordar, modo de produção e natureza das matérias-primas	114
Quadro 35 - Principais características da lã de vidro	116
Quadro 36 - Vantagens e desvantagens da aplicação de lã de vidro	117
Quadro 37 - Principais características da argila expandida.....	118
Quadro 38 - Vantagens e desvantagens da aplicação de argila expandida.....	119
Quadro 39 - Principais características da lã mineral	120
Quadro 40 - Vantagens e desvantagens da aplicação de lã mineral	121
Quadro 41 - Principais características da vermiculite expandida.....	122
Quadro 42 - Vantagens e desvantagens da aplicação de vermiculite expandida.....	122
Quadro 43 - Principais características do aglomerado negro de cortiça.....	123
Quadro 44 - Vantagens e desvantagens da aplicação de aglomerado negro de cortiça.....	124

Quadro 45 - Principais características do vidro celular	125
Quadro 46 - Vantagens e desvantagens da aplicação de vidro celular	126
Quadro 47 - Principais características do poliestireno expandido.....	127
Quadro 48 - Vantagens e desvantagens da aplicação de poliestireno expandido.....	128
Quadro 49 - Principais características do poliisocianurato	129
Quadro 50 - Vantagens e desvantagens da aplicação de poliisocianurato	130
Quadro 51 - Principais características do poliuretano	131
Quadro 52 - Vantagens e desvantagens da aplicação de poliuretano	132
Quadro 53 - Principais características da ureia-formaldeído.....	133
Quadro 54 - Vantagens e desvantagens da aplicação de ureia-formaldeído	133
Quadro 55 - Principais características do poliestireno extrudido	134
Quadro 56 - Vantagens e desvantagens da aplicação de poliestireno extrudido.....	135
Quadro 57 - Quadro resumo dos materiais a utilizar e respetivas características	136
Quadro 58 - Reunião dos valores normalizados em análise	137
Quadro 59 - Desempenho dos materiais em cada dimensão em estudo e respetiva nota sustentável	140
Quadro 60 - Localizações consideradas para a implantação do edifício e respetivas zonas climáticas.....	145
Quadro 61 - Constituição da solução de reabilitação painéis isolantes prefabricados	147
Quadro 62 - Constituição da solução de reabilitação contra-fachada de alvenaria.....	148
Quadro 63 - Constituição da solução de reabilitação sistema ETICS	148
Quadro 64 - Constituição da solução de reabilitação <i>vêtures</i>	149
Quadro 65 - Constituição da solução de reabilitação reboco isolante	149
Quadro 66 - Constituição da solução de reabilitação fachada ventilada	150
Quadro 67 - Constituição da solução de reabilitação painéis de GRC	150
Quadro 68 - Constituição da solução de reabilitação módulos prefabricados.....	151
Quadro 69 - Código numérico atribuído a cada solução	151
Quadro 70 - Excerto do quadro de código para Lisboa.....	152
Quadro 71 - Desempenho inicial do edifício em Beja.....	152
Quadro 72 - Desempenho energético do edifício após a reabilitação	154
Quadro 73 - Desempenho ambiental do edifício após a reabilitação	156
Quadro 74 - Desempenho económico do edifício após a reabilitação	159
Quadro 75 - Tempos de retorno dos impactes ambientais e do investimento inicial e respetiva hierarquização	161

Quadro 76 - Desempenho do edifício na sua situação inicial.....	162
Quadro 77 - Desempenho energético do edifício após a reabilitação	164
Quadro 78 - Desempenho ambiental do edifício após a reabilitação	166
Quadro 79 - Desempenho económico do edifício após a reabilitação	169
Quadro 80 - Tempos de retorno dos impactes ambientais e do investimento inicial e respetiva hierarquização.....	171
Quadro 81 - Desempenho do edifício na sua situação inicial.....	173
Quadro 82 - Desempenho energético do edifício após a reabilitação	174
Quadro 83 - Desempenho ambiental do edifício após a reabilitação	176
Quadro 84 - Desempenho económico do edifício após a reabilitação	179
Quadro 85 - Tempos de retorno de impactes ambientais e investimento inicial e respetiva hierarquização.....	181
Quadro 86 - Desempenho do edifício na sua situação inicial.....	183
Quadro 87 - Desempenho energético do edifício após a reabilitação	184
Quadro 88 - Desempenho ambiental do edifício após a reabilitação	186
Quadro 89 - Desempenho económico do edifício após a reabilitação	189
Quadro 90 - Tempos de retorno dos impactes ambientais e do investimento inicial e respetiva hierarquização.....	191
Quadro AII. 1 - Resistência térmica dos materiais de isolamento para 1 centímetro de espessura e espessura necessária para uma resistência térmica mínima igual ao material de base (EPS).....	213
Quadro AII. 2 - Coeficiente de condutibilidade térmica e peso volúmico dos materiais em estudo.....	213
Quadro AII. 3 - Quantidade de material necessária conforme as espessuras definidas no Quadro AII.1.....	214
Quadro AII. 4 - Custos de aquisição dos materiais em estudo	214
Quadro AII. 5 - Impactes ambientais por quilograma de material em estudo e respetivos melhor e pior valor	215
Quadro AII. 6 - Importância relativa da EPA para os indicadores ambientais em estudo	215
Quadro AII. 7 - Normalização dos indicadores de impacte ambiental e determinação da dimensão ambiental (IA)	216
Quadro AII. 8 - Determinação da resistência térmica e do coeficiente de transmissão térmica e respetivos melhor e pior valor	216

Quadro AII. 9 - Importância relativa atribuída pela EPA ao parâmetro funcional em análise	217
Quadro AII. 10 - Normalização do coeficiente de transmissão térmica e determinação da dimensão funcional.....	217
Quadro AII. 11 - Custo de aquisição do material e custo de ciclo de vida do mesmo	218
Quadro AII. 12 - Normalização do custo de ciclo de vida dos materiais e determinação da dimensão económica.....	218
Quadro AII. 13 - Peso padrão atribuído a cada dimensão em estudo na metodologia	219
Quadro AII. 14 - Determinação da nota sustentável de cada material e do melhor e pior desempenho	219
Quadro AII. 15 - Parâmetros para construção dos perfis sustentáveis dos materiais em estudo	219
Quadro AIII. 1 - Quadro de inserção de dados da metodologia Mixtri.....	220
Quadro AV. 1 - Códigos para as soluções a aplicar em Beja.....	222
Quadro AV. 2 - Códigos para as soluções a aplicar em Lisboa	223
Quadro AV. 3 - Códigos para as soluções a aplicar no Porto	224
Quadro AV. 4 - Códigos para as soluções a aplicar em Vila Real	225
Quadro AVI. 1 - Inventário dos materiais necessários em Beja.....	226
Quadro AVI. 2 - Inventário dos materiais necessários em Lisboa	227
Quadro AVI. 3 - Inventário dos materiais necessários para o Porto	228
Quadro AVI. 4 - Inventário dos materiais necessários para Vila Real.....	229
Quadro AVII. 1 - Quadro principal para o cálculo dos ganhos solares na estação de aquecimento na situação inicial.....	230
Quadro AVII. 2 - Quadro auxiliar para o cálculo dos ganhos solares na estação de aquecimento na situação inicial.....	231
Quadro AVII. 3 - Quadro principal para o cálculo do fator solar na estação de arrefecimento na situação inicial	232
Quadro AVII. 4 - Quadro auxiliar para o cálculo do fator solar na estação de arrefecimento na situação inicial	233
Quadro AVII. 5 - Quadro principal para o cálculo dos ganhos solares opacos na estação de arrefecimento na situação inicial	233
Quadro AVII. 6 - Quadro auxiliar para o cálculo do fator solar na estação de arrefecimento na situação inicial	234

Quadro AVII. 7 - Quadro auxiliar para o cálculo do fator solar na estação de arrefecimento na situação inicial (cont.).....	234
Quadro AVII. 8 - Composição do elemento construtivo da parede 1 para a solução de reabilitação B.3.1	235
Quadro AVII. 9 - Impactes ambientais associados aos materiais utilizados para a melhor solução de reabilitação na parede 1	235
Quadro AVII. 10 - Impactes ambientais associados ao transporte dos materiais utilizados na solução aplicada na parede 1	235
Quadro AVII. 11 - Base de dados dos impactes ambientais de energia da produção de AQS, associados à situação inicial do edifício, existentes no programa.....	243
Quadro AVII. 12 - Base de dados dos impactes ambientais de energia de aquecimento, associados à situação inicial do edifício, existentes no programa.....	244
Quadro AVII. 13 - Base de dados dos impactes ambientais de energia do arrefecimento, associados à situação inicial do edifício, existentes no programa.....	244
Quadro AVII. 14 - Base de dados dos impactes ambientais dos materiais associados à melhor solução de reabilitação.....	245
Quadro AVII. 15 - Base de dados dos impactes ambientais associados ao transporte dos materiais associados à melhor solução de reabilitação.....	246
Quadro AVII. 16 - Base de dados dos impactes ambientais de energia para a produção de AQS, associados à melhor solução de reabilitação, existentes no edifício	246
Quadro AVII. 17 - Base de dados dos impactes ambientais de energia para aquecimento, associados à melhor solução de reabilitação, existentes no edifício	246
Quadro AVII. 18 - Base de dados dos impactes ambientais de energia para arrefecimento, associados à melhor solução de reabilitação, existentes no edifício	247
Quadro AVII. 19 - Quadro resumo dos resultados obtidos em impactes ambientais para a energia utilizada, na situação inicial do edifício.....	247
Quadro AVII. 20 - Quadro resumo dos resultados obtidos em impactes ambientais para a energia utilizada, materiais e respetivo transporte, após a reabilitação do edifício (m ² a).....	247
Quadro AVIII. 1 - Quadro principal para o cálculo dos ganhos solares na estação de aquecimento na situação inicial.....	249
Quadro AVIII. 2 - Quadro auxiliar para o cálculo dos ganhos solares na estação de aquecimento na situação inicial.....	250

Quadro AVIII. 3 - Quadro principal para o cálculo do fator solar na estação de arrefecimento na situação inicial	251
Quadro AVIII. 4 - Quadro auxiliar para o cálculo do fator solar na estação de arrefecimento na situação inicial	252
Quadro AVIII. 5 - Quadro principal para o cálculo dos ganhos solares opacos na estação de arrefecimento na situação inicial	252
Quadro AVIII. 6 - Quadro auxiliar para o cálculo do fator solar na estação de arrefecimento na situação inicial do edifício	253
Quadro AVIII. 7 - Quadro auxiliar para o cálculo do fator solar na estação de arrefecimento na situação inicial do edifício (cont.).....	253
Quadro AVIII. 8 - Composição do elemento construtivo da parede 1 para a melhor solução de reabilitação da fachada do edifício, L.3.1	254
Quadro AVIII. 9 - Impactes ambientais associados aos materiais utilizados para a melhor solução de reabilitação na parede 1	254
Quadro AVIII. 10 - Impactes ambientais associados ao transporte dos materiais utilizados na melhor solução de reabilitação na parede 1	254
Quadro AVIII. 11 - Base de dados dos impactes ambientais de energia para a produção de AQS, associados à situação inicial do edifício, existentes no programa.....	262
Quadro AVIII. 12 - Base de dados dos impactes ambientais para a energia do aquecimento, associados à situação inicial do edifício, existentes no programa.....	263
Quadro AVIII. 13 - Base de dados dos impactes ambientais para a energia do arrefecimento, associados à situação inicial do edifício, existentes no programa.....	263
Quadro AVIII. 14 - Base de dados dos impactes ambientais dos materiais associados à melhor solução de reabilitação.....	264
Quadro AVIII. 15 - Base de dados dos impactes ambientais associados ao transporte dos materiais associados à melhor solução de reabilitação.....	264
Quadro AVIII. 16 - Base de dados dos impactes ambientais de energia para a produção de AQS, associados à melhor solução de reabilitação, existentes no programa	265
Quadro AVIII. 17 - Base de dados dos impactes ambientais de energia para aquecimento, associados à melhor solução de reabilitação, existentes no programa	265
Quadro AVIII. 18 - Base de dados dos impactes ambientais de energia pra arrefecimento, associados à melhor solução de reabilitação, existentes no programa	265
Quadro AVIII. 19 - Quadro resumo dos resultados obtidos nos impactes ambientais para a energia utilizada, na situação inicial do edifício.....	265

Quadro AVIII. 20 - Quadro resumo dos resultados obtidos dos impactes ambientais para a energia utilizada, materiais e respetivo transporte, após a reabilitação do edifício (m ² a).....	266
Quadro AIX. 1 - Quadro principal para o cálculo dos ganhos solares na estação de aquecimento na situação inicial do edifício.....	267
Quadro AIX. 2 - Quadro auxiliar para o cálculo dos ganhos solares na estação de aquecimento na situação inicial	268
Quadro AIX. 3 - Quadro principal para o cálculo do fator solar na estação de arrefecimento na situação inicial	269
Quadro AIX. 4 - Quadro auxiliar para o cálculo do fator solar na estação de arrefecimento na situação inicial do edifício.....	270
Quadro AIX. 5 - Quadro principal para o cálculo dos ganhos solares opacos na estação de arrefecimento na situação inicial do edifício.....	270
Quadro AIX. 6 - Quadro auxiliar para o cálculo do fator solar na estação de arrefecimento na situação inicial do edifício.....	271
Quadro AIX. 7 - Quadro auxiliar para o cálculo do fator solar na estação de arrefecimento na situação inicial do edifício (cont.)	271
Quadro AIX. 8 - Composição do elemento construtivo da parede 1 para a melhor solução de reabilitação, P.3.1	272
Quadro AIX. 9 - Impactes ambientais associados aos materiais utilizados para a melhor solução de reabilitação na parede 1	272
Quadro AIX. 10 - Impactes ambientais associados ao transporte dos materiais utilizados na melhor solução de reabilitação na parede 1.....	272
Quadro AIX. 11 - Base de dados dos impactes ambientais de energia para a produção de AQS, associados à situação inicial do edifício, existentes no programa.....	280
Quadro AIX. 12 - Base de dados dos impactes ambientais de energia do aquecimento, associados à situação inicial do edifício, existentes no programa.....	281
Quadro AIX. 13 - Base de dados dos impactes ambientais de energia do arrefecimento, associados à situação inicial do edifício, existentes no programa.....	281
Quadro AIX. 14 - Base de dados dos impactes ambientais dos materiais associados à melhor solução de reabilitação.....	282
Quadro AIX. 15 - Base de dados dos impactes ambientais associados ao transporte dos materiais associados à melhor solução de reabilitação.....	282

Quadro AIX. 16 - Base de dados dos impactes ambientais de energia para a produção de AQS, associados à melhor solução de reabilitação, existentes no programa	283
Quadro AIX. 17 - Base de dados dos impactes ambientais de energia para aquecimento, associados à melhor solução de reabilitação, existentes no programa	283
Quadro AIX. 18 - Base de dados dos impactes ambientais de energia para arrefecimento, associados à melhor solução de reabilitação, existentes no programa	283
Quadro AIX. 19 - Quadro resumo dos resultados obtidos para os impactes ambientais para a energia utilizada, na situação inicial do edifício.....	283
Quadro AIX. 20 - Quadro resumo dos resultados obtidos para os impactes ambientais para a energia utilizada, materiais e respetivo transporte, após a reabilitação do edifício (m2a)	284
Quadro AX. 1 - Quadro principal para o cálculo dos ganhos solares na estação de aquecimento na situação inicial do edifício.....	285
Quadro AX. 2 - Quadro auxiliar para o cálculo dos ganhos solares na estação de aquecimento na situação inicial do edifício	286
Quadro AX. 3 - Quadro principal para o cálculo do fator solar na estação de arrefecimento na situação inicial	287
Quadro AX. 4 – Quadro auxiliar para o cálculo do fator solar na estação de arrefecimento na situação inicial	288
Quadro AX. 5 - Quadro principal para o cálculo dos ganhos solares opacos na estação de arrefecimento na situação inicial do edifício	288
Quadro AX. 6 - Quadro auxiliar para o cálculo do fator solar na estação de arrefecimento na situação inicial	289
Quadro AX. 7 - Quadro auxiliar para o cálculo do fator solar na estação de arrefecimento na situação inicial (cont.).....	289
Quadro AX. 8 - Composição do elemento construtivo da parede 1 para a melhor solução de reabilitação a aplicar no edifício, VR.3.1	290
Quadro AX. 9 - Impactes ambientais associados aos materiais utilizados para a melhor solução de reabilitação na parede 1	290
Quadro AX. 10 - Impactes ambientais associados ao transporte dos materiais utilizados na melhor solução de reabilitação da parede 1	290
Quadro AX. 11 - Base de dados dos impactes ambientais de energia da produção de AQS, associados à situação inicial do edifício, existentes no programa.....	298
Quadro AX. 12 - Base de dados dos impactes ambientais de energia do aquecimento, associados à situação inicial do edifício, existentes no programa.....	299

Quadro AX. 13 - Base de dados dos impactes ambientais de energia de arrefecimento, associados à situação inicial do edifício, existentes no programa.....	299
Quadro AX. 14 - Base de dados dos impactes ambientais dos materiais associados à melhor solução de reabilitação.....	300
Quadro AX. 15 - Base de dados dos impactes ambientais associados ao transporte dos materiais associados à melhor de solução de reabilitação.....	300
Quadro AX. 16 - Base de dados dos impactes ambientais de energia para produção de AQS, associados à melhor solução de reabilitação, existentes no programa	301
Quadro AX. 17 - Base de dados dos impactes ambientais de energia para aquecimento, associados à melhor solução de reabilitação, existentes no programa	301
Quadro AX. 18 - Base de dados dos impactes ambientais de energia para arrefecimento, associados à melhor solução de reabilitação, existentes no programa	301
Quadro AX. 19 - Quadro resumo dos resultados obtidos para os impactes ambientais para a energia utilizada, na situação inicial do edifício.....	301
Quadro AX. 20 - Quadro resumo dos resultados obtidos para os impactes ambientais da energia utilizada, materiais e respetivo transporte, após a reabilitação do edifício (m ² a).....	302
Quadro AXI. 1 - Desempenho geral do edifício em Beja.....	303
Quadro AXI. 2 - Desempenho ambiental do edifício em Beja.....	304
Quadro AXI. 3 - Desempenho económico do edifício em Beja.....	305
Quadro AXI. 4 - Relação energia consumida/emissões de carbono a 30 anos	307
Quadro AXII. 1 - Desempenho energético do edifício em Lisboa.....	308
Quadro AXII. 2 - Desempenho ambiental do edifício em Lisboa.....	309
Quadro AXII. 3 - Desempenho económico do edifício em Lisboa.....	310
Quadro AXII. 4 - Relação energia consumida/emissões de carbono a 30 anos	312
Quadro AXIII. 1 - Desempenho energético do edifício no Porto.....	313
Quadro AXIII. 2 - Desempenho ambiental do edifício no Porto	314
Quadro AXIII. 3 - Desempenho económico do edifício no Porto.....	315
Quadro AXIII. 4 - Relação energia consumida/emissões de carbono a 30 anos.....	317
Quadro AXIV. 1 - Desempenho energético do edifício em Vila Real.....	318
Quadro AXIV. 2 - Desempenho ambiental do edifício em Vila Real.....	319
Quadro AXIV. 3 - Desempenho económico do edifício em Vila Real	320
Quadro AXIV. 4 - Relação energia consumida/emissões de carbono a 30 anos.....	322

SIGLAS E ACRÓNIMOS

ADENE – Agência para a energia

AECOPS – Associação de Empresas de Construção de Obras Públicas e Serviços

AICCOPN – Associação dos Industriais da Construção Civil e Obras Públicas

APREN – Associação Portuguesa de Energias Renováveis

AQS – Água Quente Sanitária

CFC – Clorofluorcarbonetos

COV – Compostos Orgânicos Voláteis

DGE – Direção Geral de Energia

EPA - *Environmental Protection Agency* (Agência para Proteção do Ambiente)

EPBD – *Energy Performance in Buildings Directive* (Diretiva para o Desempenho Energético dos Edifícios)

ETICS – *External Thermal Insulation Composite Systems* (Sistemas Compósitos de Isolamento pelo Exterior)

FIEC – Federação Portuguesa da Indústria da Construção

GWP – *Global Warming Potential* (Potencial de Aquecimento Global)

HCFC - Hidroclorofluorcarbonetos

InCI – Instituto da Construção e do Imobiliário

INE – Instituto Nacional de Estatística

LCA – *Life Cycle Assessment* (Avaliação do Ciclo de Vida)

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

MARS-SC – Metodologia de avaliação relativa da sustentabilidade de soluções construtivas

NS – Nota sustentável

NZeb – *Nearly Zero Energy Buildings* (Edifícios com necessidades quase nulas de energia)

PAG – Potencial de aquecimento global

PEC – Energia primária incorporada

PNAEE – Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética

PNAER – Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis

$Q_{C,nd}$ - Necessidades nominais de energia útil para arrefecimento

$Q_{H,nd}$ – Necessidades nominais de energia útil para aquecimento

Q_w - Necessidades nominais de energia útil para produção de águas quentes sanitárias

RCCTE – Regulamento das características de comportamento térmico dos edifícios

RECS – Regulamento de desempenho energético dos edifícios de comércio e serviços

Análise comparativa do desempenho ambiental de diferentes produtos utilizados na reabilitação energética de edifícios

REH – Regulamento de desempenho energético dos edifícios de habitação

RSECE – Regulamento dos sistemas energéticos de climatização em edifícios

SCE – Sistema de certificação energética de edifícios

U – Coeficiente de transmissão térmica

1. INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

Desde sempre, o ser humano foi considerado uma criatura complexa, exigente e insatisfeita. Exigência e insatisfação essas que, com a evolução da espécie, ajudaram à adaptação no ambiente em que se encontrava. Ao longo das gerações, a sociedade e a população tornaram-se cada vez mais rigorosas, o que levou a uma necessidade de adaptação às condições impostas. Tal como em tempos primórdios, e ao longo do desenvolvimento da espécie até aos dias de hoje, o Homem ajustou-se e supriu as suas necessidades e obstáculos adaptando-se e reinventando-se, oferecendo-nos a herança cultural, material e humana que hoje possuímos.

O setor da construção esteve sempre intimamente ligado à evolução do Homem, inicialmente pela necessidade de construção de abrigos e proteções e, atualmente, para habitação, desenvolvimento de atividade económicas e não só. Pela estreita ligação que possuem, este setor é dos mais influentes e importantes em qualquer economia.

Com o desenvolvimento do Homem e o aparecimento das civilizações, surgiu a necessidade de regular a construção através de códigos e regulamentos. Um dos primeiros códigos de que há registo é o Código Hamurabi (Babilónia, 1750 a.C.), em que a má construção é penalizada, sendo o construtor responsabilizado pelos seus atos. Algumas das regras presentes no código explicitam que “Se o construtor constrói um edifício e não o executa solidamente e o edifício ruir causando a morte do seu proprietário, esse construtor deve ser executado...”, “Se a ruína do edifício originar a morte do filho do proprietário deverá ser executado o filho do construtor...” ou ainda que “Se o edifício ruir o construtor deve reconstruí-lo a expensas próprias...”. Já em 393 d.C., no Império Romano, a constituição de Graciana, Valentiniano e Teodósio impunha uma garantia de quinze anos para as construções, responsabilizando o construtor e o seu património. Mais tarde, em 1804, foi criado em França o Código de Napoleão, em que era imposta às construções uma garantia de dez anos, sendo também responsabilizados o construtor e os projetistas.

Criou-se a necessidade de inculcar aos construtores a responsabilização pelas suas obras de forma a garantir a qualidade das mesmas, uma vez que a penalização pelo delito, conforme o regulamento, poderia recair sobre a vida da sua família ou mesmo sobre a sua própria. Acompanhando o progresso das sociedades, a regulamentação existente, apesar de escassa em determinadas épocas da nossa história, foi sendo sujeita a alterações de forma a atualizar a sua aplicação e cobrir as necessidades e desenvolvimentos do período de tempo em que se enquadrava. Através das atualizações, foram sendo incluídas as preocupações da sociedade que regulava.

De forma a acompanhar o crescimento da sociedade, o setor da construção teve de se atualizar e inovar, respondendo assim às exigências das novas estruturas. Esta inovação levou a que as matérias-primas necessárias para a produção dos materiais de construção sofressem processos de transformação cada vez mais complexos, o que implicava maiores quantidades de energia consumida, grande quantidade de emissões poluentes e maior quantidade de resíduos finais, o que se tornou bastante nocivo para o planeta. Com a tomada de conhecimento dos impactos que a transformação das matérias-primas tinha para o ambiente, aumentaram as preocupações ambientais, o que levou à discussão do tema e, conseqüentemente, à criação de regulamentação para proteção do ambiente e poupança energética.

No seguimento de uma linha de pensamento mais ecologista e preocupada e com o ambiente na ordem do dia, surge então o conceito de sustentabilidade. Este conceito é assim apresentado por Lester Brown, em 1980, sendo utilizado um pouco por todo o mundo. Este diz-nos então que quando as necessidades são completamente satisfeitas de forma a preservar o ambiente para que as gerações futuras o possam também fazer, é sustentável.

Apesar de algumas, poucas, alterações, o conceito de desenvolvimento sustentável é também extremamente utilizado hoje em dia. Ganhando ênfase quando definido no Relatório Brundtland, em 1987, como “Por desenvolvimento sustentável entende-se o desenvolvimento que satisfaz as necessidades atuais sem comprometer a capacidade das gerações futuras para satisfazerem as suas próprias necessidades.”.

Em Portugal, a tomada de consciência das implicações da transformação das matérias-primas da construção e dos excessivos consumos energéticos para o ambiente não foi imediata, tendo demorado alguns anos até ao aparecimento das primeiras regulamentações.

Até 1990 não existia em Portugal qualquer regulamento para os requisitos térmicos nas habitações. Surge assim, nesse ano, o primeiro. Sendo criado o Decreto-Lei 40/90 que engloba o RCCTE (Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios) e passa a regular os requisitos térmicos dos edifícios através da imposição de condições a projetos de novos edifícios e de grandes remodelações, propondo a satisfação das condições de conforto térmico, sem necessidades excessivas de energia, tanto no Inverno como no Verão. Paralelamente, pretendia também minimizar o efeito das condensações superficiais e no interior do edifício, originando patologias construtivas.

Em 2002, com o objetivo de promover a melhoria do desempenho energético dos edifícios, apresentando exigências para o ambiente interior e estabelecendo requisitos para a certificação energética, surge a Diretiva Europeia 2002/91/CE de 16 de dezembro, “*Energy Performance in Buildings Directive*” (EPBD). A implementação da diretiva em Portugal deu origem, em 2006, a um novo pacote legislativo, onde se inclui a atualização do RCCTE (Decreto-Lei 80/2006) e a criação do SCE (Sistema de Certificação Energética) (Decreto-Lei 78/2006). Através da sua aplicação, verificou-se uma melhoria na qualidade dos edifícios, na qualidade da sua envolvente assim como da sua classe energética (ADENE, 2012). Também em 2006, foi criada a Diretiva 2006/32/CE de 5 de abril, a qual incita a relação custo/eficácia da melhoria da eficiência na utilização final de energia nos estados-membros. A aplicação desta diretiva implicou a seleção de medidas para a melhoria da eficiência energética, tendo em Portugal sido criados, como forma de resposta às exigências impostas, os Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE) e Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis (PNAER). Através da criação destes planos, foram também criadas metas para o ano de 2020. Prevê-se então que até ao ano limite, Portugal consiga reduzir as suas emissões de gases de efeito de estufa em 20% em relação aos níveis registados em 1990, 20% da energia seja proveniente de fontes renováveis e reduza o consumo de energia primária em 20% (APREN, 2016).

Em 2010, a EPBD é reformulada e surge a Diretiva 2010/31/EU de 19 de maio de 2010. Esta reformulação surge no âmbito da melhoria de vários requisitos e da necessidade da criação de

novos desafios. A regulamentação em Portugal já havia introduzido algumas exigências, passando assim a necessitar de revisão para a introdução das novas imposições europeias. Uma das propostas presentes na diretiva seria a distinção entre os edifícios de habitação e os edifícios de serviços. Assim, em 2013, é publicado o Decreto-Lei 118/2013 de 20 de agosto, estabelecendo o REH (Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação). São assim definidos requisitos para edifícios de habitação, novos ou sujeitos a intervenções, assim como parâmetros e metodologias de caracterização do desempenho energético (ADENE, 2012). A atualização do REH para implementação da reformulação da EPBD, impôs também a Portugal novos desafios e adaptações a ser cumpridas, como (ADENE, 2012; Baptista, 2012):

- A introdução de requisitos energéticos e de qualidade da envolvente;
- O reforço dos requisitos dos sistemas técnicos através da imposição de requisitos mínimos;
- A introdução e promoção do conceito de NZEB (Edifícios com necessidades quase nulas de energia - *Nearly Zero Energy Buildings*), devendo os novos edifícios cumprir este requisito a partir de 2020;
- Apresentação da classificação energética nos anúncios dos imóveis,
- Metas ambiciosas para a recuperação do parque edificado.

Atualmente, foram já impostas metas para o ano de 2030 e que Portugal deverá cumprir. O seu objetivo passa assim pela redução das emissões de gases de efeito de estufa em 40%, 27% da energia consumida deverá ser originada por fontes renováveis, devendo também registar um aumento de 27% relativamente ao aumento da eficiência energética (APREN, 2016).

No âmbito desta dissertação serão analisados os impactes ambientais provocados por diferentes produtos utilizados na reabilitação energética de edifícios, identificando aqueles que poderão oferecer um maior contributo para um menor impacte ambiental de ciclo de vida do ambiente construído. Pretende-se assim definir um ponto de equilíbrio entre as medidas normalmente aplicadas, sendo otimizada a relação custo/benefício através do alcance de um melhor desempenho na reabilitação (menor consumo de energia e menos emissões de carbono) e com menores inconvenientes (investimento, intervenção no edifício e perturbação dos utilizadores). Para tal, o ponto central do desenvolvimento do tema será a análise de medidas de reabilitação energética de fachadas e as várias soluções existentes e disponíveis no

mercado. Assim, pretende-se abordar o contributo/influência que diferentes materiais e soluções proporcionam quando utilizados na reabilitação de edifícios, avaliando as implicações nos desempenhos ambiental, económico e social do ciclo de vida dos edifícios.

Adicionalmente ao desenvolvimento do tema de dissertação, será elaborado um guia de boas práticas para o isolamento térmico de elevada espessura para a envolvente de edifícios de forma a promover a sua correta aplicação e um isolamento eficiente. O guia apresentará assim, com especial foco, um produto nacional de elevada qualidade e excelentes propriedades, o aglomerado negro de cortiça.

1.2 Objetivos

Pelas crescentes preocupações ecológicas, os impactes ambientais originados pela transformação das matérias-primas para a produção de materiais de construção e as emissões poluentes decorrentes da utilização dos edifícios, ganharam uma nova importância na nossa sociedade. Razão pela qual, a reabilitação energética é cada vez mais uma solução adotada e eficaz, uma vez que a estrutura do edifício não poderá sofrer alterações profundas, a reabilitação deverá otimizar a sua utilização de forma a reduzir as suas emissões através da redução do seu consumo energético e mitigando os impactes causados pelos materiais já existentes. Com isto, pretende-se uma diminuição dos impactes ambientais de ciclo de vida do edifício, perspetivando uma ótima relação custo/benefício.

Os objetivos desta dissertação, focam-se assim na comparação do desempenho ambiental de diferentes produtos de isolamento quando aplicados na reabilitação energética de edifícios. Apesar de, no tema da dissertação, referir apenas o desempenho ambiental das soluções, o estudo efetuado foi expandido ao desempenho energético e económico. O que permitiu obter resultados mais completos e abrangentes sobre as soluções de reabilitação energética em estudo.

Para ser possível proceder a tal tarefa, será necessário o recurso a um caso de estudo, exemplificativo dos procedimentos e resultados. Assim, será avaliada a influência do contexto climático em que o edifício será enquadrado, sendo este um edifício-padrão definido pela ADENE para uma determinada época de construção. Com este caso de estudo, pretende-se avaliar o seu consumo energético, considerando o seu posicionamento em cada uma das zonas

climáticas existentes em Portugal. Procedendo-se seguidamente à reabilitação da fachada através da aplicação de diferentes soluções de isolamento e diferentes espessuras, repetindo-se o processo de cálculo efetuado anteriormente para o edifício na sua condição inicial. Assim, torna-se possível a definição do desempenho de ciclo de vida do edifício após a sua reabilitação e a comparação dos valores obtidos para cada solução estudada e aplicada de forma a definir um intervalo em que se possa considerar existir uma otimização custo/benefício.

Tudo isto devido à aproximação de 2020 e ao aumento das preocupações com o ambiente. Assim, as emissões de carbono associadas ao fabrico dos materiais de construção assumiram uma elevada importância, delegando para segundo plano as emissões de carbono provenientes do uso do edifício. São nestas preocupações e temática que assenta o primeiro objetivo definido para esta dissertação.

Um outro objetivo que se estabelece é o desenvolvimento de um guia de boas práticas para a aplicação de isolamento de elevada espessura em aglomerado negro de cortiça. Como tal, o mesmo será baseado nas melhores práticas apresentadas pelo mercado no contexto do isolamento exterior de edifícios de forma a possibilitar a construção de uma estrutura simples e consistente. Na base do seu desenvolvimento será também incluído o estudo da aplicação a um caso real. Com a elaboração deste guia pretende-se preencher uma lacuna existente no mercado português da construção, uma vez que não existem guias com informação técnica aprofundada acerca do tema, nomeadamente no que respeita à aplicação de placas de aglomerado de cortiça de elevada espessura em sistema de isolamento térmico contínuo pelo exterior.

1.3 Organização da dissertação

De forma a abranger todos os pontos essenciais no desenvolvimento da dissertação, esta encontra-se dividida em seis capítulos. Sendo eles:

1. Introdução;
2. Estado da arte;
3. Metodologia;
4. Reabilitação energética da envolvente exterior de edifícios;
5. Caso de estudo;

6. Conclusões e perspectivas futuras.

No primeiro capítulo é feita uma breve introdução à temática da dissertação, assim como às preocupações que levam à sua realização. São também expostos os objetivos traçados para a mesma e é apresentada a sua estrutura de forma clara e sucinta.

No segundo capítulo, encontra-se o estado da arte, onde se pretende enquadrar o tema da dissertação na bibliografia existente, assim como fundamentar o tema e apresentar as bases do trabalho. Este capítulo encontra-se dividido em nove subcapítulos, onde será efetuado o enquadramento ao mesmo e serão abordados a evolução das fachadas em Portugal, a eficiência energética do parque habitacional português, a reabilitação energética, tanto em Portugal como na Europa, a reabilitação energética de edifícios, em que consiste, quais os principais aspetos influentes e as soluções de reabilitação existentes, a produção dos materiais de construção, abordando os seus consumos e impactes, os métodos de avaliação de impactes ambientais e o enquadramento à legislação térmica pelas normas europeias e portuguesas.

De seguida, no terceiro capítulo, é apresentada a metodologia seguida para a elaboração da dissertação. Quais as ferramentas de avaliação a utilizar, como será efetuada a comparação entre os materiais de isolamento e a respetiva análise de sensibilidade. É caracterizado o caso de estudo, onde são apresentadas todas as características essenciais ao desenvolvimento da dissertação e à aplicação dos métodos pretendidos. Por fim, é descrita toda a metodologia a seguir de forma a efetuar a avaliação das necessidades energéticas do edifício, assim como a avaliação do desempenho ambiental e económico do mesmo.

O quarto capítulo poderá considerado o mais importante, uma vez que possui toda a informação utilizada como base da aplicação ao caso de estudo e onde se expõe todas as soluções existentes para a reabilitação energética da fachada de um edifício, sendo também apresentados os materiais de isolamento mais utilizados em Portugal e comparados entre si através da metodologia MARS-SC.

No quinto capítulo, serão apresentados os resultados obtidos para a aplicação das soluções de reabilitação ao caso de estudo. Será então efetuada uma breve caracterização da situação inicial do edifício, assim como das soluções a aplicar na fachada do mesmo. Através dos resultados obtidos, será possível avaliar o desempenho do edifício energeticamente,

Análise comparativa do desempenho ambiental de diferentes produtos utilizados na reabilitação energética de edifícios

ambientalmente e economicamente, tal como proceder à comparação com a sua situação inicial. Tudo isto, nas quatro localizações consideradas.

Por último, no sexto capítulo, serão apresentadas todas as conclusões que a elaboração permitiu tirar sobre os impactes ambientais, a reabilitação energética, os consumos energéticos, entre outros. É também apresentada uma perspetiva futura do que poderá ser feito no seguimento do trabalho elaborado.

2. ESTADO DA ARTE

2.1 Enquadramento

Ao longo do presente capítulo será apresentada uma revisão da literatura existente acerca dos temas fulcrais para o desenvolvimento desta dissertação, e que fundamentam a sua elaboração. Com isto, foi possível compilar a informação ao longo de sete subcapítulos, abordando temáticas desde a variação da constituição das fachadas das habitações portuguesas ao longo dos anos, até à reabilitação energética de edifícios e a caracterização das soluções existentes no mercado.

Com este capítulo pretende-se fundamentar e alicerçar a informação que será abordada ao longo do desenvolvimento dos restantes capítulos.

2.2 A evolução das fachadas em Portugal

Como parte integrante e fundamental da envolvente exterior dos edifícios, as fachadas constituem o elemento de separação entre o seu espaço interior útil e o espaço exterior, garantindo as condições de conforto e habitabilidade necessárias aos seus utilizadores, pelo que se torna a única parte visível do mesmo. Encontrando-se assim sujeita às ações do meio.

Ao longo dos anos, o setor da construção foi acompanhando a mudança dos tempos e das necessidades do utilizador, o que implicou uma evolução das técnicas construtivas e dos materiais utilizados, sempre acompanhados por regulamentação adequada e adaptada. Nesta evolução, a constituição das fachadas foi sendo otimizada ao longo das últimas décadas.

Até aos anos 40, a constituição das paredes de fachada era simples e robusta, consistindo na utilização de apenas um pano de parede de elevada espessura em alvenaria de pedra ou tijolo maciço. Surgindo apenas na década de 50 a inclusão de alvenaria de tijolo, formando as primeiras paredes duplas, em que se mantém a parede exterior maciça em alvenaria de pedra à qual se junta um pano interior, de pequena espessura, em alvenaria de tijolo.

Com os avanços da tecnologia e a necessidade de simplificar a construção, nos anos 60 aligeirou-se a construção com a colocação de alvenaria de tijolo vazado em ambos os panos, sendo o pano exterior de maior espessura que o interior. Tal foi alterado na década de 70, em que a espessura do pano exterior foi diminuindo até ter a mesma dimensão que o pano interior, o que por vezes levava a espessuras demasiado reduzidas.

Apenas na década de 80 se procedeu à integração de isolamento térmico na constituição das paredes de fachada dos edifícios, sendo colocado a preencher total ou parcialmente a caixa-de-ar existente.

Em Portugal, apenas nos anos 90 surgiram sistemas de isolamento térmico pelo exterior e interior, sendo os interiores utilizados geralmente na reabilitação de edifícios anteriores à década de 60. Os sistemas de isolamento pelo exterior são normalmente aplicados em suportes de betão ou alvenaria, sendo os mais utilizados o sistema ETICS e as fachadas ventiladas. O sistema ETICS consiste na aplicação de isolamento térmico na face exterior da fachada do edifício, protegendo-a assim das ações climatéricas. A sua fixação poderá ser efetuada através de colagem ou fixação mecânica. As fachadas ventiladas consistem em sistemas de proteção do elemento, caracterizando-se a sua constituição pela existência de uma caixa-de-ar entre o elemento protetor e o elemento protegido, diminuindo a concentração de humidade e o gradiente de temperaturas (Neto, 2012).

A Figura 1 é ilustrativa da evolução das fachadas em Portugal desde a construção característica da década de 40 até às soluções mais inovadoras apresentadas na década de 90 e ainda utilizadas nos dias de hoje.

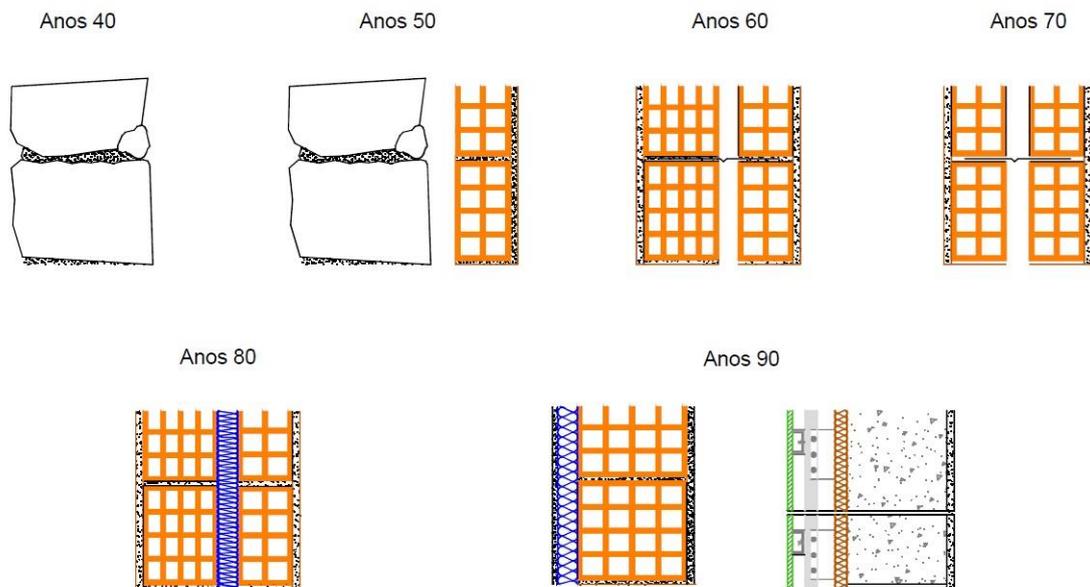


Figura 1 - Evolução das fachadas em Portugal

De acordo com os resultados obtidos no âmbito dos Censos 2001, depreende-se que em Portugal, após a criação da regulamentação para as exigências térmicas dos edifícios, apenas 19% dos edifícios construídos pertencem ao período de 1991 a 2001. Tendo 81% dos edifícios sido construídos anteriormente a 1991, ou seja, ainda sem regulamentação aplicável e não cumprindo atualmente várias exigências (INE, 2011).

Analisando os dados recolhidos através dos Censos 2011, observa-se que nesse mesmo ano, 71.1% dos edifícios existentes em Portugal não necessitava de operações de reparação, 1.7% já se encontrava em avançado estado de degradação, 9.6% necessitava de grandes reparações e 17.6% necessitava apenas de pequenas intervenções de reparação, como se pode analisar na Figura 2 (INE and LNEC, 2013).

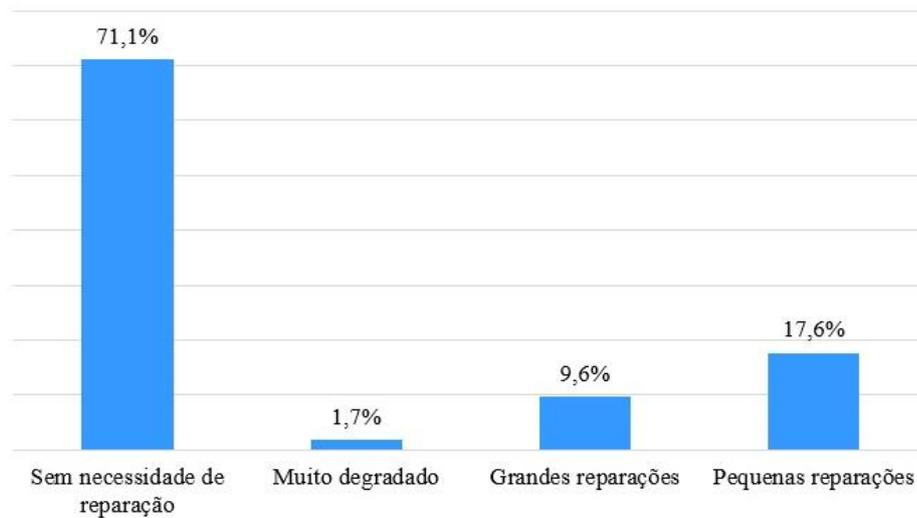


Figura 2 – Necessidades de reparação dos edifícios em Portugal Fonte: INE and LNEC, 2013

2.3 A eficiência energética do parque habitacional português

A evolução das técnicas de construção e dos materiais, permitiu uma melhoria das condições de habitação das populações ao longo dos tempos. Ao longo desta evolução, verificou-se um acompanhamento do aumento das exigências de conforto por parte dos utilizadores, passando a ganhar relevo no mercado os sistemas de climatização. Mas resolverão, apenas estes sistemas, as necessidades de conforto e qualidade de vida das famílias? Poderão contribuir para a resolução, mas existiria a necessidade de estar permanentemente em funcionamento, de forma a manter a temperatura interior do edifício de acordo com os padrões de exigência do utilizador. Como tal, através da correta e eficaz combinação de sistemas de climatização com sistemas construtivos adequados às exigências ambientais da zona de implantação, é possível garantir o conforto no interior do edifício pela ação eficaz dos sistemas implementados.

Assim, como não são implementados os sistemas corretos e a eficiência dos edifícios deixa bastante a desejar, acaba por haver um enorme desperdício de energia, pois ao aliar o funcionamento do sistema de climatização (que poderá não ser o mais eficiente e consumir demasiada energia durante o seu funcionamento) ao fraco desempenho dos edifícios, a energia é desperdiçada na tentativa de manter o espaço conforme as exigências de conforto impostas.

Em Portugal, cerca de 81% dos edifícios foram construídos antes da publicação da primeira regulamentação térmica para edifícios (INE, 2011), o que faz com que o seu desempenho energético não corresponda às exigências impostas pelo regulamento.

A primeira regulamentação térmica criada em Portugal remonta ao ano de 1990 e tratava-se do Decreto-Lei 40/90, o RCCTE. Pela necessidade da implementação da EPBD em 2002, que passou a exigir a certificação energética, foi criado o SCE (Sistema Nacional de Certificação Energética).

Atualmente, após a reformulação da EPBD em 2010, o pacote legislativo criado em 2006 (três documentos distintos, RCCTE, SCE e RSECE) passou a constar num único documento, o Decreto-Lei 118/2013. Sendo distinguidos os edifícios de habitação (REH) e os edifícios de serviços (RSECE).

Anteriormente à publicação do RCCTE, muito poucos projetos incluíam componentes construtivos relacionados com o desempenho térmico dos edifícios. Este regulamento, demonstrou assim a importância da introdução dos aspetos térmicos e energéticos no estudo e projeto de edifícios através da definição de requisitos construtivos mínimos para a envolvente dos edifícios (DGE, 2002). Após o início da sua aplicação verificou-se um aumento da eficiência energética.

O SCE mostrou-se um método bastante eficaz para a avaliação da eficiência energética dos edifícios portugueses, pois, com a sua entrada em vigor, foi possível conhecer com rigor o desempenho energético do parque construído.

Com o início da aplicação da regulamentação, tornou-se necessário transmitir à União Europeia os resultados através de relatórios. Pelo efetuado em 2011, é possível verificar que desde o início da aplicação, em 2007, até Outubro de 2010, tinham sido já emitidos mais de 315.000 certificados energéticos, correspondendo cerca de 80% a edifícios existentes, sendo que desses, 92% eram edifícios residenciais (Santos, Mateus and Maldonado, 2011).

Como é possível observar nas Figuras 3 e 4, são impostos patamares mínimos para a eficiência energética dos edifícios, sendo nos edifícios novos o nível B- e nos edifícios

existentes o nível G. Para edifícios novos, 19% dos certificados emitidos possuem a classificação mínima (B-), o nível mais representado é o A com 41% dos certificados emitidos e a classificação máxima (A+) o menos representado com 11% dos certificados. Nos edifícios existentes, 5.1% dos certificados emitidos encontra-se no limiar mínimo das exigências energéticas (G), o nível com mais certificados emitidos é o C com 32.8% e a classificação máxima, mais uma vez, volta a ser a menos representada com 0.5% dos certificados (Santos, Mateus and Maldonado, 2011).

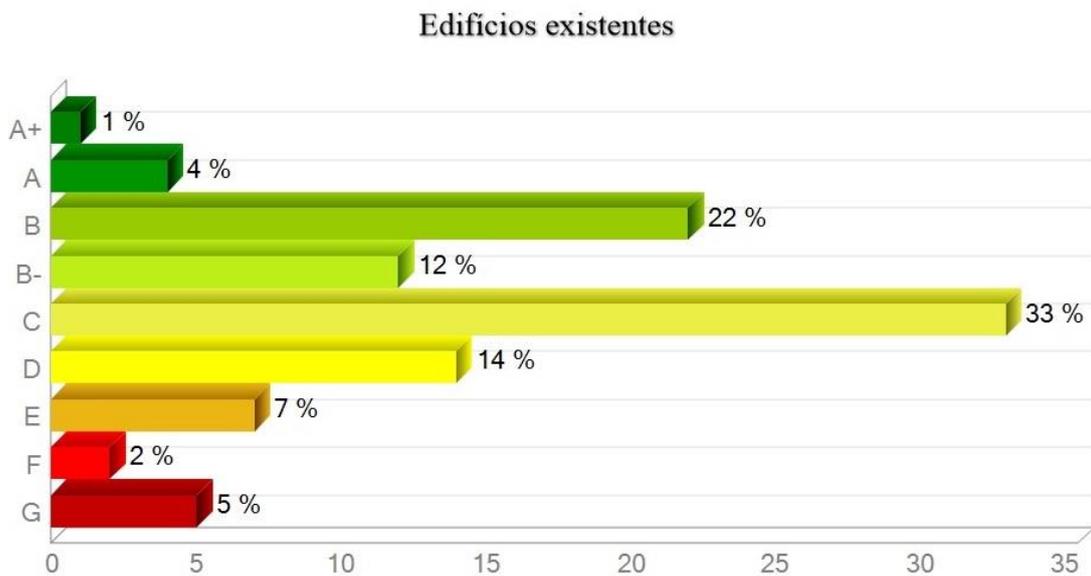


Figura 3 - Percentagem de certificados energéticos emitidos para edifícios existentes Fonte: Santos, Mateus and Maldonado, 2011

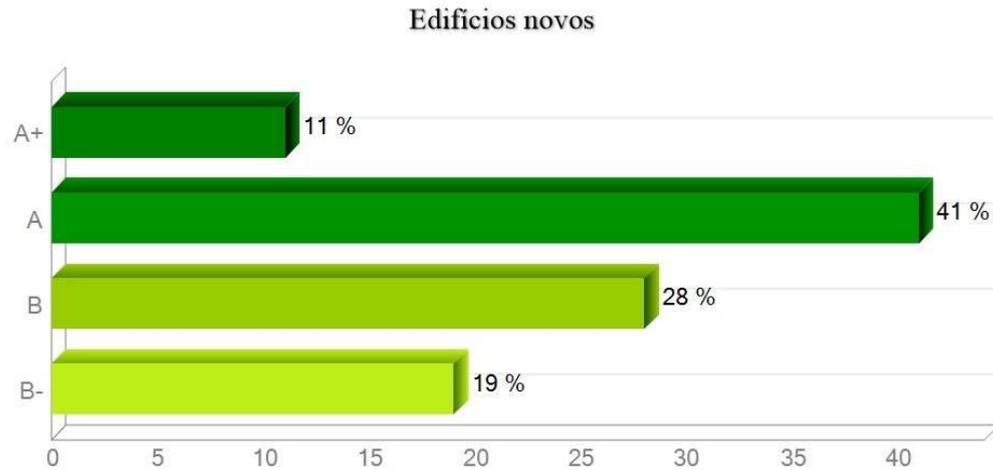


Figura 4 - Percentagem de certificados energéticos emitidos para edifícios novos Fonte: Santos, Mateus and Maldonado, 2011

Através da análise da Figura 5, é possível observar que o desempenho térmico, de forma geral, se encontra dentro dos padrões de referência médios, verificando-se também as diferenças entre os valores de referência indicados pelo RCCTE e os valores médios obtidos para cada zona climática do país (Santos, Mateus and Maldonado, 2011).

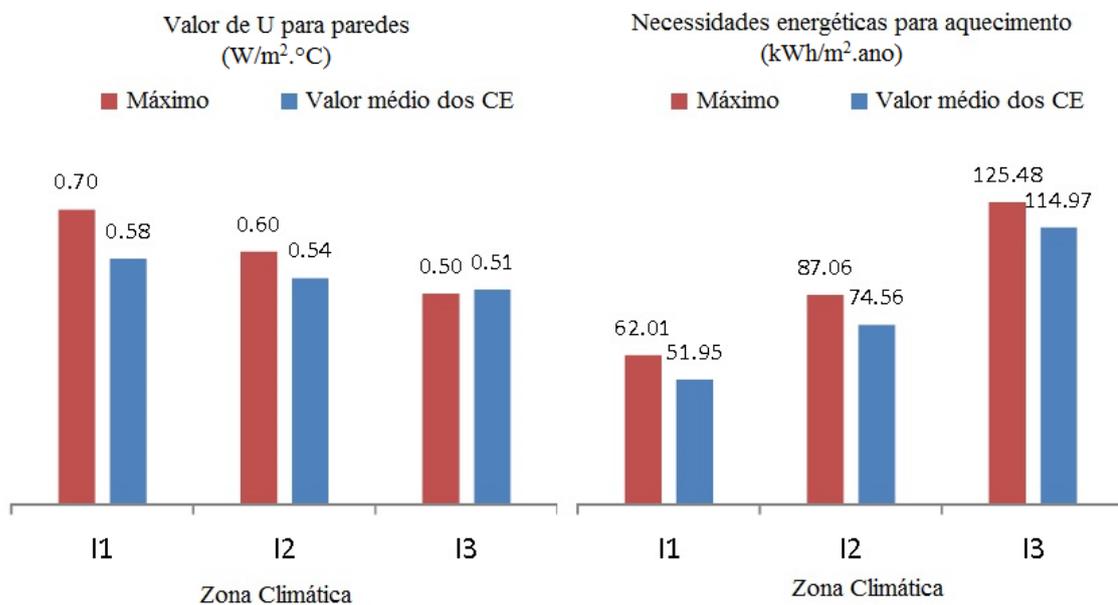


Figura 5 - Gráficos comparativos dos valores médios dos certificados energéticos com o valor máximo regulamentado, para o valor de U e das necessidades energéticas Fonte: Santos, Mateus and Maldonado, 2011

Pela observação da Figura 5, verifica-se que apenas na região climática I3, o valor médio do coeficiente de transmissão térmica superficial é superior, ainda que ligeiramente, aos valores médios regulamentados. Em relação às necessidades energéticas para aquecimento, constata-se que os valores médios dos certificados são inferiores aos valores máximos regulamentados em todas as zonas climáticas.

O desempenho energético dos edifícios é avaliado através dos certificados energéticos, o que tem vindo a possibilitar a identificação de lacunas existentes no parque habitacional português, promovendo a melhoria das condições de conforto e menores custos pela utilização de energia (Ganhão, 2011).

A emissão do certificado energético não é focada apenas na avaliação energética do edifício, são também feitas várias recomendações de forma a possibilitar a melhoria da classe energética no caso da sua aplicação. As principais recomendações efetuadas pelos peritos, e como se pode observar na Figura 6, são assim (Santos, Mateus and Maldonado, 2011):

- Instalação de **sistemas de aquecimento de AQS** de alta eficiência energética;
- Aplicação de **isolamento térmico** na envolvente do edifício;
- Colocação de **coletores solares**;
- Instalação de um **sistema de aquecimento** eficiente;
- Utilização de **envidraçados** energeticamente eficientes;
- Outros.

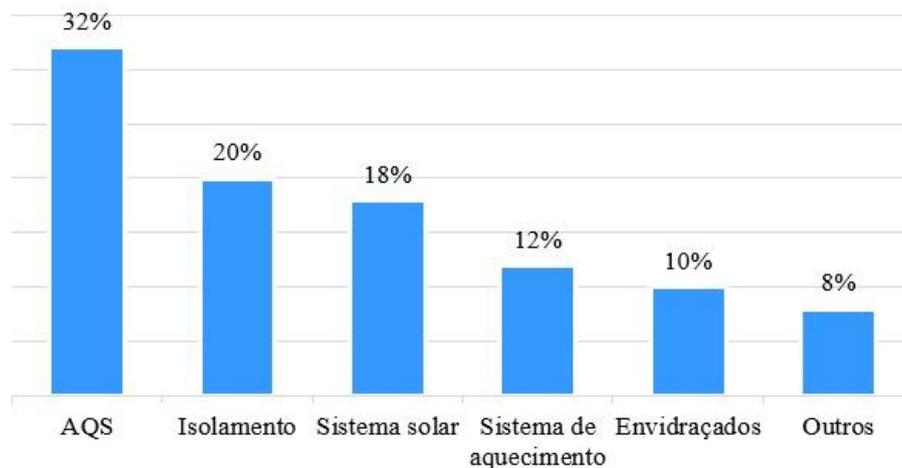


Figura 6 – Principais recomendações dos peritos Fonte: Santos, Mateus and Maldonado, 2011

Apesar de já muito ter sido alterado e melhorado, ainda há um longo caminho para Portugal percorrer, pois, infelizmente, é um país onde a maioria das habitações ainda não possuem as condições mínimas para a garantia de conforto dos seus habitantes, sem a necessidade de sistemas para aquecimento, o que leva a um aumento das necessidades energéticas. Faz-se assim notar a falta de exigências térmicas nas habitações portuguesas, por muitas delas ainda pertencerem ao período anterior à existência de regulamentação, e não terem sido alvo de uma reabilitação (por falta de condições económicas ou conformação com a situação).

2.4 A reabilitação energética na Europa

Apesar da crise económica que se abateu sobre a Europa, sendo Portugal um dos países afetados, o mercado da reabilitação, outrora estagnado, tem vindo a aumentar a sua participação na economia nacional e europeia, melhorando a sua oferta e impondo a sua importância num setor anteriormente focado na construção nova.

Segundo os dados do relatório de 2009 da FIEC (Federação da Indústria Europeia da Construção) presentes no relatório desenvolvido pela AECOPS (Associação de Empresas de Construção Obras Públicas e Serviços) sobre o volume de produção dos trabalhos de reabilitação de edifícios residenciais num conjunto de 14 países, permite observar que a Alemanha é o país com maior volume de trabalhos produzidos no setor da reabilitação, com cerca de 32% do valor total dos trabalhos. Seguindo-se a Itália com 29% do total e a Finlândia com 26% desse valor. Portugal pertence ainda ao grupo de países onde o peso do mercado da reabilitação de edifícios residenciais possui um reduzido peso na produção total do setor da construção, não sendo ainda uma aposta aquando da execução do relatório, obtendo apenas 6.2% do valor total. Neste ranking, apenas a Roménia possui piores valores que Portugal, com 6% do rácio (Martins *et al.*, 2009). Na Figura 7, é possível observar o peso da reabilitação residencial num conjunto de 14 países.

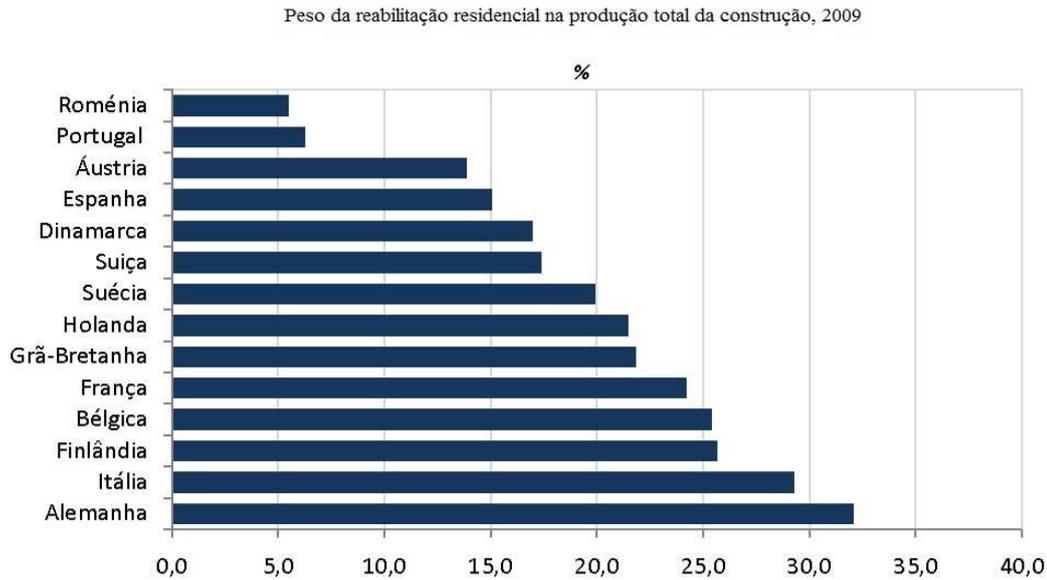


Figura 7 - Peso da reabilitação residencial na produção total da construção, em 2009 Fonte: Martins *et al.*, 2009

2.5 A reabilitação energética em Portugal

Pelas intensões do governo e das autarquias na conservação dos edifícios históricos e do património das cidades e também pelas preocupações ambientais, Portugal tem vindo a investir cada vez mais na reabilitação do edificado. Não só pela crise que atravessou, e que estagnou o setor da construção, mas também pela manutenção da herança histórica das cidades e pela conservação de edifícios existentes de forma a evitar a produção de resíduos de demolição, preservando as características dos edifícios e dos espaços onde se localizam, o investimento e a perceção das vantagens da reabilitação aumentaram.

Segundo a publicação anual Estatísticas da Construção e Habitação 2014, em 2014, 66% das obras concluídas correspondem a construções novas, registando-se um decréscimo em relação ao ano de 2013 (71%). Dos licenciamentos emitidos para edifícios, predomina a construção nova, com 57.9% do total dos edifícios licenciados. Segundo a mesma publicação, a importância relativa das obras de reabilitação, no total de obras concluídas, aumentou para 34%, em relação aos 29% do ano 2013. Dos licenciamentos emitidos para obras de reabilitação de edifícios (considerando como reabilitação: alteração, ampliação ou reconstrução), 34.1% dos licenciamentos corresponde a este tipo de obra e apenas 8% a obras de demolição (INE, 2015).

No ano de 2014, as obras de reabilitação representavam 34% do total dos edifícios concluídos. Apesar de se verificar um ligeiro decréscimo do número total de obras de reabilitação entre 2009 e 2014, o peso relativo deste tipo de obra aumentou, apresentando um crescimento sucessivo de 22.3%, em 2009, para 34%, em 2014. Este aumento deve-se à diminuição do número de edifícios concluídos em construções novas (INE, 2015). É assim possível observar a comparação dos valores referidos através da observação da Figura 8.



Figura 8 – Peso das obras de reabilitação no total de obras concluídas e do destino da habitação familiar no total de obras de reabilitação para 2009 a 2014 Fonte: INE, 2015

Na Figura 9, é possível observar a variação da importância dos vários tipos de obra licenciados para o período de tempo entre 2009 e 2014. A construção nova, que em 2009 representava 77.7% do total das obras concluídas, sofreu uma diminuição, atingindo em 2014 os 66% do total. Já as obras de ampliação e reconstrução, que em 2009 representavam 15.5% do total das obras concluídas, adquiriram importância e em 2014 já representavam 23.2% do total (INE, 2015).

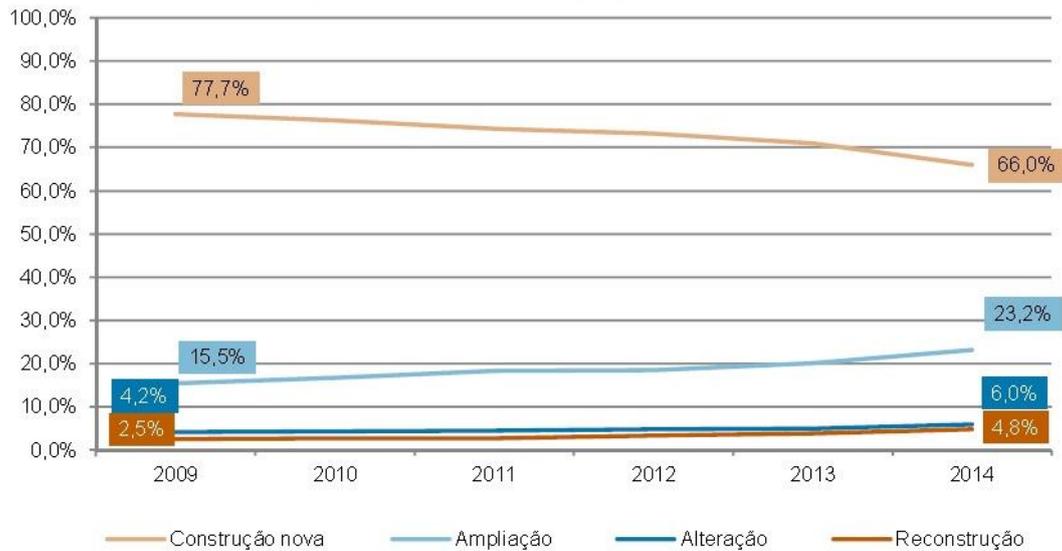


Figura 9 - Proporção dos edifícios concluídos por tipo de obra para 2009 a 2014 Fonte: INE, 2015

Já em 2012, após a análise dos resultados dos Censos 2011, era prevista uma diminuição acentuada do número de habitações concluídas em obras de construção nova para o período entre 2014 e 2015, como se pode confirmar na Figura 10.

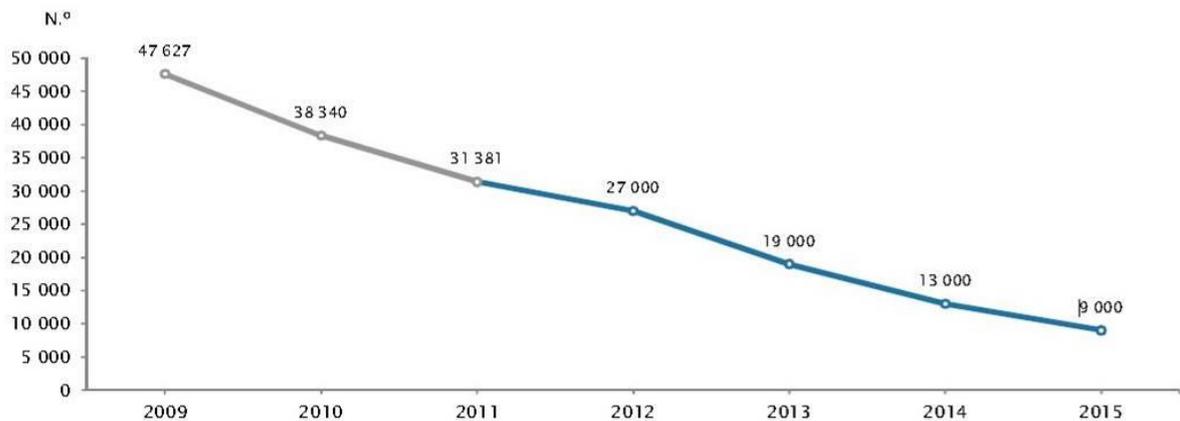


Figura 10 – Número de fogos concluídos em obras de construção nova para 2009 a 2015

Fonte: INE, 2015

2.6 Reabilitação energética de edifícios

2.6.1 Âmbito

Apesar da sua importância e influência na economia europeia, o setor da construção continua a basear-se excessivamente em métodos de construção tradicionais e mão-de-obra não qualificada. O que leva a que haja um elevado consumo de matérias-primas, recursos energéticos não renováveis e produção de resíduos. Um consumo de tal forma elevado, que se torna excessivo. Em Portugal, estima-se que o setor da construção seja responsável pela utilização de cerca de 30% dos recursos energéticos nacionais, 6.7% do consumo de água, e pela produção anual de 420 milhões de metros cúbicos de águas residuais (Macedo and Mateus, 2012).

Ao observar a realidade atual relativamente ao consumo energético e à sustentabilidade dos edifícios, verifica-se que não existe de todo um convívio harmonioso entre as dimensões ambiental, social e económica, pilares do desenvolvimento sustentável. Sendo o setor da construção, em parte responsável pelo prejuízo causado no ambiente, a reabilitação dos edifícios existentes torna-se assim uma excelente opção de remissão dos males provocados, uma vez que são evitados os resíduos de demolição, são aproveitados recursos e o período de vida do edifício aumenta. Este é assim, um processo com bastante influência cultural, já que permite preservar e evitar a degradação do aspeto das cidades, enquanto aumenta o nível de conforto dos edifícios e diminui os impactes ambientais de ciclo de vida (Macedo and Mateus, 2012).

A reabilitação sustentável assenta num conjunto de princípios muito próprios (Kilbert, 2005):

- **Minimizar o consumo** de recursos naturais;
- **Aumentar a reutilização** de recursos;
- Utilizar **materiais recicláveis e reciclados**, sempre que possível;
- **Proteger** o ambiente natural;
- Criar um **ambiente saudável e não tóxico** na construção;
- Aumentar a **qualidade do ambiente interior**;
- Maximizar as condições de **saúde, o conforto e o bem-estar** aos seres humanos.

O parque habitacional português, apesar de relativamente recente, ainda se pode considerar como que estando envelhecido, o que leva a que uma parte se encontre bastante degradada. Esta degradação poderá então ser consequência da falta de intervenções de manutenção, da falta de qualidade dos materiais e sistemas construtivos aplicados e de, na época de construção, não existir ainda regulamentação térmica para edifícios (ADENE *et al.*, 2004).

Assim, a reabilitação energética de um edifício, tem por objetivo melhorar a qualidade térmica e racionalizar a gestão da energia, conferindo ao mesmo uma eficiência energética idêntica à de um edifício novo. Para maximizar a eficiência energética dos edifícios, deverá ser reduzido o consumo de energia para níveis aceitáveis de conforto, maximizada a qualidade do ar e outros requisitos, como a diminuição da energia incorporada na construção (Macedo and Mateus, 2012).

Quando em edifícios existentes, as medidas de reabilitação energética, que poderão ser aplicadas na sua envolvente podem ser realizadas através do (ADENE *et al.*, 2004; Paiva, Aguiar and Pinho, 2006):

- **Reforço da proteção térmica** pelo aumento do isolamento térmico dos elementos da envolvente opaca e controlando os ganhos solares através dos vãos envidraçados, dotando-os de proteções solares adequadas;
- **Controlo das infiltrações de ar** pela reparação e eventual reabilitação da caixilharia exterior, assim como a aplicação de medidas complementares;
- **Recurso a tecnologias solares, passivas e ativas;**
- **Melhoria da eficiência dos sistemas e equipamentos energéticos.**

Uma vez que o desenvolvimento do tema da dissertação é focado na reabilitação das fachadas dos edifícios, apenas será abordado o reforço da proteção térmica e as várias soluções oferecidas pelo mercado.

A principal vantagem do reforço do isolamento térmico das paredes exteriores passa pela diminuição do consumo de energia e o aumento do conforto térmico. Podendo ser efetuado de formas distintas, conforme o posicionamento do isolamento térmico a aplicar (ADENE *et al.*, 2004):

- Isolamento térmico pelo **exterior**;

- Isolamento térmico pelo **interior**;
- Isolamento térmico em **caixa-de-ar**.

No desenvolvimento dos seguintes subcapítulos os tópicos apresentados serão desenvolvidos com maior profundidade e clareza.

2.6.2 Aspectos influentes no desempenho energético dos edifícios

Aquando da aplicação das medidas de eficiência energética em edifícios, é necessário ter em consideração fatores além do seu grau de deterioração, como o envelhecimento dos materiais ou a falta de manutenção, as características do edifício, que podem levar a uma redução do seu desempenho térmico e a consumos de energia elevados, tanto na estação fria como na estação quente. São de mencionar, não só, algumas características do edifício, como também comportamentos inadequados por parte dos utilizadores (ADENE *et al.*, 2004):

- **Isolamento térmico insuficiente** nos elementos opacos da envolvente;
- Existência de **pontes térmicas** na envolvente do edifício;
- Presença de **humidade** (afetando o desempenho energético e a durabilidade);
- **Baixo desempenho térmico** de vãos envidraçados e portas (perdas de calor desnecessárias por transmissão térmica e infiltrações de ar excessivas);
- **Falta de proteções solares** adequadas nos vãos envidraçados, originando sobreaquecimento no interior do edifício ou aumentando as cargas térmicas;
- **Ventilação não-controlada**, criando maiores necessidades energéticas de aquecimento no Inverno. Ou ventilação insuficiente, criando maiores níveis de humidade no Inverno e sobreaquecimento no verão, e conseqüente desconforto dos ocupantes, fenómenos de condensação e baixo nível de qualidade do ar;
- Manutenção dos **sistemas de aquecimento e/ou arrefecimento** ligados juntamente com as janelas abertas;
- **Climatização desnecessária** dos espaços, criando um ambiente demasiado quente no Inverno e frio no Verão.

2.6.3 Soluções de reabilitação energética de fachadas

2.6.3.1 Soluções de isolamento pelo interior

A aplicação de isolamento térmico pelo interior é recomendada quando não se pretende alterar o aspeto exterior do edifício ou sempre que compense a perda de espaço útil com as poupanças energéticas e benefícios ambientais que pressupõe a intervenção, devendo por isso ser alvo de ponderação (Maia, 2013).

Para a aplicação de isolamento térmico pelo interior existem dois tipos principais de soluções (ADENE *et al.*, 2004):

- Contra-fachada;
- Painéis isolantes prefabricados.

2.6.3.2 Soluções de isolamento pelo exterior

A aplicação de isolamento térmico pelo exterior apresenta bastantes vantagens relativamente à aplicação pelo interior, pelo que, sempre que possível, a escolha deverá recair sobre esta solução. Ao colocar isolamento no paramento exterior da fachada está-se a contribuir para a redução das pontes térmicas e o aumento da inércia térmica do edifício, funcionando como acumulador térmico. Esta solução apresenta-se assim como uma excelente opção, tanto do ponto de vista térmico como do ponto de vista construtivo (ADENE *et al.*, 2004; Macedo and Mateus, 2012; Maia, 2013).

Para a aplicação de isolamento térmico pelo exterior, existem três tipos principais de soluções (ADENE *et al.*, 2004):

- Revestimentos independentes com interposição de um isolante térmico no espaço de ar;
- Sistemas compósitos de isolamento térmico pelo exterior (ETICS);
- Revestimentos isolantes.

A solução de aplicação de sistemas compósitos de isolamento térmico pelo exterior (ETICS) pode ainda variar conforme o tipo de revestimento a ser aplicado. Podendo este ser espesso ou delgado (ADENE *et al.*, 2004; Macedo and Mateus, 2012).

A solução de aplicação de revestimentos isolantes engloba no seu conteúdo duas soluções distintas na forma de aplicação, são então os componentes prefabricados constituídos por um isolante e um paramento, fixados diretamente ao suporte – Painéis isolantes prefabricados, e os rebocos isolantes (Macedo and Mateus, 2012).

2.6.3.3 Soluções de isolamento em caixa-de-ar

A aplicação de isolamento em caixa-de-ar é um procedimento exclusivo para edifícios com paredes duplas que permitam a introdução de materiais isolantes soltos ou de espumas por injeção na caixa-de-ar, sendo pelas suas condicionantes uma solução em que a sua escolha apenas deverá ser considerada caso as restantes soluções não sejam de possível aplicação. Este processo permite manter o aspeto exterior e interior da fachada e para a sua execução, é apenas necessária a abertura de furos de forma a se proceder à injeção (Macedo and Mateus, 2012; Maia, 2013).

2.7 Produção dos materiais de construção: consumos e impactes

Sendo o setor da construção um dos maiores consumidores de recursos naturais a nível mundial, possui uma enorme responsabilidade relativamente à sua poupança e conservação.

De forma a poder dar continuidade ao mercado da construção, o homem necessitou de recolher materiais e matérias-primas das fontes que o rodeavam, juntando e trabalhando, dando origem aos materiais necessários para as suas construções. Estes materiais, podem assim necessitar de ser transportados para uma nova localização, o que leva à inclusão de um novo parâmetro na avaliação dos recursos incorporados nas construções. Estes recursos, não se encontram assim apenas ligados ao peso dos materiais utilizados, mas também com a energia proveniente de fontes não renováveis, consumida na sua extração, processamento, armazenamento, transporte para o local de construção, montagem e construção em obra (Mateus and Bragança, 2006).

Alguns materiais apresentam impactes nocivos para a saúde dos ocupantes dos edifícios e ecossistemas, devendo a toxicidade dos mesmos ser analisada previamente à consideração da sua aplicação. Como tal, é na fase de projeto que estes e outros impactes deverão ser

mitigados através da escolha acertada dos materiais a aplicar. Dos diversos intervenientes na fase inicial, é de esperar a criação de um edifício como uma forma de gestão de energia e materiais, de modo a que este contribua na gestão prudente dos recursos. Os materiais a utilizar, deverão ser selecionados, não tendo apenas em conta o seu aspeto, mas também os seguintes critérios (Mateus and Bragança, 2006):

- **Energia incorporada no material**, devendo-se ter em conta o custo energético relacionado com a energia incorporada no material durante a totalidade do seu ciclo de vida;
- **Impacte ecológico incorporado no material**, possuindo os materiais este impacto como consequência da sua extração, produção e transporte até à obra;
- **Potencial de reutilização e reciclagem dos materiais**, como consequência do desgaste a que estão sujeitos durante o seu ciclo de vida;
- **Toxicidade do material** para seres humanos e ecossistemas;
- **Custos económicos** associados ao ciclo de vida dos materiais.

2.7.1 Energia incorporada no material

A energia incorporada nos materiais, corresponde à quantidade de energia necessária para a sua produção, transporte, aplicação em obra, manutenção e demolição. Durante a vida útil do edifício, a quantidade total de energia consumida pode variar de 6 a 20%, podendo depender dos sistemas construtivos utilizados, do número de utilizadores do edifício, do grau de conforto exigido pelos ocupantes e do clima local. Nesta percentagem, cerca de 80% do valor corresponde à Energia Primária Incorporada (PEC – “Primary Energy Consumption”), tratando-se dos recursos energéticos consumidos durante a produção dos materiais, incluindo a energia necessária para a extração da matéria-prima, o transporte para o local de transformação e a sua produção (Berge, 2009). Na Figura 11 é possível observar o ciclo de vida dos materiais e os consumos energéticos associados.

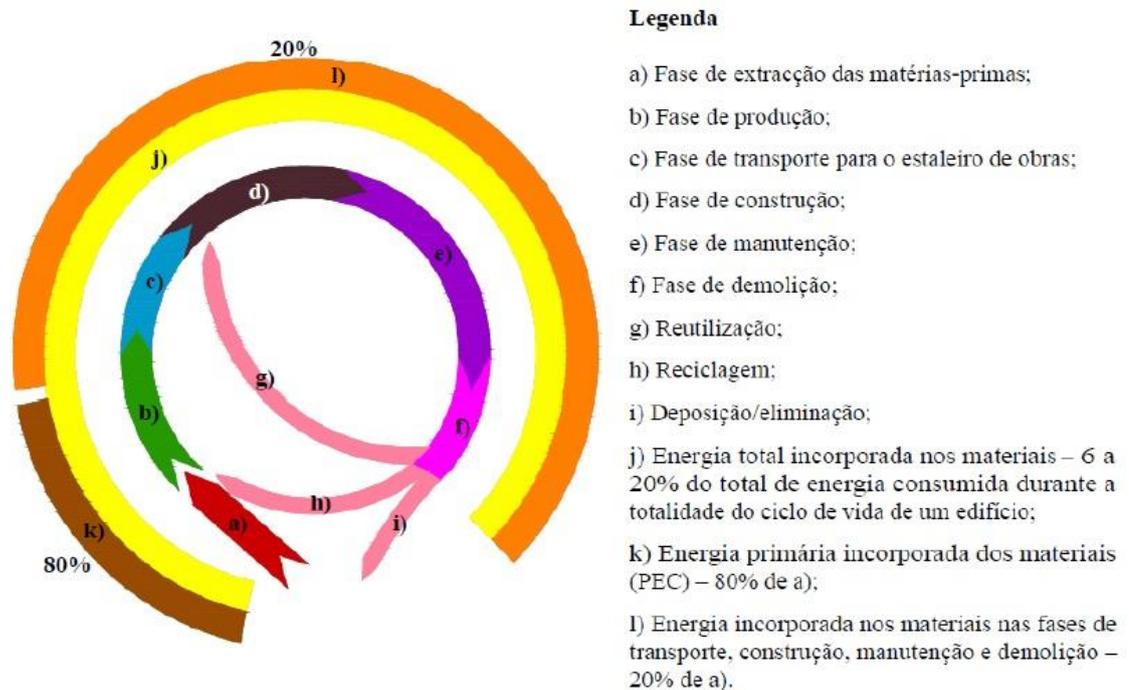


Figura 11 - Ciclo de vida dos materiais de construção e consumos energéticos associados

Fonte: Mateus and Bragança, 2006

Nos restantes 20% do total da energia consumida pode ser incluída a energia necessária para a realização do transporte dos materiais de construção para o estaleiro, a energia necessária para a fase de construção (processos de elevação e montagem), a energia para as operações de manutenção e reabilitação dos elementos de construção e a energia necessária para as operações de desmantelamento e demolição dos edifícios no final do seu ciclo de vida útil (Mateus and Bragança, 2006).

Como forma de reduzir a energia incorporada nos edifícios através dos materiais de construção, devem ser tidos em consideração alguns critérios aquando da sua seleção (Mateus and Bragança, 2006):

- **Preferência pelos produtos locais**, reduzindo assim a energia necessária para o transporte, que se traduz numa parte importante da energia incorporada num material;
- **Utilização de materiais com elevado potencial de reutilização** e/ou grande durabilidade, uma vez que com um ciclo de vida maior, haverá mais tempo para amortizar a quantidade de energia necessária para a sua produção ou utilizando

materiais diretamente reutilizáveis, evitando processos de transformação e os custos energéticos associados;

- **Utilização de materiais/sistemas construtivos de baixa massa**, uma vez que a energia incorporada está relacionada com a massa, ou seja, quanto maior a massa, maior a quantidade de energia incorporada.

Uma vez que a energia incorporada apenas corresponde a 20% da energia total consumida durante a vida útil de um edifício, não pode ser considerada como o único fator decisor já que, não pode ser estudado independentemente de outros fatores, como o comportamento passivo dos edifícios. Assim, ao comparar a energia incorporada de diferentes soluções construtivas, a comparação deve ser feita ao nível de cada elemento com funções semelhantes (Mateus and Bragança, 2006).

2.7.2 Impacte ecológico incorporado do material

O impacte ecológico incorporado do material surge como a reflexão do impacte ambiental do material ou componente da construção decorrente de toda a cadeia de atividades que se desenvolvem desde a extração das matérias-primas até à sua montagem no edifício. Normalmente, o indicador utilizado são as emissões de dióxido de carbono. Denominando-se assim este indicador por Potencial de Aquecimento Global (PAG) e medindo-se em gramas equivalentes de dióxido de carbono (Mateus and Bragança, 2006).

Como é de conhecimento geral e já variadas vezes referido e estudado, o dióxido de carbono é um dos gases com maior influência nas alterações climáticas e a sua produção está intimamente relacionada com o método de produção de alguns materiais de construção.

2.7.3 Potencial de reutilização e reciclagem dos materiais

O potencial de reutilização e reciclagem é um fator de grande influência e importância na escolha dos materiais a utilizar, devendo ser o critério principal para a decisão tomada. Após o término do ciclo de vida inicial do material, este passa a possuir um determinado potencial de reutilização e reciclagem que é função da sua capacidade de vir a ser reutilizado, ou seja, ser utilizado novamente como um recurso. O conhecimento deste potencial, é muito importante na gestão racional dos recursos e produtos de um edifício que promove como objetivo a

redução do impacto das construções sobre o meio ambiente. Assim, no processo de seleção dos materiais a utilizar, deverão ser considerados como preferidos os que apresentem um maior potencial de reutilização e reciclagem, pois a reutilização direta necessita de menor quantidade de energia (Mateus and Bragança, 2006).

Na seleção dos materiais a utilizar, é preferível a seleção através do potencial de reutilização e reciclagem em vez da energia incorporada, uma vez que quantas mais vezes um material é utilizado, menor será o custo da sua energia incorporada a cada utilização (Mateus and Bragança, 2006).

2.7.4 Toxicidade do material

A toxicidade de um material representa os efeitos nocivos que este pode provocar no ser humano e no ecossistema em que se encontra. Assim, todos os produtos e materiais devem ser analisados de forma a evitar a aplicação de elementos com compostos químicos tóxicos ao utilizador.

A qualidade do ar interior, é facilmente e extremamente influenciada pelas fontes poluentes interiores e exteriores, pois quando a produção de emissões gasosas e partículas sólidas excede a capacidade do sistema de ventilação e filtragem, a qualidade do ar diminui. Associadas à fraca qualidade do ar interior pela presença de poluentes, existem várias doenças e sintomas, como dores de cabeça, cansaço, tosse, irritação do nariz, olhos e garganta, asma e cancro. Assim, é possível identificar vários tipos de poluentes produzidos no interior dos edifícios, que influenciam e degradam a qualidade do ar interior e originam doenças (Mateus and Bragança, 2006):

- **Compostos orgânicos voláteis (COV)**, emitidos pelos materiais, componentes e mobiliário presente no interior do edifício;
- Os **COV emitidos pelos produtos de limpeza e de manutenção** utilizados no interior do edifício;
- As **fibras** que se desagregam de produtos têxteis e de sistemas de isolamento;
- **Poeiras de terra, materiais biológicos** e gases libertados pela atividade biológica;
- **Pó e outras partículas** libertadas por aerossóis e operações de acabamento de certos materiais e componentes.

Através do estudo dos compostos químicos presentes nos materiais, é possível saber que alguns deles, isoladamente, não fornecem perigo para a saúde dos utilizadores dos edifícios, mas quando combinados com determinados produtos criam riscos e tornam-se nocivos. Dependendo do composto em questão, quando prejudicial para a saúde, a sua ação poderá apresentar resultados tardios, podendo levar um longo período de tempo até que os sintomas se manifestem (Mateus and Bragança, 2006). Alguns exemplos de substâncias tóxicas nocivas à saúde dos utilizadores dos edifícios são o amianto, o chumbo, o formaldeído e o radão, possuindo todos eles consequências a longo prazo, como cancro do pulmão, anemia, hipertensão, entre outros. De forma a evitar a existência destas substâncias nos edifícios, devem ser analisadas cuidadosamente as fichas técnicas dos produtos a utilizar, reduzindo assim o risco de prejuízo da saúde dos utilizadores.

2.7.5 Custos económicos inerentes ao ciclo de vida

Em grande parte dos casos, os materiais a utilizar são seleccionados tendo apenas em consideração o seu custo de aquisição, o que poderá não ser a prática mais correta uma vez que os materiais necessitam de manutenção ou até mesmo de serem substituídos, o que leva à implementação da consideração destes custos como medida de seleção e não apenas o custo inicial.

Tendo em consideração que a vida útil dos edifícios, atualmente, varia entre os 50 e os 100 anos, constata-se que o maior período e o que acarreta maiores custos é o correspondente à exploração, manutenção e reabilitação. Logo, quanto maior a durabilidade de um material, menores serão os investimentos ao longo desse período (Mateus and Bragança, 2006).

Além do custo de aquisição e do valor dos investimentos necessários durante o período de utilização do edifício, é necessário considerar também os custos inerentes ao fim de vida do edifício, como o custo de desmantelamento/demolição e o custo de eliminação dos resíduos. O custo de desmantelamento/demolição, deverá ser tanto menor quanto menor o peso e o volume da estrutura a trabalhar e o grau de ligações entre os materiais e elementos construtivos. O custo de eliminação, é o correspondente ao somatório dos custos associados ao transporte dos resíduos até ao local de depósito com os custos de tratamento, de forma a reduzir o impacte no ambiente e na saúde dos habitantes para o menor possível. Para além

destes custos, deve também ser considerado o valor residual correspondente ao valor económico do material no final do seu ciclo de vida, que deverá ser tanto maior, quanto maior o seu potencial de reutilização e reciclagem (Mateus and Bragança, 2006).

Através da observação da Figura 12, é possível observar todos os custos associados ao ciclo de vida dos materiais e componentes de construção de um edifício, o que leva a concluir que, quando analisados os custos totais do ciclo de vida, a aquisição de materiais com um custo inicial elevado poderá ser compensada pelo facto de diminuir os custos futuros, decorrentes do período de utilização do edifício, e caso apresente, um melhor comportamento ambiental relativamente a outros (Mateus and Bragança, 2006).

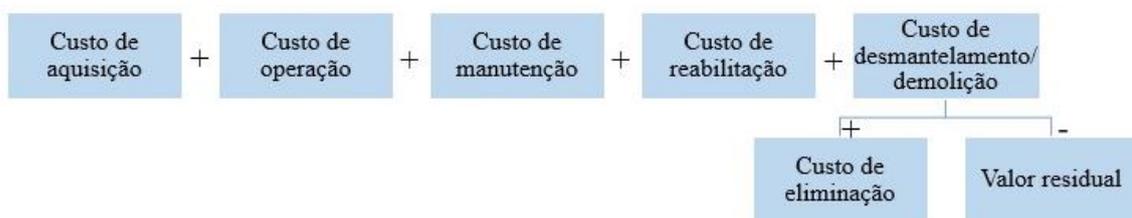


Figura 12 - Custos económicos associados ao ciclo de vida dos materiais e componentes da construção Fonte: Mateus and Bragança, 2006

2.8 Métodos de avaliação de impactes ambientais

A avaliação dos impactes ambientais é uma área em desenvolvimento e com cada vez mais relevância e informação disponível, assim como métodos de avaliação e cálculo e bases de dados criadas especificamente para fornecimento de informação relativa aos impactes dos mais variados materiais e soluções, mas também o seu fim de vida.

De seguida apresentam-se três métodos de avaliação de impactes ambientais, sendo que após a sua aplicação foram obtidos valores para alguns dos materiais de isolamento mais utilizados em Portugal e proceder-se-á à comparação dos mesmos.

2.8.1 Life Cycle Assessment – LCA

Uma avaliação do ciclo de vida (do inglês: *Life Cycle Assessment*), tem por objetivo avaliar os impactes ambientais de produtos, processos ou serviços, através da sua produção, utilização e

deposição. Sendo então, um conjunto de procedimentos de compilação e exame de materiais e energia, obtendo-se os respetivos impactes ambientais associados ao seu ciclo de vida (GDRC, 2016).

Este método de avaliação, trata-se assim de uma técnica de avaliação de potenciais aspetos ambientais e de potenciais aspetos associados a um produto ou serviço, através (GDRC, 2016):

- Da compilação de informação relativa a **entradas e saídas de material** num inventário;
- Da Avaliação de **potenciais impactes** associados às entradas e saídas;
- Da **interpretação dos resultados** do inventário e dos impactes, relativamente aos objetivos de cada estudo.

A avaliação do ciclo de vida, engloba várias fases da vida do material em análise, correspondendo o seu ciclo de vida ao período desde a extração da matéria-prima para o seu fabrico, até à sua deposição (do berço ao túmulo - *cradle to grave*). Os impactes ambientais associados a este período incluem então (GDRC, 2016):

- A **extração das matérias-primas** necessárias para o fabrico do material;
- O **processamento das matérias-primas**, a produção e fabrico do produto final;
- O **transporte** desde o produtor até ao consumidor;
- A **utilização** do produto;
- A **eliminação ou o aproveitamento** do produto no fim do seu ciclo de vida.

Sendo possível obter o impacte associado a toda a vida do material, é também possível conhecer o seu valor apenas para cada uma das fases expostas a cima, tudo isto dependendo das necessidades e dos objetivos do cálculo.

2.8.2 Inventory of Carbon and Energy – ICE

A base de dados de carbono e energia ICE (do inglês: *Inventory of Carbon and Energy*), trata-se de uma base de dados de materiais de construção, onde se encontram disponíveis os valores das emissões de carbono e da energia incorporada nos materiais. Tratando-se de uma base de

dados de materiais de construção, possui praticamente todo o tipo de material utilizado, desde os tijolos ao vidro, à madeira e tantos outros (Circular Ecology, 2016).

Os dados fornecidos através desta base de dados, informam sobre a energia necessária na produção de um material de construção, o que provoca emissões de carbono para a atmosfera, contribuindo para o aquecimento global (Circular Ecology, 2016).

2.8.3 Environmental Improvement Made Easy – EIME

A metodologia EIME (do inglês: *Environmental Improvement Made Easy*), baseia-se na análise de ciclo de vida dos materiais e num software de utilização e aplicação da mesma. Sendo uma base de dados de referência, permite facilmente avaliar o ciclo de vida dos materiais, em conformidade com programas e padrões internacionais (Bureau Veritas CPS, 2016).

2.8.4 Análise comparativa dos métodos apresentados

Uma vez que os métodos apresentados permitem a avaliação do ciclo de vida de materiais ou soluções, procedeu-se à pesquisa e recolha dos dados relativos aos impactes ambientais pelas emissões de carbono e da energia incorporada nos materiais.

Cada metodologia possui uma forma própria de utilização pelo que, de forma a aplicar cada uma foi necessário:

- **LCA:** a aplicação desta metodologia foi efetuada através da utilização do programa SimaPro e com a base de dados Ecoinvent. No programa de cálculo, foram então retirados os valores pretendidos através do método *Cumulative Energy Demand* para as emissões de carbono e o método *CML-IA Baseline* para a energia incorporada no material;
- **ICE:** a aplicação desta metodologia é bastante simples, uma vez que consiste num ficheiro Excel onde se encontram todos os dados relativos aos materiais. Os materiais encontram-se divididos por setores, o que torna mais fácil a sua utilização, sendo apenas necessário encontrar o material e retirar os dados disponíveis;
- **EIME:** a utilização desta metodologia requer uma licença de utilização que poderá ser temporária e assim, ter acesso ao software de cálculo. Os materiais disponíveis

encontram-se separados por área de aplicação e está disponível mais que uma base de dados (por exemplo, a Ecoinvent).

Retirados os valores disponíveis para os materiais de isolamento mais utilizados em Portugal, foi possível construir o Quadro 1, onde se pode comparar os resultados obtidos.

Quadro 1 - Quadro comparativo dos valores retirados das bases de dados

Base de dados	LCA - <i>Life Cycle Assessment</i>		ICE - <i>Inventory of Carbon and Energy</i>		EIME - <i>Environmental Improvement Made Easy</i>	
	<i>CML Baseline</i>	<i>Cumulative Energy Demande</i>				
Material	GWP (kg CO ₂ eq)	Energia Incorp. (MJ eq)	GWP (kg CO ₂ eq)	Energia Incorp. (MJ eq)	GWP (kg CO ₂ eq)	Energia Incorp. (MJ eq)
CG _{pl}	1,76E+00	2,92E+01	ND	2,70E+01	ND	ND
EPS _{pl}	3,32E+00	1,23E+02	3,43E+00	8,64E+01	1,14E+01	ND
GW _{pl}	1,22E+00	4,35E+01	1,35E+00	2,80E+01	1,51E+01	ND
ICB _{pl}	1,15E+00	5,21E+01	1,90E-01	4,00E+00	ND	ND
MW _{pl}	1,08E+00	1,97E+01	1,28E+00	1,66E+01	1,62E+01	ND
PIR _{pl}	ND	ND	ND	ND	ND	ND
XPS _{pl}	1,05E+01	1,01E+02	3,29E+00	8,86E+01	ND	ND
LWA _{gr}	3,23E-01	1,01E+02	ND	ND	ND	ND
PUR _{esp}	2,35E+00	0,00E+00	4,26E+00	1,02E+02	1,23E+01	ND

Legenda:
 ND - Não disponível
 esp - Material em espuma
 GW - Lã de Vidro
 MW - Lã Mineral
 XPS - Poliestireno Extrudido
 pl - Material em placa
 CG - Vidro Celular
 ICB - Aglomerado de Cortiça
 PIR - Poliisocianurato
 gr - Material a granel
 EPS - Poliestireno Expandido
 LWA - Argila Expandida
 PUR - Poliuretano

Como se pode observar, nem todos os materiais se encontram disponíveis nas bases de dados e alguns apenas estão presentes em uma ou duas. Quanto aos resultados obtidos, como seria de esperar, existem diferenças entre os valores retirados, talvez devido à metodologia aplicada em cada um, ou até às considerações tomada, uma vez que nem sempre existe a possibilidade de selecionar qual o período da vida útil a analisar. Como é o caso da LCA, que através do SimaPro permite estudar avaliar apenas a fase de transformação da matéria-prima. Já no caso da ICE e da EIME, essa possibilidade não existe, ou pelo menos não é referenciada.

2.9 Enquadramento à legislação térmica pelas normas europeias e portuguesas

Pelo elevado consumo energético de que o setor dos edifícios é responsável, cerca de 40% do consumo total da União Europeia, e pela necessidade de preservar o meio ambiente, protegendo-o dos impactes ambientais causados pelas emissões poluentes provenientes dos edifícios, existiu a necessidade de adaptar as regulamentações de forma a limitar as emissões de gases poluentes para a atmosfera e os consumos energéticos excessivos e dependentes de fontes de energia não-renováveis. Querendo combater esta degradação do planeta e na tentativa de aplicar verdadeiramente o conceito de desenvolvimento sustentável, foi criado o Protocolo de Quioto.

Ao longo dos anos, a legislação foi sendo alterada e atualizada de forma a cumprir e melhorar as metas propostas, tanto pela União Europeia como pelo governo português. Como tal, e com o objetivo de melhorar as condições de conforto e habitabilidade dos edifícios, promovendo a melhoria do seu desempenho energético, surge a Diretiva 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 dezembro, relativa ao desempenho energético dos edifícios e intitulada de “*Energy Performance in Buildings Directive*” (EPBD). Em 2010 foi revista e novamente publicada através da Diretiva 2010/31/EU do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de maio de 2010 (Parlamento Europeu, 2010; ADENE, 2012).

Após a reformulação da EPBD, a principal alteração notada foi a imposição de que todos os estados membros deveriam adotar um sistema de certificação energética de edifícios para avaliação, comparação e divulgação do desempenho do edifício avaliado, devendo incluir recomendações para a melhoria, ou otimização, em termos de custos, do desempenho energético. A emissão de certificados abrange assim, todos os edifícios de habitação novos, sujeitos a grandes intervenções, para arrendamento e todos os grandes edifícios públicos e frequentemente visitados pelo público (ADENE, 2012).

Em Portugal, com a transposição da reformulação da EPBD para o direito nacional, surgiu a oportunidade de melhorar a sistematização e o âmbito de aplicação do sistema de certificação energética e respetivos regulamentos. Assim, foi garantida a transposição da diretiva europeia e revista a legislação nacional, passando a incluir num único diploma, o Decreto-Lei

118/2013, de 20 de agosto, o Sistema de Certificação Energética de Edifícios (SCE), o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS) (Ministério da Economia e do Emprego, 2013a).

A separação do âmbito de aplicação do REH e do RECS, definiu de forma clara o campo de atuação de cada um dos diplomas, incidindo exclusivamente o REH sobre edifícios de habitação e o RECS sobre edifícios de serviços e comércio. Esta alteração promoveu a facilidade no tratamento técnico e na gestão administrativa dos processos, reconhecendo em simultâneo as especificidades técnicas de cada tipo nos pontos mais relevantes para a sua caracterização e melhoria do desempenho energético. A definição de requisitos e a avaliação de desempenho energético passa assim a basear-se, para edifícios de habitação, no comportamento térmico e a eficiência dos sistemas, acrescendo a estes, para edifícios de serviços e comércio, a instalação, condução e manutenção de sistemas técnicos (Ministério da Economia e do Emprego, 2013a). São assim definidos os pilares para a aplicação do novo decreto.

A transposição da reformulação da EPBD para a regulamentação nacional, introduziu também medidas relativamente (AICCOPN, 2016):

- Aos sistemas de climatização, preparação de água quente sanitária, iluminação e aproveitamento de energias renováveis de gestão de energia, ficando estes sujeitos a **padrões mínimos de eficiência energética;**
- À **promoção da utilização de fontes energéticas renováveis**, especialmente para o aproveitamento dos recursos solares, complementando a eficiência energética pretendida;
- Ao **incentivo para a utilização de sistemas ou soluções passivas nos edifícios** e para a otimização do desempenho, em consequência de um menor recurso aos sistemas ativos de climatização;
- À introdução do conceito de **“Edifício com necessidades quase nulas de energia” (NZEB)**, como sendo edifícios com elevado desempenho energético e em que a satisfação das necessidades de energia resulte em grande parte de energia proveniente de fontes renováveis. Este conceito será obrigatório a partir de 31 de Dezembro de

2018 para edifícios novos em propriedades de entidades públicas e a partir de 30 de Dezembro de 2020 para edifícios novos licenciados;

- Ao reconhecimento do pré-certificado e do certificado energético como **certificações técnicas**, obrigatórias no âmbito das operações urbanísticas;
- À **clarificação da atuação dos diferentes técnicos e entidades** envolvidas no âmbito da aplicação do SCE;
- À necessidade de seleção de materiais de construção com **menores emissões de carbono** associadas ao seu fabrico.

Uma vez que, grande parte dos edifícios existentes em Portugal foram construídos antes de 1990, o parque habitacional português pode ser considerado antigo e não cumpre qualquer tipo de legislação térmica, já que esta surge apenas em 1990 através do RCCTE. A Figura 13 sintetiza os regulamentos já aplicados em Portugal desde 1990, quando surge o primeiro, até ao atualmente em vigor, promulgado em 2013.

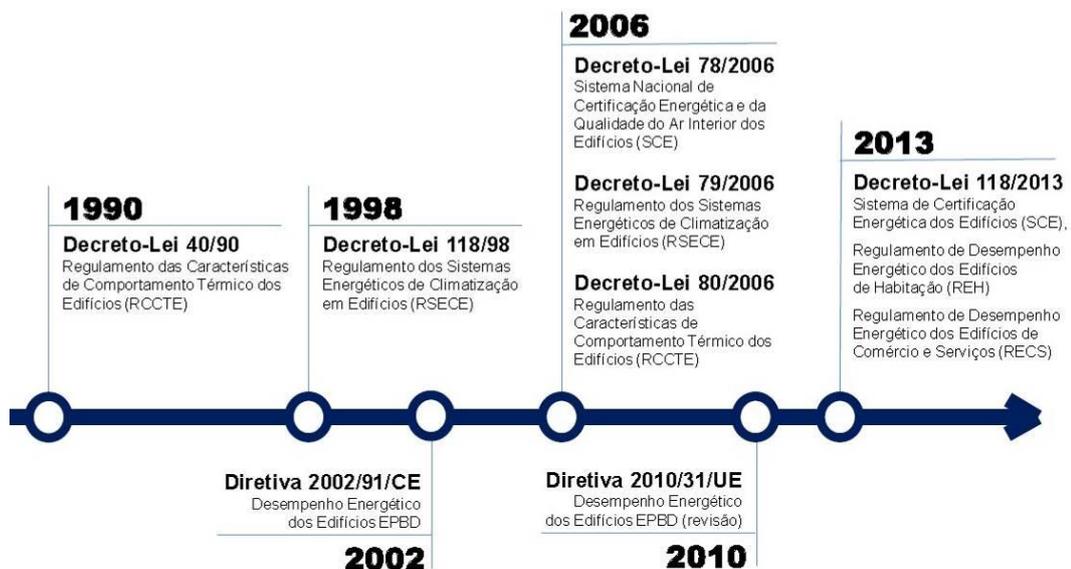


Figura 13 - Evolução da regulamentação em Portugal Fonte: Fragoso, 2013

3. METODOLOGIA

3.1 Enquadramento

No decorrer do presente capítulo, proceder-se-á à exposição e descrição da metodologia a aplicar no desenvolvimento da dissertação. Incluindo assim, a caracterização do caso de estudo selecionado, o método de cálculo das necessidades energéticas inerentes ao funcionamento do edifício (aquecimento, arrefecimento e produção de AQS), a metodologia e os parâmetros considerados de forma a possibilitar a avaliação do desempenho ambiental do edifício (antes e após reabilitação) e a sua avaliação económica, que será efetuada, posteriormente, de forma a avaliar o desempenho do edifício em termos de custos em consumos energéticos, poupança energética e relativamente aos custos provenientes do investimento na reabilitação e manutenção do sistema selecionado.

De forma a se tornar possível proceder à definição de todos os parâmetros envolvidos no desenvolvimento deste tema, será necessário recorrer a diversas metodologias e programas de cálculo. Sendo estes devidamente apresentados e descritos de seguida.

Adicionalmente ao tema da dissertação, foi desenvolvido um guia de boas práticas para a aplicação de isolamento de elevada espessura em aglomerado negro de cortiça pelo exterior. Apresenta-se, também, o método seguido para a sua concretização.

3.2 Ferramentas de avaliação

De modo a possibilitar, e facilitar, o cálculo de todos os fatores fulcrais e necessários ao desenvolvimento desta dissertação, serão utilizadas ferramentas de avaliação próprias para cada efeito pretendido.

Cada ferramenta de cálculo apresentada de seguida, possui propriedades e características importantes para a sua função e desempenho. O que faz de si a ideal para a tarefa a desempenhar. Através do estudo dos materiais de isolamento pela aplicação da metodologia MARS-SC, é possível comparar o desempenho de cada material com um material padrão e assim conhecer melhor as suas características. Sendo para isso necessário recorrer ao software

SimaPro, onde poderão ser obtidos os impactos ambientais de todos os materiais. Para o cálculo das necessidades energéticas, antes e após a reabilitação, do edifício em estudo, será utilizada a folha de cálculo desenvolvida por (Fonte, 2014) e (Teixeira, 2015) no âmbito das suas dissertações. Por fim, com o objetivo de se proceder a uma análise económica dos impactos do investimento na reabilitação e manutenção, será utilizado o gerador de preços on-line, CYPE.

São apresentadas de seguida as ferramentas de avaliação a utilizar, assim como a sua descrição e principais características.

3.2.1 Metodologia MARS-SC

A Metodologia de Avaliação Relativa da Sustentabilidade de Soluções Construtivas (MARS-SC) consiste na avaliação da sustentabilidade relativamente à solução construtiva mais utilizada num determinado local, permitindo assim a sua aplicação, sem restrições, em qualquer região ou país (Bragança and Mateus, 2015).

A avaliação da sustentabilidade é feita através de três indicadores: ambiental, funcional e económico. Sendo estes considerados como os pilares do desenvolvimento sustentável.

Na aplicação da metodologia, após a seleção da solução de referência e das restantes soluções, é necessário quantificar os parâmetros em avaliação e após a sua quantificação, proceder à sua normalização através da fórmula de Diaz-Balteiro, como se apresenta na equação 1 (Bragança and Mateus, 2015).

$$\bar{P}_i = \frac{P_i - P_i^*}{P_i^* - P_i^*} \quad (1)$$

Onde:

P_i – Valor do parâmetro em estudo;

P_i^* - Pior valor do parâmetro em estudo;

P_i^* - Melhor valor do parâmetro em estudo.

Ao normalizar os valores, estes tornam-se adimensionais e o seu valor passa a variar entre 0 e 1. Assim, é então possível passar à representação de um perfil sustentável, que consiste numa figura geométrica com um número de lados igual ao número de parâmetros em avaliação. Ao efetuar a representação neste tipo de perfil, é possível efetuar a comparação entre cada solução e a solução de referência ao nível de cada parâmetro.

De forma a sintetizar num único valor o comportamento da solução ao nível de cada dimensão, é necessário agregar os parâmetros considerados. Assim, com as dimensões definidas, é possível determinar a nota sustentável (NS), o que resume num único valor o comportamento global de cada solução. O cálculo da nota sustentável é efetuado através da equação 2 (Bragança and Mateus, 2015).

$$NS = W_A \times I_A + W_F \times I_F + W_E \times I_E \quad (2)$$

Onde:

W_i – Peso atribuído a cada dimensão, com $W_A + W_F + W_E = 1$;

I_i – Comportamento da solução em cada dimensão.

Terminada a representação dos perfis sustentáveis de cada solução e a determinação da sua nota sustentável, é possível selecionar qual a melhor solução de entre as estudadas. Uma vez que quanto maior a área ocupada pela representação do desempenho da solução no seu perfil sustentável, melhor é o seu desempenho, ou seja, quanto mais próximos de 1 se encontrarem os valores obtidos. Da mesma forma, quanto mais próximo de 1 se encontrar o valor da nota sustentável da solução, melhor será.

Com a construção sustentável, pretende-se, principalmente, uma maior compatibilidade entre o ambiente construído e o natural, sem comprometer com isso, em primeiro lugar, a funcionalidade e por fim, a viabilidade económica (Bragança and Mateus, 2015).

3.2.2 Simapro

Da terminologia de *System for Integrated Environmental Assessment of Products* (Sistema para a Avaliação Ambiental Integrada de Produtos) surge a sigla SimaPro. Esta ferramenta de avaliação possui um alargado conjunto de bases de dados e dispõe de informação ambiental

para um elevado número de materiais e componentes industriais, processos e transportes. Esta ferramenta permite assim ao utilizador modelar produtos e sistemas tendo em perspetiva o seu ciclo de vida, possibilitando a sua aplicação ao cálculo da pegada de carbono, a declarações ambientais de produto, impactes ambientais de produtos ou serviços, de entre outras possíveis (Quintas, 2015).

Na utilização da ferramenta, será necessário recorrer a uma base de dados onde se encontrem todos os materiais e produtos necessários, assim como os seus impactes ambientais. A base de dados utilizada pelo programa é a Ecoinvent, sendo as categorias de impacte ambiental quantificadas através do método *CML-IA Baseline 3.02* e a energia primária incorporada através do método *Cumulative Energy Demand 1.09*.

Uma vez que, apenas se pretende comparar os impactes resultantes do processo de obtenção de matéria-prima e transformação no produto final, a fase do ciclo de vida dos materiais a considerar, será a da transformação (berço ao portão – *cradle to gate*). Não sendo assim incluído o transporte ou o fim de vida do mesmo.

3.2.3 Mixtri 2.0

Da simplificação do termo “*The mixing triangle*”, surge a denominação Mixtri. Esta metodologia consiste numa análise de sensibilidade efetuada através da aplicação dos termos em avaliação na folha de cálculo criada para tal, Mixtri 2.0. Através desta metodologia, é possível agregar efeitos ambientais em três categorias de danos: a saúde humana, a qualidade dos ecossistemas e os recursos. Sendo estes os parâmetros de avaliação base, estes podem ser alterados e assim possibilitar a comparação entre os parâmetros desejados (Doka, 2000).

Neste caso específico, a análise debruçar-se-á sobre as dimensões calculadas anteriormente na metodologia MARS-SC, dimensões ambiental, funcional e económica. Para tal, de forma a obter apenas um ponto, que defina a combinação ótima de todos os parâmetros, e assim, conhecer qual a solução onde esse mesmo ponto se integra, é necessário considerar um peso relativo para cada parâmetro. Utilizando-se os pesos já existentes por defeito na folha de cálculo:

- Dimensão **ambiental**: 50%;

- Dimensão **funcional**: 30% ;
- Dimensão **económica**: 20% .

Após introduzidos todos os valores necessários à execução do cálculo, obtém-se um triângulo, que pela área ocupada por cada solução, mostra qual o caso em que são satisfeitas mais exigências socioeconómicas de todos os parâmetros em análise. Sendo também representado o ponto de equilíbrio sobre a solução que melhor enquadre as suas exigências.

3.2.4 Metodologia para Avaliação Integrada dos Consumos de Energia e Impactes Ambientais

No âmbito do seu tema de dissertação, “Metodologia para a análise integrada dos impactes ambientais e do desempenho energético de cenários de reabilitação”, (Fonte, 2014) desenvolveu uma metodologia de cálculo que permite a avaliação do desempenho energético e ambiental das soluções construtivas, não só pela aplicação da regulamentação portuguesa, mas também pela regulamentação europeia. Assim, os parâmetros de cálculo para as necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento, basearam-se na norma ISO 13790 (2008), no projeto “TABULA” (2013) e no REH (2013). Já para as necessidades energéticas relacionadas com a produção de águas quentes sanitárias, são utilizados parâmetros de acordo com a norma EN 15316-3-1 (2007). Uma vez que o objetivo da ferramenta desenvolvida passa por aliar os impactes ambientais ao desempenho energético, (Fonte, 2014) desenvolveu uma base de dados de impactes ambientais, com valores baseados no inventário de ciclo de vida da Ecoinvent. Esta base de dados reúne então, a quantificação dos impactes ambientais dos materiais e/ou elementos construtivos (Fonte, 2014).

No seguimento da dissertação de (Fonte, 2014), (Teixeira, 2015) aplica e verifica a eficácia da metodologia desenvolvida anteriormente, na sequência do seu tema de dissertação “Análise integrada dos impactes ambientais e do desempenho energético de cenários de reabilitação energética de edifícios”. Através do estudo que desenvolveu em torno da metodologia criada, a ferramenta sofreu alterações e melhorias de forma a facilitar a sua utilização da ótica do utilizador, assim como a melhoria de alguns dos valores presentes na base de dados. Pelo que será utilizada a última versão disponibilizada após as alterações efetuadas.

Uma vez que no desenvolvimento da metodologia não foi utilizado apenas um regulamento, torna-se essencial apresentar quais as fórmulas utilizadas nos cálculos e a sua origem, como se apresenta em seguida.

O método de preenchimento da folha de cálculo da metodologia poderá ser consultado na dissertação “Metodologia para a análise integrada dos impactes ambientais e do desempenho energético de cenários de reabilitação”, da autoria de (Fonte, 2014).

3.2.4.1 Necessidades energéticas para aquecimento

As necessidades energéticas para aquecimento de um edifício, ou, as suas necessidades nominais de energia útil de aquecimento, N_{ic} , são o parâmetro que exprime a quantidade de energia útil necessária para manter em permanência um edifício a uma temperatura interior de referência durante a estação de aquecimento (Ministério da Economia e do Emprego, 2006).

Uma vez que não seguiu apenas um regulamento, (Fonte, 2014) definiu como sendo a expressão que melhor representava o cálculo das necessidades energéticas para aquecimento, a presente na ISO 13790 (2008) e apresentada de seguida através da equação 3.

$$Q_{H,n} = Q_{H,ls} - \eta_{H,gn} \times Q_{H,gn} \quad (\text{kWh/a}) \quad (3)$$

Onde:

$Q_{H,n}$ – Energia necessária para o aquecimento (kWh/a);

$Q_{H,ls}$ – Energia necessária para aquecimento do edifício (kWh/a);

$Q_{H,gn}$ – Ganhos solares totais para o aquecimento (kWh/a);

$\eta_{H,gn}$ – Fator de utilização de ganhos.

3.2.4.2 Necessidades para arrefecimento

As necessidades energéticas para arrefecimento de um edifício, ou, as suas necessidades nominais de energia útil de arrefecimento, N_{vc} , definem-se como o parâmetro que exprime a quantidade de energia útil necessária para manter em permanência um edifício a uma

temperatura interior de referencia durante a estação de arrefecimento (Ministério da Economia e do Emprego, 2006).

Pela regulamentação existente e considerada na elaboração da folha de cálculo, (Fonte, 2014) definiu como sendo a expressão que melhor caracteriza as necessidades energéticas para arrefecimento, a presente na ISO 13790 (2008) e que se apresenta através da equação 4.

$$Q_{C,nd} = (1 - \eta_{G,C}) \times (Q_{sol} + Q_{int}) \quad (\text{kWh/a}) \quad (4)$$

Onde:

$Q_{C,nd}$ – Energia necessária para o arrefecimento (kWh/a);

$\eta_{G,C}$ – Fator de utilização de perdas para o arrefecimento;

Q_{sol} – Ganhos solares e ganhos da superfície opaca para o arrefecimento (kWh/a);

Q_{int} – Ganhos de calor internos para o arrefecimento (kWh/a).

3.2.4.3 Produção de águas quentes sanitárias

As necessidades energéticas para a produção de águas quentes sanitárias de um edifício, ou, as suas necessidades nominais de energia útil para produção de águas quentes sanitárias, N_{ac} , são exprimidas através da quantidade de energia útil necessária para aquecer o consumo médio anual de referência de águas quentes sanitárias, a uma temperatura de 60°C (Ministério da Economia e do Emprego, 2006).

Como tal, pela consideração dos regulamentos utilizados, (Fonte, 2014) utilizou o 2º método apresentado pelo norma EN 15316-3-1 (2007) como sendo o que melhor expressa as necessidades energéticas para a produção de água quente e que se apresenta na equação 5.

$$Q_W = 4.182 \times V_{W,day} \times (\theta_{W,del} - \theta_{W,0}) \quad (\text{MJ/dia}) \quad (5)$$

Onde:

Q_W – Necessidades de energia para a preparação de água quente sanitária (MJ/dia);

$V_{W,day}$ – Volume de água quente sanitária necessária por dia em temperaturas especificadas (m³/dia);

$\theta_{w,del}$ – Temperatura da água de distribuição (°C);

$\theta_{w,0}$ – Temperatura da água fria (°C).

3.2.5 Gerador de preços on-line, CYPE

Através do gerador de preços on-line da *CYPE Ingenieros, S.A.*, será possível conhecer os custos dos materiais e mão-de-obra para aplicação das soluções construtivas consideradas. Esta ferramenta possui uma base de dados paramétrica e interativa que permite ao utilizador obter o preço para cada solução atendendo aos materiais, equipamentos e processos construtivos selecionados (Martins, 2013).

Assim, esta ferramenta permitiu a obtenção dos custos inerentes ao investimento na reabilitação e à manutenção anual do sistema construtivo selecionado. Sendo estes valores, posteriormente utilizados numa análise económica onde são relacionados com os custos da energia consumida pelo edifício, antes e após a reabilitação.

3.3 Análise comparativa dos materiais de isolamento através da metodologia MARS-SC

Atualmente, a oferta de materiais de isolamento térmico no mercado da construção, é cada vez maior, oferecendo produtos cada vez mais modernos e inovadores, com características que os tornam únicos e extremamente eficazes. O que por sua vez, se poderá refletir numa desvantagem para o cliente, que verá o seu investimento inicial ser bastante elevado. Assim, analisando-se os produtos mais convencionais e conhecidos do mercado da construção, é possível verificar que não é necessário um investimento exagerado para obter bons resultados após uma reabilitação energética.

Como tal, serão analisados e comparados através da metodologia MARS-SC, os materiais de isolamento mais conhecidos e aplicados na reabilitação energética de fachadas, de forma a ser conhecido o seu desempenho nas dimensões ambiental, funcional e económica e assim proceder à sua comparação. Para tal, serão avaliados com base em:

- **Seis categorias de impacto ambiental:** potencial de aquecimento global – alterações climáticas (GWP), potencial de destruição da camada do ozono (ODP), potencial de

acidificação (AP), potencial de formação de ozono troposférico – smog (POCP), potencial de eutrofização (EP), energia não renovável incorporada – esgotamento dos recursos energéticos (ENR);

- **Uma categoria funcional:** isolamento térmico (U);
- **Uma categoria económica:** custo do ciclo de vida (LCC).

Os indicadores ambientais foram então obtidos através da ferramenta SimaPro, sendo os indicadores funcional e económico obtidos pela metodologia MARS-SC.

Como nem sempre é possível recolher todas as informações necessárias para a aplicação da metodologia, serão apenas considerados os materiais, sobre os quais existem informações detalhadas de preços, características técnicas, impactes ambientais, entre outras. Assim, podem-se observar no Quadro 2 os materiais selecionados para se proceder à aplicação da metodologia, bem como o seu coeficiente de condutibilidade térmica, a espessura de isolamento necessária para a obtenção de uma resistência térmica de, pelo menos, $2 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$, o seu peso volúmico, a quantidade de material necessária conforme a espessura definida (obtida através da multiplicação do peso volúmico e da espessura) e o custo de aquisição do material. Uma vez que a análise comparativa que se pretende fazer, se aplica à fase de transformação da matéria-prima e produção do material (do berço ao portão - *cradle to gate*), não serão incluídos quaisquer outros custos que não os de venda do material.

Quadro 2 - Quadro resumo dos dados utilizados para a aplicação da metodologia MARS-SC

Material	Coefficiente de condutibilidade térmica λ (W/m.°C)	Espessura (m)	Resistência térmica (m².°C/W)	Peso volúmico ρ (kg/m³)	Quantidade (kg/m²)	Custo de aquisição do material (placa/espuma: /m²; granel: /m³)
CG _{PL}	0,038	0,08	2,11	133	10,64	40,00 €
EPS _{PL}	0,040	0,08	2,00	20	1,60	8,16 €
GW _{PL}	0,037	0,08	2,16	65	5,20	10,15 €
ICB _{PL}	0,045	0,10	2,22	115	11,50	33,25 €
MW _{PL}	0,040	0,08	2,00	40	3,20	9,47 €
PUR _{PL}	0,040	0,08	2,00	25	2,00	18,60 €
XPS _{PL}	0,037	0,08	2,16	25	2,00	10,16 €
MW _{MT}	0,040	0,08	2,00	30	2,40	3,52 €
EPS _{GR}	0,052	0,11	2,12	9	0,99	75,24 €
ICB _{GR}	0,045	0,09	2,00	65	5,85	95,00 €
LWA _{GR}	0,160	0,32	2,00	400	128,00	81,70 €
MW _F	0,040	0,08	2,00	90	7,20	29,20 €
PUR _{ESP}	0,042	0,09	2,14	25	2,25	3,55 €

Além das características técnicas do material, também é necessário conhecer os seus impactes ambientais, de forma a que, posteriormente, seja calculado o seu desempenho ambiental. Como se podem observar no Quadro 3, encontram-se os indicadores ambientais em análise para a aplicação desta metodologia.

Quadro 3 - Impactes ambientais por quilograma de material

Impactes ambientais por kg de material						
Material	GWP (kg CO₂ eq)	ODP (kg CFC-11 eq)	AP (kg SO₂ eq)	POCP (kg C₂H₄ eq)	EP (kg PO₄ eq)	ENR (MJ eq)
CG_{PL}	1,76E+00	1,25E-07	1,11E-02	4,70E-04	4,72E-03	2,63E+01
EPS_{PL}	3,32E+00	0,00E+00	1,12E-02	6,70E-04	1,10E-03	8,50E+01
GW_{PL}	1,22E+00	3,43E-07	9,78E-03	6,46E-04	5,77E-03	3,93E+01
ICB_{PL}	1,15E+00	9,24E-08	5,35E-03	4,46E-04	2,71E-03	2,48E+01
MW_{PL}	1,08E+00	4,59E-08	8,19E-03	4,32E-04	1,78E-03	1,89E+01
PUR_{PL}	2,35E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
XPS_{PL}	1,05E+01	1,64E-04	1,67E-02	1,28E-03	3,43E-03	9,93E+01
MW_{MT}	1,08E+00	4,59E-08	8,19E-03	4,32E-04	1,78E-03	1,89E+01
EPS_{GR}	3,32E+00	0,00E+00	1,12E-02	6,70E-04	1,10E-03	8,50E+01
ICB_{GR}	1,15E+00	9,24E-08	5,35E-03	4,46E-04	2,71E-03	2,48E+01
LWA_{GR}	3,23E-01	3,79E-08	2,06E-03	9,62E-05	5,72E-04	4,08E+00
MW_F	1,08E+00	4,59E-08	8,19E-03	4,32E-04	1,78E-03	1,89E+01
PUR_{ESP}	2,35E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Após recolhida e calculada toda a informação auxiliar ao emprego da metodologia, é finalmente executável a sua aplicação. Iniciando-se o processo pela determinação do desempenho ambiental de cada material, o primeiro passo será a multiplicação de cada indicador ambiental em cálculo pela respetiva quantidade de material, obtendo-se os impactes ambientais de cada indicador por quilograma de material. De seguida, é necessário proceder à normalização dos indicadores calculados anteriormente. Para tal, será necessária a determinação do melhor e pior valor de cada parâmetro, em ordem a ser aplicada a equação 1. Sendo o melhor valor, o mais baixo, e o pior valor, o mais alto. Finalmente, utilizando os valores da importância relativa pela EPA (*United States Environmental Agency*) para os indicadores ambientais, como se encontram no Quadro 4, é possível determinar o indicador do desempenho ambiental, IA, de cada material. Esse valor é então obtido pelo somatório da multiplicação de cada indicador pelo respetivo peso. Sendo o material com melhor desempenho ambiental, o mais próximo de 1, e com pior desempenho ambiental, o mais próximo de 0.

Quadro 4 - Importância relativa atribuída pela EPA a cada indicador ambiental em estudo e respetiva equivalência para o total

Importância relativa pela EPA		
Parâmetro	Peso (%)	Peso (%) base 100%
GWP	16	38,10
ODP	5	11,90
AP	5	11,90
POCP	6	14,29
EP	5	11,90
ENR	5	11,90
Total	42	100

De forma a se proceder ao cálculo do desempenho funcional do material, é necessário, através do valor da resistência térmica calculado anteriormente, calcular o valor do coeficiente de transmissão térmica, U, que se trata do valor inverso da resistência térmica ($U=1/R$). Com estes valores, e para aplicar a equação 1, é necessário determinar o melhor e pior valor de entre todos os valores de U obtidos. Sendo neste caso, o melhor valor o mais baixo e o pior valor, o mais alto. Uma vez que está em avaliação a componente funcional dos materiais de isolamento térmico, torna-se prescindível a inclusão na avaliação desta componente o comportamento acústico do material, estudando-se apenas o comportamento térmico.

Mais uma vez, como se pode observar no Quadro 5, pela importância relativa pela EPA, o indicador do desempenho funcional, IF, de cada material, é calculado através da multiplicação do valor normalizado do coeficiente de transmissão térmica com o valor total do seu peso relativo. Tal como no indicador de desempenho anterior, quanto mais próximo de 1, melhor o desempenho e quanto mais próximo de 0, pior.

Quadro 5 - Importância relativa atribuída pela EPA o indicador funcional em estudo e respetiva equivalência para o total

Importância relativa pela EPA		
Parâmetro	Peso (%)	Peso (%) base 100%
U	38	100
Total	38	100

Para o cálculo do último indicador, o de desempenho económico, são necessários os custos de aquisição já determinados no início, que, por apenas se considerar o custo de venda do material, corresponderá ao valor do custo do ciclo de vida do material (*LCC – Life cycle cost*). Tal como anteriormente, de forma a aplicar a equação 1, é necessário determinar qual o melhor e pior valor deste conjunto. Sendo neste caso, O melhor valor, o mais baixo e o pior valor, o mais alto. O indicador do desempenho económico, IE, será igual ao valor normalizado de custo de ciclo de vida de cada material. E, tal como nos indicadores anteriores, quanto mais próximo de 1, melhor o desempenho económico, quanto mais próximo de 0, pior o seu desempenho.

Por fim, de forma a determinar a nota sustentável de cada material, é necessário atribuir um peso relativo a cada dimensão estudada, como se pode ver no Quadro 6. Para que após a junção de todos os valores obtidos para cada indicador de desempenho, seja possível aplicar a equação 2, que consiste no somatório da multiplicação de cada indicador pelo seu peso relativo. Também na nota sustentável, quanto mais próximo de 1, melhor é o desempenho global do material, e quanto mais próximo de 0, pior será. Com a determinação da nota sustentável é possível conhecer os materiais que possuem a combinação ótima de desempenho em cada dimensão.

Quadro 6 – Importância padrão correspondente a cada dimensão em estudo

Dimensão	Peso (%)
Ambiental	30
Funcional	50
Económica	20

Após determinados e conhecidos os indicadores de desempenho de cada material em cada dimensão, é possível efetuar uma comparação entre um material base e os restantes. Assim, o material base será o mais utilizado em Portugal, o poliestireno expandido e a comparação será efetuada através da representação dos perfis sustentáveis de cada conjunto. Para tal, e tendo em consideração as oito categorias de avaliação mencionadas inicialmente, os gráficos construídos terão um número de lados equivalente ao número de parâmetros em estudo, obtendo-se gráficos em radar.

Nos gráficos, já construídos e já representado o material base (o EPS), é então representado o segundo material para comparação. Repetindo-se este processo para todos os materiais e obtendo-se um total de 12 gráficos em radar. De forma a ser possível selecionar qual o material com melhor desempenho, este processo poderá ser feito pela comparação das áreas dos dois gráficos representados, o melhor material deverá ter a maior área, uma vez que quanto mais próximo de 1, melhor o seu desempenho.

Além dos perfis sustentáveis, poderá também ser efetuada uma comparação adicional entre a contribuição dos vários materiais para cada categoria de impacto ambiental em estudo. Sendo avaliada a contribuição, em percentagem, que cada material tem no total dos impactes (100%) de cada categoria, construindo assim um gráfico de barras e comparando os vários valores de forma a conhecer os materiais com menor contribuição.

3.4 Análise de sensibilidade ao nível de sustentabilidade dos materiais de isolamento térmico

Através da utilização da ferramenta Mixtri 2.0, é possível construir um gráfico triangular, onde os lados do triângulo correspondem às dimensões estudadas na metodologia MARS-SC. Então, para proceder ao preenchimento do quadro que serve de base à construção do gráfico, é necessário utilizar os valores obtidos para as três dimensões em estudo, ambiental (IA), funcional (IF) e económica (IE), e preencher a respetiva linha e coluna com o inverso do valor obtido ($1-I_x$).

Com o gráfico já construído, pela área ocupada pelas cores correspondentes a cada material, observa-se qual o material que preenche mais requisitos, ou seja, que ocupa uma maior área no gráfico. É também representado um ponto, que explicita o ponto de equilíbrio entre os pesos atribuídos a cada dimensão, e que corresponderá ao material sobre cuja cor se encontre.

3.5 Caracterização do caso de estudo

Para a consolidação dos conceitos e compreensão das soluções que se pretendem abordar nesta dissertação, é necessária a sua aplicação a um caso prático, de forma a ser possível efetuar comparações e discutir os resultados obtidos. Como tal, o caso de estudo em questão, trata-se de um edifício-padrão com características definidas pela ADENE e ao qual a

construção remonta ao período entre as décadas de 60 e 90. Onde, segundo o último Censos efetuado, foram construídos a maior parte dos edifícios existentes em Portugal.

O edifício em estudo, será então de tipologia T3, possuindo uma área útil de pavimento média de 100 m². O pé direito da habitação é de 2.7 metros, sendo a sua altura de referencia de 6 metros (edifício com dois pisos) e a largura média da sua fachada de 10 metros. Pelos valores médios obtidos relativamente aos edifícios certificados, definiu-se a sua localização como pertencente à região B e encontrando-se numa zona de rugosidade II.

A ventilação do edifício processa-se de forma natural, não existindo sistemas de ventilação mecânica e o escoamento do ar interior é feito através da exaustão do mesmo. A taxa de ventilação no verão é, no mínimo, de 0.6 e no inverno, no mínimo, de 0.4. A classe de permeabilidade ao ar das janelas não foi definida, considerando-se assim como não classificada. A permeabilidade ao ar da caixa de estore é alta e não existem aberturas de admissão de ar na fachada.

O sistema de preparação de águas quentes sanitárias considerado, é o esquentador, existindo rede de abastecimento de combustível líquido/gasoso. Não é considerada a existência de sistemas de aquecimento ou de arrefecimento e a inércia térmica do edifício é classificada como média.

Como é possível consultar no Quadro 7, o edifício possui uma área total de envidraçados de 15 m², distribuídos por quatro orientações. Todos os envidraçados são constituídos por caixilhos metálicos sem corte térmico e vidro simples. Sendo todas as janelas de correr. O valor de U admitido para a constituição apresentada é de 4.3 W/m².°C. As proteções exteriores consideradas são portadas opacas complementadas com proteção interior de cor clara.

Quadro 7 - Área de envidraçados do edifício

Orientação dos envidraçados	Área (m ²)
Norte	3,75
Sul	3,75
Este	3,75
Oeste	3,75
Área total de envidraçados	15

A constituição das paredes exteriores do edifício, é característica da sua época de construção. Como se verifica na Figura 14, são compostas por panos simples de alvenaria de tijolo furado de 22, apresentando reboco em ambas as faces e uma espessura total de 26 centímetros e não possuindo qualquer tipo de isolamento térmico. A cor do revestimento dos paramentos é clara e o U considerado é de 1.39 W/m².°C.

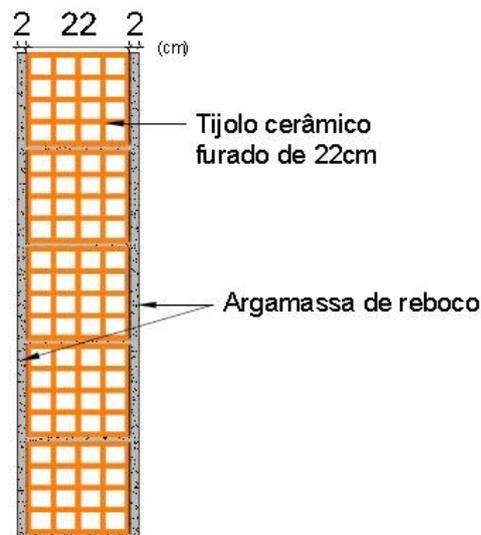


Figura 14 - Secção transversal da parede de fachada inicial do edifício

No Quadro 8, é possível observar a distribuição das áreas de envolvente exterior opaca nas várias orientações.

Quadro 8 - Área da envolvente opaca do edifício

Orientação da envolvente exterior opaca	Área (m²)
Norte	23,25
Sul	23,25
Este	23,25
Oeste	23,25
Área total de envolvente exterior	93,0

3.6 Avaliação das necessidades energéticas do edifício

No âmbito do desenvolvimento da dissertação e para ser possível proceder à comparação e avaliação das necessidades energéticas do edifício (antes e após a reabilitação), torna-se necessário recorrer a metodologias apropriadas a esse cálculo, como já apresentado anteriormente, será utilizada a ferramenta desenvolvida por (Fonte, 2014).

As necessidades energéticas de um edifício, ou, as suas necessidades nominais globais de energia primária, N_{tc} , são a expressão da quantidade de energia primária correspondente à soma ponderada das necessidades nominais de aquecimento, arrefecimento e produção de águas quentes sanitárias, tendo em consideração os sistemas adotados. Caso os mesmos não sejam conhecidos, pode ser ponderada a utilização de sistemas convencionais de referência e os respetivos padrões de utilização (Ministério da Economia e do Emprego, 2006).

Uma vez que, o âmbito desta dissertação recai apenas sobre a reabilitação energética de fachadas, a situação inicial referente às características do edifício e aos equipamentos existentes, mantém-se após a reabilitação e em todas as localizações consideradas, sofrendo apenas alterações os valores específicos de cada localização. Assim, não havendo alterações, os quadros correspondentes a este tópico, não serão alteradas aquando do preenchimento dos quadros correspondentes à pós-reabilitação, onde apenas se preenchem as células referentes às alterações sofridas.

Ao longo do preenchimento das células da ferramenta de cálculo, são apenas utilizados valores presentes na base de dados disponível na mesma ou valores descritivos e necessários, podendo ser do edifício ou das soluções de reabilitação.

Tendo em conta que no desenvolvimento da dissertação são consideradas quatro localizações para o edifício, os dados apresentados de seguida mantêm-se em todas as localizações, à exceção das informações dependentes da mesma. Sendo por isso, apenas apresentada a título de exemplo, uma das localizações.

3.6.1 Informação do edifício

Tal como apresentado anteriormente, a ferramenta de cálculo utilizada necessita de várias informações sobre o edifício de forma a possuir todos os dados necessários para a determinação das necessidades energéticas do edifício em estudo. Edifício esse que se trata de um edifício padrão definido pelos dados da ADENE, como referido no ponto 3.5. Assim, com todas as informações recolhidas nessa identidade, preencheu-se o Quadro 9.

Quadro 9 - Quadro para inserção dos dados iniciais da fração

Fraction	
AC,ref (m ²)	100
h_room (m)	2,7
Typology	T3

Também com a informação disponibilizada da distribuição das áreas por cada elemento construtivo, foi possível preencher o Quadro 10. Como se pode observar, no quadro existe mais que uma unidade para cada elemento construtivo, o que seguindo a metodologia apresentada por (Fonte, 2014), se deve ao facto de poder existir dentro do mesmo tipo de elemento, diferentes constituições e ainda diferentes orientações. Facto esse que leva a que, nas paredes e nas janelas, se considere a seguinte distribuição:

- **Orientação Norte:** Wall_2; Window_2;
- **Orientação Sul:** Wall_1; Window_1;
- **Orientação Este + Orientação Oeste:** Wall_3; Window_3.

Quadro 10 - Quadro para inserção da configuração geométrica dos elementos constituintes do edifício

Element	Geometric features	Border conditions with external environment	
	A (m ²)	R_add (m ² .°C/W)	btr
Roof_1	100,00	0,00	1,00
Roof_2	0,00	0,00	1,00
Wall_1	23,25	0,00	1,00
Wall_2	23,25	0,00	1,00
Wall_3	46,5	0,00	1,00
Floor_1	100,00	0,00	0,50
Floor_2	0,00	0,00	1,00
Window_1	3,75		
Window_2	3,75		
Window_3	7,50		
Door_1	0,00		

No preenchimento deste quadro, foi considerado que não haveria resistência térmica adicional e que o valor do coeficiente de transmissão linear seria:

- 1, para elementos de separação do ambiente exterior do ambiente interior;
- 0.5, para elementos em contacto com o solo (considerando-se a existência de uma laje térrea).

Para ser possível introduzir os dados do edifício em estudo na metodologia, é necessário conhecer os sistemas que este incorpora, o que permitirá conhecer as suas necessidades energéticas. Uma vez que apenas se pretende conhecer a influência da reabilitação no edifício, os sistemas não sofrerão qualquer tipo de alteração ao longo do processo de reabilitação. Foram então considerados, segundo a regulamentação portuguesa, e apesar de não ser referenciado pela ADENE na descrição do edifício, os sistemas padrão, como referido no Despacho nº 15793-E de 2013. Sendo considerado para a produção de água quente sanitária, o sistema descrito pela ADENE. Encontrando-se todos os sistemas considerados, explicitados no Quadro 11. Lembra-se que a eficiência energética utilizada na metodologia, corresponde, aproximadamente, ao inverso da eficiência presente no REH.

Quadro 11 - Eficiência energética conforme a metodologia e o REH para os sistemas considerados Fonte: Ministério da Economia e do Emprego, 2013b; Fonte, 2014

Necessidade energética	Energia utilizada	Equipamento	Eficiência (metodologia)	Eficiência (REH)
Aquecimento	Eletricidade	Resistência elétrica	1,08	1
Arrefecimento	Eletricidade	Unidade split, multisplit ou VRF com permuta de ar com o exterior	0,43	2,5
AQS	Gás natural	Esquentador	1,34	0,75

3.6.2 Necessidades energéticas para aquecimento

De forma a obter as necessidades energéticas do edifício para aquecimento, tal como exposto no ponto 3.2.5.2, é necessário proceder ao preenchimento dos quadros existentes na ferramenta de cálculo, específicas para este efeito e correspondentes à situação inicial do edifício.

Inicialmente, é preenchido o quadro correspondente à estação de aquecimento, apresentada no Quadro 12, em que é necessária a introdução da localização do edifício, o que dará, por defeito, o valor do número de dias de aquecimento e a temperatura média exterior durante a estação. Foi considerada uma perda adicional de energia de $0.15 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ por pontes térmicas e uma temperatura interna de 18°C . Nos fatores de correção adimensional para aquecimento não uniforme, uma vez que se trata de uma casa isolada, para $htr=1$, o valor será de $0.90 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, e para $htr=4$, de $0.80 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$. Já a taxa de troca de ar por infiltração é 0 e a taxa média de renovação do ar, é 0.4, o valor mínimo recomendado pelo REH. Na saída térmica média de fontes de calor internas, foi utilizado o valor presente no REH, sendo este 4.

Quadro 12 - Parâmetros de entrada para determinação das necessidades energéticas para aquecimento do edifício

Place	Transmission	Transfer					Ventilation		Internal heat sources ψ_i (W/m ²)
	Δ_{utbr} (W/m ² .°C)	Heating_Days (d)	Theta_e (°C)	Theta_i (°C)	Temperature reduction factor htr=1 W/m ² .°C	Temperature reduction factor htr=4 W/m ² .°C	n_air_infiltration (1/h)	n_air_use (1/h)	
Beja	0,15	211	13	18	0,90	0,80	0,00	0,40	4

Após o preenchimento dos dados relativos à estação de aquecimento, o passo seguinte será o de preenchimento das informações relacionadas com os sistemas de aquecimento presentes no edifício. Como referido acima, foi introduzido com base no REH, um mecanismo de aquecimento do ar interior. Como se pode observar no Quadro 13, o sistema utilizado para a recuperação de calor foi um sistema de exaustão, sendo a sua eficiência introduzida por defeito, e o tipo de energia utilizado pelo sistema de aquecimento introduzido é a eletricidade, seguindo os parâmetros do REH.

Quadro 13 - Dados essenciais para o cálculo das necessidades de energia global primária na estação de aquecimento

HEATING						
$\eta_{ve,rec}$		Energyware types for heating systems			Fraction_SysH_G_2	Fraction_SysH_G_3
Description	Energy efficiency	Code_SysH_EC1	Code_SysH_EC2	Code_SysH_EC3		
Exh-exhaust air system-Poor	0,00	EI-REH	-	-		

Como se pode observar no Quadro 13, o tipo de sistema introduzido foi a resistência elétrica, sendo a sua eficiência introduzida por defeito. Tanto no Quadro 14 como no Quadro 15, os restantes elementos preenchidos, encontram-se preenchidos por defeito por (Fonte, 2014).

Quadro 14 - Dados essenciais para o cálculo das necessidades de energia global primária na estação de aquecimento

HEATING								
e_g_H_Heat_1		e_g_H_Heat_2		e_g_H_Heat_3		e_g_H_Electricity_1		e_g_H_Electricity_2
Description	Energy efficiency	Description	Energy efficiency	Description	Energy efficiency	Description	Energy efficiency	Description
E_Immersion- Electric immersion heater-poor	1,08	Doesn't exist	0,00	Doesn't exist	0,00	CHP- Combined heat and power generation -high	3,33	Doesn't exist

Quadro 15 - Dados essenciais para o cálculo das necessidades de energia global primária na estação de aquecimento (cont.)

HEATING								
e_g_H_Electricity_3			Q _{s,h} (kWh/m ² a)		Q _{d,h} (kWh/m ² a)		Q _{del,h,aux} (kWh/m ² a)	
Energy efficiency	Description	Energy efficiency	Description	Energy efficiency	Description	Energy efficiency	Description	Energy efficiency
0,00	Doesn't exist	0,00	No heat storage- poor	0,00	D- Decentral system- poor	0,00	D- Decentral system,no distribution ducts available- poor	0,00

3.6.3 Necessidades energéticas para arrefecimento

Tal como para as necessidades energéticas de arrefecimento, as de arrefecimento processam-se da mesma forma, sendo necessário o fornecimento de dados relativos à estação de arrefecimento (sendo que uma parte dos dados já se encontra preenchida por ligação ao quadro anterior) e aos sistemas de arrefecimento presentes no edifício.

Assim, no Quadro 16, é possível observar que o número de dias por ano durante a estação de arrefecimento já se encontra preenchido por defeito, estando relacionado com a localização introduzida anteriormente. Respeitando o REH, a temperatura interior do edifício deverá ser de 25 °C e a taxa de ventilação mínima, também segundo o REH, é de 0.6.

Quadro 16 - Parâmetros de entrada para determinação das necessidades energéticas para arrefecimento do edifício

Place	Transmission	Transfer					Ventilation		Internal heat sources ψ_i (W/m ²)	
	Δ_{utbr} (W/m ² .°C)	Cooling_Days (d)	Theta_e (°C)	Theta_i (°C)	Temperature reduction factor htr=1 W/m ² .°C	Temperature reduction factor htr=4 W/m ² .°C	n_air_infiltration (1/h)	n_air_use (1/h)		
Beja	0,15	Begin	63,86	13	25	0,90	0,80	0,00	0,6	4
		After	80,54							

Já na introdução dos dados referentes ao sistema de arrefecimento considerado, verifica-se no Quadro 17 e no Quadro 18, que o tipo de energia utilizado é a eletricidade (cumprindo os parâmetros definidos pelo REH) e que o sistema se trata de uma unidade *split*, *multisplit* e *VRF* com permuta de ar com o exterior, sendo a sua eficiência introduzida por defeito após seleção do mecanismo.

Quadro 17 - Dados essenciais para o cálculo das necessidades de energia global primária na estação de arrefecimento

COOLING				
Energyware types for cooling systems			Fraction_SysC_G_2	Fraction_SysC_G_3
Code_SysC_EC1	Code_SysC_EC2	Code_SysC_EC3		
EI-REH	-	-		

Quadro 18 - Dados essenciais para o cálculo das necessidades de energia global primária na estação de arrefecimento (cont.)

COOLING					
e_g_C_Cool_1		e_g_C_Cool_2		e_g_C_Cool_3	
Description	Energy efficiency	Description	Energy efficiency	Description	Energy efficiency
Split, Multisplit and VRF system with outdoor air exchange-energy efficiency F (This item must be between 0,4 and 0,43)	0,43	Doesn't exist	0,00	Doesn't exist	0,00

3.6.4 Necessidades energéticas para a produção de águas quentes sanitárias

Mais uma vez, de forma a permitir o cálculo das necessidades energéticas para a produção de águas quentes sanitárias, é necessária a introdução dos dados referentes aos consumos de água quente pelos utilizadores do edifício e da informação relativa ao método de preparação das mesmas.

Como se constata no Quadro 19, é necessário definir o tipo de atividade praticada no edifício em estudo, sendo este utilizado exclusivamente para habitação. Com isto, após a seleção do tipo de atividade, é introduzido automaticamente o número de litros por unidade por dia de água quente. De seguida, é necessário introduzir o número de unidades a ter em conta, que corresponderá à área do edifício, 100 m². Por fim, deve ser introduzida a temperatura de distribuição da água quente, 60 °C, e a temperatura da água fria na rede, 13.5 °C.

Quadro 19 - Parâmetros de entrada para determinação das necessidades energéticas para a preparação das águas quentes sanitárias

Type of activity	V _{w,f,day} (l/unit/day)	f (unit)	V _{w,day} (m ³ /day)	θ _{w,del} (°C)	θ _{w,o} (°C)	Q _w (MJ/year)	Q _w (kWh/year)
Dwelling	0,92	100	0,09	60	13,5	6509,07	1808,08

Para a introdução dos dados referentes ao sistema de produção de águas quentes sanitárias, como se pode verificar nos Quadros 20 e 21, é necessário conhecer qual a utilização anual de energia elétrica, o tipo de energia utilizado pelo sistema, que será o gás natural seguindo os parâmetros de eficiência definidos pelo REH e finalmente, o tipo de sistema aplicado, um aquecedor instantâneo de água (esquentador).

Quadro 20 - Dados essenciais para o cálculo das necessidades de energia global primária na produção de águas quentes sanitárias

DHW						
Q _{del,ve,aux} (kWh/m ² a)		Q _{nd,w} (kWh/m ² a)	Energyware types for dhw systems			Fraction_SysW_G_2
Description	Energy efficiency		Code_SysW_EC1	Code_SysW_EC2	Code_SysW_EC3	
Exh-exhaust air system-Poor	0,00	18,08	Gas-REH	-	-	

Quadro 21 - Dados essenciais para o cálculo das necessidades de energia global primária na produção de águas quentes sanitárias (cont.)

DHW						
Fraction_SysW_G_3	e_g_W_Heat_1		e_g_W_Heat_2		e_g_W_Heat_3	
	Description	Energy efficiency	Description	Energy efficiency	Description	Energy efficiency
	G_IWH_NC-Gas-fired instantaneous water heater,non-condensing-medium	1,34	Doesn't exist	0,00	Doesn't exist	0,00

Uma vez que não existem sistemas que combinem eletricidade com outro tipo de energia e não se consideram perdas de calor no sistema de armazenamento e no sistema de distribuição, não se torna necessário o preenchimento dos Quadros 22 e 23.

Quadro 22 - Dados essenciais para o cálculo das necessidades de energia global primária na produção de águas quentes sanitárias (cont.)

DHW							
e_g_W_Electricity_1		e_g_W_Electricity_2		e_g_W_Electricity_3		q _{s,w} (kWh/m ² a)	
Description	Energy efficiency	Description	Energy efficiency	Description	Energy efficiency	Description	Energy efficiency
Doesn't exist	0,00	Doesn't exist	0,00	Doesn't exist	0,00	Doesn't exist	0,00

Quadro 23 - Dados essenciais para o cálculo das necessidades de energia global primária na produção de águas quentes sanitárias (cont.)

DHW							
q _{d,w} (kWh/m ² a)		q _{del,w,aux} (kWh/m ² a)		q _{s,w,h} (kWh/m ² a)		q _{d,w,h} (kWh/m ² a)	
Description	Energy efficiency	Description	Energy efficiency	Description	Energy efficiency	Description	Energy efficiency
Doesn't exist	0,00	Doesn't exist	0,00	Doesn't exist	0,00	Doesn't exist	0,00

3.7 Avaliação do desempenho ambiental do edifício

Para a avaliação dos impactes ambientais associados ao ciclo de vida das soluções de reabilitação consideradas, será utilizada, mais uma vez, a folha de cálculo desenvolvida por (Fonte, 2014), de forma a serem conhecidos os impactes causados pelo fabrico, transporte e utilização dos sistemas de reabilitação em estudo.

O cálculo dos impactes ambientais depende assim de vários indicadores, que pelo peso atribuído pela EPA, como se pode observar no Quadro 24, é definida a sua importância e grau de contribuição nos cálculos.

Quadro 24 - Pesos relativos atribuídos pela EPA para os indicadores ambientais existentes

Fonte EPA, 2016

Tipo de impacte	Peso (%)
Aquecimento global (GWP)	16
Acidificação (AP)	5
Eutrofização (EP)	5
Esgotamento de recursos energéticos não renováveis (FFDP)	5
Qualidade do ar interior (IAQ)	11
Alteração dos habitats (HA)	16
Água incorporada (WI)	3
Emissões de gases poluentes (CAP)	6
Oxidação fotoquímica – <i>smog</i> (POCP)	6
Toxicidade sobre a ecologia	11
Destruição da camada de ozono (OD)	5
Saúde Humana (UH)	11

Para ser possível o cálculo dos indicadores ambientais definidos para o estudo, é necessária a definição de metodologias de avaliação do ciclo de vida. No Quadro 25, é possível observar os indicadores a ser utilizados no estudo, com os respetivos métodos de cálculo e a sua unidade de expressão.

Quadro 25 - Categorias de impacte ambiental e respetivos acrónimos e unidades Fonte:

Bragança and Mateus, 2011

Categorias de impacte ambiental	Acrónimo	Unidade
Potencial de diminuição das reservas de recursos abióticos	ADP	Kg Sb eq
Alterações climáticas	GWP	Kg CO ₂ eq
Potencial de destruição da camada de ozono	ODP	Kg CFC-11 eq
Potencial de acidificação	AP	Kg SO ₂ eq
Potencial de formação de ozono troposférico	POCP	Kg C ₂ H ₄ eq
Potencial de eutrofização	EP	Kg PO ₄ eq
Energia não-renovável incorporada	ENR	MJ eq
Energia renovável incorporada	ER	MJ eq

3.7.1 Desempenho ambiental do edifício

Para ser possível avançar para a determinação do desempenho ambiental do edifício, primeiro é necessário o preenchimento da constituição inicial de todos os elementos construtivos na ferramenta de cálculo, de forma a serem conhecidos todos os componentes e materiais utilizados. Assim, como se pode observar no Quadro 26, apresenta-se a constituição inicial das paredes do edifício, sendo os componentes iguais nas três paredes existentes na ferramenta.

Quadro 26 - Preenchimento dos dados relativos à constituição inicial da parede de fachada do edifício

Wall_1	di (m)	λ (W/m.°C)	Rj (m2.°C/W)	Mst (kg/m ²)	Insulation (m)
Cement mortar	0,02	1,3	0,02	40	0
Brick 22 cm	0,22		0,52	66	0
Cement mortar	0,02	1,3	0,02	40	0
Rse			0,04		
Rsi			0,13		
Total			0,721	146	0
U (W/m².°C)			1,387		

Tal como para as paredes, também é necessária a introdução da constituição do telhado, do pavimento e a constituição e tipo de janelas. Como se pode observar nos Quadros 27, 28 e 29, respetivamente.

Quadro 27 - Constituição do telhado do edifício na sua situação inicial

Roof_1	di (m)	λ (W/m.°C)	Rj (m2.°C/W)	Mst (kg/m ²)	Insulation (m)
Lightened slab with a base of blocks > 30 , with 3 rows of holes and flow upward	0,15		0,28	59,7	0
Cement mortar	0,02	1,3	0,02	40	0
Cermamic tyles		1,3	0,00	2300	0
Rse			0,04		
Rsi			0,1		
Total			0,435	2399,7	0
U (W/m².°C)			2,297		

Quadro 28 - Constituição do pavimento do edifício na sua situação inicial

Floor_1	di (m)	λ (W/m.°C)	Rj (m ² .°C/W)	Mst (kg/m ²)	Insulation (m)
Lightened slab with a base of blocks > 30 , with 3 rows of holes and flow upward	0,15		0,28	59,7	0
Normal concrete	0,04	2	0,02	98	0
Cermamic tyles	0,01	1,3	0,01	23	0
Rse			0,04		
Rsi			0,1		
Total			0,448	180,7	0
U (W/m².°C)			2,234		

Quadro 29 - Constituição das janelas do edifício na sua situação inicial

Window_1	Window type	Air gap (mm)	Uw [W/(m ² .°C)]	Rj_Window_1 (m ² .°C/W)
Simple-simple glass-Uw (Metallic frame without thermal cut-vertical-sliding-0mm)	Sliding		6,50	0,15

Além da constituição dos elementos, é também necessária a informação sobre a orientação dos mesmos, a existência de obstruções e os ângulos de obstrução, de forma a contribuir para o cálculo dos fatores de aquecimento e arrefecimento do edifício. Pela extensão desses mesmos quadros, estes podem ser consultadas nos Anexos VII a X, conforme a localização do edifício.

Terminado o fornecimento de todas as informações relativas à situação inicial do edifício, é então possível avançar para a aplicação das várias soluções de reabilitação energética da fachada consideradas. Uma vez que se tratam de várias soluções, várias localizações, a título de exemplo, apresenta-se no Quadro 30 uma das soluções utilizadas. Neste caso, trata-se de uma solução de reabilitação através da aplicação de um sistema ETICS com poliestireno expandido (EPS). O preenchimento dos quadros após a reabilitação apenas necessita da introdução dos materiais a acrescentar, não sendo necessário introduzir novamente a constituição base do elemento. Com isto, obtém-se os impactes ambientais relacionados com a produção dos materiais a colocar.

Quadro 30 - Quadro para preenchimento com os materiais a acrescentar na reabilitação em cada elemento do edifício (excerto)

Wall_1	di (m)	λ (W/m.°C)	Rj (m ² .°C/W)	Thermal resistance of element without insulation, in case that existing insulation is removed during refurbishment R_before (m ² °C/W)	Mst (kg/m ²)
Cement mortar	0,015	1,3	0,01	0,01	30
Polystyrene expandable EPS	0,07	0,04	1,75	1,75	1,4
ETICS slender mortar	0,004	1	0,00	0,00	6,8
Rse			0,04	0,04	
Rsi			0,13	0,13	
Total			1,936	1,936	38,2
U (W/m².°C)			0,517		

Uma vez que a espessura do isolamento varia com as exigências climáticas do local, existe a necessidade da consideração de um valor mínimo. Para tal, através da consulta de (ADENE, 2016), é possível conhecer qual o valor mínimo do isolamento térmico para a época de construção em causa e para cada zona climática pertencente ao estudo.

No final da introdução dos materiais, é fornecido o valor do U correspondente aos materiais introduzidos. Ou seja, o valor de U adicional, que será subtraído ao valor inicial para o elemento. Para conhecer o valor final de U do elemento após a reabilitação, deverá ser consultada a folha da metodologia apresentada na Figura 15, onde estão discriminados todos os valores iniciais e finais para cada elemento.

		Roof 1	Roof 2	Wall 1	Wall 2	Wall 3	Floor 1	Floor 2	Window 1	Window 2	Window 3	Door 1	
envelope area	$A_{env,i}$	100	0	23	23	47	100	0	4	4	8	0	m ²
Construction Element													
	$U_{original,i}$	2,30	0,00	1,39	1,39	1,39	2,23	0,00	6,50	6,50	6,50	0,00	W/(m ² K)
included insulation thickness	$d_{insulation,i}$	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					cm
border type		-	-	-	-	-	-	-					
additional thermal resistance	$R_{add,i}$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					m ² K/W
Refurbishment Measure													
thermal resistance of refurbishment measure	$R_{measure,i}$	0,14	0,00	1,94	1,94	1,94	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	m ² K/W
Result													
	$R_{original,i}$	0,44	0,00	0,72	0,72	0,72	0,45	0,00	0,15	0,15	0,15	0,00	m ² K/W
	$R_{measure,i}$	0,14	0,00	1,94	1,94	1,94	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	m ² K/W
	$U_{actual,i}$	1,74	0,00	0,38	0,38	0,38	1,70	0,00	2,40	2,40	2,40	0,00	W/(m ² K)

Figura 15 - Excerto do quadro de apresentação dos resultados gerados pela introdução dos materiais de reabilitação

Uma vez que o âmbito desta dissertação recai sobre a reabilitação energética de fachadas, sem alteração de quaisquer outros elementos ou alteração/introdução de sistemas, apenas as quadros referentes às paredes foram preenchidas.

Após a introdução da constituição da solução de reabilitação, é necessário indicar se o material necessita de transporte até ao local da obra e qual a distância a percorrer, obtendo assim os impactes ambientais relativos ao transporte dos materiais.

Já com todas as quadros preenchidas e todos os dados necessários introduzidos, a ferramenta termina o cálculo das necessidades energéticas do edifício para aquecimento, arrefecimento e produção de água quente, assim como determina os impactes ambientais associados a esses consumos e aos processos de produção dos materiais e transporte.

De forma a facilitar o processo de comparação e determinação das melhores soluções, após obtidos todos os valores necessários, a ferramenta de cálculo procede à representação gráfica dos impactes ambientais associados às emissões de carbono causadas pelos consumos energéticos, pelo transporte e pela produção dos materiais, facilitando assim a compreensão e determinação do tempo de retorno dos impactes causados. Ou seja, o ponto em que os

impactes após a reabilitação serão menores que os impactes causados pela configuração inicial do edifício. Assim, como se pode observar na Figura 16, será construído para cada solução em estudo um gráfico cumulativo, onde será representada a evolução dos impactes, sem reabilitação e após reabilitação energética do edifício, ao longo de 30 anos, o período de vida útil da reabilitação.

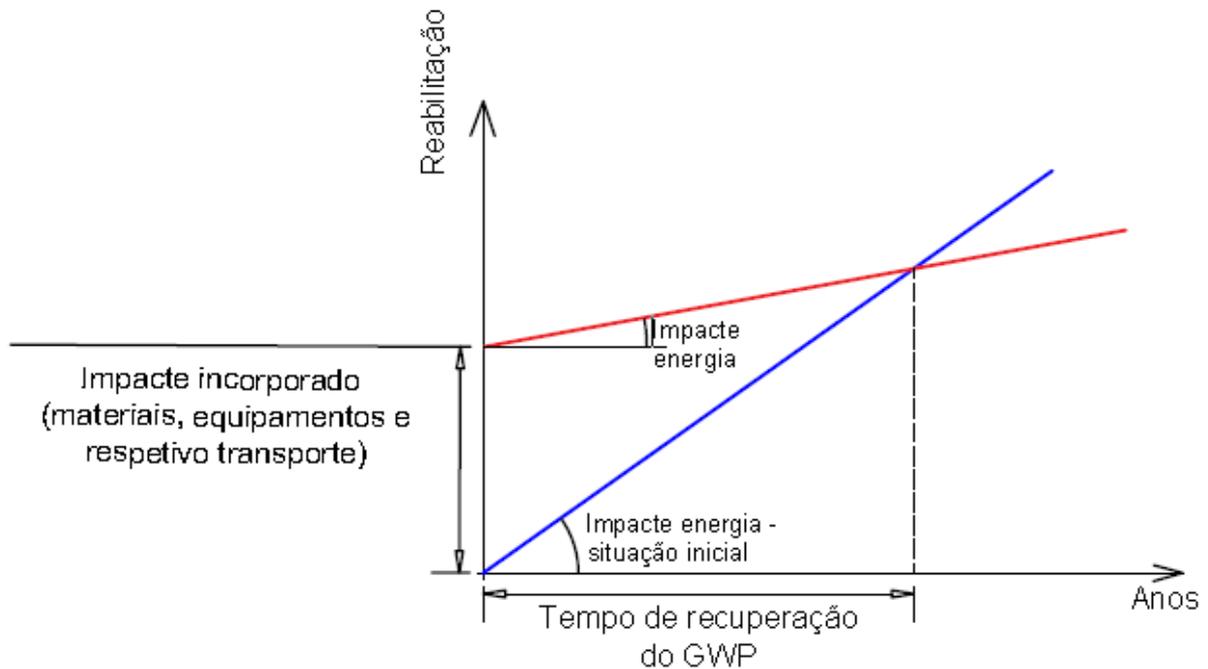


Figura 16 - Gráfico representativo da determinação do tempo de retorno do impacte ambiental de cada solução

Por se tratar de um gráfico cumulativo, é necessário utilizar os valores calculados para os anos anteriores. No caso da situação inicial, como se observa no gráfico, no ano 0, o valor dos impactes causados será 0, no ano 1, será o valor obtido para os impactes ambientais, nos anos seguintes passa a ser a soma do ano anterior com a multiplicação do ano com os impactes usados no ano 1. No caso da situação após reabilitação, no ano 0, o valor corresponde à soma dos impactes causados pela produção e transporte do material, sendo este impacte dispersado pelos anos posteriores. Assim, no ano 1, o valor será a soma do ano anterior com a multiplicação dos impactes do consumo energético com o ano. E assim sucessivamente.

Já conhecidos todos os tempos de recuperação (*payback time*) dos impactes ambientais para todas as soluções em estudo, estes devem ser alvo de uma hierarquização, de forma a serem conhecidos os dois melhores, ou seja, as soluções com o tempo de recuperação mais curto.

Uma outra forma de avaliar o desempenho ambiental do edifício, será através da comparação entre a relação consumos energéticos/emissões de carbono a 30 anos para todas as soluções em estudo. Com isto, pretende-se comparar a relação obtida para o desempenho inicial do edifício com a relação das soluções a aplicar, de forma a ser possível distinguir as relações mais vantajosas. Sendo estas as que possuem um menor consumo energético aliado a baixas emissões de carbono, ou vice-versa.

3.8 Avaliação do desempenho económico do edifício

Durante todo o processo de seleção das soluções a aplicar numa reabilitação energética da fachada de um edifício, todas as avaliações são importantes, mas a avaliação do desempenho económico possui uma relevância diferente, uma vez que informa o utilizador dos custos, da poupança esperada, do investimento e do tempo que levará obter o retorno do seu investimento inicial através da poupança com os consumos energéticos. Assim, constata-se a importância da execução de uma avaliação do desempenho ambiental do edifício, pelas informações que fornece e pelas perspectivas futuras que apresenta.

Pela importância que os custos acarretam na decisão de reabilitar uma fachada, é importante conhecer e avaliar os preços dos materiais e da mão-de-obra praticados no mercado português. Para tal, será utilizado o gerador de custos on-line CYPE, que permitirá obter os custos de aquisição e mão-de-obra para a aplicação das soluções em estudo, mas também o custo da manutenção anual das mesmas. Sendo estes valores conhecidos, o valor do investimento inicial corresponderá então à multiplicação do custo por m² de solução pela área de fachada a reabilitar. Para o custo da manutenção anual, segue-se o mesmo processo, mas utilizando os preços referentes à manutenção.

Através da avaliação do desempenho energético do edifício, é possível conhecer os consumos energéticos associados ao desempenho do edifício após a aplicação de cada solução. Conhecendo as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento e arrefecimento, é possível calcular os custos relacionados com os consumos energéticos. Para tal, é então necessário somar as necessidades que utilizam o mesmo tipo de energia para funcionamento. Neste caso, uma vez que as necessidades associadas à preparação de águas

quentes sanitárias não sofrem qualquer alteração com a reabilitação, não serão consideradas neste cálculo comparativo dos custos.

Somando as necessidades energéticas para aquecimento com as necessidades energéticas para arrefecimento, obtém-se as necessidades energéticas anuais por m² de pavimento. Multiplicando este valor pela área do edifício, obtém-se as necessidades energéticas anuais, que será o valor a utilizar.

Para ser possível calcular os custos relacionados com os consumos energéticos do edifício e tendo em conta que a vida útil da reabilitação são 30 anos, é necessário conhecer os preços da energia, já que os custos serão calculados até ao fim da vida útil da solução de reabilitação. Em ordem de calcular a poupança energética ao fim desse tempo, não sendo os preços fixos ao longo do tempo e sofrendo variações conforme as taxas de desconto e as taxas sociais, é necessário efetuar uma perspetiva dos preços em 30 anos. Foram então considerados os preços da energia presentes em (Almeida, Ferreira and Rodrigues, 2013), com uma taxa de desconto de 6% e uma taxa social de 3%, tendo sido calculados seguindo a metodologia de (E3M-Lab *et al.*, 2013), apresentando-se no Quadro 31.

Quadro 31 - Perspetivas do preço da energia para 30 anos. Fonte (Almeida, Ferreira and Rodrigues, 2013)

Preços da energia (com taxas)	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Eletricidade (€/kWh)	0,22	0,23	0,23	0,24	0,24	0,24	0,25	0,25	0,25	0,26	0,26
Preços da energia (com taxas)	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	
Eletricidade (€/kWh)	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,25	0,25	
Preços da energia (com taxas)	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	
Eletricidade (€/kWh)	0,25	0,25	0,25	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,23	0,23	

De forma a calcular a poupança energética, é necessário, em primeiro lugar, calcular os custos associados aos consumos antes e após a reabilitação. Ou seja, o consumo do edifício antes da reabilitação, é multiplicado pelo preço da energia no ano 0, que será 2016. Já para o custo associado aos consumos após a reabilitação, este será obtido através da multiplicação do consumo após reabilitação com o preço da energia no ano 1, que será 2017. Neste caso, considera-se o primeiro preço como o correspondente ao ano 1 por, após a reabilitação, o investimento inicial para colocação da solução de reabilitação corresponder ao custo existente no ano 0 e apenas se iniciar no ano 1 a contabilização dos custos com a energia.

Uma vez conhecidos os custos associados aos consumos antes e após reabilitação, é possível determinar a poupança energética anual, através da subtração do custo após reabilitação ao custo inicial. De forma a conhecer a poupança ao fim do tempo de vida útil da solução de reabilitação, basta multiplicar a poupança anual por 30 anos.

Conhecidos todos os custos associados ao desempenho energético e ao investimento e manutenção das soluções de reabilitação, é necessário proceder à representação gráfica dos mesmos, facilitando assim a compreensão e determinação do tempo de retorno do investimento inicial. Para tal, como se pode observar na Figura 17, será construído para cada solução em estudo um gráfico cumulativo, onde será representada a evolução dos custos, sem reabilitação e após reabilitação energética do edifício, ao longo de 30 anos.

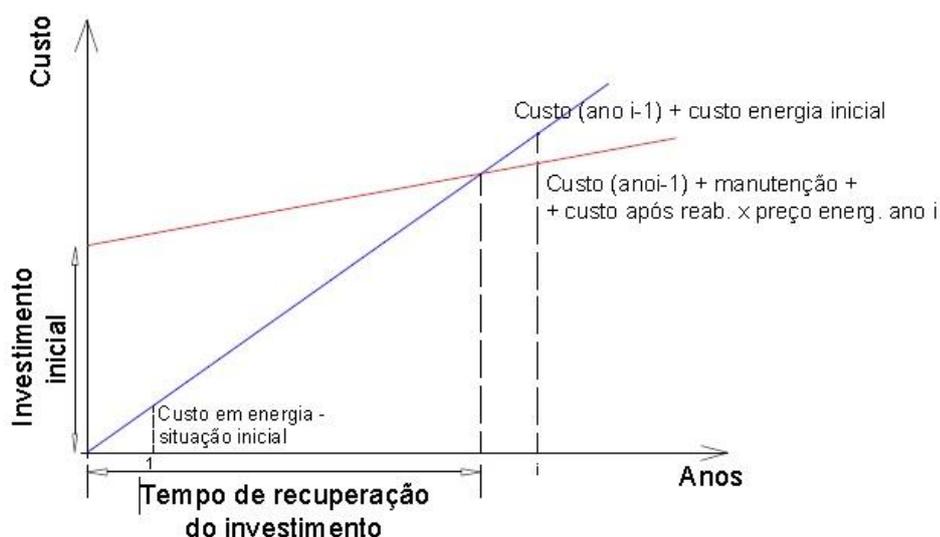


Figura 17 - Gráfico representativo da determinação do tempo de retorno do investimento inicial de cada solução

Por se tratar de um gráfico cumulativo, é necessário utilizar os valores calculados para os anos anteriores. No caso da situação inicial, como se observa no gráfico, no ano 0, como não existe investimento, o seu valor será 0, sendo que nos anos seguintes valor passa a ser a soma do ano anterior com o custo da situação inicial. No caso da situação após reabilitação, no ano 0, o valor corresponde ao custo do investimento inicial, que como apenas se efetua uma única vez, não será considerado em mais nenhum ano. No ano 1, o valor será o do custo da energia nesse ano somado ao custo da manutenção anual. Nos anos seguintes, é seguida a metodologia do ano 1, acrescentando-se a soma ao custo do ano anterior.

Após a obtenção de todos os tempos de recuperação (*paybak time*) do investimento inicial para todas as soluções aplicadas, estes deverão ser hierarquizados de forma a serem conhecidos os dois melhores, ou seja, os dois tempos de recuperação mais curtos. Combinando esta hierarquização com a efetuada para o *payback time* do GWP e juntando as melhores classificações, é então possível conhecer as duas melhores soluções para aplicar na reabilitação energética do edifício em cada localização estudada.

3.9 Guia de boas práticas

Para a elaboração do guia de boas práticas para a aplicação do aglomerado negro de cortiça, a metodologia seguida consiste na pesquisa e consulta de manuais de aplicação do sistema ETICS, assim como de fichas técnicas e catálogos de uma empresa nacional especializada, de forma a conhecer a sua estrutura e assim, desenvolver uma organização simples, consistente e completa para o manual a elaborar.

De forma a compilar as melhores práticas apresentadas e desenvolvidas no mercado, a informação será pesquisada através de motores de busca, possibilitando assim a reunião dos dados para um confronto de informação e recolher as melhores e mais fiáveis técnicas e conteúdos. Sendo também fornecidas por uma empresa nacional especializada na aplicação do sistema ETICS e uma empresa nacional especializada na produção do isolamento de elevada espessura em aglomerado negro de cortiça, além de informações relevantes, indicações de materiais, fichas técnicas e imagens exemplificativas dos conteúdos abordados.

Serão também utilizadas, para acompanhar o conteúdo apresentado, imagens do estudo da aplicação do sistema a um caso real, assim como vários esquemas explicativos, baseados em esquemas já existentes e de grande relevo.

Com a compilação e refinação das informações recolhidas, pretende-se a realização de um manual eficiente, simples, completo e informativo para o seu utilizador. O resultado final do guia elaborado pode ser consultado no Anexo XV.

4. REABILITAÇÃO ENERGÉTICA DA ENVOLVENTE EXTERIOR DE EDIFÍCIOS

4.1 Enquadramento

A reabilitação térmica e energética de edifícios constitui uma das vias mais promissoras para a correção de situações de inadequação funcional, proporcionando a melhoria da qualidade térmica e das condições de conforto dos seus habitantes, permitindo reduzir o consumo de energia para aquecimento, arrefecimento, ventilação e iluminação, contribuindo também para o objetivo estratégico de redução das necessidades energética do nosso país e possibilitando, em muitas situações, a correção de certas patologias ligadas à presença de humidade e à degradação do aspeto nos edifícios (ADENE *et al.*, 2004).

A preocupação com a redução das necessidades energéticas, é digna de uma análise detalhada e consciente, por parte de profissionais especializados. Uma vez que, a intervenção em apenas alguns pontos, não é suficiente para a melhoria das necessidades energéticas de um edifício, pode até, levar a um maior consumo e desperdício da energia consumida. Por exemplo, quando na presença de um edifício com fraco desempenho térmico e energético. A introdução de um sistema de ventilação mecânica, para melhoria dos níveis de conforto dos seus utilizadores, relativamente à temperatura interior, pode tornar-se um fracasso caso a envolvente do edifício não efetue um armazenamento de energia (inércia térmica fraca) eficiente. Então, o equipamento terá de trabalhar durante mais tempo para manter a temperatura interior, o que leva a um maior consumo de energia, uma vez que esta é transferida para o exterior através da envolvente deficiente. Assim, de forma a aumentar o desempenho do edifício, o primeiro passo será a reabilitação da envolvente exterior opaca, eventualmente, a substituição ou melhoria dos envidraçados, e, apenas após a análise das melhorias provenientes da sua beneficiação, deverá ser considerada a implementação de sistemas auxiliares de ventilação. Demonstra-se assim, a importância de um processo de reabilitação estudado, cuidado e definido conforme as necessidades e exigências do edifício e do seu utilizador.

Em termos de hierarquização das medidas de eficiência do ponto de vista da análise custo-benefício, as mais favoráveis são, em geral, as que incidem nas coberturas, seguidas das que se referem aos pavimentos sobre espaços exteriores e, finalmente, as respeitantes às paredes exteriores (ADENE *et al.*, 2004).

De forma a garantir o sucesso da reabilitação efetuada, as soluções a adotar deverão ser devidamente estudadas e possuir toda a informação necessária para fornecimento ao aplicador e ao cliente. Tomando assim conhecimento das suas vantagens, desvantagens, modo de aplicação, constituição, características e resultados dos ensaios efetuados. Assim, os documentos de homologação demonstram a sua importância incontornável na certificação das soluções de reabilitação e respetivos materiais.

Pela importância da ligação e compatibilidade entre materiais, geralmente é recomendada a aplicação de soluções monomarca, uma vez que a homologação é correspondente ao sistema constituído pelos materiais da marca proponente do sistema e não pela utilização de materiais de várias marcas. O que pode levar à incompatibilidade entre materiais, resultando em anomalias e mau funcionamento do sistema. Assim, os sistemas a ser aplicados devem possuir o documento de homologação do LNEC ou os seus equivalentes europeus.

Como referido anteriormente, apenas serão abordadas no âmbito desta dissertação, as soluções de reforço da proteção térmica relativas às paredes exteriores. Ao longo do presente capítulo, serão então apresentadas as várias soluções existentes no mercado, integradas no grupo de cada tipo de solução, caracterizada pela posição do isolamento térmico, assim como as vantagens e desvantagens de cada grupo. Na abordagem a cada solução, esta será caracterizada através da apresentação da sua descrição, constituição, modo de colocação, características, materiais de isolamento possíveis de aplicar, entre outros tópicos. Por fim, serão analisados os materiais de isolamento térmico mais utilizados e conhecidos do mercado, assim como materiais não tão conhecidos, mas em expansão no mercado da construção. Sendo os materiais apresentados alvo de uma avaliação de desempenho através da metodologia MARS-SC.

4.2 Soluções de reabilitação energética para fachadas com isolamento pelo interior

A reabilitação energética de fachadas através da aplicação de isolamento térmico no seu paramento interior, caracteriza-se por ser um método menos dispendioso e de fácil execução. Devendo a sua utilização ser ponderada, uma vez que, apesar de possibilitar a manutenção do aspeto exterior do edifício, diminuir a área útil do espaço.

Para este tipo de reforço do isolamento, as soluções mais aplicadas são:

- Painéis isolantes prefabricados;
- Contra-fachadas.

Seguidamente são apresentadas as soluções existentes, assim como a sua caracterização e constituição.

4.2.1 Painéis isolantes prefabricados

Na aplicação de painéis isolantes prefabricados, a solução mais utilizada, consiste no emprego de painéis com uma altura correspondente à do pé direito livre dos compartimentos. Associando um paramento de gesso cartonado e uma camada de isolamento térmico em placa, colado no tardo das placas de paramento. Estes painéis podem ser aplicados diretamente contra o paramento interior da parede ou ser fixados através de uma estrutura de apoio, em que é definida uma caixa-de-ar intermédia (ADENE *et al.*, 2004).

A classificação dos sistemas de isolamento térmico pelo interior poderá efetuar-se de acordo com a função do elemento construtivo de base. Esta poderá ser então, direta, semidirecta ou autoportante (Ferreira, 2006). Apresentam-se de seguida as soluções mencionadas.

4.2.1.1 Sistema direto

O sistema direto trata-se de um sistema prefabricado, no qual se integra um isolamento térmico, de espessura variável, colado em fábrica a uma placa rígida. Geralmente, a placa é de gesso cartonado e a aplicação habitual do sistema é através de um padrão de colagem pontual (Ferreira, 2006). Na Figura 18, apresenta-se a constituição do sistema em análise.

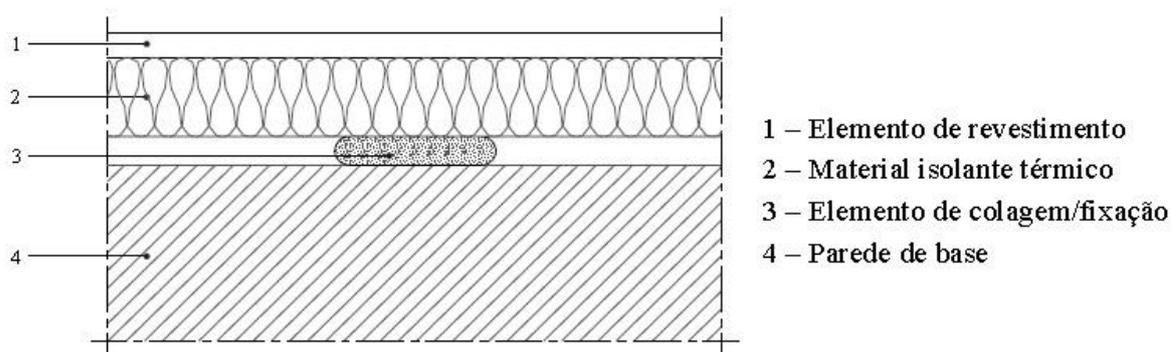


Figura 18 - Representação de uma solução de isolamento prefabricada por sistema direto

Fonte: Ferreira, 2006

Pela diversidade de ofertas no mercado e pela evolução dos materiais de isolamento, este tipo de sistema possibilita a integração de uma grande variedade de materiais de isolamento, designadamente, quanto à sua natureza. Assim, como se pode observar no Quadro 32, são várias as opções a aplicar neste tipo de sistema.

Quadro 32 - Materiais de isolamento de possível utilização neste sistema Fonte: Ferreira, 2006

Natureza da matéria-prima	Material de isolamento térmico
Mineral	Lã de rocha Lã de vidro
Vegetal	Aglomerado de fibras de madeira
Sintética	Poliestireno expandido Poliestireno extrudido Poliuretano

Neste tipo de sistema, são geralmente aplicadas placas de gesso cartonado como elemento de revestimento, podendo este receber vários tipos de acabamento. Trata-se então de um elemento prefabricado, constituído por uma alma de gesso de origem natural entre duas lâminas de cartão multi-folha. O acabamento do sistema, dependerá sempre do tratamento

aplicado ao nível das juntas, uma vez que estas poderão ser à vista ou não visíveis (Ferreira, 2006).

Estão presentes no mercado, vários tipos de placas de gesso cartonado, que podem ser aplicadas em todos os sistemas de painéis isolantes prefabricados. A designação geral dessas placas, explicita de forma simples a sua principal característica. Sendo então as designações: standard (A), hidrófuga (H), antifogo (F) e alta dureza (D) (Gyptec, 2016c). Além deste tipo de placas, existem também placas compostas. Onde a placa é revestida, com uma outra placa de isolamento térmico (Gyptec, 2016b). Podendo também ser adicionados componentes especiais às placas, como por exemplo barreiras para-vapor ou um revestimento com tela especial de fibra de vidro, melhorando assim as suas características e funcionalidades (Gyptec, 2016a).

Para a aplicação do sistema, a superfície do elemento de suporte deverá encontra-se limpa, isenta de poeiras e produtos oleosos e sem humidades, devendo o elemento ser humidificado caso, no Verão, se encontre demasiado seco. Sendo, num caso de reabilitação, recomendada a avaliação das condições de aderência do suporte, devem tratar-se as fissuras existentes e mais significativas e proceder à decapagem do revestimento. O produto de colagem poderá ser aplicado diretamente no suporte ou sobre o material de isolamento térmico constituinte do sistema, existindo diferentes tipos de colagem (por pontos, bandas ou a combinação de ambos), como é possível observar na Figura 19, e variando a quantidade de produto por placa conforme a natureza do material de isolamento térmico. Em casos extremos de falta de aderência do suporte, deverá ser utilizada fixação mecânica (Ferreira, 2006).

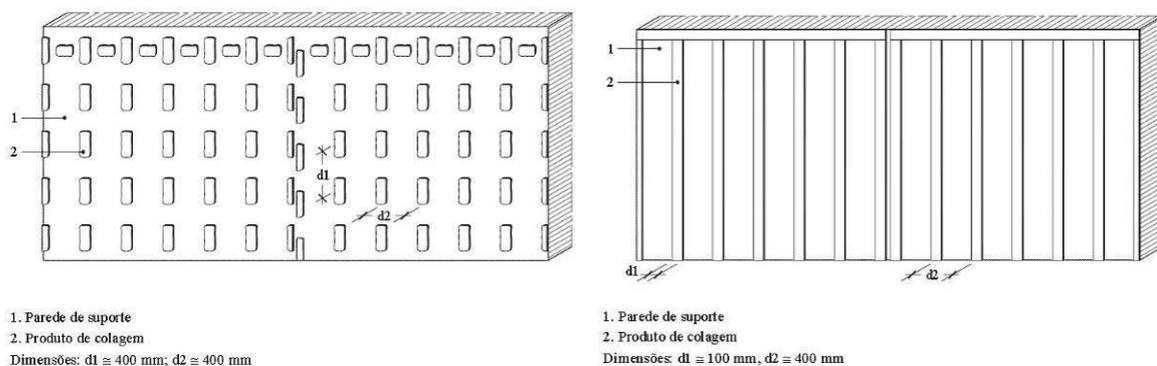


Figura 19 - Método de aplicação do produto de colagem no sistema direto Fonte: Ferreira, 2006

Como é possível observar na Figura 20, é possível colmatar as irregularidades no suporte através da aplicação do produto de colagem em pontos específicos. Assim, as irregularidades, podem ser classificadas conforme a sua dimensão, presenciando-se três cenários distintos (Ferreira, 2006).

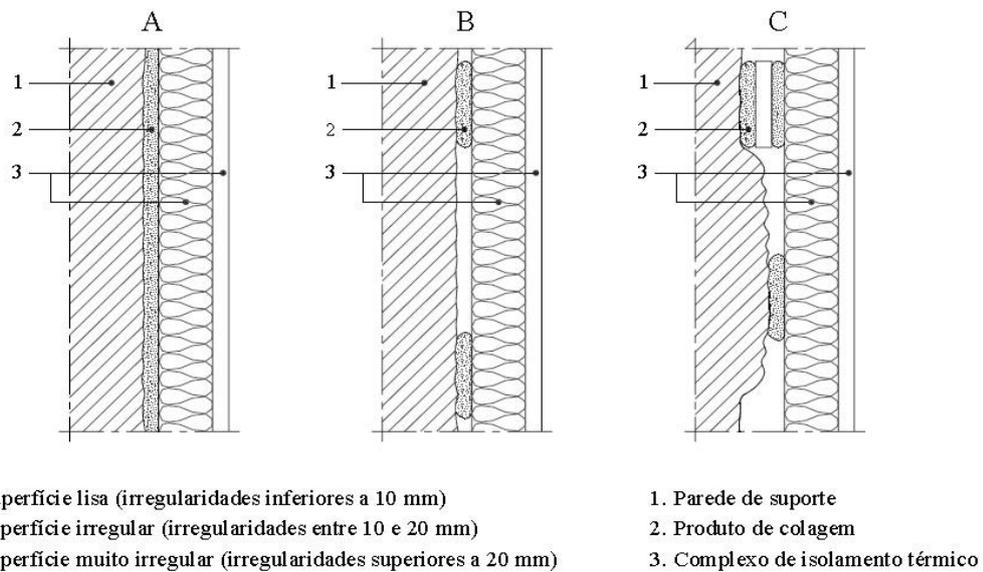


Figura 20 - Representação das irregularidades que poderão existir numa parede e como as ultrapassar na aplicação da solução Fonte: Ferreira, 2006

Após definido o tipo de colagem e terminada a aplicação do produto, o sistema deve ser aplicado no suporte e pressionado contra o mesmo. A aplicação do painel seguinte, apenas deverá ser iniciada, quando terminada a do painel anterior. Durante o procedimento de colocação, é necessário atender a que o limite inferior das placas se encontre afastado entre 10 a 15 milímetros da cota do revestimento final do pavimento de forma a evitar a transferência de humidade. Assim, na zona entre o pavimento e o início do sistema, existe uma interrupção do isolamento térmico, o que origina uma ponte térmica. Esta pode ser corrigida através da aplicação de uma banda estanque, evitando assim o contacto directo do sistema com o pavimento (Ferreira, 2006).

4.2.1.2 Sistema semi-direto

A definição convencional deste tipo de sistema consiste numa estrutura com perfis do tipo ómega fixados à parede de base, à qual, por sua vez, são fixadas placas similares às utilizadas nos sistemas diretos, tal como ilustrado na Figura 21. Sob um ponto de vista teórico, trata-se de uma solução com uma estrutura de suporte diretamente fixada ao elemento de base, com material de isolamento térmico incluído na caixa-de-ar, sendo o elemento de revestimento fixado à estrutura de suporte. Normalmente, este sistema é utilizado como opção relativamente ao impedimento da aplicação do sistema direto (Ferreira, 2006).

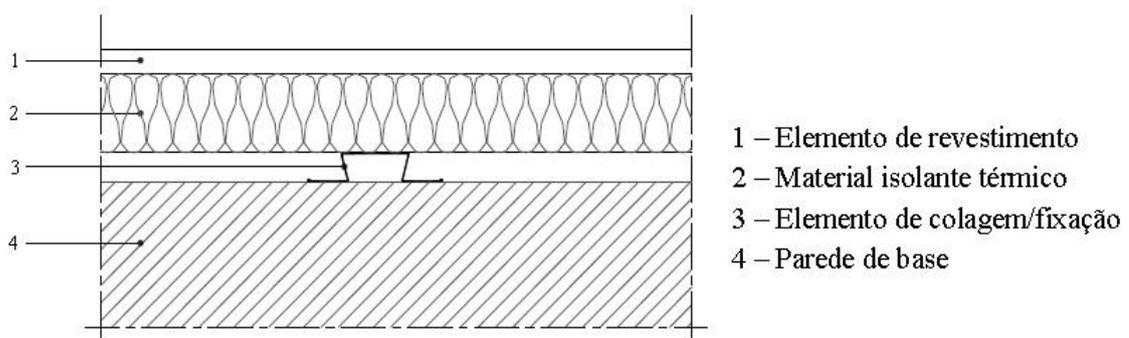


Figura 21 - Representação da constituição da solução de reabilitação pelo sistema semi-direto

Fonte: Ferreira, 2006

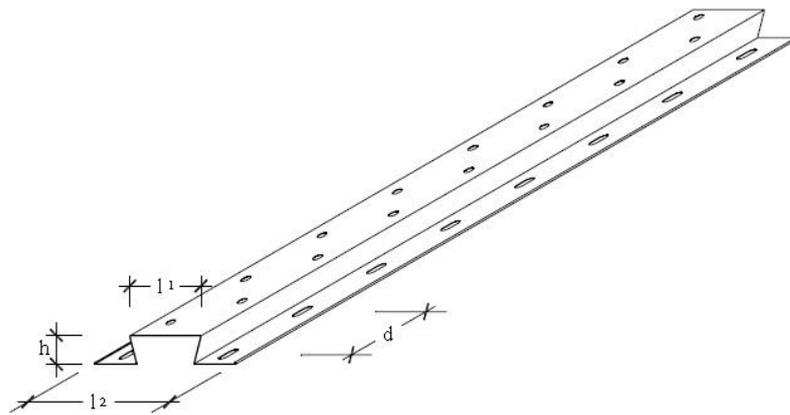
A aplicação em sistemas do tipo semi-direto, de sistemas prefabricados semelhantes aos aplicados no sistema do tipo direto, pode levar à ocorrência de alguns problemas, uma vez que a ação de aparafusamento das placas à estrutura de suporte pode levar à compressão do material de isolamento térmico. Podendo com isto provocar fissuras entre as juntas dos painéis e/ou uma planimetria irregular no paramento. De forma a evitar este fenómeno, o material de isolamento deve assim apresentar uma compressibilidade reduzida. Estas anomalias podem também ser evitadas através da alteração do sistema, passando a possuir um material de isolamento independente e/ou uma estrutura de suporte diferente (Ferreira, 2006).

Tal como apresentado no sistema direto, os materiais de isolamento a utilizar são os mesmos, sendo neste caso importante a presença do material selecionado no documento de referência do sistema selecionado. O mesmo se aplica aos revestimentos abordados, podendo todos eles ser aplicados neste tipo de sistema.

O processo de montagem deste tipo de sistema pode ser resumido em três etapas (Ferreira, 2006):

- **Fixação da perfilaria mecânica** ao elemento de suporte;
- **Aparafusamento de um sistema idêntico ao do sistema direto** ou aplicação de um **material de isolamento térmico** independente (solução não-convencional);
- Fixação do elemento de **revestimento** (solução não-convencional).

A estrutura de suporte utilizada para este tipo de sistema consiste na aplicação de perfis metálicos verticais com perfil em ômega (Ω). Estes perfis são em chapa fina de aço galvanizado e com um revestimento em zinco de forma a proteger o material da corrosão. A fixação destes perfis ao suporte é, geralmente, efetuada através de aparafusamento duplo, ou seja, são aplicadas fixações em ambas as abas do perfil, como se pode observar na Figura 22. Devendo, aquando da aplicação, no caso de existirem irregularidades significativas, proceder-se ao seu nivelamento através da utilização de cunhas de madeira ou metálicas. Quanto ao afastamento entre perfis, este é, normalmente, de 300, 400 ou 600 milímetros, dependendo da espessura e do tipo de solução a utilizar. Não devendo esta distribuição ser interrompida, mesmo quando necessária a introdução de perfis intermédios (Ferreira, 2006).



Dimensões: $l_1 = 40 \text{ mm}$; $l_2 = 80 \text{ mm}$; $h = 16 \text{ mm}$; $d = 250 \text{ mm}$

Figura 22 - Representação dos perfis em ômega utilizados Fonte: Ferreira, 2006

4.2.1.3 Sistema autoportante

Este tipo de sistema é constituído por uma estrutura modulada, que integra, calhas horizontais metálicas fixadas mecanicamente às lajes de teto e pavimento, e montantes verticais metálicos encaixados naquelas, aos quais são aparafusados os elementos de revestimento, como se ilustra na Figura 23. Sendo o espaço de ar existente entre o suporte e o elemento de revestimento, preenchido total ou parcialmente por um material de isolamento térmico. A designação de autoportante deverá desejavelmente implicar a ausência de apoios pontuais à parede de base. Este sistema serve de opção, por exemplo, quando é necessário o incremento de isolamento térmico e acústico em suportes de fraca aderência ou quando há necessidade de integração de instalações na caixa-de-ar (Ferreira, 2006).

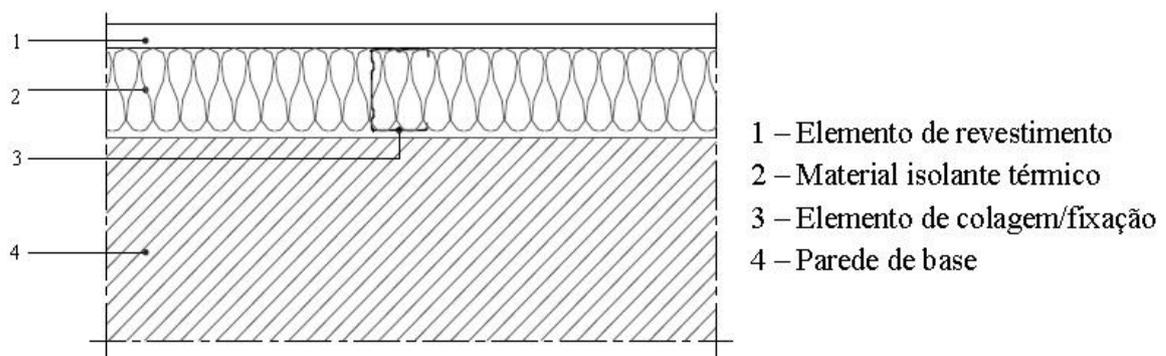


Figura 23 - Representação da constituição da solução de reabilitação através do sistema autoportante Fonte: Ferreira, 2006

Para este tipo de sistema, o material de isolamento térmico geralmente utilizado, são os painéis de lã mineral (lã de rocha ou lã de vidro), podendo também ser utilizados outros tipos de isolamento, desde que seja garantida a sua continuidade de forma a evitar o surgimento de pontes térmicas. A fixação do elemento de revestimento (placas de gesso cartonado) aos montantes poderá ser efetuada através de parafusos “placa-metal”, cujo comprimento corresponde à espessura da placa acrescida de 10 milímetros (Ferreira, 2006).

O processo de montagem deste tipo de sistema, pode ser separado nas seguintes etapas (Ferreira, 2006):

- **Fixação dos elementos horizontais** da estrutura de suporte nas lajes de pavimento (guia inferior) e de teto (guia superior);

- **Encaixe dos elementos verticais** da estrutura de suporte (montantes) nas guias inferior e superior;
- Aplicação do material de **isolamento térmico**;
- Fixação do elemento de **revestimento**.

A estrutura de suporte utilizada neste tipo de sistema, é constituída por perfis metálicos, distinguindo-se os verticais dos horizontais pela forma da sua secção, sendo estes em C e em U, respetivamente. De forma a não serem colocados os perfis errados, é possível fazer a sua distinção através do picotado existente nos banzos dos montantes e que se destina ao aparafusamento do elemento de revestimento. Os perfis utilizados, possuem características bastante semelhantes aos perfis aplicados no sistema semi-direto, sendo fabricados em chapa fina de aço galvanizado (Ferreira, 2006).

Durante o processo de montagem, os montantes deverão encaixar nas guias sem a necessidades de uma fixação mecânica. Para tal, a largura nominal do montante deverá ser, cerca de 1 milímetro, inferior à largura da guia. Para a fixação das guias, é necessária a marcação da sua posição no pavimento e no teto, definindo assim os pontos de referência para que, aquando da colocação não existam erros de posicionamento. Pois, é através deste processo que é determinada a sua posição final. Antes do início do processo de fixação das guias às lajes de pavimento e tetos, deverá ser colocado na sua face inferior um material resiliente, de forma a absorver as deformações estruturais e incrementar o isolamento sonoro. As fixações, deverão então ser efetuadas através de parafusos e buchas ou de pistola e pinos de aço (Ferreira, 2006).

O processo de montagem dos montantes, é bastante semelhante ao processo efetuado para a montagem das guias. Variando apenas a sua aplicação no caso de montantes de arranque (perimetrais) ou de montantes intermédios (modulação do sistema). Os primeiros, devem ser fixados mecanicamente a um elemento construtivo de suporte e às duas guias. Estes perfis devem ser contínuos ao longo de toda a altura do compartimento e possuir um material resiliente aderido, tal como as guias (Ferreira, 2006).

4.2.2 Contra-fachada

Esta solução consiste na execução de uma contra-fachada no lado interior da parede a reabilitar. Existindo duas soluções muito aplicadas no mercado, a construção de um pano de alvenaria leve (contra-fachada de alvenaria) e um forro de placas de gesso cartonado com a respetiva estrutura de apoio fixada à parede, em que o isolante térmico é aplicado desligado da placa de gesso cartonado (contra-fachada de gesso cartonado). Em ambos os casos, é recomendada a existência de uma caixa-de-ar entre a parede existente e o isolamento térmico colocado na execução da contra-fachada, assim, são prevenidos os acessos da água da chuva ao isolamento, evitando o seu dano (Ferreira, 2006; Paiva, Aguiar and Pinho, 2006).

4.2.2.1 Contra-fachada em gesso cartonado

Apesar de ambas as soluções de contra-fachada terem impacto na área útil dos compartimentos, a opção de contra-fachada em gesso cartonado é preferível à de alvenaria, uma vez que, a sua influência na redução do espaço interior e da funcionalidade do espaço, é menor relativamente à de alvenaria (Paiva, Aguiar and Pinho, 2006). Observando-se na Figura 24 a representação deste sistema.

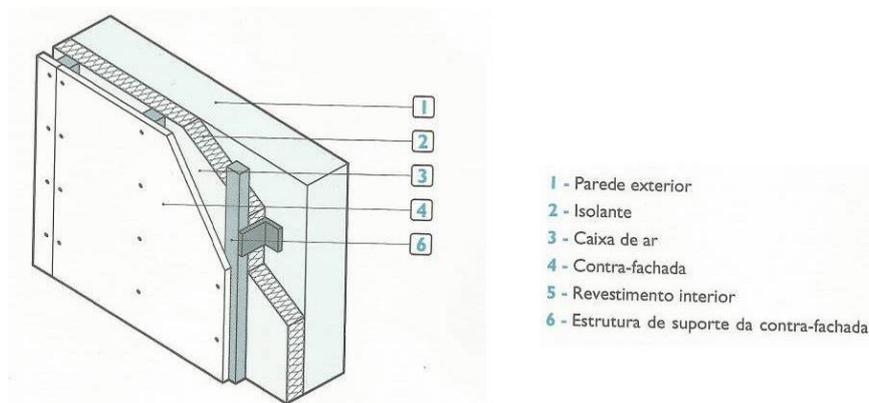


Figura 24 - Representação da constituição da solução de reabilitação de contra-fachada em gesso cartonado Fonte: Paiva, Aguiar and Pinho, 2006

Para a execução de uma contra-fachada em gesso cartonado, com colocação de isolante térmico na caixa-de-ar, é necessário seguir uma sequência de operações, como descreve (Paiva, Aguiar and Pinho, 2006):

- **Colagem de placas de material de isolamento térmico** contra o paramento interior da parede;
- **Fixação à parede exterior de uma estrutura de suporte**, podendo esta ser em madeira ou metálica. Devendo, no caso da utilização de madeira, se proceder à sua proteção através de tratamento apropriado;
- **Fixação das placas de gesso cartonado à estrutura**, através de aparafusamento;
- **Refechamento das juntas entre placas** através da aplicação de bandas cobre-juntas e posterior aplicação de gesso e pintura de todo o paramento interior.

4.2.2.2 Contra-fachada em alvenaria

Para a execução de uma contra-fachada em alvenaria, com colocação de isolamento térmico na caixa-de-ar, segundo (Paiva, Aguiar and Pinho, 2006) e como se observa na Figura 25, é necessário seguir o seguinte conjunto de procedimentos:

- **Colagem de placas de isolamento térmico** no paramento interior da parede existente;
- **Execução de um pano interior de alvenaria de tijolo furado**, afastado das placas de isolamento cerca de 30 milímetros de forma a criar uma caixa-de-ar;
- **Aplicação no paramento interior (do novo pano) de um revestimento** tradicional de ligantes hidráulicos e pintura com tinta de emulsão aquosa não texturada com base em polímeros sintéticos.

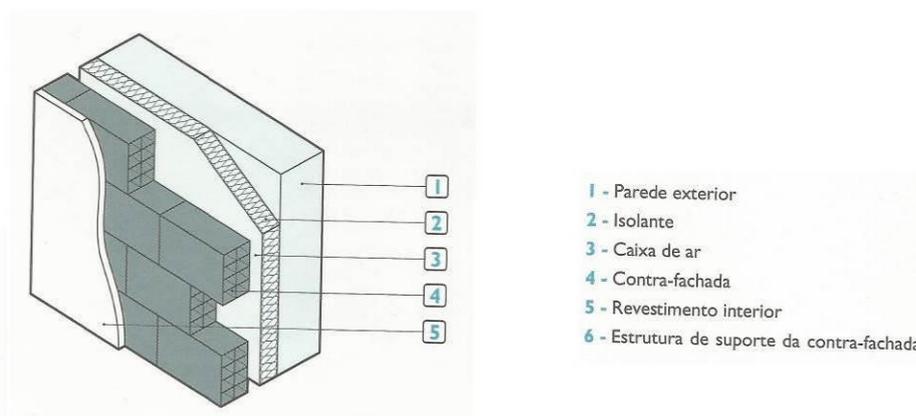


Figura 25 - Representação da constituição da solução de reabilitação de contra-fachada em alvenaria Fonte: Paiva, Aguiar and Pinho, 2006

O tijolo geralmente utilizado para este tipo de solução, é de formato 30x20x7. Na base da caixa-de-ar, deve ser criada uma caleira de forma a recolher eventuais águas de infiltração e

condensação, devendo esta possuir uma inclinação mínima de 2% e estar provida de sistema de drenagem para o exterior (Paiva, Aguiar and Pinho, 2006).

Em ambas as soluções de contra-fachada, os materiais de isolamento apropriados para a aplicação neste tipo de solução, encontram-se maioritariamente sob a forma de placas, podendo a sua origem ser sintética, como o poliestireno expandido, o poliestireno extrudido ou o poliuretano, vegetal, como o aglomerado negro de cortiça, ou mineral, como a lã de rocha. Podendo ainda ser aplicada espuma de poliuretano.

4.2.3 Vantagens da reabilitação da fachada com isolamento pelo interior

Apesar de não se encontrar entre as soluções mais utilizadas na reabilitação energética de fachadas, a reabilitação através da introdução de isolamento térmico pelo interior apresenta vantagens (Portal da Construção Sustentável, 2015):

- É **mais económico**, em alguns casos, que a aplicação de isolamento pelo exterior;
- Possibilita a **manutenção da aparência** da fachada;
- Maior **rapidez no aquecimento** da parede interna;
- Maior **facilidade na instalação e manutenção** relativamente à aplicação de isolamento pelo exterior.

4.2.4 Desvantagens da reabilitação da fachada com isolamento pelo interior

Mesmo apresentando algumas vantagens, é inevitável a existência de desvantagens, como as mencionadas por (Portal da Construção Sustentável, 2015):

- Necessidade de **avaliação cuidada** para as pontes térmicas;
- Necessidade de **fixações específicas** no caso de colocação junto a elementos pesados;
- Proporciona uma **redução do espaço interior** útil das habitações;
- Rodapés, sancas, aros de portas e janelas e apliques de parede, têm de ser **retirados**;
- O processo de execução é **incómodo para os ocupantes**.

4.3 Soluções de reabilitação energética para fachadas com isolamento pelo exterior

A reabilitação de fachadas através da aplicação de isolamento térmico no paramento exterior das paredes de fachada, é dos métodos mais utilizados quando é necessário intervir na fachada de um edifício. A sua eficiência e as numerosas vantagens que comporta, fazem deste método o mais utilizado neste setor de intervenções.

Apesar de possuir um valor mais elevado relativamente aos restantes, o seu desempenho leva a que os custos sejam retornados e haja uma menor quantidade de energia despendida para o aquecimento das habitações.

Para este tipo de reforço do isolamento, as soluções mais aplicadas são:

- Sistemas compósitos de isolamento térmico pelo exterior com aplicação de revestimento sobre o isolante – ETICS;
- Componentes prefabricados constituídos por um isolante e um paramento, fixados diretamente à parede – Painéis isolantes prefabricados (*Vêture*);
- Rebocos isolantes;
- Revestimentos independentes descontínuos com interposição de um isolante térmico na caixa-de-ar (fachada ventilada);
- Painéis de betão reforçados com fibras de vidro – GRC;
- Módulo de reabilitação prefabricado – MRP.

Seguidamente são apresentadas as soluções existentes, assim como a sua caracterização e constituição.

4.3.1 Sistemas compósitos de isolamento térmico pelo exterior com aplicação de revestimento sobre o isolante – ETICS

Atualmente bastante utilizados, os sistemas compósitos de isolamento térmico pelo exterior com aplicação de revestimento sobre o isolante, vulgarmente designados por ETICS (da denominação inglesa: *External Thermal Insulation Composite Systems*), tratam-se de um processo de reabilitação com aplicação de isolamento térmico em placas pelo exterior da

parede de fachada, com aplicação de um revestimento exterior contínuo armado, aplicado em obra e que confere proteção contra os agentes atmosféricos. A fixação das placas pode ser efetuada através de colagem, fixação mecânica ou por ambos os processos (ADENE *et al.*, 2004; Paiva, Aguiar and Pinho, 2006).

Este tipo de sistema pode ser dividido em dois subtipos, que se distinguem pela espessura do revestimento aplicado. Existem então, sistemas com revestimento espesso e com revestimento delgado, como serão apresentados seguidamente.

4.3.1.1 Revestimento espesso

Nos sistemas ETICS com revestimento espesso, são normalmente utilizadas placas de lã mineral ou de poliestireno expandido como material de isolamento térmico. Consistindo a sua camada de revestimento num ligante mineral armado com uma rede metálica ou de fibra de vidro protegida contra o ataque dos álcalis do cimento, como se pode verificar na Figura 26 (ADENE *et al.*, 2004; Paiva, Aguiar and Pinho, 2006).

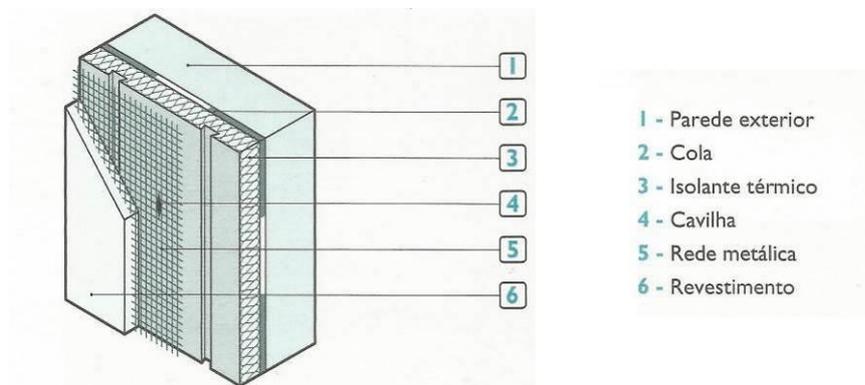


Figura 26 - Representação da constituição da solução de reabilitação pelo sistema ETICS com revestimento espesso Fonte: Paiva, Aguiar and Pinho, 2006

Uma vez que este subtipo de sistema não é muito utilizado em Portugal, não será descrito o seu método de aplicação.

4.3.1.2 Revestimento delgado

Nos sistemas com revestimento delgado, o mais utilizado, é geralmente utilizado como material de isolamento térmico, o poliestireno expandido em placa. Tratando-se o revestimento de um ligante sintético ou misto, armado com uma rede de fibra de vidro protegida contra o ataque dos álcalis do cimento, como se observa na Figura 27 (ADENE *et al.*, 2004; Paiva, Aguiar and Pinho, 2006).

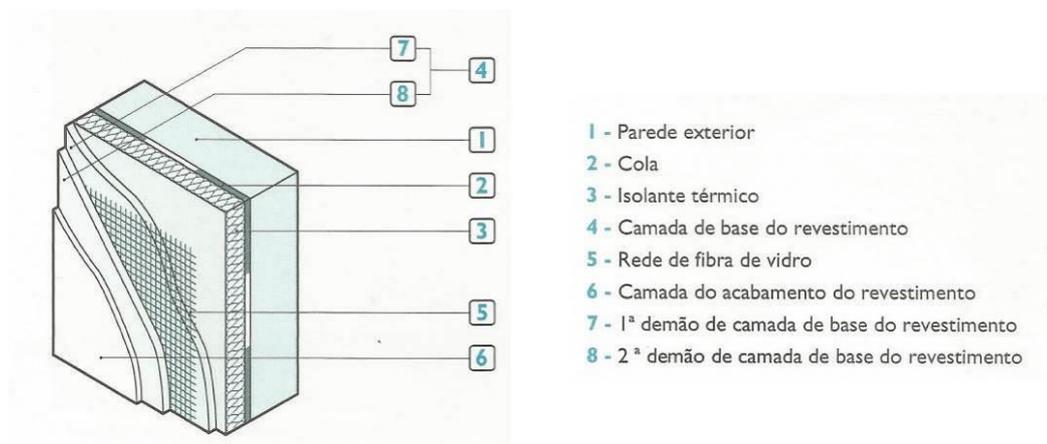


Figura 27 - Representação da constituição da solução de reabilitação pelo sistema ETICS com revestimento delgado Fonte: Paiva, Aguiar and Pinho, 2006

Em ambos os subtipos apresentados, podem também ser aplicados como material de isolamento térmico o poliestireno extrudido, a lã mineral, o aglomerado negro de cortiça e o poliisocianurato, todos eles em placas.

De forma a garantir a correta aplicação do sistema, é necessário proceder à correta e eficaz preparação do suporte onde será aplicado o sistema e dos trabalhos que se seguirão. Como tal, quando é selecionado este sistema como sendo o ideal para a reabilitação da fachada exterior do edifício, devem ser garantidas algumas condições cruciais de forma a que a sua durabilidade e desempenho não sejam comprometidas. A seleção do sistema deve então ser baseada em aspetos como o suporte a utilizar, a zona climática, a exposição da fachada, o tipo de acabamento que se pretende e a regulamentação de incêndio em vigor (Freitas, 2002).

Para ser possível iniciar a colocação do sistema ETICS, é primeiro necessário identificar todos os pontos singulares existentes na fachada. Como por exemplo a área de fachada a

revestir, tendo em conta a sua acessibilidade, as características do suporte, a dimensão e forma dos vãos e peitoris, existência de terraços, varandas e juntas de dilatação, entre outras (Freitas, 2002).

Uma vez que o estado de conservação do suporte comporta uma importância elevada na aplicação deste sistema, este deve ser avaliado e devidamente preparado, sendo exigidas algumas propriedades, como (Freitas, 2002):

- Garantir a **estabilidade** do suporte;
- Garantir o **tratamento das fissuras** existentes;
- No caso de **suportes de betão** com zonas que apresentem degradação por corrosão das armaduras, estes devem ser reparados com produtos compatíveis com a cola;
- Em **paredes de alvenaria** ou betão com reboco de ligantes hidráulicos nos quais tenha sido aplicado um produto hidrófugo de impregnação, estas devem ser lavadas com vapor ou jato de água;
- De forma a garantir a **aderência** da superfície, esta deve ser inspecionada;
- Todas as pinturas ou revestimentos orgânicos existentes devem ser **removidos por decapagem**;
- É possível a aplicação do sistema sobre **revestimentos cerâmicos**, mas apenas quando apresentem a aderência recomendada e se encontrem fixos;
- No final da preparação do suporte, deverá proceder-se sempre à execução de **ensaios de aderência**.

Para dar início à aplicação do sistema ETICS, é então necessário proceder-se à montagem dos seus perfis de arranque. Estes perfis são adaptados à espessura das placas de isolamento térmico e são colocados horizontalmente no limite inferior da superfície a revestir, de forma a limitar o sistema. A sua fixação ao suporte poderá ser efetuada com parafusos em aço inoxidável, buchas e, eventualmente, cunhas no caso de existirem irregularidades. Normalmente comercializados com um comprimento de 2.5 metros, o espaçamento máximo entre fixações deverá ser de 30 centímetros, existindo um parafuso de fixação a não mais de 5 centímetros de cada extremidade, como representado na Figura 28 (Neto, 2012).

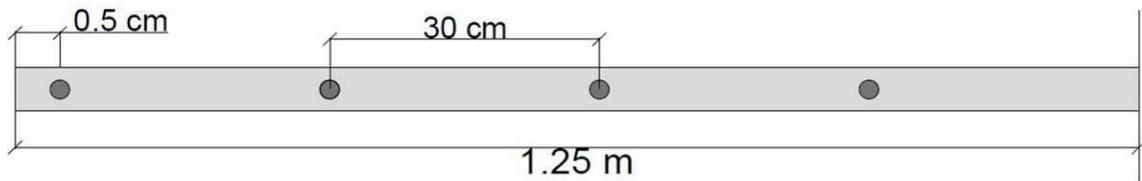


Figura 28 - Esquema de fixação dos perfis de arranque

Pela sua importância na execução e funcionamento do sistema e pelas suas especificidades, a preparação do produto de colagem não deve ser descuidada. Devem por isso ser seguidas todas as indicações e dosagens definidas pelo fabricante. A mistura dos componentes deverá ser realizada através de um dispositivo mecânico, podendo a distribuição da cola pelas placas ser efetuada de três modos, também representados na Figura 29 (Freitas, 2002):

1. **Colagem contínua com talocha dentada:** a cola é colocada sobre toda a superfície da placa com recurso a uma talocha dentada, devendo deixar livre uma faixa de 2 centímetros ao longo do contorno da placa, de forma a que a cola não preencha as juntas entre placas.
2. **Colagem parcial por pontos:** a aplicação da cola é feita através de pontos regulares de dimensões semelhantes ao longo da superfície da placa, com uma razão de 16 pontos por cada 1 m^2 . Considerando uma placa com as dimensões 1 por 0.5 metros, deverão ser aplicados entre 8 a 10 pontos de cola. Mais uma vez a cola não deve preencher as juntas entre as placas.
3. **Colagem parcial por bandas:** a colocação da cola é feita através de uma banda de espessura regular em todo o contorno da placa e a pelo menos 2 centímetros dos bordos, sendo colocadas também duas faixas cruzadas no centro da mesma. As bandas colocadas não deverão ser contínuas, de forma a evitar o efeito de ventosa aquando da fixação da placa ao suporte.

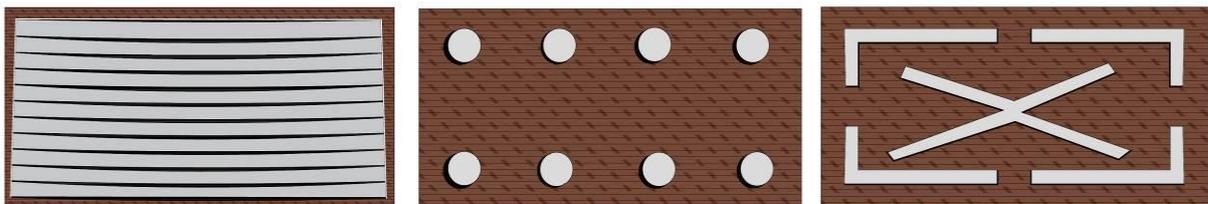


Figura 29 - Esquemas de colagem do isolamento térmico no sistema ETICS

Como se pode observar na Figura 30, a montagem das placas de isolamento deve ser iniciada no perfil de arranque, garantindo assim o nivelamento horizontal do sistema, e colocando a fiada seguinte apoiada na anterior. A aplicação é feita de baixo para cima, de topo a topo das placas. As juntas do sistema devem ser desencontradas, tanto entre as próprias placas como entre as placas da primeira fiada e o perfil de arranque. Nos cantos, os topos das placas também deverão ser alternados de forma a melhorar o travamento do sistema (Freitas, 2002; Neto, 2012).

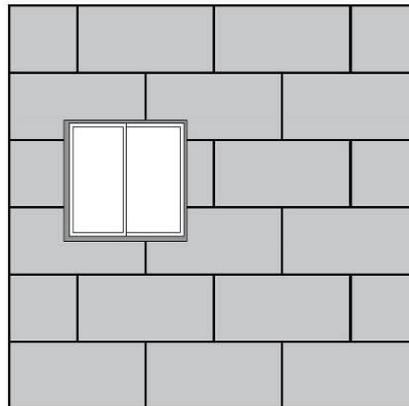


Figura 30 - Esquema de colocação das placas de isolamento para desencontro das juntas

A colocação das placas deve ser feita logo após a distribuição da cola pela superfície da mesma, sendo aplicada contra o suporte e comprimida, esmagando o ligante e ajustando os contornos e planimetria superficial com as placas adjacentes, não permitindo assim folgas ou desalinhamentos. Este processo deve ser auxiliado por uma talocha de madeira ou um martelo de borracha e nunca as mãos. A verificação da verticalidade e o ajustamento de cada placa em relação às adjacentes deve ser permanente e assistido por uma régua de 2 metros e um nível de bolha de ar (Freitas, 2002).

Quando em reabilitações, a utilização de fixações mecânicas torna-se de elevada importância devido à possível falta de adesão do ligante ao suporte e da facilidade de aplicação em relação aos trabalhos preparatórios para a colagem. Geralmente são utilizadas nas fixações buchas em plástico de cabeça circular, com, pelo menos, 50 milímetros de diâmetro, e um prego ou parafuso metálico no seu interior. Aquando da aplicação das fixações, o ligante não deverá estar completamente seco para, caso necessário, permitir o ajustamento das placas. Quando colocadas, as cabeças circulares deverão ser pressionadas contra a placa de forma a não criar saliências no seu plano. As saliências criadas por este processo deverão ser preenchidas pelo

produto a utilizar na camada de base. Devido a quantidade de fixações variar conforme a exposição da fachada ao vento e junto às esquinas, como representado na Figura 31 (Freitas, 2002).

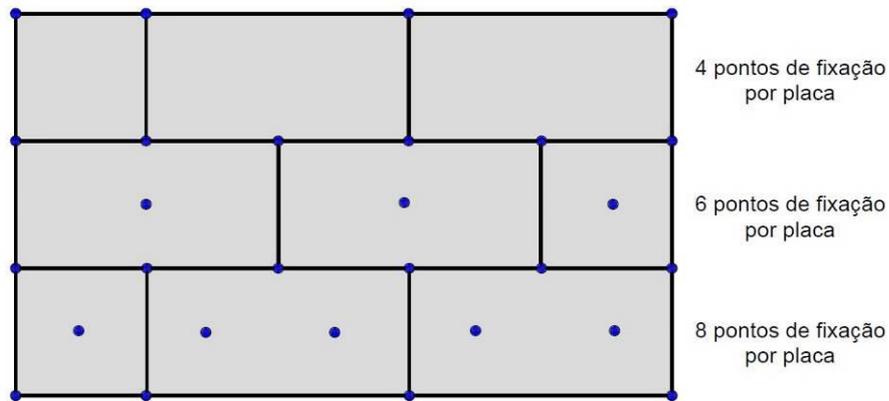


Figura 31 - Esquema dos pontos de fixação por placa conforme as necessidades do local

Nas zonas de aberturas de vãos, deverá ser aplicado um reforço adicional em armadura reforçada de fibra de vidro, colando retângulos de rede posicionados a 45° em relação ao contorno do vão, como representado na Figura 32. Sobrepondo-se a este reforço um outro, em que deverá também ser aplicada armadura de fibra de vidro nas arestas formadas pelo vão de forma a dobrar para o interior do mesmo, até alcançar a caixilharia. Este reforço deverá também ser aplicado nos ângulos formados pelo paramento. A sua colagem deve ser feita através de uma argamassa com características semelhantes à camada de base (Freitas, 2002; Neto, 2012).

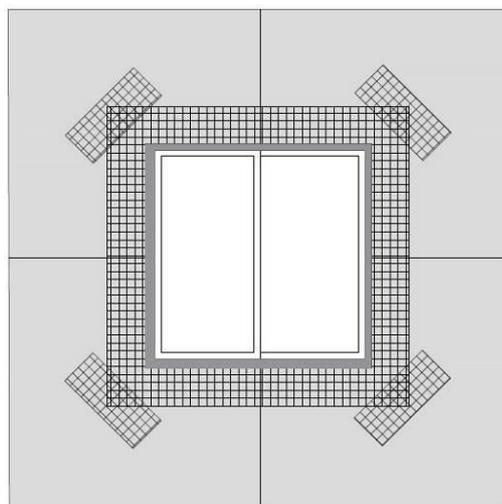


Figura 32 - Esquema de reforço da armadura e pontos singulares

A aplicação da camada de base deverá ser realizada logo após a secagem da cola de fixação do isolamento térmico ao suporte (cerca de 24 horas). Pretende-se com isto proteger a superfície das placas da deterioração por exposição ambiental. A constituição da camada de base deverá variar conforme a exposição do paramento a choques, podendo ser utilizadas uma ou duas armaduras normais, ou ainda, uma armadura normal e uma armadura reforçada. Nas zonas de pontos singulares, deverá ser aplicada armadura normal com armadura reforçada (Freitas, 2002; Neto, 2012).

Na aplicação da camada de base, logo após a colocação da primeira camada, diretamente sobre as placas de isolamento e os elementos de reforço, com uma espessura média de 4 milímetros, é colocada a armadura de reforço normal com o auxílio de uma talocha. Nas zonas de emenda de armaduras, deve ser feita uma sobreposição de, pelo menos, 10 centímetros. Nunca se devendo aplicar a armadura diretamente sobre as placas de isolamento (Freitas, 2002; Neto, 2012).

Após terminada a secagem da camada de base, no mínimo 24 horas, deve ser aplicado um primário com rolo ou trincha. Esta pintura é opaca e à base de copolímeros sintéticos em emulsão betuminosa, devendo ser compatível com a alcalinidade da camada anterior. Para o acabamento final, aplicado sobre a camada de primário, são normalmente utilizados revestimentos com base de polímeros sintéticos em emulsão aquosa com cargas minerais, pigmentos orgânicos e/ou inorgânicos e aditivos. Caso não exista primário, é aplicada diretamente sobre a camada de base. Em ambos os casos devem ser seguidas as indicações do fabricante (Freitas, 2002).

4.3.2 Componentes prefabricados constituídos por um isolante e um paramento, fixados diretamente à parede – Painéis isolantes prefabricados (*Vêture*)

Os sistemas de isolamento térmico por componentes descontínuos prefabricados, são obtidos através de elementos previamente produzidos em fábrica e constituídos por um material isolante em placa, revestido exteriormente por uma película de natureza metálica, mineral ou orgânica, como se pode observar nas Figuras 33 e 34 (Macedo and Mateus, 2012).

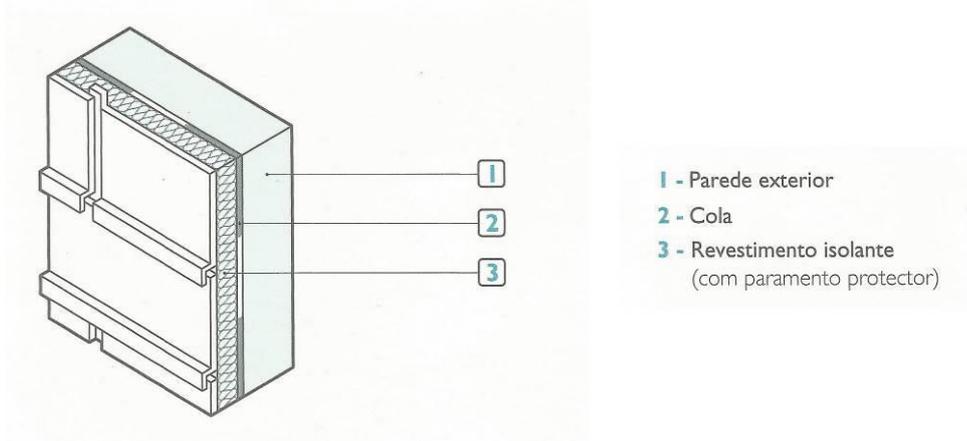


Figura 33 - Representação da constituição da solução de reabilitação pela aplicação de *vêtures* Fonte: Paiva, Aguiar and Pinho, 2006

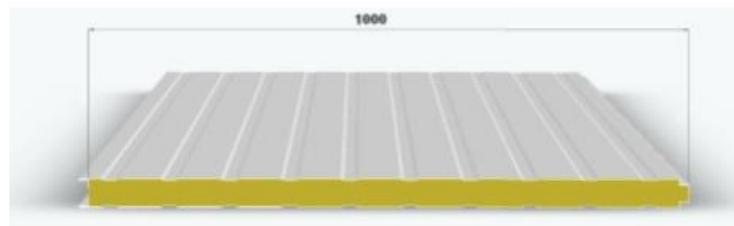


Figura 34 – Painel *Vêture*

Os elementos que compõem este sistema, chegam à obra prontos a aplicar, sendo a sua fixação efetuada diretamente aos suportes por meios mecânicos. Assim, uma vez que os seus componentes são prefabricados, a aplicação torna-se mais fácil e rápida e pode ser efetuada numa única operação. Apesar de já se considerar um sistema industrializado de natureza repetitiva, ainda se encontram algumas dificuldades, nomeadamente na sua aplicação em pontos singulares. A necessidade de efetuar cortes nos elementos do sistema e à necessidade de tratamento das zonas cortadas (Jardim, 2009; Silva, 2012).

Os dispositivos de fixação do sistema ao suporte, devem atravessar toda a espessura do painel (revestimento e isolamento), de forma a manter a solidarização de todos os seus componentes. Este sistema não inclui a existência de uma caixa-de-ar entre o isolamento e o revestimento, pelo que compete ao revestimento, além das funções térmicas, suportar o revestimento e auxiliar na estanquidade do conjunto. Assim, o material de isolamento térmico a aplicar deverá possuir características mecânicas e hidrófugas (Jardim, 2009; Silva, 2012).

Além da adaptação do sistema aos pontos singulares, existem outras problemáticas a ter em atenção, sendo elas, a configuração das juntas entre elementos e a limitação do risco de condensações no interior do isolante. Quanto às juntas, devem ser adotadas disposições que as tornem suficientemente estanques e que permitam a movimentação entre elementos, seja por ajustamento da posição dos painéis ou por variações da dimensão por ação da temperatura. Geralmente, as juntas horizontais são de recobrimento, e por isso, estanques à entrada de água. Já as verticais, são concebidas de forma a que a água que as atinge ou a humidade de condensação sejam conduzidas para o exterior (Jardim, 2009; Silva, 2012).

Quanto à forma, existem duas tipologias comercializadas, elementos de reduzidas dimensões faciais (elementos em escama) ou elementos com uma dimensão facial muito superior à outra (elementos em lâmina) (Silva, 2012).

A aplicação destes sistemas exige suportes planos, pelo que, caso necessário, deverá ser efetuada uma regularização prévia da superfície. Em sistemas com elementos em escama, a sua aplicação pode ser feita de baixo para cima ou ao contrário. Em sistemas com elementos em lâmina, a aplicação é, normalmente, feita de baixo para cima (Silva, 2012).

Os materiais de isolamento térmico possíveis de aplicar neste tipo de solução, dependem essencialmente do seu fabricante, mas, geralmente, os materiais utilizados são o poliestireno expandido, o poliuretano e a lã mineral.

4.3.3 Rebocos isolantes

A aplicação de rebocos isolantes como solução para a reabilitação de paredes de fachada de edifícios, consiste na aplicação de um revestimento constituído por argamassas que incorporam grânulos de pequeno diâmetro de um material de isolamento térmico, como se pode observar na Figura 35, reduzindo assim a sua condutibilidade térmica relativamente às argamassas de reboco tradicionais (Paiva, Aguiar and Pinho, 2006).



Figura 35 - Aplicação de reboco isolante

Os isolantes térmicos mais utilizados para a incorporação em rebocos isolantes, podem ser de origem sintética, como o poliestireno expandido, vegetal, como o aglomerado negro de cortiça, ou mineral, como a vermiculite expandida, a argila expandida ou as fibras de lã de rocha.

Geralmente, esta solução é menos eficiente (cerca de 2 a 3 vezes menos) que as restantes soluções de reabilitação, e embora seja de fácil aplicação, pode por si só não ser suficiente para garantir os níveis de isolamento adequados e exigidos para paredes reabilitadas. Assim, na maior dos casos, a aplicação desta solução não dispensa a aplicação de outras medidas em simultâneo. Levando este facto, a que os rebocos isolantes sejam considerados apenas como soluções de complemento do isolamento térmico (Paiva, Aguiar and Pinho, 2006).

4.3.4 Revestimentos independentes descontínuos com interposição de um isolante térmico na caixa-de-ar (fachada ventilada)

A solução de revestimentos independentes descontínuos com interposição de um material isolante na caixa-de-ar, vulgarmente designada como fachada ventilada, consiste na colocação de uma camada de isolamento térmico, fixada diretamente ao suporte (parede) através de uma estrutura metálica ou de madeira, formada por montantes ou travessas e que protege o isolamento térmico da ação da chuva. Nesta estrutura, é aplicado um revestimento independente exterior, constituído por elementos descontínuos e que protege o isolamento da ação da chuva, assegurando assim uma maior durabilidade dos elementos constituintes do sistema. Entre o material de isolamento e o revestimento, é formada uma caixa-de-ar, que tem

como função ventilar o espaço, contribuindo para a remoção da humidade existente no local (Mateus and Bragança, 2006; Paiva, Aguiar and Pinho, 2006).

Entende-se então por fachada ventilada, um sistema aplicado no paramento exterior da parede de fachada dos edifícios e que possui na sua composição um revestimento, uma caixa-de-ar, um material de isolamento térmico, um suporte e uma estrutura intermédia, como se pode observar na Figura 36.

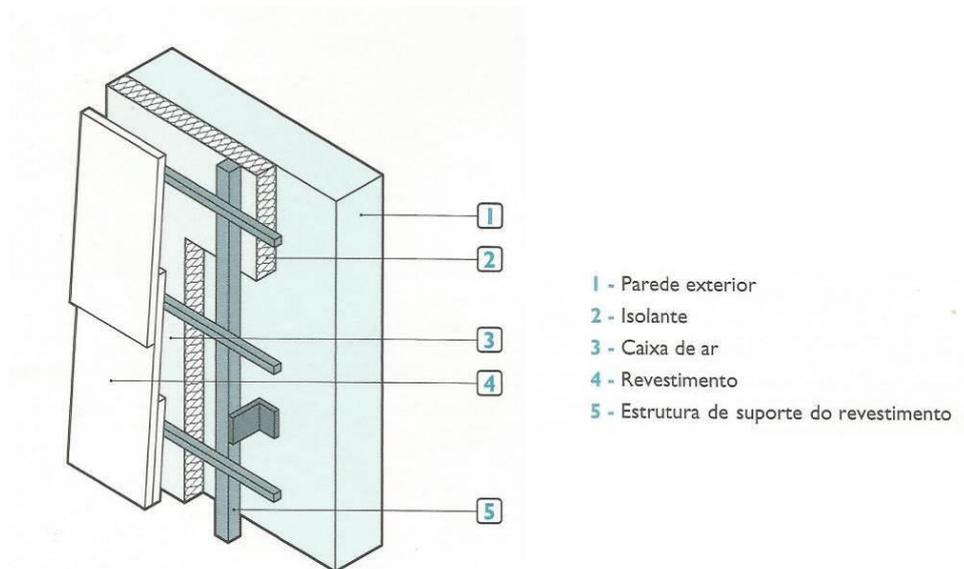


Figura 36 - Representação da constituição da solução de reabilitação por fachada ventilada

Fonte: Paiva, Aguiar and Pinho, 2006

O funcionamento deste sistema, provoca o efeito chaminé, representado na Figura 37, ou seja, a caixa-de-ar é dimensionada de forma a permitir a remoção do ar quente na zona inferior, permitindo uma ventilação natural e contínua (Silva, 2012; Maia, 2013).

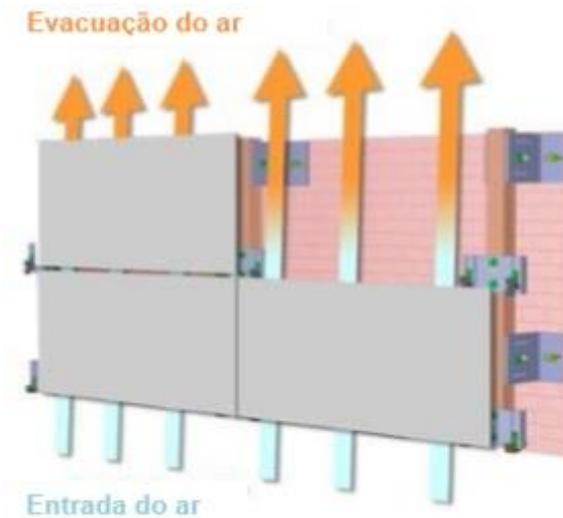


Figura 37 - Funcionamento da fachada ventilada Fonte: Silva, 2012

O revestimento exterior deste sistema, possui funções estéticas e protetoras, sendo constituído por placas de dimensões faciais variáveis, podendo a sua espessura variar conforme o tipo de fixação exigida pelo tipo de revestimento. Assim, as placas de revestimento, podem ser revestidas através dos mais variados materiais, como a pedra natural, ladrilhos cerâmicos, grés porcelânico, alumínio composto, compostos fenólicos, betão polimérico, betão reforçado com fibras de vidro, painéis aglomerados de madeira, vidro, plástico ou painéis fotovoltaicos (Ribeiro, 2010; Sousa, 2010; Silva, 2012).

Para a aplicação de um sistema de fachada ventilada, é recomendável que o suporte possua uma espessura mínima de 20 centímetros, de forma a garantir um bom desempenho do sistema relativamente às solicitações a que a parede estará sujeita. Assim, é através dos elementos de fixação que a transferência de solicitações para o suporte é efetuada. Podendo estas fixações ser pontuais ou contínuas, e com acoplamento oculto ou visível (Silva, 2012). Através do Quadro 33, é possível verificar o grau de confiança demonstrado por cada suporte para a sua utilização como base para ancoragem de fachadas ventiladas.

Quadro 33 - Grau de confiança de cada material suporte para aplicação de uma fachada ventilada Fonte: Ribeiro, 2010

Natureza do suporte	Grau de confiança
Betão	Excelente
Tijolo maciço	Muito bom
Tijolo perfurado Blocos de argamassa de cimento com septos de 3 cm Tijolo cerâmico com pequenas células	Bom
Tijolo cerâmico vazado	Inaceitável (quando utilizado sem reforços, por exemplo cintas)
Nota: no dimensionamento das ancoragens deverá ter-se em conta, para além da resistência do material, a situação das juntas e bordo da alvenaria.	

Este sistema de fachada pode ser fixado direta ou indiretamente ao suporte. Assim, são considerados como elementos de fixação direta (ou pontual), os que estabelecem uma ligação direta entre o suporte e o revestimento, não necessitando da introdução de estruturas intermédias. O que implica a necessidade de resistência para a inclusão das fixações ao longo de todo o suporte. Este tipo de fixação é, normalmente, utilizado na fixação de elementos de reduzidas dimensões e pode ser mecânica ou de chumbar, o que implica a compatibilidade entre os elementos de fixação e o suporte. Dos tipos de fixação pontual mecânica disponíveis no mercado, os mais utilizados são os grampos mecânicos e os grampos reforçados, como representado na Figura 38. Das fixações com selagem, os grampos de chumbar são os mais utilizados, apesar da sua execução complexa (Ribeiro, 2010; Sousa, 2010; Silva, 2012).

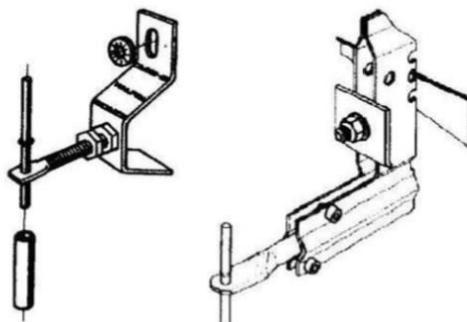


Figura 38 - Grampos de fixação dos painéis da fachada ao suporte Fonte: Ribeiro, 2010

Já a fixação indireta (ou contínua), pode ser definida como um dispositivo composto por uma estrutura intermédia entre o suporte e o revestimento e pelos restantes componentes que permitem a sua aplicação sobre o suporte, bem como a aplicação do revestimento sobre a estrutura intermédia. Podendo esta ser realizada em madeira (devendo ser devidamente protegida) ou em metal, sendo normalmente utilizada uma estrutura em alumínio pela sua leveza, resistência e durabilidade. A sua constituição, consiste em elementos paralelos entre si, na horizontal ou na vertical (estrutura intermédia simples), como representado na Figura 39. Ou em ambos os sentidos (estrutura intermédia dupla), como se observa na Figura 40 (Ribeiro, 2010; Sousa, 2010; Silva, 2012).

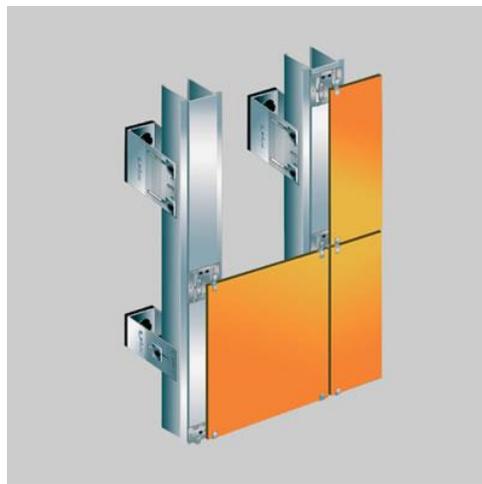


Figura 39 - Estrutura intermédia simples Fonte: Ribeiro, 2010

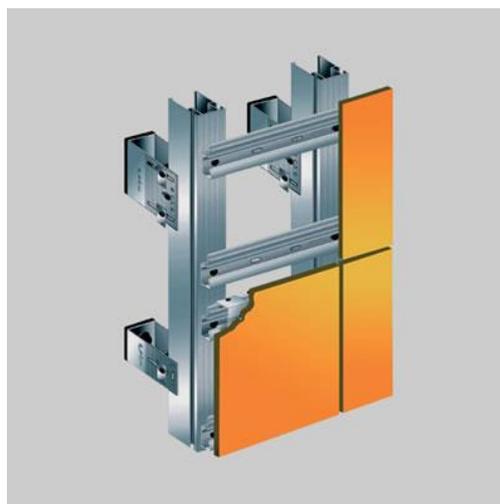


Figura 40 - Estrutura intermédia dupla Fonte: Ribeiro, 2010

A fixação da estrutura intermédia ao suporte, poderá ser efetuada de três modos (Ribeiro, 2010; Sousa, 2010):

- **Solidária**, quando parcialmente introduzida no suporte. Utilizada em revestimentos de chapa metálica ou plástico;
- **Direta**, quando em contacto superficial com o paramento de suporte. Não permite a aplicação continua do isolamento térmico;
- **Indireta**, quando contacta com o suporte apenas pontualmente através de espaçadores. Permite a aplicação continua do isolamento térmico.

Relativamente à fixação do revestimento à estrutura intermédia, esta pode ser efetuada através de elementos visíveis ou ocultos. No caso de elementos visíveis, podem aplicados parafusos, rebites, agrafos ou clips metálicos, sendo geralmente aplicados a revestimentos cerâmicos, peças de pedra natural delgada, laminadas ou placas de alumínio. Já quando se trata de elementos ocultos, são aplicados grampos mecânicos, implantes no tardo do revestimento ou na sua espessura se esta for suficiente. Este tipo de elemento é aplicado a revestimentos de pedra natural, painéis cerâmicos e elementos de grande calibre (Ribeiro, 2010; Sousa, 2010; Silva, 2012).

Os materiais de isolamento térmico com propriedades para aplicação neste tipo de solução, podem ser o poliestireno expandido, o poliestireno extrudido, o aglomerado negro de cortiça, a lã de rocha e a lã mineral ou vidro celular, todos eles em placa. Já para isolamentos aplicados *in situ* por projeção, podem ser utilizada a espuma rígida de poliuretano (Mendes, 2009).

4.3.5 Painéis de betão reforçados com fibras de vidro – GRC

Os painéis de betão reforçados com fibra de vidro, consistem num painel duplo ventilado, do tipo “sanduiche”. Este painel é constituído por duas lâminas de G.F.R.C. (do inglês: *Glass Fiber Reinforced Concrete*) e possui um núcleo de lã de vidro, como se pode observar na Figura 41. O funcionamento do conjunto é assegurado através da colagem do isolante térmico ao G.F.R.C. e por intermédio de pinos plásticos, que possuem a capacidade de transmissão de esforços. Após concluído, este painel apresenta um peso de cerca de 70 kg/m² (Pavicentro, 2016).

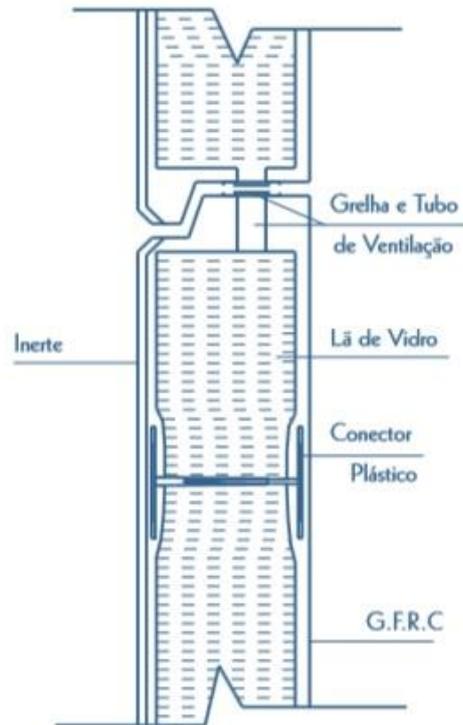


Figura 41 - Representação da constituição dos painéis de GRC Fonte: Pavicentro, 2016

A ventilação dos painéis é assegurada pela presença de orifícios nos seus bordos e pela existência de canais resultantes da estrutura da lã de vidro. Evitando assim o risco de condensações no interior dos painéis e de tensões provocadas pelo diferencial térmico entre as faces interna e externa. Pelo seu peso reduzido, estes painéis são fáceis de transportar e montar, o que leva a uma redução dos prazos em obra e conseqüentemente, a uma redução dos custos inerentes (Pavicentro, 2016).

O material aplicado no revestimento destes painéis, o G.F.R.C., composto de betão reforçado com fibras de vidro, consiste num composto de cimento Portland de alta resistência, areia siliciosa, água, adjuvantes e fibras de vidro alcali-resistentes que são dispersas no produto. Quanto ao acabamento, existem inúmeras possibilidades, podendo apresentar coloração com pigmentos, revestimento com inertes, baixos relevos, revestimentos cerâmicos, pinturas, entre outros. Uma vez que se trata de um painel prefabricado, qualquer que seja o acabamento selecionado, este será aplicado em fábrica, estando pronto a ser colocado aquando da sua chegada à obra (Pavicentro, 2016).

Segundo (Pavicentro, 2016), os painéis ventilados em G.F.R.C. podem ser executados através de dois processos:

- **Método de projeção**, em que a matriz cimentícia é projetada com uma pistola, equipada com um tambor rotativo, movido a ar comprimido que corta as fibras de vidro e as integra em simultâneo na matriz;
- **Método Premix**, em que a fibra é incorporada na matriz cimentícia antes de se proceder à projeção.

Estes painéis possuem um excelente desempenho térmico, o que se deve à incorporação de lã de vidro na sua camada intermédia. Tal como em outras soluções, uma vez que se trata de um prefabricado, o seu isolamento térmico deverá variar com o seu fornecedor.

4.3.6 Módulo de reabilitação prefabricado – MRP

Da autoria de Pedro Silva, o Módulo de Reabilitação Prefabricado (MRP), foi desenvolvido na Universidade do Minho em parceria com a empresa DST, S.A.. Com este módulo pretendeu-se aumentar a eficiência energética dos edifícios através da sua constituição, que é, na sua maioria material isolante. Com o seu design, é possível integrar tubagens novas ou existentes no seu interior, o que se torna uma mais valia para o edifício a nível estético e funcional (Almeida and Silva, 2012).

O desenvolvimento dos módulos MRP, teve como base o sistema tradicional de revestimento descontínuo prefabricado. Sendo estes módulos, no entanto, alvo de melhorias e mais avançados, uma vez que permitem a integração de tubagens pelo seu interior. De forma a facilitar o seu transporte e aplicação, a dimensão dos módulos é de 1 metro de altura por 1 metro de largura e o seu peso é de 12 kg/m². Na sua composição, estes módulos integram vários materiais de isolamento e o seu acabamento exterior é executado através de compósito de alumínio, alcançando assim uma espessura total de 18 centímetros, como se pode verificar na Figura 42. A ligação entre os componentes do módulo, é feita através de colagem, uma vez que este método permite uma distribuição uniforme das cargas aplicadas (Almeida and Silva, 2012; Silva *et al.*, 2012).

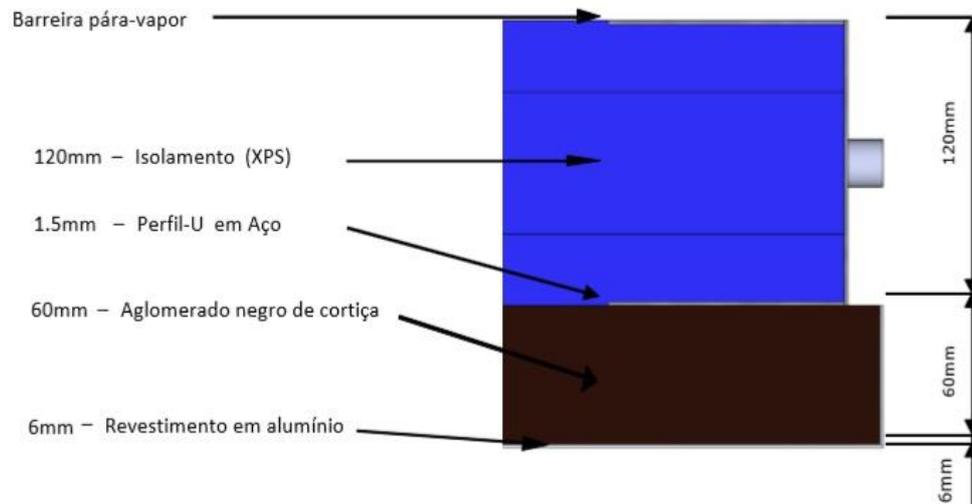


Figura 42 - Constituição dos módulos de reabilitação prefabricados Fonte: P. Silva, 2013

Na constituição do módulo, é possível detetar um perfil de aço em U. Este perfil possui na sua constituição vários rasgos e saliências, permitindo assim o seu encaixe numa estrutura de suporte. Uma vez que é permitida a passagem de tubagens através dos perfis, é possível observar na Figura 43 que existem três soluções distintas, cada uma para (Silva *et al.*, 2012):

- Zonas correntes da envolvente (módulo base);
- Zona com tubagens existentes ou passagem de cablagens;
- Zona para aplicação de novas tubagens.

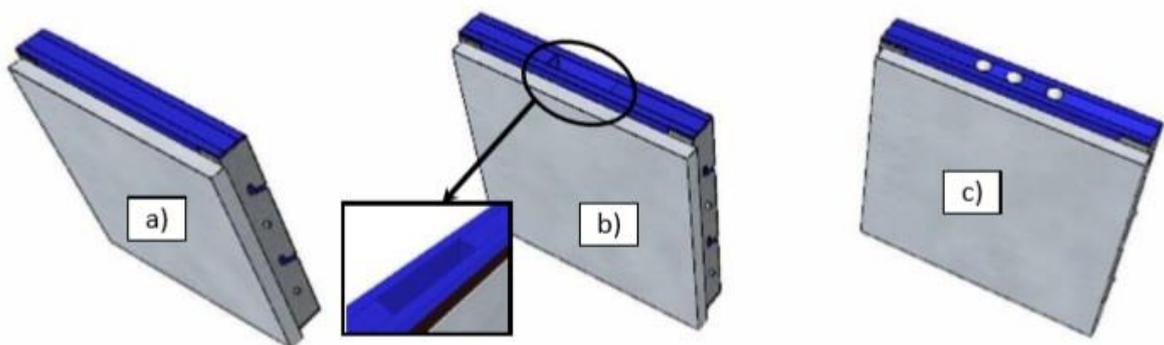


Figura 43 - a) módulo para zonas correntes; b) módulo para zonas com tubagens ou passagem de cablagens; c) módulo para zonas de aplicação de tubagens novas Fonte: P. Silva, 2013

Por se tratar de módulos prefabricados e os materiais de isolamento finais já terem sido alvo de um processo de otimização, neste sistema, os materiais isolantes são apenas o aglomerado negro de cortiça e o poliestireno extrudido.

A ligação entre o painel e o edifício é realizada através de uma subestrutura de suporte metálica que depois de fixada no paramento exterior do edifício permite o encaixe e colocação do módulo, como é possível observar na Figura 44. Esta subestrutura consiste numa chapa de aço em T com 1.5 milímetros de espessura, sendo ligada ao suporte através de parafusos.

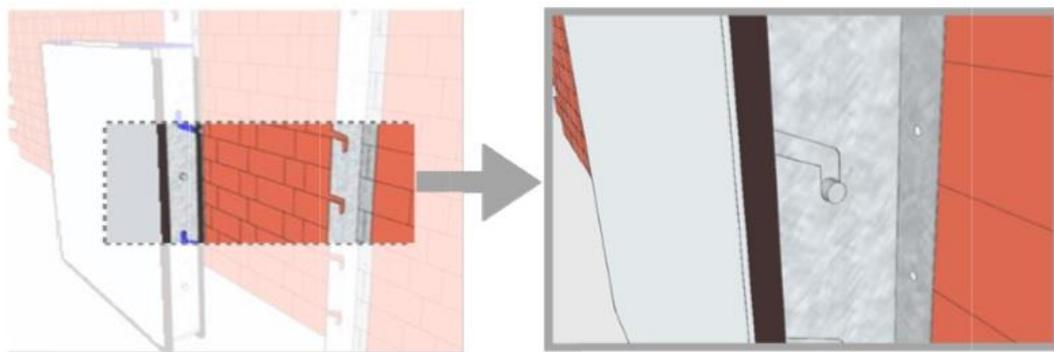


Figura 44 - Estrutura de suporte para colocação dos módulos de reabilitação Fonte: P. Silva, 2013

De forma a reduzir as pontes térmicas entre módulos, os painéis foram otimizados, foi criado um desfasamento de 15 milímetros entre o revestimento exterior e o isolamento exterior, como se pode observar na Figura 45 (Almeida and Silva, 2012; Silva *et al.*, 2012).

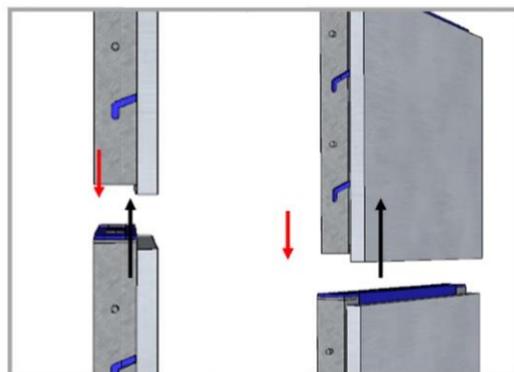


Figura 45 - Otimização da zona de encaixe entre módulos Fonte: Almeida and Silva, 2012

Devido ao sistema de encaixe existente, os módulos devem ser colocados da direita para a esquerda com início na base da fachada. Em zonas de peitoris e ombreiras, o módulo deve ser cortado e colocada uma chapa de alumínio igual ao revestimento exterior, como representado na Figura 46. A ligação entre o módulo e o elemento em causa deverá ser efetuada com recurso a uma argamassa própria para o efeito (Almeida and Silva, 2012).

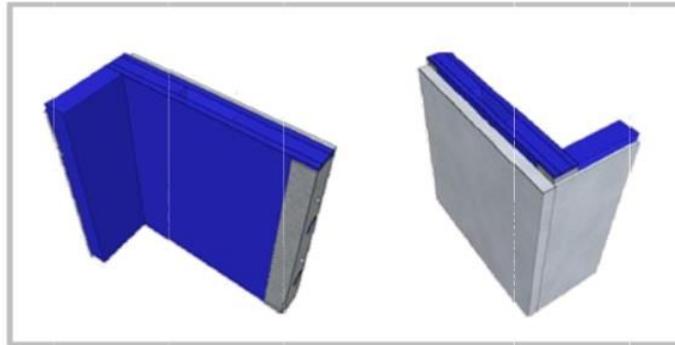


Figura 46 - Painéis de remate para portas e janelas Fonte: Almeida and Silva, 2012

4.3.7 Vantagens da reabilitação da fachada com isolamento pelo exterior

Considerado como o método de reabilitação mais vantajoso, a aplicação de isolamento térmico no paramento exterior das paredes de fachada, apresenta assim como vantagens (Freitas, 2002; ADENE *et al.*, 2004; Paiva, Aguiar and Pinho, 2006; Portal da Construção Sustentável, 2015; APFAC, 2016):

- Redução das **pontes térmicas** e diminuição do risco das **condensações** interiores;
- **Diminuição do gradiente de temperaturas** a que são sujeitas as camadas interiores das paredes;
- **Melhoria do conforto térmico** no inverno e no verão;
- **Economia** de energia e **respeito** pelo meio ambiente;
- Reabilitação **sem desalojamento**, podendo os trabalhos ser executados com o edifício ocupado;
- **Renovação estética**;
- **Reparação** de defeitos;
- **Facilidade** de colocação em obra;
- **Grande variedade** de soluções de acabamento;
- Pode-se utilizar para **revitalizar e modernizar** o edifício, alargando a sua vida útil;

- **Proteção** das paredes contra agentes atmosféricos;
- **Ausência de descontinuidades** na camada de isolante, evitando assim o aparecimento de pontes térmicas;
- **Conservação da inércia** térmica das paredes;
- **Manutenção das dimensões** dos espaços interiores;
- **Menores riscos** de incêndio e de toxicidade;
- **Dispensa** das interrupções nas instalações interiores e de trabalhos de reposição de acabamentos;

4.3.8 Desvantagens da reabilitação da fachada com isolamento pelo exterior

Apesar das inúmeras vantagens que apresenta, a reabilitação através da colocação de isolamento pelo exterior também apresenta desvantagens, como (ADENE *et al.*, 2004; Paiva, Aguiar and Pinho, 2006; Portal da Construção Sustentável, 2015):

- O **aspecto exterior** da fachada estar sujeito a grandes alterações, podendo ser alterado;
- **Constrangimentos** arquitetónicos e de ordem técnica, como nas zonas de remates de ângulos e pormenores existentes;
- **Maior vulnerabilidade** da parede ao choque, principalmente no rés-do-chão, podendo necessitar de proteção;
- **Custo** mais elevado, em alguns casos;
- **Condicionamento** dos trabalhos pelo estado do tempo;
- **Risco de fendilhação** dos revestimentos (em soluções com revestimentos contínuos);

4.4 Soluções de reabilitação energética para fachadas com isolamento na caixa-de-ar

Para além das soluções anteriormente apresentadas, é também possível reabilitar uma fachada através da introdução de materiais isolantes soltos ou em espuma, na sua caixa-de-ar, sendo esta solução exclusiva para aplicação em paredes duplas. A introdução do isolamento é feita através da injeção do mesmo por orifícios abertos em posições estratégicas do paramento.

4.4.1 Injeção de isolamento na caixa-de-ar

Uma vez que este processo de reabilitação apenas necessita da abertura de orifícios para a injeção do isolamento, o número de operações de reposição do paramento fica limitada ao mínimo, necessitando apenas, após a injeção do isolamento, da vedação dos orifícios criados. Este processo é mais económico e permite manter o aspeto interior e exterior da parede.

Segundo (Paiva, Aguiar and Pinho, 2006), esta solução apresenta algumas condicionantes, como as características hidrófilas de muitos materiais de isolamento injetáveis, especialmente as espumas. Pelo que a constituição e a espessura do pano exterior devem impedir o acesso da humidade ao isolante. Outra condicionante que pode levar ao mau funcionamento do sistema, é a obrigatoriedade de que o material isolante preencha completamente a caixa-de-ar, de forma a evitar a formação de pontes térmicas, não devendo também sofrer assentamentos sob a ação de vibrações nem alterar as suas características ao longo do tempo.

Já segundo (ADENE *et al.*, 2004), algumas das possíveis limitações existentes passam pela espessura da caixa-de-ar que, caso seja reduzida ou se apresente preenchida com detritos ou argamassa, poderá prejudicar uma distribuição homogénea do isolamento ao longo da parede. No caso de utilização de espuma, a sua formulação deverá ser criteriosa, de forma a obter as características desejadas. Outra limitação importante apresentada, aborda a pressão de injeção do isolamento, que deverá ser controlada, evitando assim deformações na parede e garantindo o perfeito preenchimento da caixa-de-ar.

No processo de injeção do material de isolamento, o número e distribuição de orifícios para injeção, deverá ser adequado às necessidades do elemento em causa. Para a observação do preenchimento do espaço de ar, devem ser realizados orifícios adicionais ou através de observação endoscópica, verificando assim o sucesso ou insucesso da operação (ADENE *et al.*, 2004).

Para a introdução na caixa-de-ar, é recomendada a utilização de material de isolamento em espuma ou a granel, podendo a sua origem ser sintética, como o poliestireno expandido e as espumas de poliuretano ou ureia-formaldeído, vegetal, como o aglomerado negro de cortiça, ou mineral, como a vermiculite expandida, a argila expandida ou ainda as fibras de lã de rocha.

4.5 Materiais de isolamento geralmente utilizados

Segundo (Couto and Martins, 2011), um isolante térmico pode ser definido como um material ou estrutura que minimiza fluxos de calor e que se caracteriza pela sua alta resistência térmica. Estabelecendo assim, uma barreira à passagem do calor entre dois meios que naturalmente tendem a igualar temperaturas e proporcionando aos utilizadores, situações de conforto, além da garantia de satisfação quer a nível económico quer em termos técnicos. Ou seja, a redução consumo de energia e conseqüentemente o seu custo e os problemas de condensações, respetivamente.

Além da sua principal característica, evitar as transferências de calor entre dois meios, os isolantes térmicos possuem outras não menos importantes, como (Couto and Martins, 2011):

- **Baixo valor do coeficiente de condutividade térmica (k)**, que consiste na capacidade de o material transferir calor. Então, quanto menor o valor de k, menores serão as transferências de energia e, conseqüentemente, menor será a espessura do material;
- **Baixa capacidade higroscópica**, ou seja, o material oferece dificuldade à infiltração/absorção de água;
- **Baixo peso específico**;
- **Incombustibilidade, estabilidade química**, outros.

Cada material, conforme a sua origem e forma de comercialização, apresenta características distintas e únicas. No Quadro 34, é possível observar a origem dos materiais de isolamento a estudar e a forma sob a qual serão parte integrante no estudo.

Quadro 34 - Materiais de isolamento a abordar, modo de produção e natureza das matérias-primas

Material isolante	Modo de produção				Natureza das matérias-primas		
	Isolantes prefabricados		Isolantes executados " <i>in situ</i> "		Mineral	Vegetal	Sintético
	Placas	Mantas	Isolantes injetados	Isolantes a granel			
CG	•						•
EPS	•			•			•
GW	•	•		•	•		
ICB	•			•		•	
LWA				•	•		
MW	•	•		•	•		
PIR	•						•
PUR	•		•				•
UF			•				•
VA				•	•		
XPS	•						•

Legenda:
CG - Vidro Celular
ICB - Aglomerado de Cortiça
PIR - Poliisocianurato
VA - Vermiculite expandida
EPS - Poliestireno Expandido
LWA - Argila Expandida
PUR - Poliuretano
XPS - Poliestireno Extrudido
GW - Lã de Vidro
MW - Lã Mineral
UF - Ureia-Formaldeído

Assim, serão abordados ao longo deste subcapítulo, os materiais de isolamento convencionais e geralmente utilizados, sendo estes caracterizados através das suas características, aplicação e propriedades e encontrando-se divididos pela sua origem. Após a sua apresentação, estes serão comparados através da aplicação da metodologia MARS-SC, de forma a ser possível efetuar a sua comparação através das espessuras necessárias para uma mesma capacidade isolante e os seus impactes ambientais.

4.5.1 Origem mineral

4.5.1.1 Lã de vidro (GW)

A lã de vidro é dos materiais mais comuns no setor da construção. Na sua origem, encontra-se uma substância líquida inorgânica obtida através da junção de vários elementos: a sílica (em forma de areia), que assume a função de vitrificante; o carbonato de sódio, sulfato de sódio e potássio, para que a temperatura de fusão seja inferior; o carbonato de cálcio e magnésio, que conferem ao material uma elevada resistência à humidade através da sua função estabilizante. A produção de lã de vidro, encontra-se diretamente ligada à emissão de gases nocivos para a atmosfera (óxidos, dióxido de enxofre e dióxido de carbono) e a elevados gastos de água e energia. Apesar dos seus impactos negativos, a correta utilização da lã de vidro como material isolante, leva à economia de energia e consequentemente à anulação dos impactos causados no seu processo de fabrico (Ecocasa, 2013c).

Apesar dos efeitos nocivos da sua produção, são também gerados resíduos valorizáveis. A eliminação deste tipo de material, é efetuada através da sua deposição em aterro para resíduos industriais não perigosos (Ecocasa, 2013c).

A lã de vidro é um material quimicamente inerte e incombustível, não permitindo assim a propagação de chamas. Aliando-se a isso a sua durabilidade, a manutenção das suas características no tempo e a não suscetibilidade à ação da maresia. A lã de vidro, é um material não cancerígeno, não contribui para a proliferação de ratos, insetos, fungos e bactérias e não é nocivo para as superfícies com que se encontra em contacto (Couto and Martins, 2011; Ecocasa, 2013c).

Para facilitar o seu transporte e aplicação, a lã de vidro é apresentada em forma de placa, manta, rolo ou fibras. A manta demonstra ser um material de isolamento flexível, leve e de fácil instalação. Já nos rolos, o material é contínuo, pelo que pode ser cortado à mão e apresentar uma barreira para-vapor incluída na sua face inferior. Durante o processo de instalação, é obrigatória a utilização de vestuário adequado, protegendo assim a pele e os olhos dos efeitos prejudiciais da fibra de vidro (Couto and Martins, 2011; Ecocasa, 2013c). Quando na forma de fibra, estas são conjugadas com aglutinantes, permitindo assim a sua injeção ou projeção em cavidades ou paramentos (Casa Eficiente, 2016).

No Quadro 35, são apresentadas algumas das principais propriedades técnicas da lã de vidro, e que permitem a sua avaliação.

Quadro 35 - Principais características da lã de vidro Fonte: EIMA, 2016; Santos and Matias, 2006; ADEME, 2010; Isover, 2016

Peso volúmico, ρ	65 kg/m ³
Condutibilidade térmica, λ – EN 13165	0,037 W/m.°C
Reação ao fogo do produto – EN 13501	F
Energia incorporada	4,35x10 ¹ kWh/m ³
Emissões de CO₂	1,22x100 kg de CO ₂ eq/m ³
Absorção de água – EN 1609	<1 kg/m ²
Estabilidade dimensional – EN 1604	< 1%

Apesar da sua vasta presença no mercado, a lã de vidro não possui um leque alargado de aplicações, sendo geralmente utilizada como material de isolamento térmico e acústico. Neste setor, é geralmente aplicada em pelo exterior em fachadas ventiladas, como material de isolamento em painéis de betão prefabricados e pelo interior, como material isolante de painéis prefabricados e na execução de uma contrafachada.

Para ser possível selecionar o material mais adequado às necessidades do edifício e dos utilizadores, é também necessário avaliar as vantagens e desvantagens que a sua aplicação comporta. Como se pode observar no Quadro 36.

Quadro 36 - Vantagens e desvantagens da aplicação de lã de vidro Fonte: ADEME, 2010; Energievie, 2012; F. Silva, 2013

Vantagens	Desvantagens
Baixo custo de aquisição	Necessita permanentemente da existência de uma barreira para-vapor
Variedade de produtos	Maus desempenhos mecânico e térmico quando na presença de humidade
Muito permeável ao vapor de água, não permite capilaridade	Perda de estabilidade ao longo do tempo
Recursos abundantes	Impacte de saúde e impacte ambiental
Bom poder de isolamento térmico	Proteção limitada da estrutura em caso de incêndio
Médio a bom poder de isolamento acústico	Recurso não renovável
	Material inflamável

4.5.1.2 Argila expandida (LWA)

O processo de fabrico da argila expandida, resulta da introdução de argila pura em fornos rotativos, a elevada temperatura, proporcionando assim uma expansão controlada do material. Deste processo, resulta a formação de grânulos, que possuem no seu interior micro poros fechados, que contêm ar, e que conferem ao material leveza e propriedades térmicas. A densidade da argila, depende da sua granulometria, sendo necessária a sua classificação por graduações ('Capítulo VII - Protecção térmica da envolvente', 2016; Weber Saint-Gobain, 2016).

A conjugação das propriedades conferidas ao material pelo seu processo de fabrico com as suas propriedades de natureza mineral, levam a que a argila expandida seja um material de isolamento durável, impermeável, com elevada resistência mecânica e com inúmeras aplicações em vários domínios. Apresentando, em contrapartida, como um material de baixa qualidade quando aplicada solta (F. Silva, 2013; Weber Saint-Gobain, 2016).

No Quadro 37, são apresentadas algumas das principais propriedades técnicas da argila expandida, e que permitem a sua avaliação.

Quadro 37 - Principais características da argila expandida Fonte: Energievie, 2012; F. Silva, 2013; Fibrosom, 2016; Sotecnisol, 2016

Peso volúmico, ρ	400 kg/m ³
Condutibilidade térmica, λ – EN 13165	0,160 W/m.°C
Reação ao fogo do produto – EN 13501	A1
Energia incorporada	4,51x10 ⁰ kWh/m ³
Emissões de CO₂	3,23x10 ⁻¹ kg de CO ₂ eq/m ³
Resistência ao esmagamento - EN 13055-1	1,4 a 4,8 MPa (varia com a granulometria)
Absorção de água - EN 1097-6	22,8 a 27,3 %

A argila expandida pode ter as mais variadas aplicações no setor da construção. Sendo comercializada a granel, o seu transporte poderá ser efetuado através de sacos, *big bags* ou silos. Assim, conforme a necessidade, a argila expandida tem aplicações como (Fibrosom, 2016):

- Agregado em betão leve;
- Camada de enchimento;
- Isolamento térmico e acústico (rebocos isolantes e preenchimento de caixa-de-ar);
- Projetos de jardinagem e arquitetura paisagista;
- Vias de comunicação;
- Aterros;
- Camadas drenantes;
- Fabrico de materiais de construção (blocos, placas, tijolos, etc.).

Para ser possível selecionar o material mais adequado às necessidades do edifício e dos utilizadores, é também necessário avaliar as vantagens e desvantagens que a sua aplicação comporta. Como se pode observar no Quadro 38.

Quadro 38 - Vantagens e desvantagens da aplicação de argila expandida Fonte: ADEME, 2010; EDF, 2012; F. Silva, 2013; Fibrosom, 2016

Vantagens	Desvantagens
Leve e resistente Isolante térmico e acústico Fácil utilização Incombustível Versátil Ecológico, não liberta emissões tóxicas Resistente à humidade e insolúvel em água	Baixo desempenho térmico quando solta Custo elevado

4.5.1.3 Lã mineral (MW)

Tal como a lã de vidro, a lã de rocha é dos materiais mais comuns e mais utilizados no setor da construção. Este material provém de fibras minerais provenientes de rochas vulcânicas (basalto, calcário, etc.), que são aquecidas a cerca de 1500°C e transformadas em filamentos, que ao serem aglomerados com soluções de resinas orgânicas, permitem o fabrico de produtos leves e flexíveis ou até muito rígidos. A produção de lã de rocha, encontra-se diretamente relacionada com gastos de energia e emissão de gases de dióxido de carbono para a atmosfera. Mas, apesar dos seus impactos negativos, a correta utilização da lã de rocha como material isolante, leva à economia de energia e conseqüentemente à anulação dos impactos causados no seu processo de fabrico (Ecocasa, 2013b).

Apesar dos efeitos nocivos da sua produção, os resíduos resultantes da produção podem ser novamente fundidos e dar origem a lã de rocha. A eliminação deste tipo de material, é efetuada através da sua deposição em aterro para resíduos industriais não perigosos (Ecocasa, 2013b).

A lã de rocha, não retém água devido à sua estrutura não capilar e não apresenta alterações perante condensações. Além dos excelentes níveis de isolamento térmico e acústico que proporciona, a lã de rocha não provoca alergias, não apodrece, permite a passagem do ar,

recupera sempre a espessura inicial após a retirada da força deformante, é totalmente imune à ação do fogo e possui ainda uma durabilidade ilimitada (Ecocasa, 2013b).

Mais uma vez, assim como a lã de vidro, a lã de rocha é apresentada sob a forma de mantas, rolos, painéis semirrígidos ou ainda fibras. A manta demonstra ser um material de isolamento flexível, leve e de fácil instalação. Os rolos são de material contínuo, pelo que pode ser cortado à mão e apresentar uma barreira para-vapor incluída na sua face inferior. (Ecocasa, 2013b). Quando na forma de fibra, estas são conjugadas com aglutinantes, permitindo assim a sua injeção ou projeção em cavidades ou paramentos (Casa Eficiente, 2016).

No Quadro 39, são apresentadas algumas das principais propriedades técnicas da lã de rocha, e que permitem a sua avaliação.

Quadro 39 - Principais características da lã mineral Fonte: Santos and Matias, 2006; Energievie, 2012; F. Silva, 2013; Fonte, 2014; Portal da Construção, 2016; Termolan, 2016

Peso volúmico, ρ	40 kg/m ³
Condutibilidade térmica, λ – EN 13165	0,040 W/m.°C
Reação ao fogo do produto – EN 13501	A1
Energia incorporada	1,97x10 ¹ kWh/m ³
Emissões de CO₂	1,08x10 ⁰ kg de CO ₂ eq/m ³
Absorção de água – EN 1609	<1 kg/m ²
Estabilidade dimensional – EN 1604	< 0.1%

Este material, fabricado em todo o mundo, pelas suas excelentes características térmicas e acústicas, é aplicado nos mercados da construção civil, industrial e automóvel. Sendo que no mercado da construção, é geralmente utilizada como material de isolamento térmico e acústico e aplicado, pelo exterior, em fachadas ventiladas e sistemas compósitos, pelo interior, como material isolante de painéis prefabricados e em paredes duplas, é efetuada a injeção das suas fibras.

Para ser possível selecionar o material mais adequado às necessidades do edifício e dos utilizadores, é também necessário avaliar as vantagens e desvantagens que a sua aplicação comporta. Como se pode observar no Quadro 40.

Quadro 40 - Vantagens e desvantagens da aplicação de lã mineral Fonte: ADEME, 2010; EDF, 2012; Ecocasa, 2013b; F. Silva, 2013

Vantagens	Desvantagens
Baixo custo de aquisição	Danos mecânicos e desempenho térmico deficiente na presença de humidade
Excelente isolante térmico e acústico	Necessária a utilização de vestuário e luvas adequadas para o manuseamento e colocação
Incombustível	Recurso não-renovável
Resistente à água	Material inflamável
Possui uma estrutura estável, imputrescível, antiparasitas, não corrosiva e não suscetível ao ataque de sais e ácidos	
Não nocivo à saúde dos utilizadores	
Não há libertação de substâncias poluentes por parte da matéria-prima nem dos produtos acabados	

4.5.1.4 Vermiculite expandida (VA)

A vermiculite, é um produto mineral obtido por esfoliação de palhetas de mica, que são submetidas a um aquecimento sob pressão a uma temperatura superior à temperatura de ebulição da água. Reduzindo-se de seguida a pressão, a água é convertida em vapor, dando assim origem a um material expandido e dilatado. Este processo, origina na vermiculite um elevado número de células de ar entre as lâminas, o que confere ao material o seu poder isolante ('Capítulo VII - Protecção térmica da envolvente', 2016).

No Quadro 41, são apresentadas algumas das principais propriedades técnicas da vermiculite expandida, e que permitem a sua avaliação.

Quadro 41 - Principais características da vermiculite expandida Fonte: ADEME, 2010; Energievie, 2012; F. Silva, 2013

Peso volúmico, ρ	400 kg/m ³
Condutibilidade térmica, λ – EN 13165	0,160 W/m.°C
Reação ao fogo do produto – EN 13501	A1
Energia incorporada	6,48x10 ⁰ kWh/m ³
Emissões de CO₂	2,94x10 ⁻¹ kg de CO ₂ eq/m ³

Pela sua reduzida resistência mecânica e pelo seu elevado poder isolante, a vermiculite é, geralmente, aplicada como material de isolamento térmico no preenchimento de caixas-de-ar. Podendo também ser utilizada no fabrico de betões e rebocos como inerte, conferindo ao material uma menor densidade e uma elevada proteção térmica (F. Silva, 2013; ‘Capítulo VII - Protecção térmica da envolvente’, 2016).

Para ser possível seleccionar o material mais adequado às necessidades do edifício e dos utilizadores, é também necessário avaliar as vantagens e desvantagens que a sua aplicação comporta. Como se pode observar no Quadro 42.

Quadro 42 - Vantagens e desvantagens da aplicação de vermiculite expandida Fonte: ADEME, 2010; Energievie, 2012; Silva, 2013

Vantagens	Desvantagens
Material reutilizável	Mau comportamento na presença de humidade
Material incombustível	Elevado custo
Material em forma bruta	Material com emissões de gases tóxicos sob a forma de betume e silicone

4.5.2 Origem vegetal

4.5.2.1 Aglomerado negro de cortiça (ICB)

O aglomerado negro de cortiça, é proveniente de uma matéria-prima 100% natural, renovável e muito abundante em Portugal: a cortiça. Esta matéria-prima é obtida através do

descortiçamento do sobreiro, ou seja, através da extração da sua casca. O que se enquadra no ciclo de vida da árvore. Assim, o processo de produção do aglomerado negro de cortiça consiste na aglutinação dos grânulos de cortiça. Sendo isto consequência da expansão volumétrica e da exsudação das resinas naturais da cortiça, por ação da temperatura transmitida pelo vapor de água. Na produção do vapor de água, não se utilizam combustíveis, são apenas consumidos os detritos resultantes da preparação e finalização da cortiça (Ecocasa, 2015; ‘Capítulo VII - Protecção térmica da envolvente’, 2016; Isocor, 2016a).

Uma vez que a durabilidade do aglomerado negro de cortiça é bastante longa, muitas vezes o período de utilização do isolante é imposto pelo fim da vida útil do edifício onde se encontra. Então, sempre que possível a recolha integral e isolada, e quando o isolamento aplicado em placas, estas devem retiradas, podendo assim ser reutilizadas em aplicações idênticas. Recolhas realizadas em edifícios com mais de 50 anos demonstram que após esse período de tempo, a aspeto e as propriedades essenciais das placas se mantêm inalteradas. No caso de grânulos ou de placas partidas/contaminadas com produtos, estas podem ser valorizadas através da trituração, obtendo-se um granulado que poderá ser novamente utilizado como isolante térmico (Ecocasa, 2015).

No Quadro 43, são apresentadas algumas das principais propriedades técnicas do aglomerado negro de cortiça, e que permitem a sua avaliação.

Quadro 43 - Principais características do aglomerado negro de cortiça Fonte: F. Silva, 2013; Fonte, 2014; Amorim, 2016; Isocor, 2016a, 2016b

Peso volúmico, ρ	115 kg/m ³
Condutibilidade térmica, λ – EN 13165	0,045 W/m.°C
Reação ao fogo do produto – EN 13501	E
Energia incorporada	5,21x10 ¹ kWh/m ³
Emissões de CO₂	1,15x10 ⁰ kg de CO ₂ eq/m ³
Resistência à flexão – EN 12089	≥ 130 kPa
Absorção de água – EN 1609	≤ 0.5 kg/m ²

Pelas excelentes propriedades isolantes (térmicas, acústicas e vibráticas) do aglomerado negro de cortiça e pela sua, cada vez maior, procura nos mercados, as aplicações da cortiça tem vindo a aumentar, sendo um material bastante presente na inovação comercial que se observa

atualmente. Este material, é então comercializado, para o setor da construção, em forma de placas e grânulos de vários diâmetros, dependendo a sua densidade da sua granulometria. De entre as mais variadas aplicações para o aglomerado negro de cortiça, destacam-se (Isocor, 2016a):

- Isolante acústico;
- Isolante térmico e acústico de paredes;
- Isolante térmico e acústico de fachadas;
- Isolante térmico e acústico de coberturas (inclinadas e planas);
- Isolante térmico de câmaras frigoríficas;
- Isolante térmico de pisos radiantes;
- Isolante térmico e acústico de estruturas de betão;
- Isolamento vibrático;
- Inerte em rebocos isolantes e betões leves.

Para ser possível seleccionar o material mais adequado às necessidades do edifício e dos utilizadores, é também necessário avaliar as vantagens e desvantagens que a sua aplicação comporta. Como se pode observar no Quadro 44.

Quadro 44 - Vantagens e desvantagens da aplicação de aglomerado negro de cortiça Fonte: ADEME, 2010; Energievie, 2012; F. Silva, 2013; Isocor, 2016a

Vantagens	Desvantagens
Fácil colocação Matéria-prima renovável e abundante Não liberta emissões tóxicas em caso de incêndio Não apresenta riscos para a saúde humana Durabilidade ilimitada, sem perda de propriedades Elevada elasticidade 100% reciclável	Custo elevado Energia incorporada e emissões de CO ₂ bastante elevadas

4.5.3 Origem sintética

4.5.3.1 Vidro celular (CG)

No processo de produção do vidro celular, são utilizados vidro reciclado e carbono. Este material possui uma grande quantidade de células de vidro com uma estrutura fechada e repletas de gás, o que lhe confere as suas propriedades isolantes. Sendo obtido através da injeção, sob pressão, de dióxido de carbono na massa de vidro fundida ('Capítulo VII - Protecção térmica da envolvente', 2016; Rebelisol, 2016).

O vidro celular apresenta um ótimo desempenho térmico, possui uma boa durabilidade, é incombustível, impermeável ao vapor de água e tem uma excelente resistência mecânica à compressão. Além de ser um material ecológico, retribuindo rapidamente as emissões provocadas pelo seu processo de fabrico (F. Silva, 2013; Rebelisol, 2016).

No Quadro 45, são apresentadas algumas das principais propriedades técnicas do vidro celular, e que permitem a sua avaliação.

Quadro 45 - Principais características do vidro celular Fonte: ADEME, 2010; Energievie, 2012; F. Silva, 2013; Rebelisol, 2016

Peso volúmico, ρ	133 kg/m ³
Condutibilidade térmica, λ – EN 13165	0,042 W/m.°C
Reação ao fogo do produto – EN 13501	A1
Energia incorporada	2,92x10 ¹ kWh/m ³
Emissões de CO₂	1,76x10 ⁰ kg de CO ₂ eq/m ³
Resistência à compressão – EN 826	≥ 600 kPa
Estabilidade dimensional – EN 1604	Perfeita

Tratando-se de um material muito eficiente no desempenho da função de isolante térmico, o vidro celular é utilizado no isolamento de condutas e equipamentos, como isolamento térmico de telhados, pavimentos e paredes. Pelas suas aplicações, este material é comercializado sob a forma de blocos ou painéis (F. Silva, 2013; Rebelisol, 2016).

Para ser possível seleccionar o material mais adequado às necessidades do edifício e dos utilizadores, é também necessário avaliar as vantagens e desvantagens que a sua aplicação comporta. Como se pode observar no Quadro 46.

Quadro 46 - Vantagens e desvantagens da aplicação de vidro celular Fonte: ADEME, 2010; Energievie, 2012; F. Silva, 2013; Rebelisol, 2016

Vantagens	Desvantagens
Material incombustível	Energia incorporada e emissões de CO ₂ elevadas
Possui uma estrutura estável, imputrescível, antiparasitas, não corrosiva e não suscetível ao ataque de ácidos ou produtos químicos	Elevado custo
Dimensionalmente estável	Material não-renovável
Não apresenta emissões tóxicas	
Não apresenta riscos para a saúde	
Ecológico	
Impermeável ao vapor de água e à prova de água	
Material fácil de cortar	

4.5.3.2 Poliestireno expandido (EPS)

O poliestireno expandido, é um produto sintético oriundo do petróleo e que deriva da natureza. A matéria-prima utilizada na sua produção é o poliestireno (PS) expansível, um polímero de estireno que contém um grande expansor e é obtido, a partir do petróleo, através de diversas transformações químicas. Durante o seu processo produtivo, o granulado de partículas de EPS entra em contacto com vapor de água, de forma a iniciar a sua expansão. Após estabilizado, é introduzido em moldes e novamente exposto ao vapor de água, o que provoca a união dos grânulos. No seu espaço interior, as células encontram-se preenchidos por um gás, ar. Por se tratar de um polímero e pela sua leveza, o processo de fabrico de poliestireno expandido consome pouca energia e não são utilizados gases das famílias

Clorofluorcarbonetos (CFC) e Hidroclorofluorcarbonetos (HCFC), gases responsáveis pela destruição da camada do ozono (Ecocasa, 2013d).

Uma vez que, quimicamente, o EPS contém apenas dois elementos, carbono e hidrogénio, não é um produto tóxico ou perigoso para o ambiente e não é prejudicial para a camada do ozono. Assim, a sua eliminação, poderá ser efetuada através da deposição do material num aterro para resíduos industriais não perigosos. Mas, após a conclusão da sua vida útil, este material é totalmente reciclável, pelo que deverá ser reaproveitado sempre que possível (Ecocasa, 2013d).

Para garantir o melhor desempenho do material ao longo do tempo, é crucial a sua correta aplicação, uma vez que as suas propriedades não sofrem alterações com o envelhecimento. É assim, um material resistente ao envelhecimento, necessitando apenas de atenção quando exposto a radiação solar ou outro tipo de radiação rica em energia, pois provocam alterações na sua estrutura química (Ecocasa, 2013d).

O poliestireno expandido, é comercializado em forma de placas rígidas e na forma de grânulos (granel). A principal vantagem na sua utilização, relaciona-se com a sua baixa condutibilidade térmica, uma vez que as células que o compõem, fechadas e preenchidas com ar, dificultam a passagem do calor, o que lhe confere um elevado poder isolante (Ecocasa, 2013d).

No Quadro 47, são apresentadas algumas das principais propriedades técnicas do poliestireno expandido, e que permitem a sua avaliação.

Quadro 47 - Principais características do poliestireno expandido Fonte: ADEME, 2010; Energievie, 2012; Ecocasa, 2013d; F. Silva, 2013; Fonte, 2014; Imperialum, 2016a

Peso volúmico, ρ	20 kg/m ³
Condutibilidade térmica, λ – EN 13165	0,040 W/m.°C
Reação ao fogo do produto – EN 13501	E
Energia incorporada	1,23x10 ² kWh/m ³
Emissões de CO₂	3,32x10 ⁰ kg de CO ₂ eq/m ³
Resistência à compressão mínima – EN 826	250 kPa
Absorção de água – EN 1609	< 0.7%

Pelas suas propriedades de isolamento térmico, o poliestireno expandido é aplicado como isolante térmico, sob a forma de placa, em coberturas, paredes e pavimentos. Pois, apesar da sua leveza, apresenta uma elevada resistência mecânica, o que permite a sua aplicação onde seja necessário esse tipo de proteção. Quando na forma de grânulos, pode ser aplicado como isolante em caixas-de-ar, através de injeção, ou introduzido como inerte em betões leves ou rebocos isolantes.

Para ser possível seleccionar o material mais adequado às necessidades do edifício e dos utilizadores, é também necessário avaliar as vantagens e desvantagens que a sua aplicação comporta. Como se pode observar no Quadro 48.

Quadro 48 - Vantagens e desvantagens da aplicação de poliestireno expandido Fonte: ADEME, 2010; Energievie, 2012; Ecocasa, 2013d; F. Silva, 2013

Vantagens	Desvantagens
Excelente isolamento térmico	Mau isolamento acústico
Boa permeabilidade à água	Libertação de gases tóxicos em caso de incêndio
Boa resistência à compressão	Altamente inflamável, deve ser associado a um revestimento à prova de fogo
Muito leve	
Baixo custo	
Não constitui alimento para o desenvolvimento de animais ou microrganismos	
Fácil colocação	
Muito durável	

4.5.3.3 Poliisocianurato (PIR)

O isolamento térmico em poliisocianurato, é fabricado de forma a oferecer o melhor isolamento térmico possível, diferindo apenas do poliuretano na percentagem em que os componentes polioli e isocianato são misturados. Este material, é geralmente comercializado

sob a forma de placa, podendo também existir em granel ou espuma rígida. Pelas suas excelentes propriedades térmicas, as placas de poliisocianurato são utilizadas como material de isolamento em paredes, coberturas e pavimentos. Podendo assim, dependendo do seu destino, existir placas simples ou com revestimentos, como fibra de vidro, fibra de vidro impregnada com betume asfáltico, folha de alumínio (Mendes, 2012; Viero, 2012; Imperialum, 2016b; Masterblock, 2016).

No Quadro 49, são apresentadas algumas das principais propriedades técnicas do poliisocianurato, e que permitem a sua avaliação.

Quadro 49 - Principais características do poliisocianurato Fonte: Viero, 2012; Imperialum, 2016b; Masterblock, 2016

Peso volúmico, ρ	35 kg/m ³
Condutibilidade térmica, λ – EN 13165	0,040 W/m.°C
Reação ao fogo do produto – EN 13501	E
Resistência à compressão – EN 826	250 kPa
Estabilidade dimensional – EN 1604	< 6%

Para ser possível seleccionar o material mais adequado às necessidades do edifício e dos utilizadores, é também necessário avaliar as vantagens e desvantagens que a sua aplicação comporta. Como se pode observar no Quadro 50.

Quadro 50 - Vantagens e desvantagens da aplicação de poliisocianurato Fonte: Mendes, 2012; Viero, 2012; Imperialum, 2016b; Masterblock, 2016

Vantagens	Desvantagens
Excelente estabilidade dimensional Ótima resistência mecânica Excelente aderência às argamassas Fácil aplicação Baixo índice de condutibilidade térmica Resistente à água e humidade Leveza e rigidez Resistente à putrefação Resistente à maioria das substâncias químicas Não atrai insetos ou roedores Isento de CFC e HCFC Não é necessário vestuário apropriado para o manuseamento Excelente comportamento anti-chama	Custo elevado Mais frágil que outros isolantes em placa

4.5.3.4 Poliuretano (PUR)

O poliuretano é um polímero e para a sua produção é necessária matéria-prima, o petróleo. Dos vários compostos do petróleo, tem de se proceder à sua separação através de destilação, retirando-se o diisocianato de parafileno e o etilenoglicol, para assim se obter o poliuretano, em que para se obter a espuma, é expandido a quente por meio de injeção de gases. Este material possui uma textura de espuma e uma aparência entre a cortiça e o poliestireno expandido. Sendo aplicado *in situ*, aquando da projeção, há uma reação química entre dois compostos químicos líquidos, o isocianato (o responsável pela reação) e o polioliol (Ecocasa, 2013a).

Por ser um polímero, o poliuretano, após moldado, não pode ser fundido e reutilizado. Não é reciclável, pelo que a sua eliminação deverá ser efetuada através da colocação do material em

aterro. Os componentes dos compostos químicos presentes no spray, classificados como perigosos, apenas poderão ser eliminados seguindo o procedimento estabelecido na Diretiva-Quadro Europeia sobre Resíduos (Ecocasa, 2013a).

Pelo seu elevado poder de isolamento térmico, a espuma de poliuretano é utilizada para suprimir completamente pontes térmicas. Podendo assim, ser aplicada em qualquer superfície vertical, horizontal ou inclinada. Ao ser aplicada em obra, é projetada a alta pressão na superfície e o calor gerado na sua aplicação produz uma vaporização espontânea do agente espumante, adquirindo em poucos segundos a sua forma definitiva (Ecocasa, 2013a).

A espuma rígida de poliuretano, pode ser encontrada no mercado, sob a forma de espuma ou de placas. Quando na forma de espuma, é aplicada *in situ* através de equipamentos apropriados. Quando em placa, deve ser revestida por um material incombustível em ambas as faces (Ecocasa, 2013a; F. Silva, 2013).

No Quadro 51, são apresentadas algumas das principais propriedades técnicas do poliuretano, e que permitem a sua avaliação.

Quadro 51 - Principais características do poliuretano Fonte: Ecocasa, 2013a; F. Silva, 2013; Fonte, 2014; Calorcol, 2016; Rebelisol, 2016

Peso volúmico, ρ	25 kg/m ³
Condutibilidade térmica, λ – EN 13165	0,042 W/m.°C
Reação ao fogo do produto – EN 13501	C a F
Energia incorporada	0 kWh/m ³
Emissões de CO₂	2,35x10 ⁰ kg de CO ₂ eq/m ³

Pelas suas propriedades térmicas, o poliuretano é utilizado como material de isolamento térmico, sendo injetado na caixa-de-ar de paredes duplas, como isolante externo em fachadas ventiladas e como isolante interior em sistemas de contra fachada ou de painéis isolantes prefabricados.

Para ser possível selecionar o material mais adequado às necessidades do edifício e dos utilizadores, é também necessário avaliar as vantagens e desvantagens que a sua aplicação comporta. Como se pode observar no Quadro 52.

Quadro 52 - Vantagens e desvantagens da aplicação de poliuretano Fonte: Ecocasa, 2013a; F. Silva, 2013

Vantagens	Desvantagens
<p>Isolamento térmico de elevado poder</p> <p>Isolamento contínuo</p> <p>Quando em alta densidade, impermeável à água</p> <p>Adere a qualquer superfície</p> <p>Baixo peso de isolamento</p> <p>Duração indefinida sem perda de propriedades por grande resistência ao envelhecimento</p> <p>Elimina condensações</p> <p>Baixo coeficiente de transmissão térmica</p> <p>Quimicamente resistente</p> <p>Boa resistência mecânica, elevada resistência à tração e compressão</p> <p>Resistência a grandes amplitudes térmicas</p>	<p>Necessita de proteção quando exposto prolongadamente à luz solar</p> <p>Método de fabrico poluente, elevado custo ambiental</p> <p>Libertação de gases tóxicos em caso de incêndio</p> <p>Deve ser associado a um revestimento à prova de fogo</p> <p>Custo elevado</p> <p>Libertação de CO₂ em obra aquando da libertação</p>

4.5.3.5 Ureia-Formaldeído (UF)

A ureia-formaldeído, trata-se de uma espuma rígida, preparada e aplicada em obra, sendo as resinas de ureia-formaldeído são obtidas através da policondensação da ureia com uma solução aquosa de formol. Para a sua aplicação, é necessário recorrer a equipamento especializado, que mistura os componentes com ar comprimido e injeta a espuma no local pretendido. Aplicada como material de isolamento térmico, a espuma rígida de ureia-

formaldeído é geralmente aplicada no preenchimento de caixas-de-ar em paredes duplas (Mendes, 2012).

No Quadro 53, são apresentadas algumas das principais propriedades técnicas da ureia-formaldeído, e que permitem a sua avaliação.

Quadro 53 - Principais características da ureia-formaldeído Fonte: ADEME, 2010; CBIS, 2016

Peso volúmico, ρ	20 kg/m ³
Condutibilidade térmica, λ – EN 13165	0,045 W/m.°C
Energia incorporada	6,44x10 ¹ kWh/m ³
Emissões de CO₂	2,95x10 ⁰ kg de CO ₂ eq/m ³

Para ser possível seleccionar o material mais adequado às necessidades do edifício e dos utilizadores, é também necessário avaliar as vantagens e desvantagens que a sua aplicação comporta. Como se pode observar no Quadro 54.

Quadro 54 - Vantagens e desvantagens da aplicação de ureia-formaldeído Fonte: CBIS, 2016

Vantagens	Desvantagens
	Necessário utilizar vestuário de proteção apropriado O formaldeído é tóxico Não mantém a forma, com o passar do tempo encolhe Desintegra-se com o tempo, em condições humidade e temperatura

4.5.3.6 Poliestireno extrudido (XPS)

O poliestireno extrudido, tal como o poliestireno expandido, é um produto sintético, oriundo do petróleo e que deriva da natureza. A matéria-prima utilizada para a produção deste material é um polímero de estireno, que é extrudido e passa do estado sólido ao líquido, voltando ao

estado sólido após arrefecido. O processo de extrusão, consiste na geração e uso de um fluxo contínuo das matérias-primas para produzir o material. Apesar do processo produtivo ser relativamente semelhante em todas as empresas produtoras de poliestireno extrudido, algumas não incluem no seu fabrico gases do tipo CFC, devendo ser dada preferência a estes (Ecocasa, 2013e).

Dependendo do sistema de fixação do poliestireno extrudido ao suporte, este poderá vir a ser reutilizado. Durante o seu fabrico, são produzidos resíduos que poderão ser valorizados. Para se proceder à sua eliminação, o material deverá ser depositado em aterro para resíduos industriais não perigoso (Ecocasa, 2013e).

No Quadro 55, são apresentadas algumas das principais propriedades técnicas do poliestireno extrudido, e que permitem a sua avaliação.

Quadro 55 - Principais características do poliestireno extrudido Fonte: Santos and Matias, 2006; ADEME, 2010; Energievie, 2012; Ecocasa, 2013e; F. Silva, 2013; Fonte, 2014; Portal da Construção, 2016

Peso volúmico, ρ	25 kg/m ³
Condutibilidade térmica, λ – EN 13165	0,037 W/m.°C
Reação ao fogo do produto – EN 13501	E
Energia incorporada	1,01x10 ² kWh/m ³
Emissões de CO₂	1,05x10 ¹ kg de CO ₂ eq/m ³
Resistência à compressão mínima – EN 826	300 kPa
Absorção de água – EN 12087	< 0.7%

Pelas suas aplicações, o poliestireno extrudido, é geralmente comercializado sob a forma de placas. Sendo utilizado, no setor da construção, principalmente como material de isolamento térmico em reforços de isolamento pelo interior ou exterior de paredes exteriores, como componente isolante em painéis prefabricados ou como isolante em coberturas e pavimentos. A forma das placas, varia com a finalidade das mesmas, por exemplo, as placas destinadas aos sistemas ETICS, possuem bordos planos. Já as placas para aplicação como isolante em paredes, possuem bordos de encaixe, ou seja, macho-fêmea. Com isto, e pela complexidade de produção de cada tipo de acabamento, o preço também é variável.

Para ser possível selecionar o material mais adequado às necessidades do edifício e dos utilizadores, é também necessário avaliar as vantagens e desvantagens que a sua aplicação comporta. Como se pode observar no Quadro 56.

Quadro 56 - Vantagens e desvantagens da aplicação de poliestireno extrudido Fonte: ADEME, 2010; Energievie, 2012; Ecocasa, 2013e; F. Silva, 2013

Vantagens	Desvantagens
<p>Leve e de fácil colocação</p> <p>Bom isolante térmico</p> <p>Boa resistência ao vapor de água</p> <p>Boa resistência à compressão</p> <p>Baixo custo de aquisição</p> <p>Não sofrem alterações por ciclos repetidos de gelo-degelo</p> <p>Não constitui alimento para o desenvolvimento de animais ou microrganismos</p> <p>Vida útil do material coincidente com a vida útil do edifício onde se insere</p> <p>Excelente resistência às trocas térmicas</p>	<p>Mau isolante acústico</p> <p>Material com elevada energia incorporada</p> <p>Material combustível e em caso de incêndio, liberta gases tóxicos</p> <p>Quando exposto a temperaturas elevadas durante um longo período de tempo, sofre alterações dimensionais irreversíveis</p> <p>Necessita de proteção quando exposto a radiação solar direta</p>

4.5.4 Aplicação dos materiais de isolamento às soluções apresentadas

Após analisados todos os isolamentos apresentados anteriormente e consideradas as suas aplicações, foi possível a construção do quadro presente no Anexo I, onde se resume a aplicação de cada tipo de isolamento às soluções selecionadas para o estudo.

4.5.5 Análise comparativa dos materiais apresentados através da metodologia MARS-SC

Pela grande variedade de materiais de isolamento térmico presentes no mercado da construção, torna-se necessário realizar uma análise cuidada das suas características, de forma a que se efetue uma escolha consciente e informada. Para tal, é necessário comparar alguns dos principais materiais utilizados como isolamento térmico no setor da construção. Ainda assim, apesar de serem materiais já bastante conhecidos, ainda não é possível obter todas as informações necessárias para a aplicação da metodologia, são assim apenas considerados os materiais cuja totalidade de informações necessárias se encontra disponível.

No Quadro 57, é possível observar quais os produtos integrantes no estudo, pelo seu principal componente, estando devidamente assinalados os pertencentes à base de dados referida.

Quadro 57 - Quadro resumo dos materiais a utilizar e respetivas características

Material	Coefficiente de condutibilidade térmica λ (W/m.°C)	Peso volúmico ρ (kg/m ³)	
CG	0,038	133	
EPS	0,040	20	*
GW	0,037	65	
ICB	0,045	115	*
MW	0,040	40	*
PIR	0,040	35	
PUR	0,040	25	*
XPS	0,037	25	*
LWA	0,160	400	
* Valor retirado da base de dados de (Fonte, 2014)			
Legenda:			
CG - Vidro Celular		EPS - Poliestireno Expandido	
GW - Lã de Vidro		ICB - Aglomerado de Cortiça	
LWA - Argila Expandida		MW - Lã Mineral	
PIR - Poliisocianurato		PUR - Poliuretano	
XPS - Poliestireno Extrudido			

Após a determinação do desempenho dos materiais em todas as dimensões em estudo, é possível construir um gráfico em radar onde todos os valores se encontram resumidos. O gráfico compara então:

- 6 indicadores de desempenho ambiental;
- 1 parâmetro funcional;
- 1 parâmetro económico.

Como se pode observar no Quadro 58, encontram-se registados todos os valores normalizados a utilizar na construção do perfil sustentável. Como se pode observar na Figura 47, este compila todos os valores obtidos.

Quadro 58 - Reunião dos valores normalizados em análise

Material	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ENR	U	LCC
CG _{PL}	0,58	1,00	0,55	0,59	0,32	0,46	0,50	0,60
EPS _{PL}	0,93	1,00	0,93	0,91	0,98	0,74	0,00	0,95
GW _{PL}	0,90	0,99	0,81	0,73	0,59	0,61	0,75	0,93
ICB _{PL}	0,73	1,00	0,77	0,58	0,57	0,45	1,00	0,68
MW _{PL}	0,98	1,00	0,90	0,89	0,92	0,88	0,00	0,93
PUR _{PL}	0,95	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,84
XPS _{PL}	0,53	0,00	0,87	0,79	0,91	0,62	0,75	0,93
MW _{MT}	1,00	1,00	0,93	0,92	0,94	0,91	0,00	1,00
EPS _{GR}	0,98	1,00	0,96	0,95	0,99	0,84	0,55	0,22
ICB _{GR}	0,89	1,00	0,88	0,79	0,78	0,72	0,00	0,00
LWA _{GR}	0,00	0,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15
MW _F	0,87	1,00	0,78	0,75	0,83	0,74	0,00	0,72
PUR _{ESP}	0,93	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,67	1,00

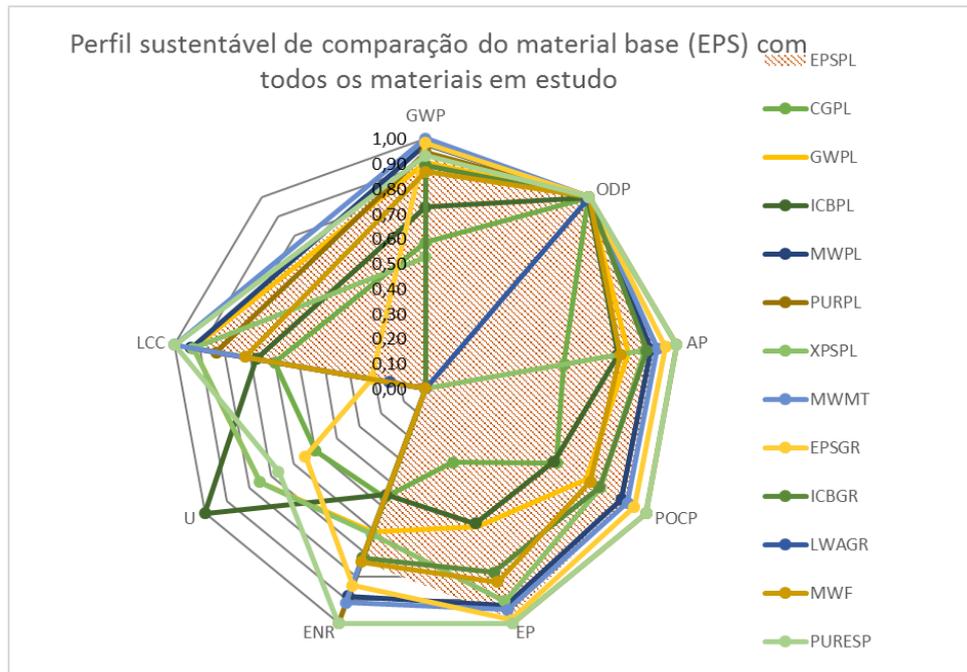


Figura 47 - Perfil sustentável de comparação do material de base (EPS) com todos os materiais em estudo

Pela análise do gráfico, é possível observar que o material, comparativamente com o poliestireno expandido, que possui um melhor desempenho é a espuma de poliuretano, ocupando uma maior área do gráfico. Seguidamente, o segundo material a ocupar maior área, é a manta de lã mineral. Apresentam-se em seguida, nas Figuras 48 e 49, os respetivos perfis sustentáveis.

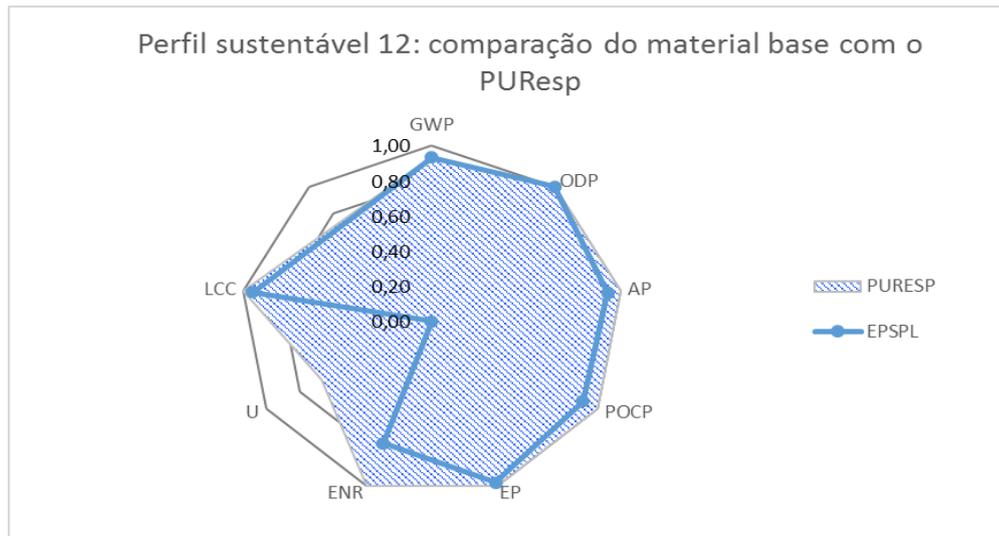


Figura 48 - Perfil sustentável de comparação do material base (EPS) com a espuma de poliuretano

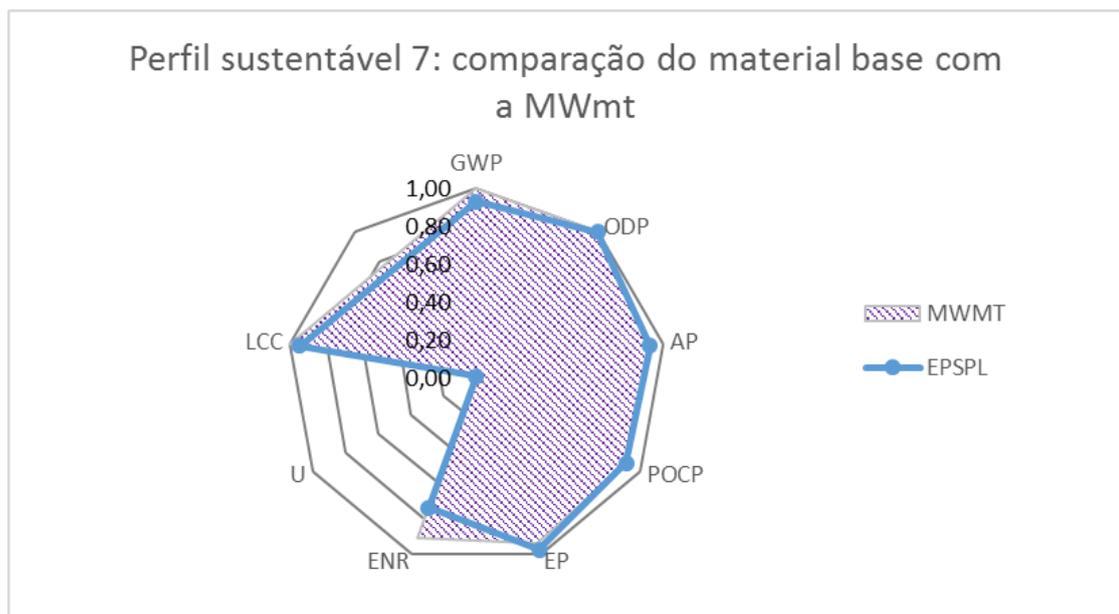


Figura 49 - Perfil sustentável de comparação do material base (EPS) com a manta de lã mineral

Através da determinação da nota sustentável de cada material, é obtido o desempenho global de cada material pelo seu desempenho em cada dimensão estudada e os pesos atribuídos a cada uma. Assim, como se pode observar no Quadro 59, os resultados não se encontram de acordo com os obtidos anteriormente.

Quadro 59 - Desempenho dos materiais em cada dimensão em estudo e respetiva nota sustentável

Nota sustentável				
Material	IA	IF	IE	NS
CG _{PL}	0,58	0,50	0,60	0,55
EPS _{PL}	0,92	0,00	0,95	0,47
GW _{PL}	0,81	0,75	0,93	0,80
ICB _{PL}	0,69	1,00	0,68	0,84
MW _{PL}	0,94	0,00	0,93	0,47
PUR _{PL}	0,98	0,00	0,84	0,46
XPS _{PL}	0,60	0,75	0,93	0,74
MW _{MT}	0,96	0,00	1,00	0,49
EPS _{GR}	0,96	0,55	0,22	0,60
ICB _{GR}	0,86	0,00	0,00	0,26
LWA _{GR}	0,12	0,00	0,15	0,06
MW _F	0,83	0,00	0,72	0,39
PUR _{ESP}	0,97	0,67	1,00	0,83

Pela análise do quadro, conclui-se que o aglomerado negro de cortiça possui um melhor desempenho global que a espuma de poliuretano e a lã de rocha em manta. Esta discrepância deve-se ao facto de a cortiça possuir um desempenho funcional superior e o peso relativo a essa dimensão, ser também o mais elevado.

Analisando cada dimensão, constata-se que na dimensão ambiental, o material com melhor desempenho é a placa de poliuretano, na dimensão funcional é a placa de cortiça e na dimensão económica é a espuma de poliuretano e a manta de lã mineral.

Adicionalmente, pode também ser efetuada uma comparação dos impactes ambientais de cada material através do indicador GWP, por se tratar do que possui um maior peso relativo na atribuição efetuada pela EPA. Observa-se então os impactes dos materiais na Figura 50.

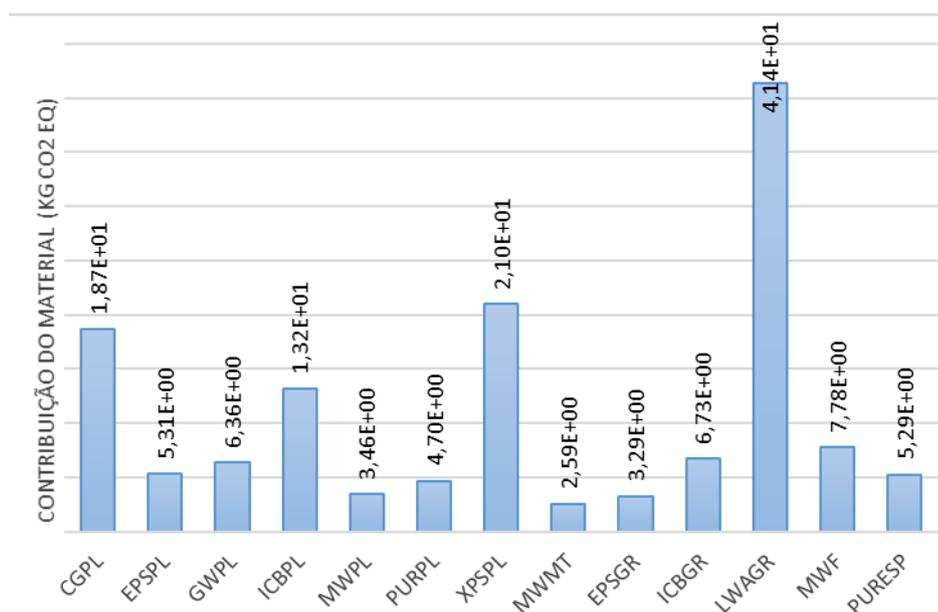


Figura 50 – Comparação da contribuição de cada material para o valor total de GWP

Analisando o gráfico, observa-se que o material com maiores emissões de carbono associadas ao seu fabrico é o granulado de argila expandida e os materiais responsáveis pelas menores emissões de carbono associadas à sua produção são a placa e manta de lã mineral e o granulado de poliestireno expandido.

Através da análise dos resultados obtidos, é possível concluir que a espuma de poliuretano é o material com melhor desempenho, uma vez possui o perfil sustentável com maior área. Significando assim que, apesar de possuir um baixo desempenho funcional, o seu desempenho nas restantes dimensões e parâmetros, levam a que seja um material com excelentes características. E que, apesar de não possuir a nota sustentável mais elevada, possui a segunda melhor, o que reforça tudo o que já foi dito acerca deste material.

Todos os dados considerados e cálculos efetuados poderão ser consultados no Anexo II.

4.5.6 Análise de sensibilidade

Através da análise de sensibilidade efetuada pela Mixtri, é possível observar quais os materiais que satisfazem uma maior quantidade de parâmetros e exigências pela área ocupada pela cor do respetivo material no triângulo. Pode-se então observar na Figura 51 os resultados obtidos para os materiais já estudados na metodologia MARS-SC.

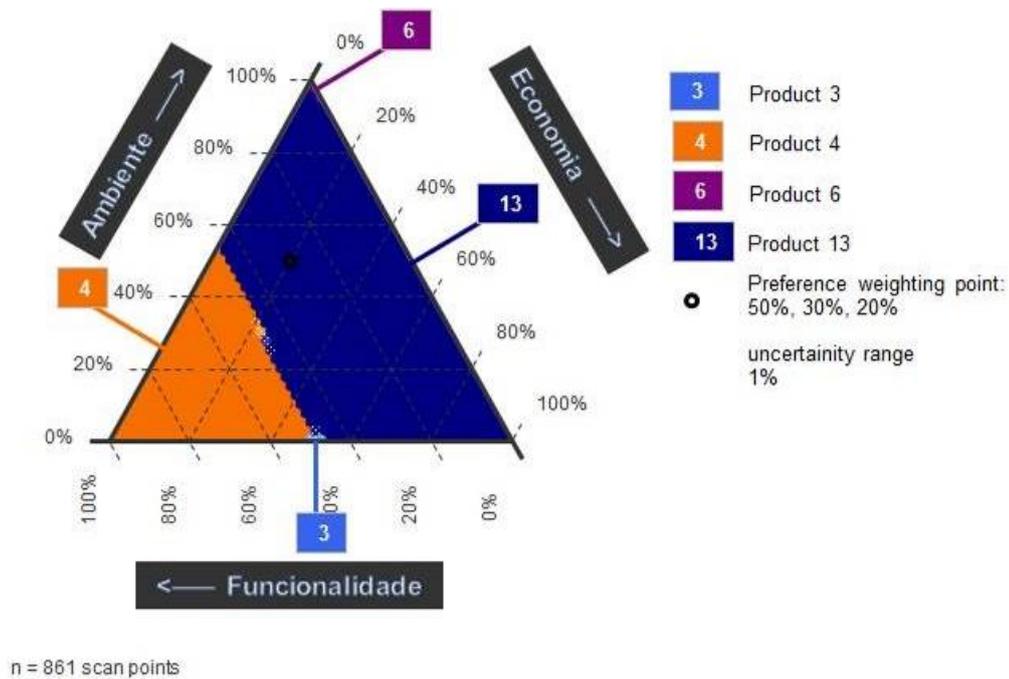


Figura 51 - Gráfico resultante da utilização da metodologia Mixtri

Fazendo a correspondência entre os produtos da metodologia e os materiais, sabe-se que:

- Produto 3 corresponde à lã de vidro em placa;
- Produto 4 corresponden ao aglomerado de cortiça em placa;
- Produto 6 corresponde ao poliuretano em placa;
- Produto 13 corresponde ao poliuretano em espuma.

Tal como concluído anteriormente, também nesta análise a espuma de poliuretano possui o melhor desempenho, ocupando a maior área do triângulo. Pela área ocupada, é possível dizer que se trata de uma solução consistente e com pouca sensibilidade à variação de pesos. Preenchendo e cumprindo um maior número de exigências ambientais, funcionais e económicas.

Apesar de se apresentarem com menor participação no gráfico triangular obtido, a placa de lã de vidro, a placa de aglomerado negro de cortiça e a placa de poliuretano, pertencem ao grupo de materiais que poderão ser considerados sustentáveis numa combinação de diferentes pesos.

A metodologia Mixtri foi então utilizada para comprovar os resultados obtidos através da metodologia MARS-SC. Sendo possível concluir que a espuma de poliuretano é o material de isolamento com melhor desempenho.

No Anexo III, poderão ser consultados os indicadores introduzidos para a obtenção do gráfico apresentado.

5. CASO DE ESTUDO

5.1 Enquadramento

Após a apresentação e análise das soluções de reabilitação energética de fachadas, é necessário passar à prática e aplicar as soluções abordadas a um caso prático de forma a serem assim conhecidas as influências, os resultados e até a poupança que poderão originar. Assim, no presente capítulo, serão apresentados e analisados os resultados obtidos da aplicação prática da temática em estudo.

De forma a avaliar a influência do contexto climático, serão então consideradas quatro localizações em Portugal continental, distintas na sua zona climática, onde o edifício será implantado. Sendo estas apresentadas no Quadro 60. Uma vez que, não é conhecida uma localização exata do edifício em cada uma das cidades, e é necessária a determinação de distâncias, estas foram calculadas considerando o edifício como implantado no centro de cada cidade.

Quadro 60 - Localizações consideradas para a implantação do edifício e respetivas zonas climáticas

Localização	Zona climática
Beja	I1 V3
Lisboa	I1 V2
Porto	I2 V2
Vila Real	I3 V2

Os resultados a analisar passam pela apresentação do desempenho inicial do edifício e após a sua reabilitação, incluindo em ambos os casos uma avaliação energética, ambiental e económica. Pretendendo-se com isso decidir qual a melhor solução de reabilitação por localização.

Uma vez que não foram definidos níveis de eficiência ou de poupança a atingir, foram então considerados como objetivo, os valores de U em vigor no REH. Devendo então o valor de U da parede de fachada do edifício, após a reabilitação, encontrar-se pelo menos, entre o valor máximo e o valor de referência em vigor.

5.2 Apresentação das soluções a aplicar

Anteriormente, foram apresentadas soluções de reabilitação energética de fachadas, podendo a sua área de intervenção posicionar-se no interior ou exterior do edifício, conforme a solução a aplicar. No entanto, é necessária a determinação da constituição de cada solução de forma a otimizar o seu desempenho e com isso, melhorar o desempenho do edifício.

As soluções a aplicar para a reabilitação energética do edifício, são então:

- Soluções de reabilitação pelo **interior**:
 - Painéis isolantes prefabricados;
 - Contra-fachada com isolamento na caixa-de-ar;
- Soluções de reabilitação pelo **exterior**:
 - Sistema compósito de isolamento pelo exterior – ETICS;
 - Componentes prefabricados com isolante – *Vêtures*;
 - Reboco isolante;
 - Revestimentos independentes descontínuos com isolante na caixa-de-ar (Fachadas ventiladas);
 - Painéis de betão reforçados com fibra de vidro – GRC;
 - Módulos de reabilitação prefabricados – MRP.

Uma vez que cada solução possui componentes e características diferentes, existe a necessidade de determinar as dimensões de alguns dos seus componentes, nomeadamente os que não serão alterados pelo objetivo de atingir um determinado valor de U, como por exemplo, as argamassas ou os revestimentos em folha de alumínio.

Em cada solução, serão aplicados vários materiais de isolamento térmico, sendo a sua espessura ótima obtida através de uma abordagem tentativa erro.

Apresentam-se assim, de seguida, as soluções a aplicar com as respetivas constituições, de forma a distinguir cada um dos componentes existentes. Essa apresentação será feita na forma de quadros e a ordem dos materiais, do interior (elemento em contacto com o suporte) para o exterior. Encontrando-se no Anexo IV a compilação da constituição das soluções apresentadas.

No caso dos painéis isolantes prefabricados, trata-se de uma intervenção pelo interior, foi considerada a aplicação de um sistema semidirecto, que compreende a aplicação de uma estrutura de suporte. Como tal, esta estrutura deverá variar conforme a espessura do material de isolamento, permitindo a existência de uma caixa-de-ar. No Quadro 61 é possível observar a constituição da solução.

Quadro 61 - Constituição da solução de reabilitação painéis isolantes prefabricados

Localização do isolamento	Solução de reabilitação	Materiais constituintes	Espessura (m)
Interior	Painéis isolantes prefabricados	Argamassa para colagem	0,01
		Material de isolamento	V
		Caixa-de-ar	V
		Placa de gesso cartonado	0,0125
		Montantes e canais	V
Legenda:		D - Desprezável	V - Variável

Também de intervenção pelo interior, é a execução de uma contra-fachada com isolamento na caixa-de-ar. Neste caso, existe a possibilidade de aplicar dois tipos de contra-fachada, de alvenaria ou em gesso cartonado. Uma vez que a contra-fachada de gesso cartonado é bastante semelhante à solução dos painéis isolantes prefabricados, optou-se apenas pela aplicação da contra-fachada de alvenaria, sendo esta construída com um tijolo cerâmico vazado de 11 centímetros. No Quadro 62 é possível observar a constituição da solução.

Quadro 62 - Constituição da solução de reabilitação contra-fachada de alvenaria

Localização do isolamento	Solução de reabilitação	Materiais constituintes	Espessura (m)
Interior	Contra-fachada com isolamento na caixa-de-ar	Argamassa para colagem	0,01
		Material de isolamento	V
		Caixa-de-ar	V
		Pano de alvenaria 11cm + arg. assentamento	0,11
		Argamassa para revestimento	0,02
Legenda: D - Desprezável V - Variável			

Já de intervenção pelo exterior, uma das soluções propostas, passa pela aplicação de um sistema ETICS com revestimento delgado. Neste tipo de solução, seria também viável a aplicação de um revestimento espesso, mas sendo esta uma solução pouco praticada em Portugal, não será considerada. No Quadro 63 é possível observar a constituição da solução.

Quadro 63 - Constituição da solução de reabilitação sistema ETICS

Localização do isolamento	Solução de reabilitação	Materiais constituintes	Espessura (m)
Exterior	Sistema compósito de isolamento com revestimento delgado (ETICS)	Argamassa para colagem	0,015
		Material de isolamento	V
		Reboco delgado	0,004
Legenda: D - Desprezável V - Variável			

Considera-se também a aplicação de elementos prefabricados, neste caso, *vêtures*. De aplicação exterior, necessitam de elementos para a sua fixação, uma vez que não é possível determinar a quantidade de elementos necessária para o caso em questão, este elemento será então desprezado em cálculos posteriores. No Quadro 64 é possível observar a constituição da solução.

Quadro 64 - Constituição da solução de reabilitação *vêtures*

Localização do isolamento	Solução de reabilitação	Materiais constituintes	Espessura (m)
Exterior	Componentes prefabricados com isolante e fixados diretamente á parede (<i>vêtures</i>)	Argamassa para colagem	0,02
		Revestimento em alumínio	0,0005
		Material de isolamento	V
		Elementos de fixação	D
		Revestimento em alumínio	0,0005
Legenda:		D - Desprezável	V - Variável

De aplicação exterior, os rebocos isolantes podem ser aplicados através de projeção mecânica ou manualmente, não sendo esse fator determinante ou considerado para o cálculo. De forma a garantir a adesão do reboco ao suporte, é considerada a existência de uma camada de reboco, melhorando a aderência. No Quadro 65 é possível observar a constituição da solução.

Quadro 65 - Constituição da solução de reabilitação reboco isolante

Localização do isolamento	Solução de reabilitação	Materiais constituintes	Espessura (m)
Exterior	Reboco isolante	Argamassa de revestimento	0,02
		Reboco isolante	V
		Argamassa de revestimento	0,03
Legenda:		D - Desprezável	V - Variável

Pela variedade de tipos de estruturas de suporte aplicáveis a uma fachada ventilada, estes elementos, assim como os elementos de fixação do revestimento à estrutura, serão desprezados. Este fator deve-se à dificuldade na determinação dos mesmos pela falta de informação suficiente para tal. No Quadro 66 é possível observar a constituição da solução.

Quadro 66 - Constituição da solução de reabilitação fachada ventilada

Localização do isolamento	Solução de reabilitação	Materiais constituintes	Espessura (m)
Exterior	Revestimentos independentes descontínuos com isolante na caixa-de-ar (fachada ventilada)	Argamassa de colagem	0,02
		Material de isolamento	V
		Caixa-de-ar	V
		Estrutura de suporte	D
		Elementos de fixação	D
		Revestimento em alumínio	0,01
Legenda: D - Desprezável V - Variável			

Com semelhanças às *vêtures*, os painéis de betão reforçados com fibra de vidro são também elementos prefabricados e de aplicação direta em obra. E, tal como as *vêtures*, necessitam também de uma estrutura de suporte para a sua aplicação, assim como elementos de fixação. Mais uma vez, estes elementos serão desprezados pelo facto de não se possuir informação suficiente. No Quadro 67 é possível observar a constituição da solução.

Quadro 67 - Constituição da solução de reabilitação painéis de GRC

Localização do isolamento	Solução de reabilitação	Materiais constituintes	Espessura (m)
Exterior	Painéis de betão reforçados com fibra de vidro (GRC)	Estrutura de suporte	D
		Placa de betão com fibra de vidro	0,01
		Material de isolamento	V
		Elementos de fixação	D
		Placa de betão com fibra de vidro	0,01
Legenda: D - Desprezável V - Variável			

Por fim, é considerada a aplicação de módulos de reabilitação prefabricados, cuja constituição se encontra definida e não sendo possível proceder a quaisquer alterações. Esta solução engloba uma estrutura de suporte se encontra previamente definida. No Quadro 68 é possível observar a constituição da solução.

Quadro 68 - Constituição da solução de reabilitação módulos prefabricados

Localização do isolamento	Solução de reabilitação	Materiais constituintes	Espessura (m)
Exterior	Módulos de reabilitação prefabricados (MRP)	Estrutura de suporte	-
		Barreira pára-vapor	0,001
		Material de isolamento	0,12
		Material de isolamento	0,06
		Perfil de aço em U	-
		Revestimento em alumínio	0,006
Legenda: D - Desprezável V - Variável			

De forma a facilitar a consulta e compreensão dos nomes de cada solução, uma vez que serão propostos vários materiais de isolamento para cada uma, foi implementado um código. Código este que associa cada solução à sua localização, sendo atribuído a cada solução um número. Apresenta-se no Quadro 69 o número correspondente a cada uma.

Quadro 69 - Código numérico atribuído a cada solução

Solução de reabilitação	Código
Painéis isolantes prefabricados	1
Contra-fachada com isolamento na caixa-de-ar	2
Sistema compósito de isolamento com revestimento espesso ou delgado (ETICS)	3
Componentes prefabricados com isolante e fixados diretamente à parede (<i>Vêture</i>)	4
Rebocos isolantes	5
Revestimentos independentes descontínuos com isolante na caixa-de-ar (Fachada ventilada)	6
Painéis de betão reforçados com fibra de vidro (GRC)	7
Módulos de reabilitação prefabricados (MRP)	8

Em cada solução, é atribuído ainda um número a cada material de isolamento para estudo. Pode-se observar no Quadro 70, um exemplo da aplicação dos códigos atribuídos a uma solução aplicada em Lisboa.

Quadro 70 - Excerto do quadro de código para Lisboa

Localização		Solução de reabilitação	Material de isolamento	Código
Edifício	Isolamento			
Lisboa	Exterior	Sistema compósito de isolamento com revestimento espesso ou delgado (ETICS)	EPS _{PL}	L.3.1
			ICB _{PL}	L.3.2
			MW _{PL}	L.3.3
			XPS	L.3.4

Pela variação do material de isolamento nas várias soluções em estudo, forma então criados 31 cenários de reabilitação, podendo ser consultados os códigos atribuídos a cada um, nos quadros apresentados no Anexo V.

5.3 Localização 1: Beja

5.3.1 Desempenho energético e ambiental inicial do edifício

Uma vez que se pretende proceder à comparação do desempenho do edifício após a sua reabilitação, é necessário determinar qual o seu desempenho antes desta, ou seja, na sua situação inicial. Assim, pela introdução de todos os parâmetros iniciais do edifício, foi possível obter os dados necessários para proceder a tal comparação. Os resultados obtidos apresentam-se no Quadro 71.

Quadro 71 - Desempenho inicial do edifício em Beja

Desempenho inicial do edifício					
Localização	U _{Fachada} (W/m ² .°C)	Aquec.	Arref.	AQS	Consumo energético
		QH,nd (kWh/m ² .ano)	QC,nd (kWh/m ² .ano)	Qw (kWh/m ² .ano)	GWP (kg CO2 eq)
Beja	1,39	103,26	36,07	18,08	2,34E+01

Pela inexistência de material isolante nas paredes de fachada do edifício, na sua situação inicial, o seu valor U é relativamente elevado, em comparação com os valores impostos pela regulamentação atualmente em vigor. Como mencionado em (ADENE, 2016), o valor de U

máximo, a considerar para a zona climática em estudo, será de 0.5 e o valor de referência de 0.4. Propondo também um isolamento mínimo de 4 a 5 centímetros.

Quanto às necessidades energéticas do edifício, principalmente as necessidades de aquecimento, são relativamente elevadas para a zona climática em que se encontra, pretendendo-se diminuir o seu valor, assim como as necessidades de arrefecimento.

Os impactes ambientais associados a esta fase da vida do edifício, estão relacionados com as emissões de carbono relativas aos consumos energéticos para a satisfação das exigências dos seus utilizadores.

5.3.2 Desempenho energético após a reabilitação

Com a reabilitação, pretende-se reduzir os consumos energéticos do edifício para aquecimento e arrefecimento, levando, conseqüentemente, à diminuição dos impactes ambientais associados aos mesmos. Tudo isto, pela implementação de soluções de reabilitação energética na fachada do edifício. Observa-se no Quadro 72 os resultados obtidos para cada solução em Beja. De forma a conhecer os impactes ambientais associados ao transporte dos materiais para a obra, é necessário considerar um fornecedor e determinar a distância entre ambos os pontos. O inventário das várias localizações poderá ser consultado no Anexo VI.

Quadro 72 - Desempenho energético do edifício após a reabilitação

Desempenho do edifício após a reabilitação						
Solução	Reabilitação			Aquec.	Arref.	AQS
	Espessura isolamento (m)	Espessura da caixa-de-ar (m)	U (W/m ² .°C)	QH,nd (kWh/m ² .ano)	QC,nd (kWh/m ² .ano)	Qw (kWh/m ² .ano)
Inicial	0	-	1,39	103,26	36,07	18,08
B.1.1	0,06	0,01	0,38	56,93	27,64	18,08
B.1.2	0,06	0,01	0,37	56,63	27,58	18,08
B.1.3	0,08	0,01	0,35	56,27	27,50	18,08
B.1.4	0,06	0,01	0,38	56,93	27,64	18,08
B.1.5	0,06	0,01	0,37	56,63	27,58	18,08
B.1.6	0,06	0,01	0,38	56,93	27,64	18,08
B.2.1	0,05	0,03	0,38	56,89	27,64	18,08
B.2.2	0,06	0,03	0,37	56,68	27,59	18,08
B.2.3	0,05	0,03	0,38	56,89	27,64	18,08
B.2.4	0,05	0,03	0,37	56,64	27,58	18,08
B.2.5	0,06	0,03	0,35	56,30	27,51	18,08
B.2.6	0,05	0,03	0,39	57,05	27,67	18,08
B.3.1	0,07	-	0,38	56,82	27,62	18,08
B.3.2	0,08	-	0,37	56,72	27,60	18,08
B.3.3	0,08	-	0,34	56,24	27,49	18,08
B.3.4	0,06	-	0,39	57,12	27,69	18,08
B.4.1	0,05	-	0,39	57,10	27,68	18,08
B.4.2	0,03	-	0,36	56,47	27,54	18,08
B.5.1	0,10	-	0,50	59,00	28,10	18,08
B.5.2	0,10	-	0,80	64,35	29,26	18,08
B.5.3	0,10	-	0,88	65,89	29,59	18,08
B.5.4	0,10	-	0,81	64,68	29,33	18,08
B.6.1	0,06	0,02	0,36	56,52	27,55	18,08
B.6.2	0,06	0,02	0,34	56,25	27,50	18,08
B.6.3	0,06	0,02	0,38	56,93	27,64	18,08
B.6.4	0,06	0,02	0,36	56,52	27,55	18,08
B.6.5	0,05	0,02	0,38	56,88	27,63	18,08
B.6.6	0,06	0,02	0,37	56,69	27,59	18,08
B.6.7	0,05	0,02	0,39	56,98	27,65	18,08
B.7.1	0,08	-	0,32	55,88	27,41	18,08
B.8.1	0,12+0,06	-	0,18	53,24	26,84	18,08

Como se pode observar pelos resultados obtidos, a introdução de isolamento térmico na fachada do edifício, levou à redução e melhoria substancial do valor do U, que passa a estar abaixo do valor máximo regulamentado e a rondar o valor médio recomendado. Com isto, foi possível reduzir, em mais de metade, os consumos energéticos para aquecimento. Apesar de não apresentar uma redução tão acentuada, os valores dos consumos energéticos para arrefecimento também sofrem alteração, diminuindo o seu valor.

Uma vez que, não são efetuadas alterações nos sistemas considerados como existentes no edifício, o valor dos consumos energéticos para produção de águas quentes sanitárias não sofre qualquer alteração.

Como se constata no quadro, o valor de U associado à solução de reboco térmico, nunca atinge os valores regulamentados, então, esta solução não poderá ser considerada para cálculos futuros por não fornecer ao edifício as melhorias necessárias.

5.3.3 Desempenho ambiental após a reabilitação

A redução dos consumos energéticos do edifício, leva a que haja uma redução das emissões de carbono para a atmosfera, ou seja, há uma redução dos impactes ambientais causados pela produção e utilização de energia elétrica e equipamentos. Por se ter aplicado soluções de reabilitação às fachadas do edifício, foi necessário introduzir materiais, cuja extração de matéria-prima, produção e transporte acarretam emissões para a atmosfera. Assim, apesar de existir uma redução dos impactes associados ao consumo, a estes terão de ser adicionados os impactes relativos aos materiais utilizados. Pode-se então observar no Quadro 73 os respetivos valores para os impactes ambientais adicionados.

Quadro 73 - Desempenho ambiental do edifício após a reabilitação

Impactes ambientais associados aos consumos energéticos: GWP (kg CO2 eq)					
Solução	Impactes para os consumos:				Totais após reabilitação (kg CO2 eq)
	Energético inicial (kg CO2 eq)	Energético após reabilitação (kg CO2 eq)	Produção dos materiais (kg CO2 eq)	Transporte dos materiais (kg CO2 eq)	
B.1.1	2,34E+01	1,43E+01	9,81E+01	5,74E-01	9,36E+01
B.1.2		1,43E+01	9,89E+01	6,64E-01	1,14E+02
B.1.3		1,42E+01	1,07E+02	5,75E-01	1,22E+02
B.1.4		1,43E+01	9,68E+01	6,29E-01	1,12E+02
B.1.5		1,43E+01	1,09E+02	5,74E-01	1,24E+02
B.1.6		1,43E+01	9,62E+01	6,15E-01	1,11E+02
B.2.1		1,43E+01	2,94E+02	1,45E+00	3,10E+02
B.2.2		1,43E+01	2,99E+02	1,45E+00	3,15E+02
B.2.3		1,43E+01	2,93E+02	1,50E+00	3,09E+02
B.2.4		1,43E+01	3,03E+02	1,45E+00	3,19E+02
B.2.5		1,42E+01	2,93E+02	1,49E+00	3,09E+02
B.2.6		1,44E+01	2,94E+02	1,47E+00	3,10E+02
B.3.1		1,43E+01	1,08E+01	5,75E-01	2,57E+01
B.3.2		1,43E+01	1,64E+01	5,76E-01	3,13E+01
B.3.3		1,42E+01	9,72E+00	8,07E-01	2,47E+01
B.3.4		1,44E+01	2,12E+01	5,75E-01	3,62E+01
B.4.1		1,44E+01	1,55E+01	1,01E+00	3,09E+01
B.4.2		1,43E+01	1,31E+01	8,51E-01	2,83E+01
B.5.1		1,48E+01	9,10E+02	3,58E+00	9,28E+02
B.5.2		1,58E+01	2,18E+01	5,02E+00	4,26E+01
B.5.3		1,61E+01	1,77E+01	5,06E+00	3,89E+01
B.5.4		1,59E+01	1,21E+03	3,79E+00	1,23E+03
B.6.1		1,43E+01	4,49E+01	1,15E+00	6,04E+01
B.6.2		1,42E+01	4,56E+01	1,24E+00	6,10E+01
B.6.3		1,43E+01	4,86E+01	1,15E+00	6,41E+01
B.6.4		1,43E+01	4,36E+01	1,21E+00	5,91E+01
B.6.5		1,43E+01	4,98E+01	1,15E+00	6,53E+01
B.6.6		1,43E+01	4,45E+01	1,18E+00	6,00E+01
B.6.7		1,44E+01	5,21E+01	1,44E+00	6,79E+01
B.7.1		1,41E+01	2,07E+02	4,18E+00	2,25E+02
B.8.1		1,36E+01	8,21E+01	3,34E+00	9,90E+01

Como se pode observar no quadro, os valores associados aos consumos energéticos após a reabilitação, são consideravelmente inferiores ao valor inicial. Podendo ser por isso considerado um bom resultado.

Mas, apesar da redução no valor associado aos consumos energéticos diminuir substancialmente, para praticamente metade, a aplicação de soluções de reabilitação leva a que passem a existir mais impactes ambientais associados ao edifício, sendo estes os de produção e transporte dos materiais. Assim, apesar do valor total após a reabilitação ser consideravelmente superior ao valor inicial, os impactes associados aos materiais são diluídos no tempo, ou seja, possuímos um elevado impacte inicial, mas que será distribuído pelos anos seguintes até se tornar apenas residual.

Pelos resultados obtidos até ao presente ponto, é possível relacionar a energia consumida com os impactes causados pelo seu consumo do edifício a 30 anos, assim, é possível examinar como serão os seus consumos energéticos nesse tempo. Como se pode observar na Figura 52.

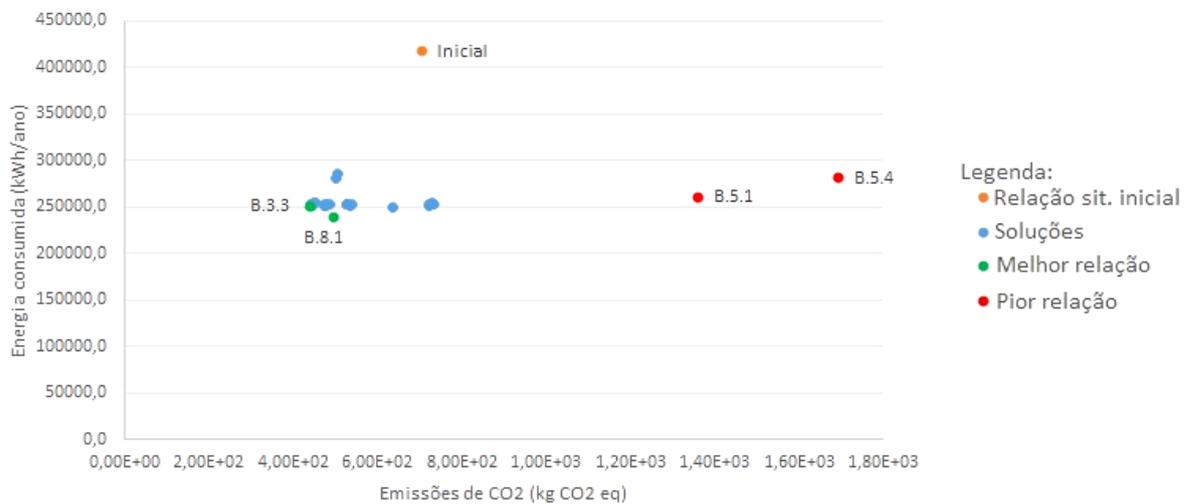


Figura 52 – Relação entre a energia consumida e as emissões de carbono a si associadas

Como se observa no gráfico, na situação inicial do edifício, este possui elevados consumos energéticos e as suas emissões são também um pouco elevadas tendo em conta que as restantes soluções incluídas tiveram os impactes dos seus materiais incluídos no seu valor total. Sendo assim compreensível a necessidade que este edifício possuía em termos de

reabilitação energética, pois caso esta não fosse executada, os seus consumos energéticos e impactes ambientais seriam bem mais elevados do que deveriam.

Existem então, duas soluções cuja relação energia consumida/emissões de carbono pode ser considerada ótima, são elas as soluções B.3.3 e a B.8.1. Estas soluções podem ser consideradas como tal, pelo facto de serem as soluções cujo consumo de energia leva a menores emissões de carbono, ou vice-versa. Como também se observa, as soluções B.5.1 e B.5.4, possuem um comportamento muito desfavorável, uma vez que, apesar de os seus consumos energéticos se encontrarem na média das restantes soluções, as emissões associadas a si são extremamente elevadas, o que poderá ser causado pelo mau desempenho do material e pelas quantidades necessárias.

5.3.4 Desempenho económico após a reabilitação

Para a aplicação de cada uma das soluções de reabilitação propostas, é necessário conhecer qual o valor do investimento a efetuar para cada uma delas e qual o valor anual da sua manutenção. Mas, a avaliação do desempenho económico do edifício, não passa apenas pelos custos inerentes a trabalhos de reabilitação ou manutenção. Uma vez que são conhecidos os seus consumos energéticos, estes também devem ser alvo de avaliação, permitindo assim conhecer quais os gastos anuais em energia e, ao fim de 30 anos, qual a poupança obtida pela ação da reabilitação.

Tendo em conta a área da envolvente exterior opaca do edifício, 93 m², o custo para a colocação de cada solução e manutenção, os consumos energéticos e o preço da energia, obtém-se os valores apresentados no Quadro 74.

Quadro 74 - Desempenho económico do edifício após a reabilitação

Desempenho do edifício após a reabilitação						
Solução	Necessidades energét. totais após a reabilitação (kWh/ano)	Custos anuais dos consumos energéticos		Poupança anual (€/ano)	Poupança energét. a 30 anos (€/ano)	Investimento inicial na reabilitação
		Consumo energét. inicial (€/ano)	Consumos energét.após a reabilitação (€/ano)			
Inicial	13933		-	-	-	-
B.1.1	8457	3 065,26 €	1 945,11 €	1 120,15 €	33 604,50 €	3 078,30 €
B.1.2	8421		1 936,83 €	1 128,43 €	33 852,90 €	2 943,45 €
B.1.3	8377		1 926,71 €	1 138,55 €	34 156,50 €	5 625,57 €
B.1.4	8457		1 945,11 €	1 120,15 €	33 604,50 €	2 962,98 €
B.1.5	8421		1 936,83 €	1 128,43 €	33 852,90 €	3 206,64 €
B.1.6	8457		1 945,11 €	1 120,15 €	33 604,50 €	2 869,05 €
B.2.1	8453		1 944,19 €	1 121,07 €	33 632,10 €	1 634,94 €
B.2.2	8427		1 938,21 €	1 127,05 €	33 811,50 €	3 327,54 €
B.2.3	8453		1 944,19 €	1 121,07 €	33 632,10 €	1 860,00 €
B.2.4	8422		1 937,06 €	1 128,20 €	33 846,00 €	1 741,89 €
B.2.5	8381		1 927,63 €	1 137,63 €	34 128,90 €	1 661,91 €
B.2.6	8472		1 948,56 €	1 116,70 €	33 501,00 €	2 101,80 €
B.3.1	8444		1 942,12 €	1 123,14 €	33 694,20 €	1 320,60 €
B.3.2	8432		1 939,36 €	1 125,90 €	33 777,00 €	3 039,24 €
B.3.3	8373		1 925,79 €	1 139,47 €	34 184,10 €	2 049,72 €
B.3.4	8481		1 950,63 €	1 114,63 €	33 438,90 €	1 129,95 €
B.4.1	8478		1 949,94 €	1 115,32 €	33 459,60 €	4 697,43 €
B.4.2	8401		1 932,23 €	1 133,03 €	33 990,90 €	6 878,28 €
B.6.1	8407		1 933,61 €	1 131,65 €	33 949,50 €	10 995,39 €
B.6.2	8375		1 926,25 €	1 139,01 €	34 170,30 €	11 340,19 €
B.6.3	8457		1 945,11 €	1 120,15 €	33 604,50 €	12 505,71 €
B.6.4	8407		1 933,61 €	1 131,65 €	33 949,50 €	11 470,62 €
B.6.5	8451		1 943,73 €	1 121,53 €	33 645,90 €	11 036,31 €
B.6.6	8428		1 938,44 €	1 126,82 €	33 804,60 €	11 339,49 €
B.6.7	8463		1 946,49 €	1 118,77 €	33 563,10 €	13 811,43 €
B.7.1	8329		1 915,67 €	1 149,59 €	34 487,70 €	16 195,49 €
B.8.1	8008		1 841,84 €	1 223,42 €	36 702,60 €	11 717,07 €

Como se pode observar no quadro, existe uma diferença significativa entre os valores anuais do custo da energia antes e após a reabilitação, permitindo assim esta diferença uma poupança anual, que no final da vida útil da reabilitação corresponderá a um valor considerável.

Os valores do investimento na reabilitação variam muito entre soluções e, em cada solução, com o material de isolamento utilizado. Verifica-se por isso uma variação considerável nos custos, que poderão ser mais acessíveis ou mais dispendiosos. Pretende-se então, uma solução que alie uma poupança energética razoável, a um investimento plausível, de forma a que o seu tempo de retorno não seja demasiado longo. A isto, deve também ser aliado o tempo de retorno dos impactes ambientais, pois a solução deve garantir que apesar de não possuir um preço muito elevado, os seus consumos também não o serão.

5.3.5 Definição da melhor solução de reabilitação

Com todos os dados obtidos anteriormente, é então possível proceder à seleção da solução que, após a sua aplicação, otimizará o desempenho do edifício. Para tal, serão analisados dois fatores de decisão, o tempo de retorno dos impactes ambientais e o tempo de retorno do investimento inicial. Serão utilizados estes fatores, uma vez se pretende melhorar o desempenho ambiental do edifício, reduzindo os seus impactes, tanto com os consumos energéticos, como os associados diretamente à solução escolhida (produção e transporte). E o tempo de retorno do investimento, pois, apesar de se pretender melhorar o desempenho do edifício, o investimento não deverá ser demasiado dispendioso e os custos após a reabilitação deverão levar à poupança, tanto energética como monetária, e compensar o investimento no menor espaço de tempo possível.

Através da análise dos gráficos referentes ao tempo de retorno, como apresentados em 3.7.3 e em 3.8, foi possível obter os dados apresentados no Quadro 75. Após a avaliação dos gráficos de cada solução e analisados todos os tempos de retorno, procedeu-se à sua hierarquização, de forma a combinar os melhores tempos de retorno para cada cenário.

Quadro 75 - Tempos de retorno dos impactes ambientais e do investimento inicial e respetiva hierarquização

Solução	Tempos de retorno		Hierarquização pelo tempo de retorno	
	GWP (anos)	Custos energéticos (anos)	GWP (1-melhor; 16-pior)	Custos energéticos (1-melhor; 5-pior)
B.1.1	11	0,8	10	4
B.1.2	11	0,8	10	4
B.1.3	12	0,9	11	4
B.1.4	10,5	0,8	9	4
B.1.5	12	0,8	11	4
B.1.6	11	0,8	10	4
B.2.1	33	0,5	14	1
B.2.2	33,5	0,8	15	4
B.2.3	33	0,6	14	2
B.2.4	33,5	0,6	15	2
B.2.5	32	0,5	13	1
B.2.6	33	0,7	14	3
B.3.1	1	0,5	1	1
B.3.2	1,5	0,8	2	4
B.3.3	1	0,6	1	2
B.3.4	2	0,5	3	1
B.4.1	1,5	0,9	2	5
B.4.2	1,5	0,9	2	5
B.5.1	∞	-	16	-
B.5.2	4	-	5	-
B.5.3	3	-	4	-
B.5.4	∞	-	16	-
B.6.1	5	0,9	6	5
B.6.2	5	0,9	6	5
B.6.3	5	0,9	6	5
B.6.4	5	0,9	6	5
B.6.5	6	0,9	7	5
B.6.6	5	0,9	6	5
B.6.7	6	0,9	7	5
B.7.1	23	0,9	12	5
B.8.1	8,5	0,9	8	5
Legenda: Melhor solução para a reabilitação Segunda melhor solução para a reabilitação Pior solução para a reabilitação				

Pela análise dos dados presentes no quadro, é possível observar que a solução B.3.1, sistema ETICS com isolamento de poliestireno expandido, possui os melhores tempos de retorno. Sendo por isso uma solução que otimiza o desempenho do edifício através da redução dos impactes ambientais, proporcionando uma poupança e em ambos os casos, retornando os seus valores num curto espaço de tempo.

Conclui-se também, que o sistema ETICS possui as melhores combinações de resultados, sendo a segunda melhor solução, a solução B.3.3, sistema ETICS com isolamento de placas de lã de rocha.

De forma a conhecer a pior solução para a reabilitação do edifício, são considerados os piores tempos de retorno e o valor do investimento inicial. A pior solução, será então a B.7.1, os painéis de betão reforçados com fibra de vidro, por possuírem tempo de retorno elevados, associados a um elevado investimento inicial.

No Anexo XI, poderão ser consultados todos os dados retirados da metodologia e utilizados para a apresentação das informações anteriormente expostas, permitindo assim atingir as conclusões pretendidas para a cidade de Beja.

5.4 Localização 2: Lisboa

5.4.1 Desempenho energético e ambiental inicial do edifício

No Quadro 76, apresentam-se os valores do desempenho do edifício antes da intervenção de reabilitação.

Quadro 76 - Desempenho do edifício na sua situação inicial

Desempenho inicial do edifício					
Localização	U_{Fachada} ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)	Aquec.	Arref.	AQS	Consumo energético
		QH,nd ($\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}$)	QC,nd ($\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}$)	Qw ($\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}$)	GWP (kg CO2 eq)
Lisboa	1,39	71,27	0	18,08	1,21E+01

Uma vez que a constituição do edifício não sofre alterações conforme a sua localização, volta-se a obter um valor de U relativamente elevado em comparação com os valores regulamentados. Em (ADENE, 2016), o valor de U máximo, a considerar para a zona climática em estudo, será de 0.5 e o valor de referência de 0.4. Sendo proposto um isolamento mínimo de 4 a 5 centímetros.

Verifica-se que nesta localização há uma diminuição das necessidades energéticas para aquecimento, não existindo necessidades energéticas para arrefecimento do edifício, o que com a reabilitação poderá sofrer alterações, ou não. Mantendo-se ainda assim, o objetivo de diminuir as necessidades energéticas para aquecimento.

Os impactes ambientais associados a esta fase da vida do edifício, estão relacionados com as emissões de carbono relativas aos consumos energéticos para a satisfação das exigências dos seus utilizadores.

5.4.2 Desempenho energético após a reabilitação

Através da reabilitação energética da fachada do edifício, pretende-se reduzir as suas necessidades energéticas e consequentemente os impactes ambientais associados a estas. Pode-se observar no Quadro 77 os resultados obtidos para cada solução em Lisboa.

Quadro 77 - Desempenho energético do edifício após a reabilitação

Desempenho do edifício após a reabilitação						
Solução	Reabilitação			Aquec.	Arref.	AQS
	Espessura isolamento (m)	Espessura da caixa-de-ar (m)	U (W/m ² .°C)	QH,nd (kWh/m ² .ano)	QC,nd (kWh/m ² .ano)	Qw (kWh/m ² .ano)
Inicial	0	-	1,39	71,27	0	18,08
L.1.1	0,06	0,01	0,38	38,09	20,47	18,08
L.1.2	0,06	0,01	0,37	37,88	20,45	18,08
L.1.3	0,08	0,01	0,35	37,62	20,42	18,08
L.1.4	0,06	0,01	0,38	38,09	20,47	18,08
L.1.5	0,06	0,01	0,37	37,88	20,45	18,08
L.1.6	0,06	0,01	0,38	38,09	20,47	18,08
L.2.1	0,05	0,03	0,38	38,06	20,47	18,08
L.2.2	0,06	0,03	0,37	37,91	20,45	18,08
L.2.3	0,05	0,03	0,38	38,06	20,47	18,08
L.2.4	0,05	0,03	0,37	37,88	20,45	18,08
L.2.5	0,06	0,03	0,37	37,64	20,42	18,08
L.2.6	0,05	0,03	0,39	38,18	20,48	18,08
L.3.1	0,07	-	0,38	38,01	20,46	18,08
L.3.2	0,08	-	0,37	37,94	20,45	18,08
L.3.3	0,08	-	0,34	37,60	20,42	18,08
L.3.4	0,06	-	0,39	38,23	20,48	18,08
L.4.1	0,05	-	0,39	38,21	20,48	18,08
L.4.2	0,03	-	0,36	37,77	20,44	18,08
L.5.1	0,10	-	0,50	39,56	20,61	18,08
L.5.2	0,10	-	0,80	43,37	21,08	18,08
L.5.3	0,10	-	0,88	44,46	21,17	18,08
L.5.4	0,10	-	0,81	43,60	21,10	18,08
L.6.1	0,06	0,02	0,36	37,80	20,44	18,08
L.6.2	0,06	0,02	0,34	37,61	20,42	18,08
L.6.3	0,06	0,02	0,38	38,09	20,47	18,08
L.6.4	0,06	0,02	0,36	37,80	20,44	18,08
L.6.5	0,05	0,02	0,38	38,06	20,46	18,08
L.6.6	0,06	0,02	0,37	37,92	20,45	18,08
L.6.7	0,05	0,02	0,39	38,12	20,47	18,08
L.7.1	0,08	-	0,32	37,34	20,39	18,08
L.8.1	0,12+0,06	-	0,18	35,47	20,20	18,08

Como se pode observar no quadro, o valor de U diminui e melhora substancialmente passando agora a encontrar-se por volta do valor de referência proposto. Melhoria esta que leva a que as necessidades energéticas para aquecimento diminuam. Consequentemente à colocação de isolamento térmico na fachada do edifício, há um aumento das necessidades energéticas para arrefecimento do mesmo, uma vez que com a presença do isolamento, aumenta a massa da parede, o que dificulta a transmissão de energia entre ambientes e leva à necessidade de arrefecimento do ambiente interior, o que aumenta as necessidades energéticas a si associadas e, consequentemente, o aumento das emissões de carbono. Ainda assim, apesar deste aumento, a soma das necessidades energéticas após a reabilitação, não atinge o valor das necessidades antes da reabilitação, continuando a existir poupança, apesar da diferença de energia consumida não ser relativamente grande.

Uma vez que não são efetuadas alterações nos sistemas considerados como existentes no edifício, o valor dos consumos energéticos para produção de águas quentes sanitárias não sofre qualquer alteração.

Como se constata no quadro, o valor de U associado à solução de reboco térmico, nunca atinge os valores regulamentados, então, esta solução não poderá ser considerada para cálculos futuros por não fornecer ao edifício as melhorias necessárias.

5.4.3 Desempenho ambiental após a reabilitação

A produção e consumo de energia leva a que sejam emitidos gases para a atmosfera, assim, a sua diminuição acarreta apenas benefícios para o ambiente. No Quadro 78, é possível observar os resultados obtidos relativamente aos impactes ambientais após a reabilitação do edifício.

Quadro 78 - Desempenho ambiental do edifício após a reabilitação

Impactes ambientais associados aos consumos energéticos: GWP (kg CO2 eq)					
Solução	Impactes para os consumos:				Totais após reabilitação (kg CO2 eq)
	Energético inicial (kg CO2 eq)	Energético após reabilitação (kg CO2 eq)	Produção dos materiais (kg CO2 eq)	Transporte dos materiais (kg CO2 eq)	
L.1.1	1,21E+01	1,00E+01	9,81E+01	3,64E-02	1,08E+02
L.1.2		1,00E+01	9,89E+01	5,79E-02	1,09E+02
L.1.3		9,96E+00	1,07E+02	3,90E-02	1,17E+02
L.1.4		1,00E+01	9,68E+01	4,10E-02	1,07E+02
L.1.5		1,00E+01	1,09E+02	3,69E-02	1,19E+02
L.1.6		1,00E+01	9,62E+02	3,93E-02	9,72E+02
L.2.1		1,00E+01	2,94E+02	5,95E-02	3,04E+02
L.2.2		1,00E+01	2,99E+02	6,03E-02	3,09E+02
L.2.3		1,00E+01	2,93E+02	6,23E-02	3,03E+02
L.2.4		1,00E+01	3,03E+02	5,90E-02	3,13E+02
L.2.5		9,97E+00	2,93E+02	6,18E-02	3,03E+02
L.2.6		1,00E+01	2,94E+02	6,54E-02	3,04E+02
L.3.1		1,00E+01	1,08E+01	4,26E-02	2,08E+01
L.3.2		1,00E+01	1,64E+01	3,68E-02	2,64E+01
L.3.3		9,96E+00	9,72E+00	5,59E-02	1,97E+01
L.3.4		1,01E+01	2,12E+01	4,28E-02	3,13E+01
L.4.1		1,01E+01	1,55E+01	5,06E-02	2,57E+01
L.4.2		9,99E+00	1,31E+01	3,99E-02	2,31E+01
L.5.1		1,03E+01	9,10E+02	1,84E-01	9,20E+02
L.5.2		1,10E+01	2,18E+01	1,10E-01	3,29E+01
L.5.3		1,12E+01	1,77E+01	2,83E-01	2,92E+01
L.5.4		1,11E+01	1,21E+03	1,98E-01	1,22E+03
L.6.1		9,99E+00	4,49E+01	6,21E-02	5,50E+01
L.6.2		9,96E+00	4,56E+01	8,36E-02	5,56E+01
L.6.3		1,00E+01	4,86E+01	6,35E-02	5,87E+01
L.6.4		9,99E+00	4,36E+01	6,67E-02	5,37E+01
L.6.5		1,00E+01	5,34E+01	6,22E-02	6,35E+01
L.6.6		1,00E+01	4,45E+01	1,01E-01	5,46E+01
L.6.7		1,01E+01	5,21E+01	6,51E-02	6,23E+01
L.7.1		9,91E+00	2,07E+02	2,71E+00	2,20E+02
L.8.1		9,57E+00	8,21E+01	2,45E+00	9,41E+01

Como se pode observar no quadro, devido ao aumento das necessidades energéticas para arrefecimento, os impactes ambientais associados aos consumos energéticos após a reabilitação sofreram apenas uma ligeira diminuição relativamente ao valor inicial. Apesar da ligeira diminuição que sofreu, como é necessário acrescentar os impactes provenientes da produção e transporte dos materiais, este valor aumenta substancialmente, mas eventualmente, será diluído ao longo do tempo.

Pelos resultados obtidos até ao presente ponto, é possível relacionar a energia consumida com os impactes causados pelo seu consumo do edifício a 30 anos, assim, é possível examinar como serão os seus consumos energéticos nesse tempo. Como se pode observar na Figura 53.

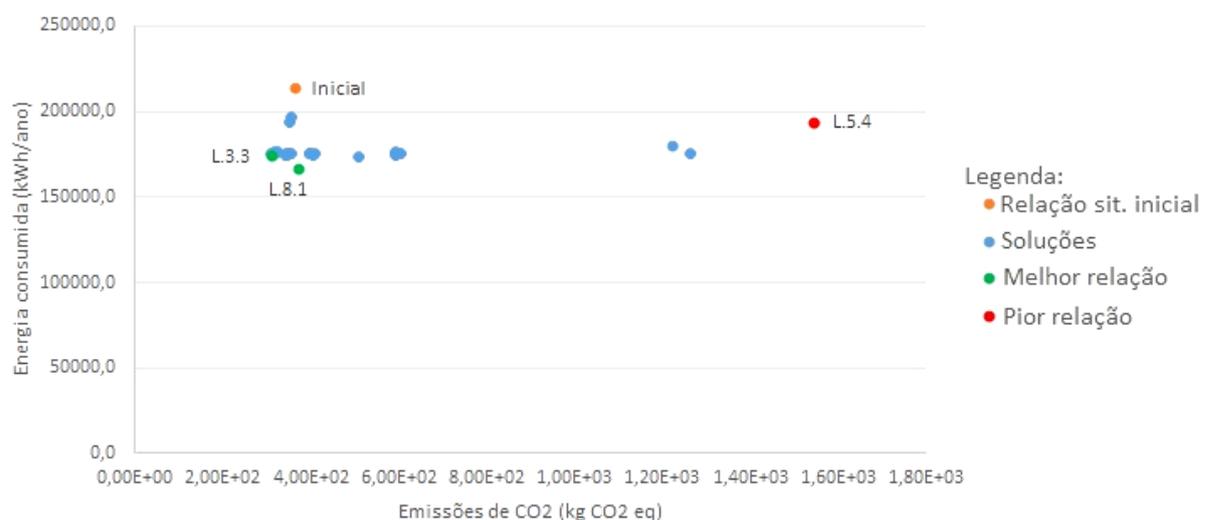


Figura 53 - Relação entre a energia consumida e as emissões de carbono a si associadas

Como se pode observar no gráfico, a situação inicial do edifício encontra-se numa posição média relativamente às restantes soluções. No entanto, tendo em consideração que os impactes das restantes incluem o fabrico e transporte dos materiais, esse valor passa a ser um pouco elevado.

Observa-se também que existem dois pontos que podem ser considerados como a relação ótima de energia consumida e emissões de carbono, os pontos referentes à solução L.3.3 e à solução L.8.1. Nestas soluções, um consumo de energia mais elevado leva a menores emissões ou vice-versa. Como também se observa, o ponto referente à solução L.5.4, corresponde a uma solução cuja relação energia/emissões é inaceitável, isto porque apesar dos

Análise comparativa do desempenho ambiental de diferentes produtos utilizados na reabilitação energética de edifícios

valores da energia se encontrarem na média das restantes soluções, possui emissões exageradas.

5.4.4 Desempenho económico após a reabilitação

Conhecidos os consumos energéticos do edifício, é finalmente possível calcular os custos associados e qual a poupança esperada após a reabilitação. Com uma área da envolvente exterior opaca de 93 m², o custo para a colocação de cada solução e manutenção, assumem também um papel importante na reabilitação. Podem ser consultados tais valores no Quadro 79.

Quadro 79 - Desempenho económico do edifício após a reabilitação

Desempenho do edifício após a reabilitação						
Solução	Necessidades energét. totais após a reabilitação (kWh/ano)	Custos anuais dos consumos energéticos		Poupança anual (€/ano)	Poupança energét. a 30 anos (€/ano)	Investimento inicial na reabilitação
		Consumo energét. inicial (€/ano)	Consumos energét. após a reabilitação (€/ano)			
Inicial	7127		-	-	-	-
L.1.1	5856	1 567,94 €	1 346,88 €	221,06 €	6 631,80 €	3 545,72 €
L.1.2	5833		1 341,59 €	226,35 €	6 790,50 €	3 325,68 €
L.1.3	5804		1 334,92 €	233,02 €	6 990,60 €	5 620,69 €
L.1.4	5856		1 346,88 €	221,06 €	6 631,80 €	3 345,21 €
L.1.5	5833		1 341,59 €	226,35 €	6 790,50 €	3 674,62 €
L.1.6	5856		1 346,88 €	221,06 €	6 631,80 €	3 239,19 €
L.2.1	5853		1 346,19 €	221,75 €	6 652,50 €	1 763,28 €
L.2.2	5836		1 342,28 €	225,66 €	6 769,80 €	3 455,88 €
L.2.3	5853		1 346,19 €	221,75 €	6 652,50 €	1 988,34 €
L.2.4	5833		1 341,59 €	226,35 €	6 790,50 €	1 870,23 €
L.2.5	5806		1 335,38 €	232,56 €	6 976,80 €	1 830,24 €
L.2.6	5866		1 349,18 €	218,76 €	6 562,80 €	2 233,86 €
L.3.1	5847		1 344,81 €	223,13 €	6 693,90 €	1 176,17 €
L.3.2	5839		1 342,97 €	224,97 €	6 749,10 €	3 091,09 €
L.3.3	5802		1 334,46 €	233,48 €	7 004,40 €	2 098,08 €
L.3.4	5871		1 350,33 €	217,61 €	6 528,30 €	1 178,31 €
L.4.1	5869		1 349,87 €	218,07 €	6 542,10 €	4 697,43 €
L.4.2	5821		1 338,83 €	229,11 €	6 873,30 €	6 878,28 €
L.6.1	6017		1 383,91 €	184,03 €	5 520,90 €	11 298,57 €
L.6.2	6445		1 482,35 €	85,59 €	2 567,70 €	11 635,00 €
L.6.3	6563		1 509,49 €	58,45 €	1 753,50 €	12 800,52 €
L.6.4	6470		1 488,10 €	79,84 €	2 395,20 €	11 765,43 €
L.6.5	5824		1 339,52 €	228,42 €	6 852,60 €	11 339,49 €
L.6.6	5803		1 334,69 €	233,25 €	6 997,50 €	11 639,88 €
L.6.7	5856		1 346,88 €	221,06 €	6 631,80 €	14 120,19 €
L.7.1	5824		1 339,52 €	228,42 €	6 852,60 €	14 837,62 €
L.8.1	5852		1 345,96 €	221,98 €	6 659,40 €	11 425,70 €

Tal como referido anteriormente e como se pode observar no quadro, o facto de existir um aumento das necessidades energéticas para arrefecimento leva a que a poupança seja menor, não existindo assim uma poupança anual significativa.

Mais uma vez, verifica-se uma discrepância no investimento inicial, uma vez que este varia muito entre soluções e entre materiais de isolamento. Assim, apesar de tal variação de custos, pretende-se uma solução acessível, que permita a poupança energética, mas que ao mesmo tempo garanta uma redução dos impactes ambientais associados ao edifício. Assim, o tempo de retorno de ambos deverá ser o mais curto possível.

5.4.5 Definição da melhor solução de reabilitação

Através da análise dos valores obtidos para a localização em estudo, é possível determinar qual o tempo de retorno associado a cada solução para os impactes ambientais e para o desempenho económico do edifício. Assim, permite-se a hierarquização dos mesmos e a determinação da melhor combinação de tempos de retorno. No Quadro 80 encontram-se ambos os tempos de retorno em análise e a respetiva hierarquização.

Quadro 80 - Tempos de retorno dos impactos ambientais e do investimento inicial e respetiva hierarquização

Solução	Tempos de retorno		Hierarquização pelo tempo de retorno	
	GWP (anos)	Custos energéticos (anos)	GWP (1-melhor; 15-pior)	Custos energéticos (1-melhor; 2-pior)
L.1.1	49	1	13	2
L.1.2	48	1	12	2
L.1.3	50	1	14	2
L.1.4	48	1	12	2
L.1.5	50	1	14	2
L.1.6	48	1	12	2
L.2.1	∞	1	15	2
L.2.2	∞	1	15	2
L.2.3	∞	1	15	2
L.2.4	∞	1	15	2
L.2.5	∞	1	15	2
L.2.6	∞	1	15	2
L.3.1	5	0,9	1	1
L.3.2	8	1	4	2
L.3.3	5	0,9	1	1
L.3.4	10	0,9	5	1
L.4.1	7	1	3	2
L.4.2	6	1	2	2
L.5.1	∞	-	15	-
L.5.2	20	-	6	-
L.5.3	20	-	6	-
L.5.4	∞	-	15	-
L.6.1	22	1	8	2
L.6.2	22	1	8	2
L.6.3	24	1	9	2
L.6.4	21	1	7	2
L.6.5	26	1	10	2
L.6.6	22	1	8	2
L.6.7	26	1	10	2
L.7.1	∞	1	15	2
L.8.1	34	1	11	2

Legenda:
Melhor solução para a reabilitação
Segunda melhor solução para a reabilitação
Pior solução para a reabilitação

Como se observa no quadro, duas soluções possuem tempos de retorno iguais, sendo inclusivamente os melhores. Assim, estão determinadas as melhores soluções, sendo elas a L.3.1 e a L.3.3, sistema ETICS com isolamento de poliestireno expandido e sistema ETICS com isolamento de placas de lã mineral, respetivamente. Por se tratar de uma situação de igualdade, é necessário recorrer a um terceiro fator de decisão, que determinará qual a solução, que apesar dos ótimos tempos de recuperação, apresenta ainda mais vantagens relativamente à outra. Esse fator será o valor do investimento inicial. Analisando novamente o Quadro 79, verifica-se que a solução L.3.1 acarreta um investimento inicial de 1 176,17€ e a solução L.3.3 um investimento de 2 098,08€. Conclui-se então que, a solução que otimiza o desempenho do edifício em Lisboa, é a solução L.3.1, um sistema ETICS com isolamento de poliestireno expandido.

Analisando os tempos de retorno obtidos, de entre os piores (mais longos), verifica-se que a pior solução para a reabilitação será a solução L.7.1, os painéis de betão reforçados com fibra de vidro. Pois, além dos longos períodos a si associados, é a solução que incorpora o maior investimento inicial.

Pela análise do quadro, é também possível constatar que os tempos de retorno das emissões de carbono são extremamente elevados, não existindo sequer em alguns casos. Os longos períodos de retorno verificados devem-se ao clima ameno que se faz sentir na região. Em climas amenos, existem menores necessidades energéticas, o que provocará também menores emissões de carbono para a atmosfera e, conseqüentemente, longos períodos de retorno.

No Anexo XII, poderão ser consultados todos os dados retirados da metodologia e utilizados para a apresentação das informações anteriormente expostas, permitindo assim atingir as conclusões pretendidas para a cidade de Lisboa.

5.5 Localização 3: Porto

5.5.1 Desempenho energético e ambiental inicial do edifício

No Quadro 81, é possível observar os valores obtidos para o desempenho inicial do edifício, não tendo ainda sido sujeito a qualquer alteração na sua fachada.

Quadro 81 - Desempenho do edifício na sua situação inicial

Desempenho inicial do edifício					
Localização	U (W/m ² .°C)	Aquec.	Arref.	AQS	Consumo energético
		QH,nd (kWh/m ² .ano)	QC,nd (kWh/m ² .ano)	Qw (kWh/m ² .ano)	GWP (kg CO2 eq)
Porto	1,39	123,33	0	18,08	2,07E+01

Uma vez que a constituição do edifício não sofre alterações com a alternância entre localizações, o valor de U mantém-se. Para a sua otimização, e segundo (ADENE, 2016), este valor deverá ser inferior a 0.4 e utilizar como valor de referência, 0.35. Indicando ainda um isolamento térmico mínimo de 6 a 7 centímetros.

Pela mudança de zona climática, no Norte do país, os consumos energéticos relativos ao aquecimento aumentam, mantendo-se os de arrefecimento nulos. Estes últimos, com a reabilitação da parede de fachada, poderão sofrer alterações, ou não. Mantendo-se o objetivo de diminuir os consumos para aquecimento.

Os impactes ambientais associados a esta fase da vida do edifício, estão relacionados com as emissões de carbono relativas aos consumos energéticos para a satisfação das exigências dos seus utilizadores.

5.5.2 Desempenho energético após a reabilitação

Para a redução das necessidades energéticas do edifício e, conseqüentemente, a redução dos impactes ambientais a si associados, procedeu-se à reabilitação energética da fachada, podendo os resultados obtidos para o Porto, ser consultados no Quadro 82.

Quadro 82 - Desempenho energético do edifício após a reabilitação

Desempenho do edifício após a reabilitação						
Solução	Reabilitação			Aquec.	Arref.	AQS
	Espessura isolamento (m)	Espessura da caixa-de-ar (m)	U (W/m ² .°C)	QH,nd (kWh/m ² .ano)	QC,nd (kWh/m ² .ano)	Qw (kWh/m ² .ano)
Inicial	0	-	1,39	123,33	0	18,08
P.1.1	0,07	0,02	0,35	67,39	0,00	18,08
P.1.2	0,08	0,01	0,31	66,50	0,00	18,08
P.1.3	0,08	0,01	0,35	67,37	0,00	18,08
P.1.4	0,08	0,01	0,32	66,84	0,00	18,08
P.1.5	0,08	0,01	0,31	66,50	0,00	18,08
P.1.6	0,08	0,01	0,32	66,84	0,00	18,08
P.2.1	0,06	0,03	0,35	67,40	0,00	18,08
P.2.2	0,08	0,03	0,32	66,74	0,00	18,08
P.2.3	0,06	0,03	0,35	67,40	0,00	18,08
P.2.4	0,06	0,03	0,33	67,10	0,00	18,08
P.2.5	0,06	0,03	0,35	67,40	0,00	18,08
P.2.6	0,07	0,03	0,34	67,28	0,00	18,08
P.3.1	0,08	-	0,34	67,32	0,00	18,08
P.3.2	0,10	-	0,32	66,77	0,00	18,08
P.3.3	0,08	-	0,34	67,32	0,00	18,08
P.3.4	0,08	-	0,32	66,91	0,00	18,08
P.4.1	0,08	-	32,00	66,70	0,00	18,08
P.4.2	0,04	-	0,30	66,45	0,00	18,08
P.5.1	0,10	-	0,50	70,62	0,00	18,08
P.5.2	0,10	-	0,80	76,99	0,00	18,08
P.5.3	0,10	-	0,88	78,82	0,00	18,08
P.5.4	0,10	-	0,81	77,38	0,00	18,08
P.6.1	0,07	0,02	0,33	67,02	0,00	18,08
P.6.2	0,06	0,02	0,34	67,34	0,00	18,08
P.6.3	0,08	0,02	0,33	66,96	0,00	18,08
P.6.4	0,08	0,02	0,30	66,49	0,00	18,08
P.6.5	0,06	0,02	0,34	67,34	0,00	18,08
P.6.6	0,07	0,02	0,34	67,22	0,00	18,08
P.6.7	0,06	0,02	0,35	67,45	0,00	18,08
P.7.1	0,08	-	0,32	66,90	0,00	18,08
P.8.1	0,12+0,06	-	0,18	63,75	0,00	18,08

Tal como pretendido, através da aplicação de soluções de reabilitação energética na fachada do edifício, pelo ajuste da espessura do isolamento térmico, foi possível atingir valores de U iguais ou inferiores ao de referência. Consequentemente, os consumos energéticos associados às necessidades energéticas para aquecimento do edifício, diminuíram substancialmente, atingindo praticamente metade do valor inicial em alguns casos.

Pelas características da zona climática em estudo, as necessidades energéticas para arrefecimento do edifício não sofrem alterações, mantendo-se inexistentes. Assim, existindo apenas a diminuição dos consumos para aquecimento, presencia-se uma poupança acentuada em termos energéticos e monetários. Por tal diminuição, as emissões de carbono associadas aos consumos energéticos, sofrerão também um decréscimo acentuado, como se constatará de seguida.

Uma vez que não são efetuadas alterações nos sistemas considerados como existentes no edifício, o valor dos consumos energéticos para produção de águas quentes sanitárias não sofre qualquer alteração.

Como se constata no quadro, o valor de U associado à solução de reboco térmico, nunca atinge os valores regulamentados, então, esta solução não poderá ser considerada para cálculos futuros por não fornecer ao edifício as melhorias necessárias.

5.5.3 Desempenho ambiental após a reabilitação

A redução das necessidades energéticas do edifício, leva a que exista uma diminuição dos impactes ambientais associados à produção e consumo de energia elétrica. Observa-se no Quadro 83 os resultados obtido.

Quadro 83 - Desempenho ambiental do edifício após a reabilitação

Impactes ambientais associados aos consumos energéticos: GWP (kg CO2 eq)					
Solução	Impactes para os consumos:				Totais após reabilitação (kg CO2 eq)
	Energético inicial (kg CO2 eq)	Energético após reabilitação (kg CO2 eq)	Produção dos materiais (kg CO2 eq)	Transporte dos materiais (kg CO2 eq)	
P.1.1	2,07E+01	1,15E+01	1,01E+02	8,44E-02	1,13E+02
P.1.2		1,14E+01	1,03E+02	1,30E-01	1,15E+02
P.1.3		1,15E+01	1,07E+02	1,39E-01	1,19E+02
P.1.4		1,14E+01	1,00E+02	1,12E-01	1,12E+02
P.1.5		1,14E+01	1,17E+02	8,49E-02	1,28E+02
P.1.6		1,14E+01	9,95E+01	1,05E-01	1,11E+02
P.2.1		1,15E+01	2,95E+02	2,19E-01	3,07E+02
P.2.2		1,14E+01	3,01E+02	2,74E-01	3,13E+02
P.2.3		1,15E+01	2,94E+02	2,39E-01	3,06E+02
P.2.4		1,15E+01	3,06E+02	2,19E-01	3,18E+02
P.2.5		1,15E+01	2,93E+02	2,34E-01	3,05E+02
P.2.6		1,15E+01	2,95E+02	2,25E-01	3,07E+02
P.3.1		1,15E+01	1,15E+01	1,11E-01	2,31E+01
P.3.2		1,14E+01	1,88E+01	1,79E-01	3,04E+01
P.3.3		1,15E+01	9,72E+00	1,38E-01	2,14E+01
P.3.4		1,14E+01	2,61E+01	1,11E-01	3,76E+01
P.4.1		1,14E+01	1,80E+01	2,14E-01	2,96E+01
P.4.2		1,14E+01	1,40E+01	1,47E-01	2,55E+01
P.5.1		1,20E+01	9,10E+02	6,39E-01	9,23E+02
P.5.2		1,31E+01	2,18E+01	7,31E+01	1,08E+02
P.5.3		1,34E+01	1,77E+01	9,52E-01	3,21E+01
P.5.4		1,32E+01	1,21E+03	6,84E-01	1,22E+03
P.6.1		1,14E+01	4,55E+01	2,00E-01	5,71E+01
P.6.2		1,15E+01	4,56E+01	2,33E-01	5,73E+01
P.6.3		1,14E+01	5,11E+01	2,54E-01	6,28E+01
P.6.4		1,14E+01	4,44E+01	2,27E-01	5,60E+01
P.6.5		1,15E+01	5,59E+01	2,00E-01	6,76E+01
P.6.6		1,15E+01	4,50E+01	2,06E-01	5,67E+01
P.6.7		1,15E+01	5,43E+01	7,88E-01	6,66E+01
P.7.1		1,14E+01	2,07E+02	7,95E-01	2,19E+02
P.8.1		1,09E+01	8,21E+01	4,08E-01	9,34E+01

Como se pode observar, os impactes ambientais associados aos consumos energéticos diminuíram substancialmente, diminuição essa, originada pela redução das necessidades energéticas para aquecimento.

Uma vez que são aplicadas soluções de reabilitação energética na fachada, existe uma adição de materiais, o que por sua vez origina impactes ambientais associados à produção e transporte dos mesmos. Apesar dos impactes ambientais após a reabilitação serem maiores, os impactes provenientes dos materiais utilizados nas soluções aplicadas, serão diluídos no tempo. O que leva a que, no final do tempo de vida da solução de reabilitação, a sua contribuição seja praticamente nula. Sendo já apenas considerados os impactes provenientes dos consumos energéticos.

Pelos resultados obtidos até ao presente ponto, é possível relacionar a energia consumida com os impactes causados pelo seu consumo do edifício a 30 anos, assim, é possível examinar como serão os seus consumos energéticos nesse tempo. Como se pode observar na Figura 54.

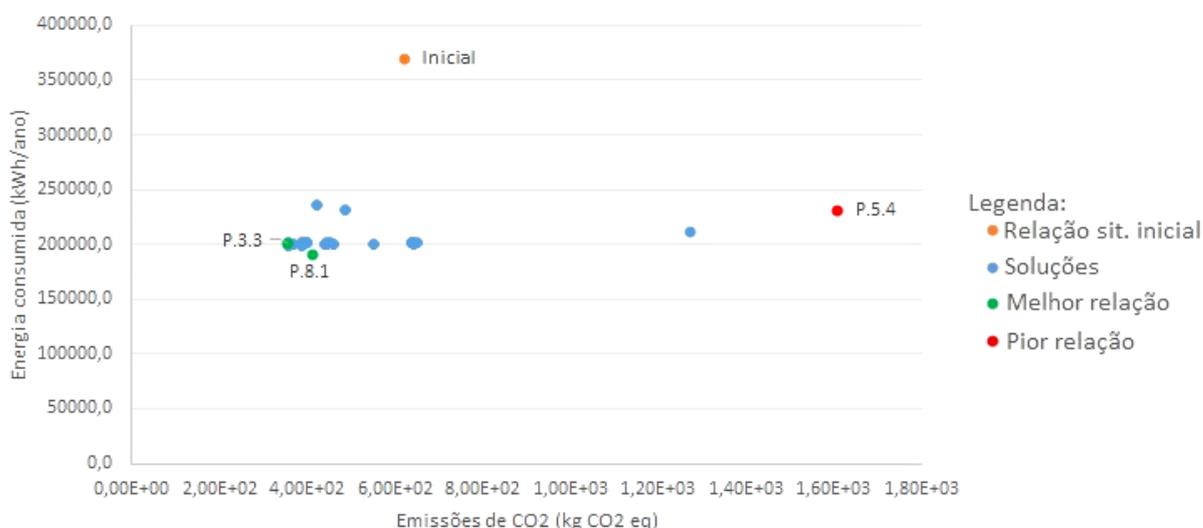


Figura 54 - Relação entre a energia consumida e as emissões de carbono a si associadas

Como se observa no gráfico, o desempenho do edifício na sua situação inicial, ao fim de 30 anos (tempo de vida útil da solução de reabilitação), possui consumos energéticos relativamente elevados, não sendo as emissões de carbono correspondentes, tão elevadas como os consumos. Apesar de, neste caso, apenas constar o valor dos consumos energéticos, nas restantes soluções, o seu valor engloba também os materiais aplicados a cada uma.

É também possível observar que existem duas soluções que possuem um comportamento ótimo, relativamente à relação energia consumida/emissões de carbono. São elas a solução P.3.3 e a solução P.8.1. Constata-se também que, a solução B.5.4 é a que possui piores resultados, apresentando um comportamento inadmissível para a sua aplicação ao edifício.

5.5.4 Desempenho económico após a reabilitação

Para uma correta avaliação do desempenho económico do edifício, é necessário conhecer as suas necessidades energéticas, assim como o custo para a colocação de cada solução e a respetiva manutenção. Com uma área da envolvente exterior opaca de 93 m², estes valores podem ser consultados no Quadro 84.

Quadro 84 - Desempenho económico do edifício após a reabilitação

Desempenho do edifício após a reabilitação						
Solução	Necessidades energét. totais após a reabilitação (kWh/ano)	Custos anuais dos consumos energéticos		Poupança anual (€/ano)	Poupança energét. a 30 anos (€/ano)	Investimento inicial na reabilitação
		Consumo energét. inicial (€/ano)	Consumos energét. após a reabilitação (€/ano)			
Inicial	12333		-	-	-	-
P.1.1	6739	2 713,26 €	1 549,97 €	1 163,29 €	34 898,70 €	3 644,39 €
P.1.2	6650		1 529,50 €	1 183,76 €	35 512,80 €	3 938,32 €
P.1.3	6737		1 549,51 €	1 163,75 €	34 912,50 €	5 559,31 €
P.1.4	6684		1 537,32 €	1 175,94 €	35 278,20 €	3 660,48 €
P.1.5	6650		1 529,50 €	1 183,76 €	35 512,80 €	3 939,29 €
P.1.6	6684		1 537,32 €	1 175,94 €	35 278,20 €	3 290,90 €
P.2.1	6740		1 550,20 €	1 163,06 €	34 891,80 €	1 873,02 €
P.2.2	6674		1 535,02 €	1 178,24 €	35 347,20 €	3 580,50 €
P.2.3	6740		1 550,20 €	1 163,06 €	34 891,80 €	2 218,98 €
P.2.4	6710		1 543,30 €	1 169,96 €	35 098,80 €	2 001,36 €
P.2.5	6740		1 550,20 €	1 163,06 €	34 891,80 €	1 828,38 €
P.2.6	6728		1 547,44 €	1 165,82 €	34 974,60 €	2 488,68 €
P.3.1	6732		1 548,36 €	1 164,90 €	34 947,00 €	1 253,73 €
P.3.2	6677		1 535,71 €	1 177,55 €	35 326,50 €	3 706,28 €
P.3.3	6732		1 548,36 €	1 164,90 €	34 947,00 €	2 100,87 €
P.3.4	6691		1 538,93 €	1 174,33 €	35 229,90 €	1 448,66 €
P.4.1	6670		1 534,10 €	1 179,16 €	35 374,80 €	5 141,04 €
P.4.2	6645		1 528,35 €	1 184,91 €	35 547,30 €	7 077,30 €
P.6.1	7062		1 624,26 €	1 089,00 €	32 670,00 €	11 507,82 €
P.6.2	7699		1 770,77 €	942,49 €	28 274,70 €	11 783,80 €
P.6.3	7882		1 812,86 €	900,40 €	27 012,00 €	13 023,72 €
P.6.4	7738		1 779,74 €	933,52 €	28 005,60 €	12 226,71 €
P.6.5	6702		1 541,46 €	1 171,80 €	35 154,00 €	11 571,99 €
P.6.6	6734		1 548,82 €	1 164,44 €	34 933,20 €	11 933,76 €
P.6.7	6696		1 540,08 €	1 173,18 €	35 195,40 €	14 764,68 €
P.7.1	6649		1 529,27 €	1 183,99 €	35 519,70 €	11 549,58 €
P.8.1	6734		1 548,82 €	1 164,44 €	34 933,20 €	5 975,53 €

Pela manutenção do valor das necessidades energéticas para arrefecimento e pelo decréscimo das necessidades energéticas para aquecimento, os custos associados aos consumos energéticos são alvo de um corte considerável, tal como pretendido. Observa-se assim uma

poupança anual considerável, transformando-se num valor avultado quando ao fim de 30 anos.

Mais uma vez, observa-se uma diferença considerável entre soluções de reabilitação energética e, em cada solução, entre os materiais considerados. Como tal, pretende-se uma solução cujo investimento inicial seja aceitável, associando-se a um tempo de retorno curto. Tudo isto deve ser relacionado com o tempo de retorno dos impactes ambientais, para com isso obter a melhor combinação possível.

5.5.5 Definição da melhor solução de reabilitação

Conhecidos os custos associados à reabilitação do edifício e os seus impactes e consumos energéticos após esta, é possível determinar o tempo de retorno de ambos. Assim, estes apresentam-se no Quadro 85.

Quadro 85 - Tempos de retorno de impactes ambientais e investimento inicial e respetiva hierarquização

Solução	Tempos de retorno		Hierarquização pelo tempo de retorno	
	GWP (anos)	Custos energéticos (anos)	GWP (1-melhor; 18-pior)	Custos energéticos (1-melhor; 6-pior)
P.1.1	11	0,9	11	5
P.1.2	11	0,9	11	5
P.1.3	12	0,9	12	5
P.1.4	11	0,8	11	4
P.1.5	13	0,9	13	5
P.1.6	10	0,8	10	4
P.2.1	64	0,6	17	2
P.2.2	33	0,8	16	4
P.2.3	33	0,6	16	2
P.2.4	33	0,7	16	3
P.2.5	33	0,5	16	1
P.2.6	32	0,6	15	2
P.3.1	1,5	0,5	2	1
P.3.2	3,5	0,7	6	3
P.3.3	0,5	0,6	1	2
P.3.4	2,5	0,5	4	1
P.4.1	2	0,9	3	5
P.4.2	1,5	0,9	2	5
P.5.1	∞	-	18	-
P.5.2	3	-	5	-
P.5.3	2,5	-	4	-
P.5.4	∞	-	18	-
P.6.1	5	1	7	6
P.6.2	5	1	7	6
P.6.3	6	1	8	6
P.6.4	5	1	7	6
P.6.5	6	1	8	6
P.6.6	5	1	7	6
P.6.7	6	1	8	6
P.7.1	23	0,9	14	5
P.8.1	8	0,9	9	5
Legenda: Melhor solução para a reabilitação Segunda melhor solução para a reabilitação Pior solução para a reabilitação				

Como se pode observar, existem duas soluções com combinações ótimas do tempo de retorno dos impactes ambientais e dos custos energéticos. São elas, a solução P.3.1 e a solução P.3.3, sistema ETICS com isolamento de poliestireno expandido e sistema ETICS com isolamento de placas de lã de rocha, respetivamente. No entanto, a primeira possui o melhor desempenho nos custos energéticos e a segunda, nos impactes ambientais. Sendo ambos os fatores importantes, a escolha da melhor solução de reabilitação recairá no valor do investimento necessário para a sua aplicação.

Assim, voltando a analisar o Quadro 84, constata-se que o valor do investimento para a solução P.3.1 é de 1 253,73€, quanto que para a solução P.3.3, o investimento passa para 2 100,87€. Com isto, é então possível definir qual a solução que otimizará o desempenho do edifício, sendo esta a solução P.3.1 por acarretar um menor investimento inicial e uma menor manutenção anual.

Analisando os tempos de retorno, verifica-se que o mais longo, associado ao maior investimento inicial, pertence à solução P.7.1, os painéis de betão reforçados com fibra de vidro. Sendo esta solução, a pior solução para a reabilitação energética do edifício.

No Anexo XIII, poderão ser consultados todos os dados retirados da metodologia e utilizados para a apresentação das informações anteriormente expostas, permitindo assim atingir as conclusões pretendidas para a cidade de Porto.

5.6 Localização 4: Vila Real

5.6.1 Desempenho energético e ambiental inicial do edifício

No Quadro 86, apresentam-se os resultados obtidos para o desempenho do edifício na sua situação inicial. Posteriormente, estes dados serão comparados com os resultados obtidos para uma situação após reabilitação.

Quadro 86 - Desempenho do edifício na sua situação inicial

Desempenho inicial do edifício					
Localização	U (W/m ² .°C)	Aquec.	Arref.	AQS	Consumo energético
		QH,nd (kWh/m ² .ano)	QC,nd (kWh/m ² .ano)	Qw (kWh/m ² .ano)	GWP (kg CO2 eq)
Vila Real	1,39	195,23	0	18,08	3,26E+01

Não sofrendo alterações com a mudança de localização, a constituição dos elementos do edifício mantém-se, mantendo-se assim o valor de U obtido. De forma a se proceder à sua otimização, segundo (ADENE, 2016), o valor de U deverá cumprir um valor máximo de 0.35 e aproximar-se do valor de referência, 0.30. Sendo ainda aconselhado um isolamento térmico mínimo de 7 a 9 centímetros.

Alterando-se a zona climática para uma localização com temperaturas rigorosas na estação de aquecimento, torna-se facilmente compreensível os elevados valores associados às necessidades energéticas para aquecimento do edifício. Sendo as necessidades energéticas para arrefecimento, nulas. Assim, pretende-se reduzir os consumos energéticos para aquecimento do edifício, de forma a permitir a poupança energética e a diminuição dos consumos.

Os impactes ambientais associados a esta fase da vida do edifício, estão relacionados com as emissões de carbono relativas aos consumos energéticos para a satisfação das exigências dos seus utilizadores.

5.6.2 Desempenho energético após a reabilitação

De forma a otimizar o desempenho do edifício, procedeu-se à reabilitação energética da sua fachada, pretendendo-se assim atingir um valor de U que respeita a regulamentação existente, uma redução dos consumos energéticos e consequentemente, uma redução dos custos ambientais e económicos a eles associados. É possível observar no Quadro 87 os resultados obtidos para este processo.

Quadro 87 - Desempenho energético do edifício após a reabilitação

Desempenho do edifício após a reabilitação						
Solução	Reabilitação			Aquec.	Arref.	AQS
	Espessura isolamento (m)	Espessura da caixa-de-ar (m)	U (W/m ² .°C)	QH,nd (kWh/m ² .ano)	QC,nd (kWh/m ² .ano)	Qw (kWh/m ² .ano)
Inicial	0	-	1,39	195,23	0	18,08
VR.1.1	0,09	0,035	0,29	109,26	0,00	18,08
VR.1.2	0,08	0,01	0,31	109,60	0,00	18,08
VR.1.3	0,10	0,025	0,30	109,34	0,00	18,08
VR.1.4	0,10	0,025	0,27	108,60	0,00	18,08
VR.1.5	0,10	0,025	0,26	108,13	0,00	18,08
VR.1.6	0,10	0,025	0,27	108,60	0,00	18,08
VR.2.1	0,08	0,03	0,30	109,30	0,00	18,08
VR.2.2	0,10	0,03	0,28	108,71	0,00	18,08
VR.2.3	0,08	0,03	0,30	109,30	0,00	18,08
VR.2.4	0,08	0,03	0,28	108,36	0,00	18,08
VR.2.5	0,08	0,03	0,30	109,30	0,00	18,08
VR.2.6	0,08	0,03	0,30	109,58	0,00	18,08
VR.3.1	0,10	-	0,29	109,22	0,00	18,08
VR.3.2	0,125	-	0,27	108,47	0,00	18,08
VR.3.3	0,10	-	0,29	109,18	0,00	18,08
VR.3.4	0,10	-	0,28	108,68	0,00	18,08
VR.4.1	0,10	-	0,26	108,23	0,00	18,08
VR.4.2	0,05	-	0,26	108,23	0,00	18,08
VR.5.1	0,10	-	0,50	115,85	0,00	18,08
VR.5.2	0,10	-	0,80	125,50	0,00	18,08
VR.5.3	0,10	-	0,88	128,26	0,00	18,08
VR.5.4	0,10	-	0,81	126,09	0,00	18,08
VR.6.1	0,08	0,02	0,30	109,58	0,00	18,08
VR.6.2	0,08	0,02	0,29	108,12	0,00	18,08
VR.6.3	0,10	0,02	0,29	108,96	0,00	18,08
VR.6.4	0,10	0,02	0,30	109,58	0,00	18,08
VR.6.5	0,08	0,02	0,29	109,12	0,00	18,08
VR.6.6	0,09	0,02	0,29	109,17	0,00	18,08
VR.6.7	0,08	0,02	0,30	109,58	0,00	18,08
VR.7.1	0,10	-	0,28	108,64	0,00	18,08
VR.8.1	0,12+0,06	-	0,18	105,43	0,00	18,08

Como se pode observar no quadro, o valor de U sofre alterações pela aplicação de soluções com isolamento térmico na sua constituição, o que leva à sua diminuição, pelo ajuste da espessura do isolamento, até aos valores regulamentados. Com isto, pela aplicação do isolamento e a diminuição do valor de U, os consumos energéticos para aquecimento diminuem para praticamente metade do seu valor, o que leva a uma redução, de também para quase metade, dos impactes ambientais a si associados.

Pelas características climáticas da localização em estudo, as necessidades energéticas para arrefecimento mantêm-se nulas. Não interferindo na poupança causada pelas necessidades energéticas para aquecimento.

Uma vez que não são efetuadas alterações nos sistemas considerados como existentes no edifício, o valor dos consumos energéticos para produção de águas quentes sanitárias não sofre qualquer alteração.

Como se constata no quadro, o valor de U associado à solução de reboco térmico, nunca atinge os valores regulamentados, então, esta solução não poderá ser considerada para cálculos futuros por não fornecer ao edifício as melhorias necessárias.

5.6.3 Desempenho ambiental após a reabilitação

A diminuição das necessidades energéticas do edifício, reproduz-se na diminuição dos impactes ambientais associados à energia elétrica, beneficiando assim, tanto o utilizador, como o ambiente. Apresentam-se no Quadro 88, os resultados obtidos para os impactes ambientais do edifício após a reabilitação da sua fachada.

Quadro 88 - Desempenho ambiental do edifício após a reabilitação

Impactes ambientais associados aos consumos energéticos: GWP (kg CO2 eq)					
Solução	Impactes para os consumos:				Totais após reabilitação (kg CO2 eq)
	Energético inicial (kg CO2 eq)	Energético após reabilitação (kg CO2 eq)	Produção dos materiais (kg CO2 eq)	Transporte dos materiais (kg CO2 eq)	
VR.1.1	3,26E+01	1,84E+01	1,53E+02	2,07E-01	1,72E+02
VR.1.2		1,85E+01	1,03E+02	3,37E-01	1,22E+02
VR.1.3		1,84E+01	1,59E+02	5,47E-01	1,78E+02
VR.1.4		1,83E+01	1,51E+02	3,07E-01	1,70E+02
VR.1.5		1,82E+01	1,72E+02	2,07E-01	1,90E+02
VR.1.6		1,83E+01	1,50E+02	2,82E-01	1,69E+02
VR.2.1		1,84E+01	2,96E+02	1,54E-01	3,15E+02
VR.2.2		1,83E+01	3,04E+02	4,95E-01	3,23E+02
VR.2.3		1,84E+01	2,94E+02	2,34E-01	3,13E+02
VR.2.4		1,84E+01	3,11E+02	1,54E-01	3,30E+02
VR.2.5		1,84E+01	2,94E+02	2,14E-01	3,13E+02
VR.2.6		1,85E+01	2,96E+02	2,08E-01	3,15E+02
VR.3.1		1,84E+01	1,27E+01	7,87E-02	3,12E+01
VR.3.2		1,83E+01	2,19E+01	5,05E-01	4,07E+01
VR.3.3		1,84E+01	1,05E+01	1,79E-01	2,91E+01
VR.3.4		1,83E+01	3,10E+01	7,88E-02	4,94E+01
VR.4.1		1,82E+01	2,05E+01	3,59E-01	3,91E+01
VR.4.2		1,82E+01	1,49E+01	1,58E-01	3,33E+01
VR.5.1		1,95E+01	9,10E+02	1,20E+00	9,31E+02
VR.5.2		2,11E+01	2,18E+01	2,39E+00	4,53E+01
VR.5.3		2,16E+01	1,77E+01	2,08E+00	4,14E+01
VR.5.4		2,12E+01	1,21E+03	1,33E+00	1,23E+03
VR.6.1		1,85E+01	4,61E+01	2,31E-01	6,48E+01
VR.6.2		1,84E+01	4,71E+01	3,61E-01	6,59E+01
VR.6.3		1,84E+01	5,35E+01	5,72E-01	7,25E+01
VR.6.4		1,85E+01	4,44E+01	3,11E-01	6,32E+01
VR.6.5		1,84E+01	6,08E+01	2,31E-01	7,94E+01
VR.6.6		1,84E+01	4,61E+01	2,92E-01	6,48E+01
VR.6.7		1,84E+01	5,86E+01	1,19E+00	7,82E+01
VR.7.1		1,83E+01	2,08E+02	1,75E+00	2,28E+02
VR.8.1		1,78E+01	8,21E+01	7,39E-01	1,01E+02

Como se pode observar no quadro, com a diminuição das necessidades energéticas para aquecimento e a manutenção das necessidades para arrefecimento, os impactes ambientais para o consumo de energia após a reabilitação, diminuem para praticamente metade do valor obtido inicialmente. Mas, apesar de passar a existir uma grande poupança, é necessário considerar ainda os valores associados aos impactes ambientais da produção e transporte dos materiais utilizados, que serão diluídos ao longo do tempo de vida das soluções de reabilitação, 30 anos.

Pelos resultados obtidos até ao presente ponto, é possível relacionar a energia consumida com os impactes causados pelo seu consumo do edifício a 30 anos, assim, é possível examinar como serão os seus consumos energéticos nesse tempo. Como se pode observar na Figura 55.

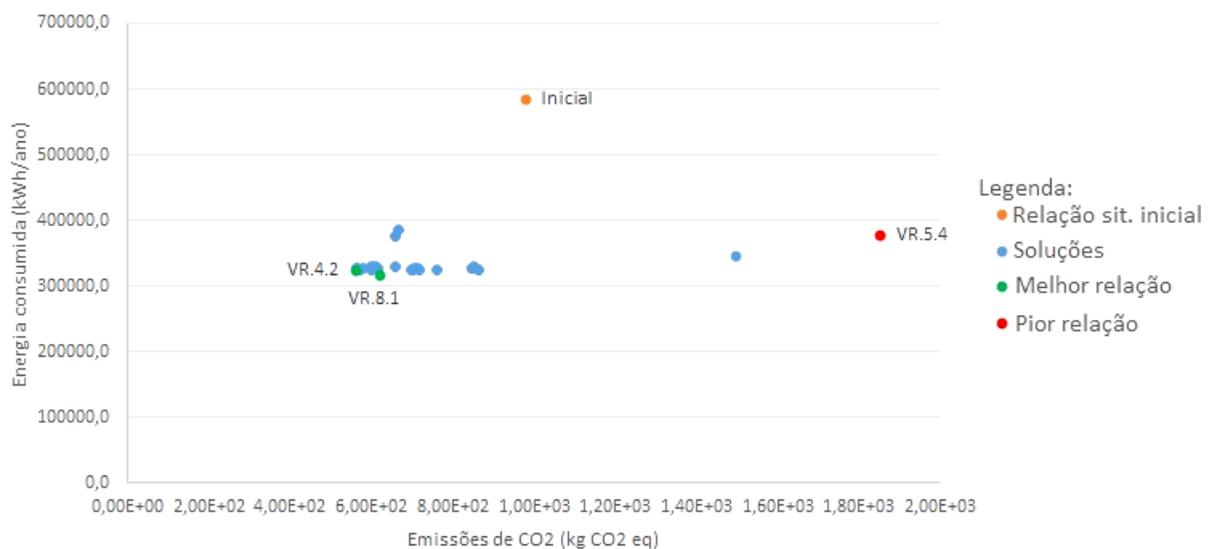


Figura 55 - Relação entre a energia consumida e as emissões de carbono a si associadas

Como se observa no gráfico, o ponto referente à situação inicial do edifício ao fim de 30 anos, representa consumos energéticos bastante elevados relativamente aos restantes pontos. Apesar das emissões de carbono não serem tão extremas como os consumos, o seu valor é alto, tendo em consideração que nas restantes soluções são considerados os materiais aplicados.

No gráfico, é também possível observar a existência de dois pontos, cuja relação consumo energético/emissões de carbono é ótima, uma vez que, apesar dos consumos energéticos serem um pouco mais elevados, as emissões de carbono compensam, sendo menores. E vice-versa. São eles o VR.4.2 e o VR.8.1. Existindo também um ponto que representa uma relação

insatisfatória, uma vez que, apesar de apresentar consumos energéticos na média das restantes soluções, as suas emissões de carbono são extremamente elevadas. É ele o VR.5.4.

5.6.4 Desempenho económico após a reabilitação

Com uma área da envolvente exterior opaca de 93 m², é necessário conhecer qual o valor para o investimento na reabilitação da fachada do edifício. Sendo conhecidos os consumos energéticos, torna-se de grande importância o cálculo dos custos futuros e qual a poupança que poderá advir de cada solução de reabilitação energética, de forma a seleccionar a que proporciona melhores resultados em todas as vertentes. Estes valores podem então ser consultados no Quadro 89.

Quadro 89 - Desempenho económico do edifício após a reabilitação

Desempenho do edifício após a reabilitação						
Solução	Necessidades energét. totais após a reabilitação (kWh/ano)	Custos anuais dos consumos energéticos		Poupança anual (€/ano)	Poupança energét. a 30 anos (€/ano)	Investimento inicial na reabilitação
		Consumo energét. inicial (€/ano)	Consumos energét. após a reabilitação (€/ano)			
Inicial	19523		-	-	-	-
VR.1.1	10926	4 295,06 €	2 512,98 €	1 782,08 €	53 462,40 €	3 775,71 €
VR.1.2	10960		2 520,80 €	1 774,26 €	53 227,80 €	3 418,68 €
VR.1.3	10934		2 514,82 €	1 780,24 €	53 407,20 €	6 126,14 €
VR.1.4	10860		2 497,80 €	1 797,26 €	53 917,80 €	4 357,05 €
VR.1.5	10813		2 486,99 €	1 808,07 €	54 242,10 €	4 148,73 €
VR.1.6	10860		2 497,80 €	1 797,26 €	53 917,80 €	3 494,01 €
VR.2.1	10930		2 513,90 €	1 781,16 €	53 434,80 €	1 794,90 €
VR.2.2	10871		2 500,33 €	1 794,73 €	53 841,90 €	4 601,87 €
VR.2.3	10930		2 513,90 €	1 781,16 €	53 434,80 €	1 954,86 €
VR.2.4	10836		2 492,28 €	1 802,78 €	54 083,40 €	2 236,65 €
VR.2.5	10930		2 513,90 €	1 781,16 €	53 434,80 €	1 836,52 €
VR.2.6	10958		2 520,34 €	1 774,72 €	53 241,60 €	2 499,84 €
VR.3.1	10922		2 512,06 €	1 783,00 €	53 490,00 €	1 417,32 €
VR.3.2	10847		2 494,81 €	1 800,25 €	54 007,50 €	3 676,52 €
VR.3.3	10918		2 511,14 €	1 783,92 €	53 517,60 €	2 482,17 €
VR.3.4	10868		2 499,64 €	1 795,42 €	53 862,60 €	1 689,81 €
VR.4.1	10823		2 489,29 €	1 805,77 €	54 173,10 €	5 436,78 €
VR.4.2	10823		2 489,29 €	1 805,77 €	54 173,10 €	7 276,32 €
VR.6.1	10958		2 520,34 €	1 774,72 €	53 241,60 €	11 071,65 €
VR.6.2	10812		2 486,76 €	1 808,30 €	54 249,00 €	11 455,51 €
VR.6.3	10896		2 506,08 €	1 788,98 €	53 669,40 €	13 758,65 €
VR.6.4	10958		2 520,34 €	1 774,72 €	53 241,60 €	12 048,15 €
VR.6.5	10912		2 509,76 €	1 785,30 €	53 559,00 €	11 587,80 €
VR.6.6	10917		2 510,91 €	1 784,15 €	53 524,50 €	11 558,97 €
VR.6.7	10958		2 520,34 €	1 774,72 €	53 241,60 €	15 259,44 €
VR.7.1	10864		2 498,72 €	1 796,34 €	53 890,20 €	15 592,75 €
VR.8.1	10543		2 424,89 €	1 870,17 €	56 105,10 €	6 821,83 €

Com a redução das necessidades energéticas para aquecimento, os custos resultantes sofrem também uma diminuição acentuada, passando o valor inicial para praticamente metade após a reabilitação do edifício. Proporcionando assim, uma poupança anual considerável,

transformando-se numa poupança apreciável no final do tempo de vida da solução de reabilitação.

No investimento para a reabilitação energética do edifício, verifica-se mais uma vez, uma grande variação dos valores entre soluções e entre os materiais considerados em cada solução. Assim, pretende-se uma solução que conjugue o mais curto tempo de retorno possível para o investimento, com um ótimo tempo de retorno para os impactes ambientais do edifício. Tentando assim aplicar, a melhor solução possível.

5.6.5 Definição da melhor solução de reabilitação

Sendo conhecidos os impactes ambientais do edifício após a reabilitação e os custos associados à sua utilização e reabilitação, é então possível determinar os tempos de retorno para cada um dos fatores, apresentando-se estes no Quadro 90.

Quadro 90 - Tempos de retorno dos impactos ambientais e do investimento inicial e respetiva hierarquização

Solução	Tempos de retorno		Hierarquização pelos tempos de retorno	
	GWP (anos)	Custos energéticos (anos)	GWP (1-melhor; 17-pior)	Custos energéticos (1-melhor; 6-pior)
VR.1.1	11	0,6	11	3
VR.1.2	7	0,7	9	4
VR.1.3	11	0,8	11	5
VR.1.4	11	0,7	11	4
VR.1.5	12	0,7	12	4
VR.1.6	10	0,7	10	4
VR.2.1	21	0,5	14	2
VR.2.2	21,5	0,7	15	4
VR.2.3	21	0,5	14	2
VR.2.4	22	0,5	16	2
VR.2.5	21	0,5	14	2
VR.2.6	21	0,6	14	3
VR.3.1	1	0,4	1	1
VR.3.2	2	0,7	3	4
VR.3.3	1	0,6	1	3
VR.3.4	2	0,4	3	1
VR.4.1	1,5	0,8	2	5
VR.4.2	1	0,8	1	5
VR.5.1	∞	-	17	-
VR.5.2	2	-	3	-
VR.5.3	1,5	-	2	-
VR.5.4	∞	-	17	-
VR.6.1	3	0,9	4	6
VR.6.2	3,5	0,9	5	6
VR.6.3	4	0,9	6	6
VR.6.4	3	0,9	4	6
VR.6.5	4	0,9	6	6
VR.6.6	3	0,9	4	6
VR.6.7	5	0,9	7	6
VR.7.1	15	0,9	13	6
VR.8.1	5,5	0,8	8	5

Legenda:
Melhor solução para a reabilitação
Segunda melhor solução para a reabilitação
Pior solução para a reabilitação

Como se observa no quadro, existem duas soluções que apresentam uma combinação ótima dos tempos de retorno em estudo. São elas a solução VR.3.1 e a solução VR.3.4, sistema ETICS com isolamento de poliestireno expandido e sistema ETICS com isolamento de poliestireno extrudido, respetivamente.

A solução VR.3.1, representa a melhor solução para a reabilitação do edifício, pois combina os melhores tempos de retorno, sendo os mais curtos em ambos os casos. Já a segunda melhor solução para a reabilitação, será a solução VR.3.4, pelo facto de combinar os segundos melhores tempos de retorno de entre os apresentados. Uma vez que os seus tempos de retorno são contrários aos da solução VR.3.3, é necessário utilizar um terceiro fator decisivo, que será o custo do investimento inicial. Então, voltando a consultar o Quadro 89, verifica-se que o investimento necessário para a solução VR.3.3 é de 2 482,17€, e para a solução VR.3.4 de 1 689,81€. Por se pretender uma solução mais económica, mas com os melhores resultados possíveis, define-se então como sendo a segunda melhor solução para a reabilitação, a solução VR.3.

Analisando os tempos de retorno, verifica-se que o mais longo, associado ao maior investimento inicial, pertence à solução VR.7.1, os painéis de betão reforçados com fibra de vidro. Sendo esta solução, a pior solução para a reabilitação energética do edifício.

No Anexo XIV, poderão ser consultados todos os dados retirados da metodologia e utilizados para a apresentação das informações anteriormente expostas, permitindo assim atingir as conclusões pretendidas para a cidade de Vila Real.

6. CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS

6.1 Conclusões

Para o desenvolvimento da presente dissertação foram traçados dois objetivos: i) comparar o desempenho ambiental de diferentes produtos de isolamento, quando aplicados na reabilitação energética de edifícios, através da metodologia desenvolvida por (Fonte, 2014); ii) a elaboração de um guia de boas práticas para a aplicação de isolamento em aglomerado negro de cortiça de elevada espessura.

De forma a ser possível efetuar uma comparação entre diferentes produtos de isolamento, foi necessário recorrer a um caso de estudo. Consistindo este num edifício padrão, cujas características são representativas dos edifícios construídos entre as décadas de 60 e 90. A utilização deste edifício durante o estudo, permitiu assim a reabilitação energética do mesmo, através da aplicação de diferentes soluções de reabilitação, assim como de diferentes materiais de isolamento térmico. Pela necessidade de comparação do desempenho ambiental dos materiais de isolamento quando aplicados na reabilitação energética de um edifício, esta não seria exequível, pelo que se torna pertinente a consideração de um edifício para posterior estudo.

Através da introdução das características e constituição inicial do edifício, assim como dos elementos acrescentados na sua reabilitação, a metodologia utilizada permite estimar as necessidades energéticas para aquecimento, arrefecimento e produção de águas quentes sanitárias, assim como os impactes ambientais associados às várias fases de ciclo de vida em análise. De forma a completar o projeto, realiza-se também uma avaliação de custos de ciclo de vida do caso de estudo.

Para a satisfação dos objetivos, a metodologia de investigação assentou nos seguintes passos:

- Compilação da informação existente sobre soluções de reabilitação energética de edifícios;
- Pesquisa sobre os materiais de isolamento mais utilizados em Portugal;
- Definição das soluções a estudar e dos materiais a aplicar em cada uma;

- Preenchimento da metodologia com as características iniciais do edifício;
- Preenchimento da metodologia com cada uma das soluções em estudo em cada localização;
- Desenvolvimento da avaliação do desempenho energético e ambiental do edifício;
- Pesquisa do custo de aplicação de cada solução e respetiva manutenção anual;
- Desenvolvimento da avaliação do desempenho económico;
- Recolha e análise dos resultados obtidos;
- Determinação da melhor solução de reabilitação em cada uma das localizações.

Com o desenvolvimento do guia de boas práticas, pretende-se preencher uma lacuna existente no mercado português da construção, uma vez que não existe informação técnica específica para a utilização de aglomerado negro de cortiça em sistemas compósitos de isolamento térmico pelo exterior. No seu desenvolvimento foram consideradas as melhores práticas identificadas no mercado dos isolamentos e um caso de estudo, permitindo assim a obtenção de uma estrutura simples, sólida e informativa.

Para satisfazer o segundo objetivo traçado, foi então seguido o seguinte método:

- Pesquisa e compilação de informação relativa ao isolamento pelo exterior;
- Seleção dos melhores dados e da informação mais completa e pertinente;
- Desenvolvimento de esquemas representativos;
- Desenvolvimento do guia.

No que toca à informação existente sobre a reabilitação energética, existe já muita informação disponível, proveniente de fontes fiáveis. No entanto, para algumas soluções de reabilitação, talvez por escassez de aplicação ou baixo nível de desenvolvimento, não existe muita informação disponível, tornando-se por vezes difícil apresentar as mais valias associadas a essas soluções. O mesmo acontece para os materiais de isolamento, pois, para os menos utilizados ou mais recentes, não existe ainda informação concreta disponível.

Na utilização da metodologia referida anteriormente surgiram algumas dificuldades. A metodologia do ponto de vista do utilizador, pode tornar-se confusa uma vez que não existe informação suficiente acerca da introdução de dados e, por vezes, os resultados obtidos não se encontram expostos de forma clara. Assim, com o tempo e numa abordagem do tipo tentativa

erro, o seu funcionamento começa a ser compreendido e a sua utilização, mais simples. Apesar das dificuldades encontradas, esta metodologia revela-se uma ferramenta de trabalho bastante útil, pois, para além do cálculo das necessidades energéticas do edifício, fornece os impactes ambientais decorrentes das fases de construção, reabilitação e utilização do mesmo.

Para o caso de estudo, foi considerado um edifício padrão, representativo dos edifícios construídos na época em estudo, entre os anos 60 e 90. Para se avaliar a influência do clima na definição do melhor cenário de reabilitação energética e abranger as diferentes zonas climáticas do país, foram então consideradas quatro localizações distintas.

Através da utilização da Metodologia para Avaliação Integrada dos Consumos de Energia e Impactes Ambientais obteve-se, para cada solução, as necessidades energéticas para aquecimento, arrefecimento e produção de águas quentes sanitárias de cada cenário de reabilitação. Pela análise dos resultados obtidos, constata-se que independentemente da localização em análise, verifica-se em todos os cenários uma redução significativa do valor das necessidades para aquecimento e arrefecimento, pois são os fatores influenciados pelo aumento do isolamento térmico da envolvente vertical exterior. Excecionalmente, as necessidades energéticas para arrefecimento do edifício em Lisboa sofrem um ligeiro aumento. Tal situação deve-se ao facto de o edifício ter maiores dificuldades em perder as cargas térmicas interiores durante o verão, necessitando assim de se associar a solução de reabilitação energética aplicada, a um sistema de arrefecimento do ar interior. Apesar do aumento das necessidades energéticas para arrefecimento, este caso mostra que mesmo sendo necessário recorrer a um sistema de climatização, continua a existir poupança.

De entre os isolamentos considerados para aplicação nas várias soluções, a cortiça é o material com maiores emissões de carbono para a atmosfera, pois, pela alta densidade (comparativamente aos restantes materiais de isolamento) e uma maior condutibilidade térmica, necessita de maiores quantidades de material para igualar os valores de outros materiais. Numa tendência oposta, o poliestireno extrudido apresenta a menor condutibilidade térmica e a menor densidade, sendo um material que, apesar de provocar maiores emissões para a atmosfera durante a sua produção, necessita de menos quantidade de material do que qualquer outro e reduz significativamente as necessidades energéticas e as emissões na utilização no edifício. Apesar do seu ótimo desempenho, os seus impactes não permitem que seja considerado como o melhor material a aplicar, sendo o poliestireno expandido a ocupar

essa posição. Pela sua baixa condutibilidade térmica e elevada densidade, necessita de mais material que o poliestireno extrudido, mas ainda assim, provoca menores emissões para a atmosfera.

Efetuada uma análise de sustentabilidade dos materiais de isolamento mais utilizados pelo mercado, sob os vários tipos de produção existentes, através da Metodologia MARS-SC, observa-se que a manta de lã mineral e a espuma de poliuretano, são os materiais que apresentam perfis sustentáveis mais vantajosos. Apesar das características do poliestireno extrudido fazerem dele um material muito eficiente, pela análise da metodologia, isso já não se verifica uma vez que a manta de lã mineral e a espuma de poliuretano apresentam desempenhos bastante superiores nos parâmetros analisados durante a aplicação da metodologia.

De entre as soluções estudadas é possível observar que a colocação de sistema ETICS ou, em alternativa, de *vêtures*, proporciona menores impactes ambientais durante a fase de utilização da solução reabilitada, em todas as localizações estudadas. O sistema ETICS é o que apresenta um melhor desempenho em todos os materiais aplicados e o que necessita de menor investimento para a aplicação no edifício.

Entre as várias soluções estudadas, constatou-se que as fachadas ventiladas são a solução que implica o maior investimento em todas as localizações consideradas, apresentando também elevadas emissões de carbono para certas localizações como, por exemplo, em Vila Real, sendo estes valores provocados pelos impactes associados às necessidades energéticas do edifício, que pelas temperaturas que se fazem sentir na estação de aquecimento, levam a um maior consumo de energia. Podendo também influenciar a distância que alguns materiais de isolamento terão de percorrer, aumentando assim os impactes ambientais associados ao transporte dos mesmos. Também em Vila Real, é possível observar que ambas as soluções de reabilitação pelo interior, com elementos prefabricados e contrafachada em alvenaria, possuem custos de aplicação mais elevados, relativamente às restantes soluções. O elevado custo associado a estas soluções, poderá estar relacionado com os preços da mão-de-obra e dos materiais, tendo em conta o meio onde se encontra.

Procedendo a uma análise comparativa dos custos relativos à aplicação das várias soluções em cada localização, observa-se que o custo de aplicação do sistema ETICS (com qualquer um dos materiais de isolamento considerados no estudo) apresenta valores muito semelhantes entre locais de implantação, existindo assim uma pequena variação nos preços apresentados pelo mercado, independentemente da zona geográfica.

Analisando os tempos de retorno financeiro obtidos, verifica-se que, em Lisboa, estes valores são bastante uniformes e, relativamente às restantes localizações, mais longos. Entre a pequena variação de valores existente, três soluções de reabilitação apresentam valores diferentes das restantes, mas, ainda assim, iguais entre si. São estas soluções a L.3.1 (Sistema ETICS com isolamento de EPS), a L.3.3 (Sistema ETICS com isolamento de lã mineral em placa) e a L.3.4 (Sistema ETICS com isolamento de XPS). O clima ameno que se faz sentir em Lisboa, influencia os tempos de retorno calculados, pelo facto de, por não ser um clima de extremos, leva a que as necessidades energéticas sejam menores (incluindo antes da reabilitação), o que provoca menores impactes ambientais e períodos de retorno mais longos.

Tal como o tempo de retorno financeiro, também o tempo de retorno das emissões de carbono é superior em Lisboa, em comparação com o das outras localizações. Para algumas soluções, o custo ambiental associado às emissões nunca é recuperado dentro do período de vida útil de 30 anos que foi considerado neste estudo, sendo em alguns casos indeterminável. Tal acontece porque, quanto maior a quantidade de material utilizada na solução de reabilitação, maiores os impactes ambientais resultantes da produção dos mesmos. Quanto mais ameno for o clima, menores serão as necessidades energéticas de um edifício, levando a uma redução das emissões de carbono associadas à utilização da energia, tornando superiores os tempos de retorno dos impactes ambientais associados à produção dos materiais e equipamentos utilizados em cada cenário de reabilitação.

Pela influência do clima na eficiência das soluções de reabilitação, também em Vila Real, é possível observar vários resultados afetados por esse fator. Aqui, pela severidade da estação de aquecimento, a reabilitação energética dos edifícios torna-se uma mais valia para os seus utilizadores. De tal forma que, entre as localizações estudadas, é a que apresenta os melhores tempos de retorno. Pelo frio que se faz sentir durante o Inverno nesta zona, as necessidades energéticas para aquecimento das habitações são muito elevadas, originando consumos elevados de energia. Ao reabilitar energeticamente o edifício, leva a que haja uma redução das

necessidades energéticas do mesmo, aumentando a sua eficiência. Assim, a reabilitação influencia de tal forma o desempenho do edifício que, ao reduzir os seus consumos energéticos, reduz os gastos com eles relacionados, retornando assim rapidamente o investimento inicial. Com a redução das necessidades energéticas, reduzem-se também as emissões de carbono a si associadas, apresentado assim, os tempos de retorno de carbono mais curtos.

Dos resultados obtidos em cada localização, é unânime o desempenho do sistema ETICS com isolamento de poliestireno expandido, como sendo a solução que proporciona um melhor desempenho ambiental, energético e económico ao edifício em todas as localizações, otimizando assim o seu funcionamento. Como segunda melhor solução, encontra-se o sistema ETICS com isolamento de placas de lã mineral, que corresponde à segunda melhor solução a aplicar ao edifício em três das localizações. O sistema ETICS com isolamento de poliestireno extrudido, ocupa a segunda melhor solução apenas em Vila Real, mas a terceira melhor opção nas restantes. Esta posição, deve-se ao facto de, apesar de contribuírem para resultados bastante semelhantes, e obterem uma hierarquização de tempos de retorno igual, o investimento inicial é inferior para o sistema que inclui a aplicação de poliestireno extrudido. Pelos resultados obtidos, é possível concluir que o sistema ETICS se trata da solução que proporciona melhores resultados ao ser aplicado como solução de reabilitação energética da envolvente exterior dos edifícios.

Em suma, as necessidades energéticas para aquecimento, são responsáveis pela maior quota parte nas necessidades energéticas totais, uma vez que, para todas as zonas climáticas estudadas, a temperatura média do ar exterior se encontra abaixo da temperatura de conforto durante a maior parte do ano.

Através da consideração do edifício implantado em diferentes zonas climáticas, foi possível observar os consumos energéticos em cada uma, sendo que, quanto mais a Norte, maiores são as necessidades de aquecimento, o que é normal pelas características do clima. Como já referido, o melhor desempenho do edifício foi sempre obtido para a mesma solução de reabilitação energética, o sistema ETICS com isolamento de poliestireno expandido. Em suma, os resultados demonstram que a melhor solução a aplicar em qualquer localização, é o ETICS com isolamento de EPS. Recomendando-se as espessuras de isolamento térmico de:

- **7 centímetros** para a zona climática **I1**;
- **8 centímetros** para a zona climática **I2**;
- **10 centímetros** para a zona climática **I3**.

Como segunda melhor solução em Beja, Lisboa e Porto, verificou-se que seria o sistema ETICS com isolamento em placas de lã mineral, para Vila Real, seria e o sistema ETICS com isolamento de XPS.

A pior solução de reabilitação a aplicar em qualquer localização, verificou-se que seriam os painéis de betão reforçados com fibra de vidro.

6.2 Perspetivas futuras

Tendo em consideração as dificuldades apresentadas na utilização da metodologia e conhecendo a sua utilidade, futuramente, esta poderia ser otimizada, facilitando a sua utilização e realizado um manual mais completo e explicativo das informações necessárias e dos resultados fornecidos. Com esta melhoria, a metodologia poderia vir a ser aplicada a um caso real.

Uma vez que no desenvolvimento desta dissertação não se considerou a alteração dos sistemas de aquecimento, arrefecimento e preparação de águas quentes sanitárias do edifício, e sendo os edifícios NZEB cada vez mais uma realidade, seria interessante a aplicação da metodologia de uma forma mais completa, considerando mais alterações no edifício e propondo como objetivo a sua transformação num NZEB.

Análise comparativa do desempenho ambiental de diferentes produtos utilizados na reabilitação energética de edifícios

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADEME (2010) *L'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie - Guide des matériaux isolants*. Available at: http://www.cg43.fr/sites/cg43/IMG/pdf/guide_des_materiaux__isolants.pdf (Accessed: 2 May 2016).

ADENE (2012) 'EPBD (recast) e as implicações para Portugal', in *Net Zero-Energy Buildings Conference*. Lisboa: ADENE - Agência para a Energia.

ADENE (2016) '10 Soluções de eficiência energética - Isolamento de paredes'. Lisboa: ADENE - Agência para a Energia.

ADENE, LNEC, INETI and IPQ (2004) *Reabilitação energética da envolvente de edifícios residenciais, Publicação Gratuita*.

AICCOPN (2016) *Sistema de certificação energética dos edifícios - Nova regulamentação*. Available at: <http://www.aiccopn.pt/5/comunicacao/cat/noticias-outras/item/item-1-17213> (Accessed: 18 April 2016).

Almeida, M., Ferreira, M. and Rodrigues, A. (2013) 'Reabilitação Energética do Parque Residencial - Metodologia para determinação de soluções de custo ótimo', *Revista 'Materiais de Construção'*.

Almeida, M. and Silva, P. (2012) 'Catálogo de Soluções de Reabilitação Energética de Edifícios'. Guimarães: Universidade do Minho.

Amorim (2016) 'Ficha técnica - Aglomerado de cortiça'. Aveiro: Amorim Isolamentos, S.A.

APFAC (2016) *ETICS - Manual de Aplicação, 2015*. Available at: <http://www.apfac.pt/uploads/documentos/APFAC-MANUAL-DE-APLICACAO-ETICS-2015-LQ.pdf> (Accessed: 12 March 2016).

APREN (2016) *Energias renováveis - Metas*. Available at: <http://www.apren.pt/pt/energias->

renováveis/metas/ (Accessed: 8 April 2016).

Baptista, N. (2012) ‘Certificação energética de edifícios em Portugal - Impacto dos regulamentos na construção e as oportunidades de melhoria do parque habitacional’, in *Certificação Energética e Ar interior - Edifícios*. Lisboa: Confederação empresarial de Ourense.

Berge, B. (2009) *The ecology of building materials*. 2^o ed. Oxford: Architectural Press.

Bragança, L. and Mateus, R. (2011) *Avaliação do ciclo de vida dos edifícios. Impacte ambiental de soluções construtivas*. 1^a. Lisboa: Multicomp.

Bragança, L. and Mateus, R. (2015) *Tecnologias construtivas para a sustentabilidade da construção - Construção sustentável - Ano letivo 2015/2016*. Guimarães.

Bureau Veritas CPS (2016) *EIME*. Available at: <http://www.bureauveritas.com/home/about-us/our-business/cps/our-services/information-services-tools/eime> (Accessed: 9 August 2016).

Calorcol (2016) *Placas Poliuretano*. Available at: http://www.calorcol.com/Portals/0/Contenidos/Documentos/PDF/PLACAS POLIURETANO_2014.pdf (Accessed: 23 May 2016).

‘Capítulo VII - Protecção térmica da envolvente’ (2016) in. Universidade do Minho.

Casa Eficiente (2016) *Painéis e mantas de lã de vidro ou de rocha, Guia*. Available at: <http://www.guiacasaeficiente.com/Isolamento/LasMinerais.html> (Accessed: 18 May 2016).

CBIS (2016) *Urea Formaldehyde Foam Insulation (UFFI)*. Available at: http://www.cbisinc.com/PDF/Urea_Formaldehyde/402_UFFI_Technical_Data_Sheet_96-7.pdf (Accessed: 19 May 2016).

Circular Ecology (2016) *Embodied Energy and Embodied Carbon - Circular Ecology*. Available at: <http://www.circularecology.com/embodied-energy-and-carbon-footprint->

database.html#.V6morSgrLIV (Accessed: 9 August 2016).

Couto, J. P. and Martins, J. (2011) *Tecnologias das construções: Coberturas. Impermeabilização e isolamento térmico. Cofragens*. Guimarães: Universidade do Minho.

DGE (2002) 'Eficiência energética nos edifícios'. Lisboa: Direção Geral da Energia - Ministério da Economia.

Doka, G. (2000) *Mixtri 2.0*. Available at: <http://www.doka.ch/EI99/mixtri.htm> (Accessed: 1 August 2016).

E3M-Lab, IIASA - GAINS, IIASA - GLOBIOM and EuroCare (2013) *EU Energy, Transport and GHG Emissions Trends to 2050 - Reference scenario 2013*.

Ecocasa (2013a) *Espuma de Poliuretano*. Available at: [http://www.ecocasa.pt/userfiles/file/documentacao/construcao/ESPUMA DE POLIURETANO.pdf](http://www.ecocasa.pt/userfiles/file/documentacao/construcao/ESPUMA_DE_POLIURETANO.pdf) (Accessed: 10 May 2016).

Ecocasa (2013b) *Lã de Rocha*. Available at: http://www.ecocasa.pt/userfiles/file/La_de_Rocha.pdf (Accessed: 10 May 2016).

Ecocasa (2013c) *Lã de Vidro*. Available at: http://www.ecocasa.pt/userfiles/file/La_de_Vidro.pdf (Accessed: 10 May 2016).

Ecocasa (2013d) *Poliestireno Expandido*. Available at: http://www.ecocasa.pt/userfiles/file/POLIESTIRENO_EXPANDIDO.pdf (Accessed: 10 May 2016).

Ecocasa (2013e) *Poliestireno Extrudido*. Available at: http://www.ecocasa.pt/userfiles/file/POLIESTIRENO_EXTRUDIDO.pdf (Accessed: 10 May 2016).

Ecocasa (2015) *Aglomerado de cortiça*. Available at: http://www.ecocasa.pt/userfiles/file/AGLOMERADO_CORTICA.pdf (Accessed: 10 May 2016).

Análise comparativa do desempenho ambiental de diferentes produtos utilizados na reabilitação energética de edifícios

2016).

EIMA (2016) 'Guide to exterior insulation & finish system construction'. Morrow: EIFS Industry Members Association.

Energievie (2012) *Guide des Matériaux isolants pour une isolation efficace et durable*. Available at: http://www.energievie.info/sites/default/files/documents/energievie_guide_isolants_24p_bd_6.pdf (Accessed: 5 April 2016).

EPA, U. (2016) *US Environmental Protection Agency*. Available at: <https://www3.epa.gov/> (Accessed: 27 April 2016).

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

Fibrosom (2016) *Betão Leve/Enchimentos*. Available at: <http://www.fibrosom.com/ficheiros/pdfs/ARGILAEXPANDIDA.pdf> (Accessed: 18 May 2016).

Fonte, R. V. da (2014) *Metodologia para a análise integrada dos impactes ambientais e do desempenho energético de cenários de reabilitação*. Universidade do Minho.

Fragoso, R. (2013) 'O Novo Enquadramento Legal do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE)', in *Encontro 2013 ADENE - Agências Regionais e Municipais de Energia*. Miraflores.

Freitas, V. P. de (2002) *ISOLAMENTO TÉRMICO DE FACHADAS PELO EXTERIOR REBOCO DELGADO ARMADO SOBRE POLIESTIRENO EXPANDIDO – ETICS maxit – Tecnologias de Construção e Renovação, Lda (Sistema 'HOTSKIN')*.

Ganhão, A. (2011) *Construção Sustentável - Propostas de melhoria da eficiência energética*

em edifícios de habitação. Universidade Nova de Lisboa.

GDRC (2016) *Life Cycle Assessment*. The Global Development Research Center. Available at: <http://www.gdrc.org/uem/lca/lca-define.html> (Accessed: 9 August 2016).

Gyptec (2016a) *GYPTEC Ibérica - Placa Gyptec Protect*. Available at: http://www.gyptec.eu/gyptec_protect.php (Accessed: 2 May 2016).

Gyptec (2016b) *GYPTEC Ibérica - Placas Compostas*. Available at: http://www.gyptec.eu/placas_compostas.php (Accessed: 2 May 2016).

Gyptec (2016c) *GYPTEC Ibérica - Placas de Gesso*. Available at: <http://www.gyptec.eu/placas.php> (Accessed: 2 May 2016).

Imperialum (2016a) *Ifoam*. Available at: <http://www.imperialum.com/cms/wp-content/uploads/2014/08/Ficha-t%C3%A9cnica-ifoam.pdf> (Accessed: 23 May 2016).

Imperialum (2016b) *Imperialum | Líderes em impermeabilização Pirmate/Poliisocianurato*. Available at: <http://www.imperialum.com/produtos/pirmatepoliisocianurato/> (Accessed: 19 May 2016).

InCI (2012) 'Perspetivas para a construção até 2014', in *73ª Conferência do Euroconstruct*. Londres.

INE (2011) *Estatísticas da Construção e Habitação 2010*. Lisboa. Available at: https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_publicacoes&PUBLICACOESpub_boui=123674274&PUBLICACOESmodo=2 (Accessed: 2 April 2016).

INE (2015) *Estatísticas da Construção e Habitação 2014*. Lisboa. Available at: https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_publicacoes&PUBLICACOESpub_boui=224786561&PUBLICACOESmodo=2 (Accessed: 2 April 2016).

INE and LNEC (2013) *O Parque Habitacional e a sua Reabilitação - Análise e Evolução 2001-2011*. Lisboa.

Isocor (2016a) *Ficha técnica - Aglomerado de cortiça expandida*. Available at: http://liveplace.com/pt/Certificados_FichasTecnicas/FT/6783_AGLNEGROCORTICAEXP_FT.PDF (Accessed: 9 March 2016).

Isocor (2016b) *Ficha técnica - Isolamento de paredes*. Available at: <http://www.isocor.pt/por/pdf/paredes.pdf> (Accessed: 9 March 2016).

Isover (2016) *IBR*. Available at: <https://www.isover.pt/produtos/ibr> (Accessed: 23 May 2016).

Jardim, F. (2009) *Proposta de Intervenção de Reabilitação Energética de Edifícios de Habitação*.

Kilbert, C. J. (2005) *Sustainable Construction - Green Building Design and Delivery*. Hoboken, New Jersey, EUA: John Wiley & Sons, Inc.

Macedo, A. and Mateus, R. (2012) ‘Avaliação do desempenho ambiental de soluções de reabilitação de fachadas’, in *Seminário: Reabilitação Energética de Edifícios. Livro de Atas*. Guimarães: Universidade do Minho.

Maia, J. (2013) *Avaliação do ciclo de vida de soluções de reabilitação energética de fachadas*. FEUP.

Martins, B., Vital, C., Adão, D., Neves, F. Das, Martins, L. and Ramalho, M. (2009) *O Mercado da Reabilitação - Enquadramento, Relevância e Perspectivas*. Lisboa: Associação de Empresas de Construção, Obras Públicas e Serviços (AECOPS)

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

Masterblock (2016) *Master ISO*. Alcobaça. Available at: <http://masterblock.pt/MASTER-ISO-C1.aspx#/ISO-ETICS-P7.aspx> (Accessed: 7 April 2016).

Mateus, R. and Bragança, L. (2006) *Tecnologias Construtivas para a Sustentabilidade da Construção*. Porto: Edições Ecopy.

Mendes, F. (2009) *Durabilidade Das Fachadas Ventiladas - Aplicação da Norma ISO 15686-1*. Universidade do Porto.

Mendes, P. (2012) *Isolamentos Térmicos em Edifícios e seu Contributo para a Eficiência Energética*. Universidade Fernando Pessoa.

Ministério da Economia e do Emprego (2006) *Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios, Decreto-Lei n. 80/2006, Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios, Decreto-Lei n. 80/2006 - Diário da República - I Série - A - n.º 67*. Portugal.

Ministério da Economia e do Emprego (2013a) *Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de Agosto, Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de Agosto - Diário da República N.º 159, 1.ª série*. Portugal.

Ministério da Economia e do Emprego (2013b) *Despacho n.º 15793-E/2013*. Portugal: Diário da República, 2ª série - n.º234 - 3 de dezembro de 2013.

Neto, V. (2012) *Aplicações Modernas de Aglomerado de Cortiça Expandida (ICB) na Construção*. Universidade do Porto.

Paiva, J. V., Aguiar, J. and Pinho, A. (2006) *Guia Técnico de Reabilitação Habitacional*. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

Parlamento Europeu (2010) ‘Directiva 2010/31/UE (reformulação)’, *Jornal Oficial da União Europeia*.

Pavicentro (2016) *Painéis Ventilados em G.F.R.C.* Aveiro. Available at: http://www.civil.ist.utl.pt/~cristina/EBAP/PreFabricacaoEstruturas/GRC/CAT_PAINEIS.pdf (Accessed: 15 April 2016).

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

Matosinhos: Portal da Construção Sustentável.

Portal da Construção (2016) *O Portal da Construção - Fichas técnicas*. Available at: <http://www.oportaldaconstrucao.com/fichasTecnicas.php> (Accessed: 23 May 2016).

Quintas, S. (2015) *Avaliação do desempenho ambiental do aglomerado negro de cortiça*. Universidade do Minho.

Rebelisol (2016) *Materiais Utilizados / Rebelisol, Lda / Sociedade de Isolamentos*. Available at: <http://rebelisol.pt/materiais-utilizados-2/> (Accessed: 18 May 2016).

Ribeiro, M. (2010) *Durabilidade na Construção - Estimativa da vida útil de fachadas ventiladas*. Universidade do Porto.

Santos, C. A. P. dos and Matias, L. (2006) *Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios - ITE 50*. 1ª Edição. Lisboa: LNEC.

Santos, P., Mateus, P. and Maldonado, E. (2011) 'Implementation of the EPBD in Portugal - Status in November 2010', in *Implementing the Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) featuring country reports 2010*. Bruxelas: Intelligent Energy Europe.

Silva, F. (2013) *Estudo de materiais de isolamento térmico inovadores*. Universidade do Porto.

Silva, J. (2012) *Reabilitação térmica de edifícios residenciais: propostas de intervenção*. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.

Silva, P. (2013) *A Integração de Soluções Inovadoras em Edifícios com Vista à Reabilitação Energética*. Universidade do Minho.

Silva, P., Almeida, M., Bragança, L. and Mesquita, V. (2012) 'Módulo de Reabilitação Prefabricado', in *Seminário: Reabilitação Energética de Edifícios. Livro de Atas*. Guimarães: Universidade do Minho.

Sotecnisol (2016) *Argila expandida*. Available at: http://www.oportaldaconstrucao.com/xfiles/fichastecnicas/isolamento_termico_acustico/argila_expandida/Argila_Expandida.pdf (Accessed: 23 May 2016).

Sousa, F. (2010) *Fachadas Ventiladas em Edifícios - Tipificação de soluções e interpretação do funcionamento conjunto suporte/acabamento*. Universidade do Porto.

Teixeira, A. (2015) *Análise integrada dos impactes ambientais e do desempenho energético de cenários de reabilitação energética de edifícios*. Universidade do Minho.

Termolan (2016) *G1 - Rocterm*. Available at: http://portal.termolan.pt/termolan/UserFiles/Downloads/fichas_tecnicas/G1_pt.pdf (Accessed: 23 May 2016).

Viero (2012) *PIR - ISOETICS*. Available at: <http://www.tintasrobbialac.pt/isolamento-termico-viero/produtos-viero/cappotto-isolamento-termico/isolantes/pir-isoetics.aspx> (Accessed: 5 April 2016).

Weber Saint-Gobain (2016) *Soluções - Weber*. Available at: <http://www.weber.com.pt/solucoes-leca-r/solucoes.html> (Accessed: 18 May 2016).

ANEXOS

Anexo I – Soluções de reabilitação energética de fachadas e possíveis materiais de isolamento para aplicação

Quadro AI. 1 - Soluções de reabilitação energética e possíveis materiais de isolamento para aplicação pelo interior ou na caixa-de-ar

Elementos opacos	Constituição	Isolamento térmico		Placas								Mantas	Granel			Espuma			
		Localização	Solução	CG	EPS	GW	ICB	MW	PIR	PUR	XPS	MW	EPS	ICB	LWA	VA	MW	PUR	UF
Paredes de fachada	Simples	Interior	Painéis isolantes prefabricados Contra-fachada com isolamento na caixa-de-ar	•	•	•	•	•	•	•	•	•					•		
	Duplas	Intermédia	Injeção de isolante na caixa-de-ar															•	•

Legenda:
CG - Vidro Celular
EPS - Poliestireno Expandido
LWA - Argila Expandida
MW - Lã Mineral
PIR - Poliestireno Extrudido
PUR - Polioisocianurato
UF - Ureia-Formaldeído
XPS - Poliestireno Extrudido
VA - Vermiculite Expandida
GW - Lã de Vidro
ICB - Aglomerado de Cortiça
PUR - Poliuretano

Quadro AI. 2 - Soluções de reabilitação energética e possíveis materiais de isolamento para aplicação pelo exterior

Elementos opacos	Constituição	Localização	Isolamento térmico		Placas								Mantas	Granel		Espuma											
			Solução	Solução	CG	EPS	GW	ICB	MW	PIR	PUR	XPS		MW	EPS	ICB	LWA	VA	Fibras	PUR	UF						
Paredes de fachada	Simples	Exterior	Sistema ETICS	Componentes prefabricados com isolante (Vêture)																							

Legenda:
CG - Vidro Celular
LWA - Argila Expandida
UF - Ureia-Formaldeído
EPS - Poliestireno Expandido
MW - Lã Mineral
XPS - Poliestireno Extrudido
GW - Lã de Vidro
PIR - Poliisocianurato
VA - Vermiculite Expandida
ICB - Aglomerado de Cortiça
PUR - Poliuretano

Anexo II – Aplicação da Metodologia MARS-SC

Quadro AII. 1 - Resistência térmica dos materiais de isolamento para 1 centímetro de espessura e espessura necessária para uma resistência térmica mínima igual ao material de base (EPS)

Material	Coefficiente de condutibilidade térmica λ (W/m.°C)	Resistência térmica para 1 cm de espessura (m ² .°C/W)	Espessura inicial considerada (m)	Espessura comercial (m)	Resistência térmica (m ² .°C/W)
CG _{PL}	0,038	0,263	0,08	0,08	2,11
EPS _{PL}	0,040	0,250	0,08	0,08	2,00
GW _{PL}	0,037	0,270	0,08	0,08	2,16
ICB _{PL}	0,045	0,222	0,09	0,10	2,22
MW _{PL}	0,040	0,250	0,08	0,08	2,00
PUR _{PL}	0,040	0,250	0,09	0,08	2,00
XPS _{PL}	0,037	0,270	0,08	0,08	2,16
MW _{MT}	0,040	0,250	0,08	0,08	2,00
EPS _{GR}	0,052	0,192	0,11	-	2,12
ICB _{GR}	0,045	0,222	0,09	-	2,00
LWA _{GR}	0,160	0,063	0,32	-	2,00
MW _F	0,040	0,250	0,08	-	2,00
PUR _{ESP}	0,042	0,238	0,08	0,09	2,14

Quadro AII. 2 - Coeficiente de condutibilidade térmica e peso volúmico dos materiais em estudo

Material	Coefficiente de condutibilidade térmica λ (W/m.°C)	Peso volúmico ρ (kg/m ³)
CG _{PL}	0,038	133
EPS _{PL}	0,040	20
GW _{PL}	0,037	65
ICB _{PL}	0,045	115
MW _{PL}	0,040	40
PUR _{PL}	0,040	25
XPS _{PL}	0,037	25
MW _{MT}	0,040	30
EPS _{GR}	0,052	9
ICB _{GR}	0,045	65
LWA _{GR}	0,160	400
MW _F	0,040	90
PUR _{ESP}	0,042	25

Quadro AII. 3 - Quantidade de material necessária conforme as espessuras definidas no

Quadro AII.1

Material	Espessura (m)	Peso volúmico ρ (kg/m³)	Quantidade (kg/m²)
CG _{PL}	0,08	133	10,64
EPS _{PL}	0,08	20	1,60
GW _{PL}	0,08	65	5,20
ICB _{PL}	0,10	115	11,50
MW _{PL}	0,08	40	3,20
PUR _{PL}	0,08	25	2,00
XPS _{PL}	0,08	25	2,00
MW _{MT}	0,08	30	2,40
EPS _{GR}	0,11	9	0,99
ICB _{GR}	0,09	65	5,85
LWA _{GR}	0,32	400	128,00
MW _F	0,08	90	7,20
PUR _{ESP}	0,09	25	2,25

Quadro AII. 4 - Custos de aquisição dos materiais em estudo

Produção	Material	Custo de aquisição do material
Placas (/m ²)	CG	40,00 €
	EPS	8,16 €
	GW	10,15 €
	ICB	33,25 €
	MW _{PL}	9,47 €
	PUR	18,60 €
	XPS	10,16 €
Mantas (/m ²)	MW _{MT}	3,52 €
Granel (/m ³)	EPS	75,24 €
	ICB	95,00 €
	LWA	81,70 €
	MW _F	29,20 €
Espuma (/m ²)	PUR	3,55 €

Quadro AII. 5 - Impactes ambientais por quilograma de material em estudo e respetivos melhor e pior valor

Impactes ambientais por kg de material						
Material	GWP (kg CO ₂ eq)	ODP (kg CFC-11 eq)	AP (kg SO ₂ eq)	POCP (kg C ₂ H ₄ eq)	EP (kg PO ₄ eq)	ENR (MJ eq)
CG _{PL}	1,87E+01	1,33E-06	1,18E-01	5,00E-03	5,02E-02	2,80E+02
EPS _{PL}	5,31E+00	0,00E+00	1,79E-02	1,07E-03	1,76E-03	1,36E+02
GW _{PL}	6,36E+00	1,78E-06	5,09E-02	3,36E-03	3,00E-02	2,04E+02
ICB _{PL}	1,32E+01	1,06E-06	6,15E-02	5,13E-03	3,12E-02	2,85E+02
MW _{PL}	3,46E+00	1,47E-07	2,62E-02	1,38E-03	5,70E-03	6,05E+01
PUR _{PL}	4,70E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
XPS _{PL}	2,10E+01	3,28E-04	3,34E-02	2,56E-03	6,86E-03	1,99E+02
MW _{MT}	2,59E+00	1,10E-07	1,97E-02	1,04E-03	4,27E-03	4,54E+01
EPS _{GR}	3,29E+00	0,00E+00	1,11E-02	6,63E-04	1,09E-03	8,42E+01
ICB _{GR}	6,73E+00	5,41E-07	3,13E-02	2,61E-03	1,59E-02	1,45E+02
LWA _{GR}	4,14E+01	4,85E-06	2,63E-01	1,23E-02	7,33E-02	5,22E+02
MW _F	7,78E+00	3,30E-07	5,90E-02	3,11E-03	1,28E-02	1,36E+02
PUR _{ESP}	5,29E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Melhor	2,59E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Pior	4,14E+01	3,28E-04	2,63E-01	1,23E-02	7,33E-02	5,22E+02

Quadro AII. 6 - Importância relativa da EPA para os indicadores ambientais em estudo

Importância relativa pela EPA		
Parâmetro	Peso (%)	Peso (%) base 100%
GWP	16	38,10
ODP	5	11,90
AP	5	11,90
POCP	6	14,29
EP	5	11,90
ENR	5	11,90
Total	42	100

Quadro AII. 7 - Normalização dos indicadores de impacto ambiental e determinação da dimensão ambiental (IA)

Normalização dos indicadores							IA
Material	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ENR	
CG _{PL}	0,58	1,00	0,55	0,59	0,32	0,46	0,58
EPS _{PL}	0,93	1,00	0,93	0,91	0,98	0,74	0,92
GW _{PL}	0,90	0,99	0,81	0,73	0,59	0,61	0,81
ICB _{PL}	0,73	1,00	0,77	0,58	0,57	0,45	0,69
MW _{PL}	0,98	1,00	0,90	0,89	0,92	0,88	0,94
PUR _{PL}	0,95	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,98
XPS _{PL}	0,53	0,00	0,87	0,79	0,91	0,62	0,60
MW _{MT}	1,00	1,00	0,93	0,92	0,94	0,91	0,96
EPS _{GR}	0,98	1,00	0,96	0,95	0,99	0,84	0,96
ICB _{GR}	0,89	1,00	0,88	0,79	0,78	0,72	0,86
LWA _{GR}	0,00	0,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12
MW _F	0,87	1,00	0,78	0,75	0,83	0,74	0,83
PUR _{ESP}	0,93	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,97

Quadro AII. 8 - Determinação da resistência térmica e do coeficiente de transmissão térmica e respetivos melhor e pior valor

Material	Resistência térmica (m ² .°C/W)	U (W/m ² .°C)
CG _{PL}	2,11	0,48
EPS _{PL}	2,00	0,50
GW _{PL}	2,16	0,46
ICB _{PL}	2,22	0,45
MW _{PL}	2,00	0,50
PUR _{PL}	2,00	0,50
XPS _{PL}	2,16	0,46
MW _{MT}	2,00	0,50
EPS _{GR}	2,12	0,47
ICB _{GR}	2,00	0,50
LWA _{GR}	2,00	0,50
MW _F	2,00	0,50
PUR _{ESP}	2,14	0,47
Melhor	-	0,45
Pior	-	0,50

Quadro AII. 9 - Importância relativa atribuída pela EPA ao parâmetro funcional em análise

Importância relativa pela EPA		
Parâmetro	Peso (%)	Peso (%) base 100%
U	38	100
Total	38	100

Quadro AII. 10 - Normalização do coeficiente de transmissão térmica e determinação da dimensão funcional

Normalização dos valores		IF
Material	U	
CG _{PL}	0,50	0,5
EPS _{PL}	0,00	0,0
GW _{PL}	0,75	0,8
ICB _{PL}	1,00	1,0
MW _{PL}	0,00	0,0
PUR _{PL}	0,00	0,0
XPS _{PL}	0,75	0,8
MW _{MT}	0,00	0,0
EPS _{GR}	0,55	0,5
ICB _{GR}	0,00	0,0
LWA _{GR}	0,00	0,0
MW _F	0,00	0,0
PUR _{ESP}	0,67	0,7

Quadro AII. 11 - Custo de aquisição do material e custo de ciclo de vida do mesmo

Material	Custo de aquisição do material €	Custo de Ciclo de Vida (LCC) €
CG _{PL}	40,00	40,00
EPS _{PL}	8,16	8,16
GW _{PL}	10,15	10,15
ICB _{PL}	33,25	33,25
MW _{PL}	9,47	9,47
PUR _{PL}	18,60	18,60
XPS _{PL}	10,16	10,16
MW _{MT}	3,52	3,52
EPS _{GR}	75,24	75,24
ICB _{GR}	95,00	95,00
LWA _{GR}	81,70	81,70
MW _F	29,20	29,20
PUR _{ESP}	3,55	3,55
Melhor	-	3,52 €
Pior	-	95,00 €

Quadro AII. 12 - Normalização do custo de ciclo de vida dos materiais e determinação da dimensão económica

Normalização dos valores		IE
Material	LCC	
CG _{PL}	0,60	0,60
EPS _{PL}	0,95	0,95
GW _{PL}	0,93	0,93
ICB _{PL}	0,68	0,68
MW _{PL}	0,93	0,93
PUR _{PL}	0,84	0,84
XPS _{PL}	0,93	0,93
MW _{MT}	1,00	1,00
EPS _{GR}	0,22	0,22
ICB _{GR}	0,00	0,00
LWA _{GR}	0,15	0,15
MW _F	0,72	0,72
PUR _{ESP}	1,00	1,00

Quadro AII. 13 - Peso padrão atribuído a cada dimensão em estudo na metodologia

Dimensão	Peso (%)
Ambiental	30
Funcional	50
Económica	20

Quadro AII. 14 - Determinação da nota sustentável de cada material e do melhor e pior desempenho

Material	Nota sustentável			
	IA	IF	IE	NS
CG _{PL}	0,58	0,50	0,60	0,55
EPS _{PL}	0,92	0,00	0,95	0,47
GW _{PL}	0,81	0,75	0,93	0,80
ICB _{PL}	0,69	1,00	0,68	0,84
MW _{PL}	0,94	0,00	0,93	0,47
PUR _{PL}	0,98	0,00	0,84	0,46
XPS _{PL}	0,60	0,75	0,93	0,74
MW _{MT}	0,96	0,00	1,00	0,49
EPS _{GR}	0,96	0,55	0,22	0,60
ICB _{GR}	0,86	0,00	0,00	0,26
LWA _{GR}	0,12	0,00	0,15	0,06
MW _F	0,83	0,00	0,72	0,39
PUR _{ESP}	0,97	0,67	1,00	0,83

Quadro AII. 15 - Parâmetros para construção dos perfis sustentáveis dos materiais em estudo

Material	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ENR	U	LCC
CG _{PL}	0,58	1,00	0,55	0,59	0,32	0,46	0,50	0,60
EPS _{PL}	0,93	1,00	0,93	0,91	0,98	0,74	0,00	0,95
GW _{PL}	0,90	0,99	0,81	0,73	0,59	0,61	0,75	0,93
ICB _{PL}	0,73	1,00	0,77	0,58	0,57	0,45	1,00	0,68
MW _{PL}	0,98	1,00	0,90	0,89	0,92	0,88	0,00	0,93
PUR _{PL}	0,95	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,84
XPS _{PL}	0,53	0,00	0,87	0,79	0,91	0,62	0,75	0,93
MW _{MT}	1,00	1,00	0,93	0,92	0,94	0,91	0,00	1,00
EPS _{GR}	0,98	1,00	0,96	0,95	0,99	0,84	0,55	0,22
ICB _{GR}	0,89	1,00	0,88	0,79	0,78	0,72	0,00	0,00
LWA _{GR}	0,00	0,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15
MW _F	0,87	1,00	0,78	0,75	0,83	0,74	0,00	0,72
PUR _{ESP}	0,93	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,67	1,00

Anexo III – Análise de sensibilidade através da metodologia Mixtri

Quadro AIII. 1 - Quadro de inserção de dados da metodologia Mixtri

Sample plot of random data with MIXTRI 2.0	Ambiente — —>	<— Funcionalidade	Economia —>
Product 1	0,42	0,50	0,40
Product 2	0,08	1,00	0,05
Product 3	0,19	0,25	0,07
Product 4	0,31	0,00	0,32
Product 5	0,06	1,00	0,07
Product 6	0,02	1,00	0,16
Product 7	0,40	0,25	0,07
Product 8	0,04	1,00	0,00
Product 9	0,04	0,45	0,78
Product 10	0,14	1,00	1,00
Product 11	0,88	1,00	0,85
Product 12	0,17	1,00	0,28
Product 13	0,03	0,33	0,00

Anexo IV – Constituição das soluções de reabilitação energética a aplicar na reabilitação da fachada do edifício

Quadro AIV. 1 - Constituição das soluções a aplicar na reabilitação energética da fachada do edifício

Constituição das soluções de reabilitação da fachada			
Localização do isolamento	Solução de reabilitação	Materiais constituintes	Espessura (m)
Interior	Painéis isolantes prefabricados	Argamassa para colagem	0,01
		Material de isolamento	V
		Caixa-de-ar	V
		Placa de gesso cartonado	0,0125
		Montantes e canais	V
	Contra-fachada com isolamento na caixa-de-ar	Argamassa para colagem	0,01
		Material de isolamento	V
		Caixa-de-ar	V
		Pano de alvenaria 11cm + arg. assentamento	0,11
		Argamassa para revestimento	0,02
Exterior	Sistema compósito de isolamento com revestimento delgado (ETICS)	Argamassa para colagem	0,015
		Material de isolamento	V
		Reboco delgado	0,004
	Componentes prefabricados com isolante e fixados diretamente á parede (vêtures)	Argamassa para colagem	0,02
		Revestimento em alumínio	0,0005
		Material de isolamento	V
		Elementos de fixação	D
		Revestimento em alumínio	0,0005
	Reboco isolante	Argamassa de revestimento	0,02
		Reboco isolante	V
		Argamassa de revestimento	0,03
	Revestimentos independentes descontínuos com isolante na caixa-de-ar (fachada ventilada)	Argamassa de colagem	0,02
		Material de isolamento	V
		Caixa-de-ar	V
		Estrutura de suporte	D
		Elementos de fixação	D
		Revestimento em alumínio	0,01
	Painéis de betão reforçados com fibra de vidro (GRC)	Estrutura de suporte	D
		Placa de betão com fibra de vidro	0,01
		Material de isolamento	V
		Elementos de fixação	D
		Placa de betão com fibra de vidro	0,01
	Módulos de reabilitação prefabricados (MRP)	Estrutura de suporte	-
		Barreira pára-vapor	0,001
Material de isolamento		0,12	
Material de isolamento		0,06	
Perfil de aço em U		-	
Revestimento em alumínio		0,006	

Anexo V – Códigos de identificação das soluções a aplicar, por localização e material de isolamento

Quadro AV. 1 - Códigos para as soluções a aplicar em Beja

Localização		Solução de reabilitação	Material de isolamento	Código
Edifício	Isolamento			
Beja	Interior	Painéis isolantes prefabricados	EPS _{PL}	B.1.1
			GW	B.1.2
			ICB _{PL}	B.1.3
			MW _{PL}	B.1.4
			XPS	B.1.5
			MW _{MT}	B.1.6
		Contra-fachada com isolamento na caixa-de-ar	EPS _{PL}	B.2.1
			ICB _{PL}	B.2.2
			MW _{PL}	B.2.3
			XPS	B.2.4
			MW _{MT}	B.2.5
			PUR _{ESP}	B.2.6
	Exterior	Sistema compósito de isolamento com revestimento espesso ou delgado (ETICS)	EPS _{PL}	B.3.1
			ICB _{PL}	B.3.2
			MW _{PL}	B.3.3
			XPS	B.3.4
		Componentes prefabricados com isolante e fixados diretamente à parede (Vêture)	MW	B.4.1
			PUR	B.4.2
		Rebocos isolantes	EPS _{GR}	B.5.1
			ICB _{GR}	B.5.2
			LWA	B.5.3
			MW _{FB}	B.5.4
		Revestimentos independentes descontínuos com isolante na caixa-de-ar (Fachada ventilada)	EPS _{PL}	B.6.1
			GW	B.6.2
			ICB _{PL}	B.6.3
			MW _{PL}	B.6.4
			XPS	B.6.5
			PUR _{ESP}	B.6.6
CG	B.6.7			
Painéis de betão reforçados com fibra de vidro (GRC)	GW	B.7.1		
Módulos de reabilitação prefabricados (MRP)	XPS	B.8.1		
	ICB _{PL}			

Quadro AV. 2 - Códigos para as soluções a aplicar em Lisboa

Localização		Solução de reabilitação	Material de isolamento	Código
Edifício	Isolamento			
Lisboa	Interior	Painéis isolantes prefabricados	EPS _{PL}	L.1.1
			GW	L.1.2
			ICB _{PL}	L.1.3
			MW _{PL}	L.1.4
			XPS	L.1.5
			MW _{MT}	L.1.6
		Contra-fachada com isolamento na caixa-de-ar	EPS _{PL}	L.2.1
			ICB _{PL}	L.2.2
			MW _{PL}	L.2.3
			XPS	L.2.4
			MW _{MT}	L.2.5
			PUR _{ESP}	L.2.6
	Exterior	Sistema compósito de isolamento com revestimento espesso ou delgado (ETICS)	EPS _{PL}	L.3.1
			ICB _{PL}	L.3.2
			MW _{PL}	L.3.3
			XPS	L.3.4
		Componentes prefabricados com isolante e fixados diretamente à parede (Vêture)	MW	L.4.1
			PUR	L.4.2
		Rebocos isolantes	EPS _{GR}	L.5.1
			ICB _{GR}	L.5.2
			LWA	L.5.3
			MW _{FB}	L.5.4
		Revestimentos independentes descontínuos com isolante na caixa-de-ar (Fachada ventilada)	EPS _{PL}	L.6.1
			GW	L.6.2
			ICB _{PL}	L.6.3
			MW _{PL}	L.6.4
			XPS	L.6.5
			PUR _{ESP}	L.6.6
			CG	L.6.7
		Painéis de betão reforçados com fibra de vidro (GRC)	GW	L.7.1
		Módulos de reabilitação prefabricados (MRP)	XPS	L.8.1
			ICB _{PL}	

Quadro AV. 3 - Códigos para as soluções a aplicar no Porto

Localização		Solução de reabilitação	Material de isolamento	Código
Edifício	Isolamento			
Porto	Interior	Painéis isolantes prefabricados	EPS _{PL}	P.1.1
			GW	P.1.2
			ICB _{PL}	P.1.3
			MW _{PL}	P.1.4
			XPS	P.1.5
			MW _{MT}	P.1.6
		Contra-fachada com isolamento na caixa-de-ar	EPS _{PL}	P.2.1
			ICB _{PL}	P.2.2
			MW _{PL}	P.2.3
			XPS	P.2.4
			MW _{MT}	P.2.5
			PUR _{ESP}	P.2.6
	Exterior	Sistema compósito de isolamento com revestimento espesso ou delgado (ETICS)	EPS _{PL}	P.3.1
			ICB _{PL}	P.3.2
			MW _{PL}	P.3.3
			XPS	P.3.4
		Componentes prefabricados com isolante e fixados diretamente à parede (Vêture)	MW	P.4.1
			PUR	P.4.2
		Rebocos isolantes	EPS _{GR}	P.5.1
			ICB _{GR}	P.5.2
			LWA	P.5.3
			MW _{FB}	P.5.4
		Revestimentos independentes descontínuos com isolante na caixa-de-ar (Fachada ventilada)	EPS _{PL}	P.6.1
			GW	P.6.2
			ICB _{PL}	P.6.3
			MW _{PL}	P.6.4
			XPS	P.6.5
			PUR _{ESP}	P.6.6
CG	P.6.7			
Painéis de betão reforçados com fibra de vidro (GRC)	GW	P.7.1		
Módulos de reabilitação prefabricados (MRP)	XPS	P.8.1		
	ICB _{PL}			

Quadro AV. 4 - Códigos para as soluções a aplicar em Vila Real

Localização		Solução de reabilitação	Material de isolamento	Código
Edifício	Isolamento			
Vila Real	Interior	Painéis isolantes prefabricados	EPS _{PL}	VR.1.1
			GW	VR.1.2
			ICB _{PL}	VR.1.3
			MW _{PL}	VR.1.4
			XPS	VR.1.5
			MW _{MT}	VR.1.6
		Contra-fachada com isolamento na caixa-de-ar	EPS _{PL}	VR.2.1
			ICB _{PL}	VR.2.2
			MW _{PL}	VR.2.3
			XPS	VR.2.4
			MW _{MT}	VR.2.5
			PUR _{ESP}	VR.2.6
	Exterior	Sistema compósito de isolamento com revestimento espesso ou delgado (ETICS)	EPS _{PL}	VR.3.1
			ICB _{PL}	VR.3.2
			MW _{PL}	VR.3.3
			XPS	VR.3.4
		Componentes prefabricados com isolante e fixados diretamente à parede (Vêture)	MW	VR.4.1
			PUR	VR.4.2
		Rebocos isolantes	EPS _{GR}	VR.5.1
			ICB _{GR}	VR.5.2
			LWA	VR.5.3
			MW _{FB}	VR.5.4
		Revestimentos independentes descontínuos com isolante na caixa-de-ar (Fachada ventilada)	EPS _{PL}	VR.6.1
			GW	VR.6.2
			ICB _{PL}	VR.6.3
			MW _{PL}	VR.6.4
			XPS	VR.6.5
			PUR _{ESP}	VR.6.6
CG	VR.6.7			
Painéis de betão reforçados com fibra de vidro (GRC)	GW	VR.7.1		
Módulos de reabilitação prefabricados (MRP)	XPS	VR.8.1		
	ICB _{PL}			

Anexo VI – Inventário dos materiais necessários para as soluções em cada localização

Quadro AVI. 1 - Inventário dos materiais necessários em Beja

Material	Transporte até à obra - Beja	
	Origem	Distância (km)
CG _{PL}	LizMontagens - Lisboa	179
EPS _{PL}	Viero - Beja	0,6
GW _{PL}	Tudisol - Sines	97,8
ICB _{PL}	Viero - Beja	0,6
MW _{PL}	Tudisol - Sines	97,8
XPS _{PL}	Viero - Beja	0,6
MW _{MT}	Tudisol - Sines	97,8
EPS _{GR}	Sotecnisol - Lisboa	177
ICB _{GR}	Sotecnisol - Lisboa	177
LWA _{GR}	Sotecnisol - Lisboa	177
MW _F	Sotecnisol - Lisboa	177
PUR _{ESP}	Casa CucaBaixo - Beja	78,7
Tijolos	Casa CucaBaixo - Beja	78,7
Argamassa	Casa CucaBaixo - Beja	78,7
Vêtures PUR	Sotecnisol - Lisboa	177
Vêtures MW	Sotecnisol - Lisboa	177
Reboco térmico	Casa CucaBaixo - Beja	78,7
Módulos MRP	DST - Braga	503
Painéis GRC	Pavicentro - Aveiro	386
Fachada ventilada	Sotecnisol - Lisboa	177
Painéis gesso cartonado + estrutura	Casa CucaBaixo - Beja	78,7

Quadro AVI. 2 - Inventário dos materiais necessários em Lisboa

Material	Transporte até à obra - Lisboa	
	Origem	Distância (km)
CG _{PL}	LizMontagens - Lisboa	3,3
EPS _{PL}	Viero - Lisboa	7,6
GW _{PL}	Siper - Lisboa	25,4
ICB _{PL}	Isocor - Lisboa	2,2
MW _{PL}	Sotecnisol - Lisboa	11,8
XPS _{PL}	Viero - Lisboa	7,6
MW _{MT}	Sotecnisol - Lisboa	11,8
EPS _{GR}	Sotecnisol - Lisboa	11,8
ICB _{GR}	Isocor - Lisboa	2,2
LWA _{GR}	Sotecnisol - Lisboa	11,8
MW _F	Sotecnisol - Lisboa	11,8
PUR _{ESP}	Termipol - Lisboa	29
Tijolos	JJ Figueira - Lisboa	2,6
Argamassa	JJ Figueira - Lisboa	2,6
Vêtures PUR	Sotecnisol - Lisboa	11,8
Vêtures MW	Sotecnisol - Lisboa	11,8
Reboco térmico	AJM - Lisboa	9,6
Módulos MRP	DST - Braga	368
Painéis GRC	Pavicentro - Aveiro	250
Fachada ventilada	Sotecnisol - Lisboa	11,8
Painéis gesso cartonado + estrutura	Horácio Costa - Lisboa	5,3

Quadro AVI. 3 - Inventário dos materiais necessários para o Porto

Material	Transporte até à obra	
	Origem	Distância (km)
CG _{PL}	LizMontagens - Lisboa	309
EPS _{PL}	Viero - Porto	3,6
GW _{PL}	Fibrosom - Famalicão	37,4
ICB _{PL}	Amorim - Porto	25,4
MW _{PL}	Fibrosom - Famalicão	37,4
XPS _{PL}	Viero - Porto	3,6
MW _{MT}	Fibrosom - Famalicão	37,4
EPS _{GR}	Fibrosom - Famalicão	37,4
ICB _{GR}	Amorim - Porto	25,4
LWA _{GR}	Fibrosom - Famalicão	37,4
MW _F	Fibrosom - Famalicão	37,4
PUR _{ESP}	Polirigido - Trofa	18,9
Tijolos	Bloqueira Dantas - Matosinhos	11,4
Argamassa	Bloqueira Dantas - Matosinhos	11,4
Vêtures PUR	Fabrica da Barca - Vila das aves	47,8
Vêtures MW	Fabrica da Barca - Vila das aves	47,8
Reboco térmico	Bloqueira Dantas - Matosinhos	11,4
Módulos MRP	DST - Braga	60,2
Painéis GRC	Pavicentro - Aveiro	72,8
Fachada ventilada	Inor - Famalicão	36,6
Painéis gesso cartonado + estrutura	Casa Peixoto - Maia	8,2

Quadro AVI. 4 - Inventário dos materiais necessários para Vila Real

Material	Transporte até à obra	
	Origem	Distância (km)
CG _{PL}	LizMontagens - Lisboa	376
EPS _{PL}	Viero - Vila Real	0,35
GW _{PL}	Fibrosom - Famalicão	105
ICB _{PL}	Amorim - Porto	124
MW _{PL}	Fibrosom - Famalicão	105
XPS _{PL}	Viero - Vila Real	0,35
MW _{MT}	Fibrosom - Famalicão	105
EPS _{GR}	Fibrosom - Famalicão	105
ICB _{GR}	Amorim - Porto	124
LWA _{GR}	Fibrosom - Famalicão	105
MW _F	Fibrosom - Famalicão	105
PUR _{ESP}	Isosombra - Aveiro	114
Tijolos	Casa Dolores - Vila Real	7,9
Argamassa	Casa Dolores - Vila Real	7,9
Vêtures PUR	Fabrica da Barca - Vila das aves	105
Vêtures MW	Fabrica da Barca - Vila das aves	105
Reboco térmico	Casa Dolores - Vila Real	7,9
Módulos MRP	DST - Braga	110
Painéis GRC	Pavicentro - Aveiro	157
Fachada ventilada	Luxus - Chaves	66,5
Painéis gesso cartonado + estrutura	A exportadora de Chaves - Chaves	66,8

Anexo VII – Preenchimento das folhas de cálculo da metodologia para a melhor solução em Beja, B.3.1, e respetivos resultados

Quadro AVII. 1 - Quadro principal para o cálculo dos ganhos solares na estação de aquecimento na situação inicial

Windows orientation	Reduction factor			I _{Sol} (kWh)	Solar energy transmittance g _{gl,n}	
	A (m ²)	External shading F _{sh}	Frame area fraction of the window F _F		Glass composition	g _{gl,n}
Window_Horizontal	0,00	0,00	0,7	805	Colorless 6mm	0,85
Window_East	3,75	0,87		499		
Window_South	3,75	0,93		836		
Window_West	3,75	1,00		476		
Window_North	3,75	1,00		136		
Window_Northeast	0,00	0,00		239		
Window_Southwest	0,00	0,00		713		
Window_Southwest	0,00	0,00		713		
Window_Southeast	0,00	0,00		734		
Window_Northwest	0,00	0,00		227		

Quadro AVII. 2 - Quadro auxiliar para o cálculo dos ganhos solares na estação de aquecimento na situação inicial

Auxiliary calculation F _{sh}							
Windows orientation	Horizon angle	F _h	Overhang angle	F ₀	Fin angle	F _f	F _{sh}
East	20° to 33° lat.	0,87	0° to 33° lat.	1,00	0°-Left and Right	1,00	0,87
South	20° to 33° lat.	0,93	0° to 33° lat.	1,00	0°-Left and Right	1,00	0,93
West	20° to 33° lat.	1,00	0° to 33° lat.	1,00	0°-Left and Right	1,00	1,00
North	20° to 33° lat.	1,00	0° to 33° lat.	1,00	0°-Left and Right	1,00	1,00
Northeast	Doesn't exist	0	Doesn't exist	0,00	Doesn't exist	0,00	0,00
Southwest	Doesn't exist	0	Doesn't exist	0,00	Doesn't exist	0,00	0,00
Southwest	Doesn't exist	0,00	Doesn't exist	0,00	Doesn't exist	0,00	0,00
Southeast	Doesn't exist	0,00	Doesn't exist	0,00	Doesn't exist	0,00	0,00
Northwest	Doesn't exist	0,00	Doesn't exist	0,00	Doesn't exist	0,00	0,00

Quadro AVII. 3 - Quadro principal para o cálculo do fator solar na estação de arrefecimento na situação inicial

Windows orientation	A (m ²)	Reduction factor		I_Sol (kWh)	Solar energy transmittance
		External shading F _{sh}	Frame area fraction of the window F _F		g _{gl,n}
Horizontal	0,00	0,00	0,7	805	0,00
East	3,75	1,00		499	0,53
South	3,75	1,00		836	0,50
West	3,75	1,00		476	0,53
North	3,75	1,00		136	0,77
Northeast	0,00	0,00		239	0,61
Southwest	0,00	0,00		713	0,50
Southwest	0,00	0,00		713	0,50
Southeast	0,00	0,00		734	0,27
Northwest	0,00	0,00		227	0,15

Quadro AVII. 4 - Quadro auxiliar para o cálculo do fator solar na estação de arrefecimento na situação inicial

Auxiliary calculation F_{sh}						
Windows orientation	F_h	Overhang angle	F_0	Fin angle	F_f	F_{sh}
East	1,00	0° to 39° lat.	1,00	0°-Left and Right	1,00	1,00
South	1,00	0° to 39° lat.	1,00	0°-Left and Right	1,00	1,00
West	1,00	0° to 39° lat.	1,00	0°-Left and Right	1,00	1,00
North	1,00	0° to 39° lat.	1,00	0°-Left and Right	1,00	1,00
Northeast	1,00	Doesn't exist	0,00	Doesn't exist	0,00	0,00
Southwest	1,00	Doesn't exist	0,00	Doesn't exist	0,00	0,00
Southwest	1,00	Doesn't exist	0,00	Doesn't exist	0,00	0,00
Southeast	1,00	Doesn't exist	0,00	Doesn't exist	0,00	0,00
Northwest	1,00	Doesn't exist	0,00	Doesn't exist	0,00	0,00

Quadro AVII. 5 - Quadro principal para o cálculo dos ganhos solares opacos na estação de arrefecimento na situação inicial

Opaque building elements	Dimensionless absorption coefficient for solar radiation of the opaque part		R_{se} ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)	I_{Sol} (kWh)	
	Color	α		Orientation	I_{Sol} (kWh)
Roof_1	Clear (white, cream, yellow, orange, light red)	0,40	0,04	Horizontal	805
Roof_2	Doesn't exist	0,00		Horizontal	805
Wall_1	Clear (white, cream, yellow, orange, light red)	0,40		South	836
Wall_2	Clear (white, cream, yellow, orange, light red)	0,40		North	136
Wall_3	Clear (white, cream, yellow, orange, light red)	0,40		East	499

Quadro AVII. 6 - Quadro auxiliar para o cálculo do fator solar na estação de arrefecimento na situação inicial

Auxiliary calculation $g_{gl,n}$									
F_{mv}		g_T							
Orientation	F_{mv}	Glass composition	$g_{,vi}$	Glass Type / Protections	Interior protection	g_{Tvc}	Outdoor protection	g_{Tvc}	g_T
East	0,60	Colorless 6mm	0,85	Interior protection-Simple glass	Transparent curtains-Clear (Simple glass-interior protection)	0,38	Simple glass-Outdoor protection		0,38
South	0,60	Colorless 6mm	0,85	Interior protection-Simple glass	Transparent curtains-Clear (Simple glass-interior protection)	0,38	Simple glass-Outdoor protection		0,38
West	0,60	Colorless 6mm	0,85	Interior protection-Simple glass	Transparent curtains-Clear (Simple glass-interior protection)	0,38	Simple glass-Outdoor protection		0,38
North	0,00	Colorless 6mm	0,85	Interior protection-Simple glass	Transparent curtains-Clear (Simple glass-interior protection)	0,38	Simple glass-Outdoor protection		0,38
Northeast	0,40	Colorless 6mm	0,85	Interior protection-Simple glass	Transparent curtains-Clear (Simple glass-interior protection)	0,38	Simple glass-Outdoor protection		0,38
Southwest	0,70	Colorless 6mm	0,85	Interior protection-Simple glass	Transparent curtains-Clear (Simple glass-interior protection)	0,38	Simple glass-Outdoor protection		0,38
Southeast	0,70	Colorless 6mm	0,85	Interior protection-Simple glass	Transparent curtains-Clear (Simple glass-interior protection)	0,38	Simple glass-Outdoor protection		0,38
Northwest	0,40	Colorless 6mm	0,85	Interior protection-Simple glass	Transparent curtains-Clear (Simple glass-interior protection)	0,38	Simple glass-Outdoor protection		0,38

Quadro AVII. 7 - Quadro auxiliar para o cálculo do fator solar na estação de arrefecimento na situação inicial (cont.)

g_{Tp}					$g_{gl,n}$
Orientation	$F_{w,v}$	Glass composition	$g_{,vi}$	g_{Tp}	
East-Simple flat glass	0,9	Colorless 6mm	0,85		0,53
South-Simple flat glass	0,8	Colorless 6mm	0,85		0,50
West-Simple flat glass	0,9	Colorless 6mm	0,85		0,53
Northwest-Simple flat glass	0,9	Colorless 6mm	0,85		0,77
Northwest-Simple flat glass	0,9	Colorless 6mm	0,85		0,61
Southwest-Simple flat glass	0,9	Colorless 6mm	0,85		0,50
Southeast-Simple flat glass	0,9	Simple glass	0,00		0,27
Northeast-Simple flat glass	0,9	Simple glass	0,00		0,15

Quadro AVII. 8 - Composição do elemento construtivo da parede 1 para a solução de reabilitação B.3.1

Wall_1	di (m)	λ (W/m.°C)	Rj (m ² .°C/W)	Thermal resistance of element without insulation, in case that existing insulation is removed during refurbishment R_before (m ² °C/W)	Mst (kg/m ²)
Cement mortar	0,015	1,3	0,01	0,01	30
Polystyrene expandable EPS	0,07	0,04	1,75	1,75	1,4
ETICS slender mortar	0,004	1	0,00	0,00	6,8

Quadro AVII. 9 - Impactes ambientais associados aos materiais utilizados para a melhor solução de reabilitação na parede 1

Categories of environmental impact of LCA Cradle-to-gate						Embodied energy Cradle-to-gate	
ADP (Kg Sb eq)	GWP (Kg CO2 eq)	ODP (Kg CFC-11 eq)	AP (kg SO2 eq)	POCP (Kg C2H4 eq)	EP (kg PO4 eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)
3,42E-01	1,33E+02	5,65E-06	2,28E-01	9,11E-03	5,82E-02	9,24E+02	1,43E+02
1,36E+00	1,08E+02	0,00E+00	3,64E-01	2,18E-02	3,58E-02	2,77E+03	1,22E+01
7,74E-02	3,01E+01	1,28E-06	5,17E-02	2,07E-03	1,32E-02	2,09E+02	3,24E+01

Quadro AVII. 10 - Impactes ambientais associados ao transporte dos materiais utilizados na solução aplicada na parede 1

Do you need transportation to the building element concerned?		Categories of environmental impact of LCA Cradle-to-gate						Embodied energy Cradle-to-gate	
		ADP (Kg Sb eq)	GWP (Kg CO2 eq)	ODP (Kg CFC-11 eq)	AP (kg SO2 eq)	POCP (Kg C2H4 eq)	EP (kg PO4 eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)
Yes	78,7	1,00E-01	1,41E+01	2,21E-06	7,40E-02	2,33E-03	1,99E-02	2,41E+02	4,74E+00
Yes	0,6	3,57E-05	5,02E-03	7,85E-10	2,63E-05	8,29E-07	7,07E-06	8,56E-02	1,69E-03
Yes	0,6	1,73E-04	2,44E-02	3,81E-09	1,28E-04	4,03E-06	3,43E-05	4,16E-01	8,19E-03

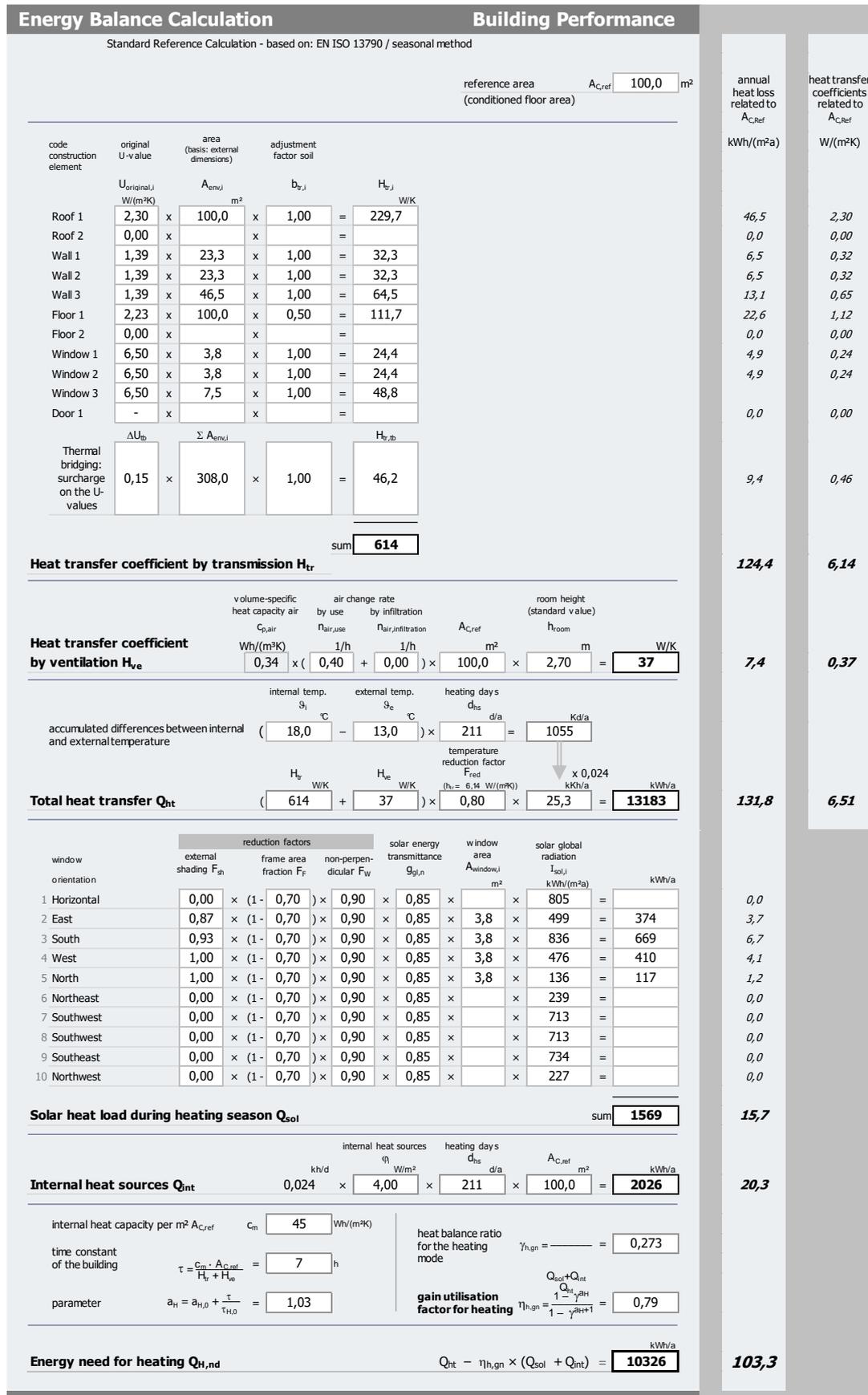


Figura AVII. 1 - Necessidade energética de aquecimento na situação inicial do edifício

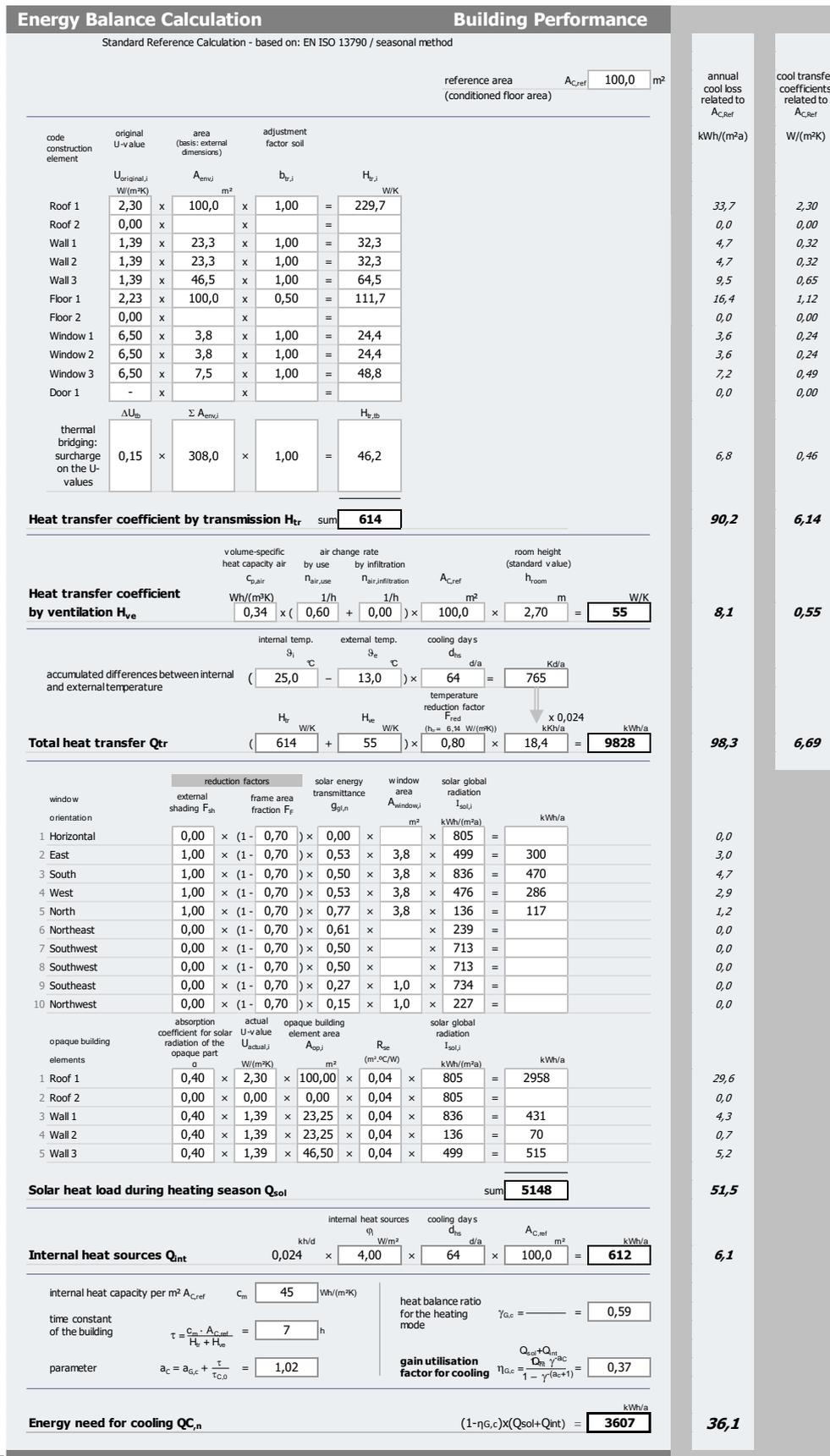


Figura AVII. 2 - Necessidades energéticas de arrefecimento na situação inicial do edifício

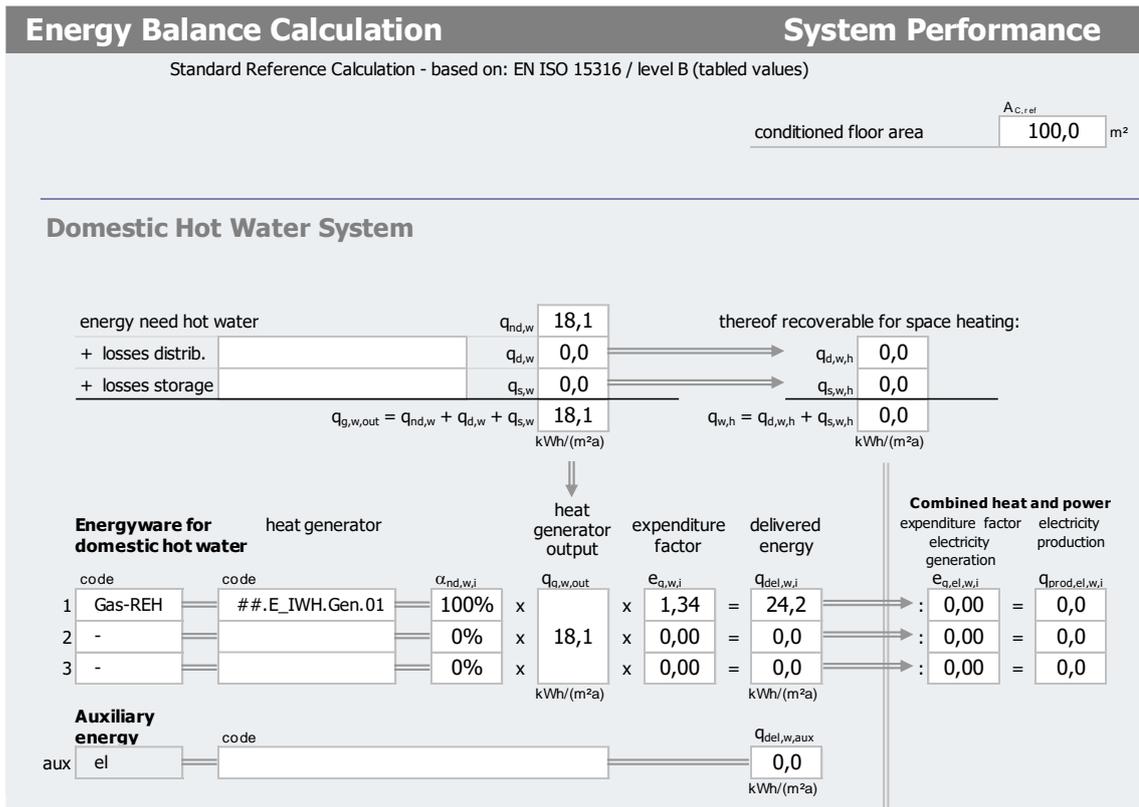


Figura AVII. 3 - Necessidades energéticas do edifício para preparação de AQS na sua situação inicial

Energy Balance Calculation				Energy Carriers											
				conditioned floor area		A _{C,ref}		100,0 m ²							
Assessment of Energywares															
Standard Calculation				delivered energy		total primary energy		non-renewable primary energy		carbon dioxide emissions		energy costs			
Heating (+ Ventilation) System				Q _{del,i}	f _{p,total,i}	Q _{p,total,i} = Q _{del,i} · f _{p,total,i}	f _{p,nonren,i}	Q _{p,nonren,i} = Q _{del,i} · f _{p,nonren,i}	f _{CO2,i}	m _{CO2,i} = Q _{del,i} · f _{CO2,i}	p _i (energyware price)	C _i = Q _{del,i} · p _i			
EI-REH				111,5	2,50	278,8	2,50	278,8	144	16,1	0,00	0,00			
-				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
-				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
Auxiliary Electricity				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
Electricity Production / Export				33,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Cooling System															
EI-REH				15,51	2,50	38,78	2,50	38,78	144	2,23	0,00	0,00			
-				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
-				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
Auxiliary Electricity				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Electricity Production / Export				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Domestic Hot Water System															
Gas-REH				24,2	1,00	24,2	1,00	24,2	202	4,9	0,00	0,00			
-				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
-				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
Auxiliary Electricity				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Electricity Production / Export				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Summary and Expenditure Factors				heat need Q _{nd}	ΣQ _{del}	e _{p,total} = $\frac{Q_{p,total}}{Q_{nd}}$	Q _{p,total} = ΣQ _{p,total}	e _{p,nonren} = $\frac{Q_{p,nonren}}{Q_{nd}}$	Q _{p,nonren} = ΣQ _{p,nonren}	f _{CO2,heat} = $\frac{m_{CO2}}{Q_{nd}}$	m _{CO2,i} = Σm _{CO2,i}	p _{heat} = $\frac{C}{Q_{nd}}$	C = ΣC _i		
heating (+ ventilation) system				103,3	145,0	2,70	278,8	2,70	278,8	156	16,1	0,00	0,00		
cooling system				36,07	15,5	1,08	38,78	1,08	38,78	61,92	2,23	0,00	0,00		
domestic hot water system				18,1	24,2	1,34	24,2	1,34	24,2	271	4,9	0,00	0,00		
total				157,4	184,8	2,17	341,8	2,17	341,8	147	23,2	0,00	0,00		
				kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)		kWh/(m ² a)		kWh/(m ² a)	g/kWh	kg/(m ² a)	Cent/kWh	Euro/(m ² a)		

Figura A VII. 4 - Necessidades de energia global primária na situação inicial do edifício

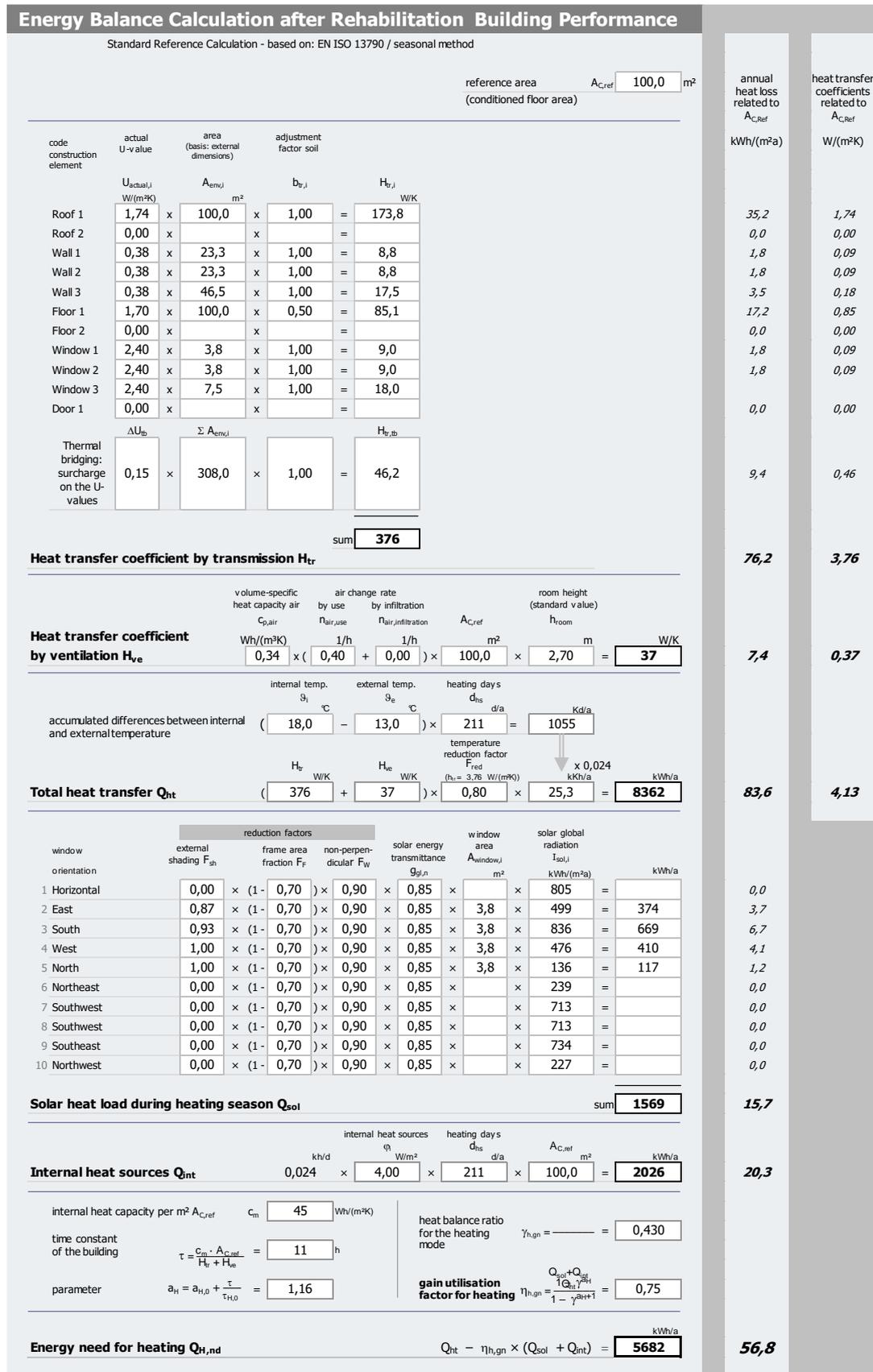


Figura AVII. 5 - Necessidades energéticas do edifício na estação de aquecimento após a reabilitação

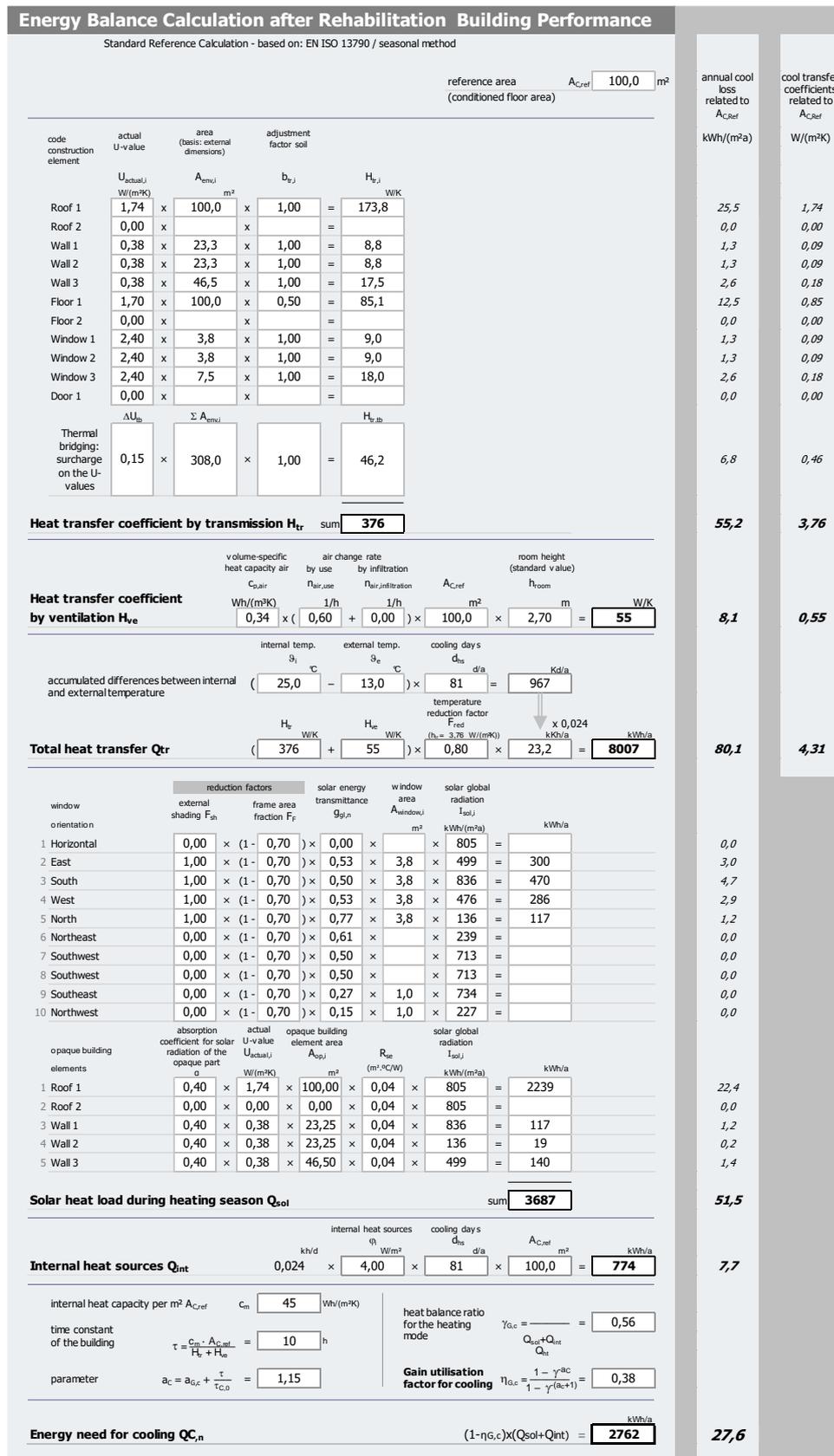


Figura AVII. 6 - Necessidades energéticas do edifício na estação de arrefecimento após a reabilitação

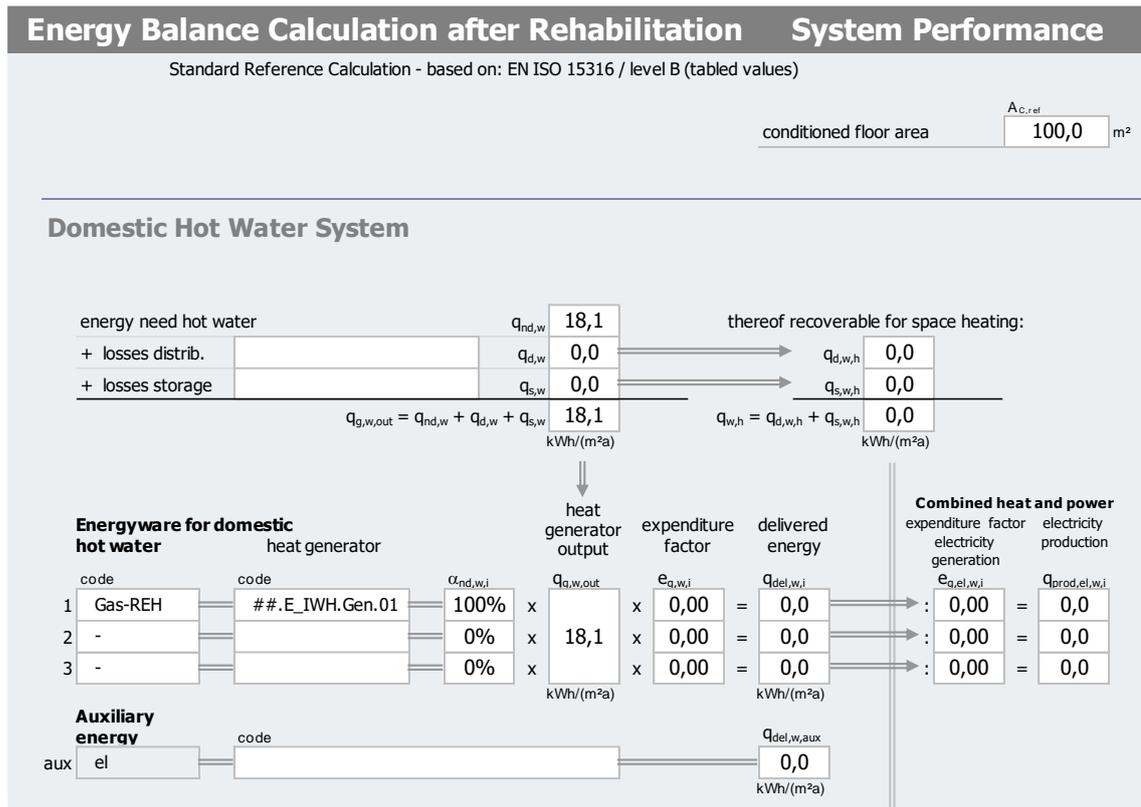


Figura AVII. 7 - Necessidades energéticas para a preparação de AQS após a reabilitação do edifício

Energy Balance Calculation after Rehabilitation							Energy Carriers				
							conditioned floor area $A_{c,ref}$ 100,0 m ²				
Assessment of Energywares											
Standard Calculation		delivered energy	total primary energy		non-renewable primary energy		carbon dioxide emissions		energy costs		
		$Q_{del,i}$	$f_{p,total,i}$	$Q_{p,total,i} = \frac{Q_{del,i}}{f_{p,total,i}}$	$f_{p,nonren,i}$	$Q_{p,nonren,i} = \frac{Q_{del,i}}{f_{p,nonren,i}}$	$f_{CO2,i}$	$m_{CO2,i} = \frac{Q_{del,i}}{f_{CO2,i}}$	p_i (energyware price)	$C_i = \frac{Q_{del,i}}{p_i}$	
Heating (+ Ventilation) System											
El-REH		0,0	2,50	0,0	2,50	0,0	144	0,0	0,00	0,00	
-		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
-		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Auxiliary Electricity		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Electricity Production / Export		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Cooling System											
El-REH		0,00	2,50	0,00	2,50	0,00	144	0,00	0,00	0,00	
-		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
-		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Domestic Hot Water System											
Gas-REH		0,0	1,00	0,0	1,00	0,0	202	0,0	0,00	0,00	
-		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
-		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Auxiliary Electricity		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Electricity Production / Export		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Summary and Expenditure Factors		heat need Q_{nd}	ΣQ_{del}	$E_{p,total} = \frac{Q_{del,total}}{Q_{del}}$	$Q_{p,total} = \Sigma Q_{p,total}$	$E_{p,nonren} = \frac{Q_{p,nonren}}{Q_{del}}$	$Q_{p,nonren} = \Sigma Q_{p,nonren}$	$f_{CO2,heat} = \frac{m_{CO2}}{Q_{del}}$	$m_{CO2,i} = \Sigma m_{CO2,i}$	$p_{heat} = \frac{C}{Q_{del}}$	$C = \Sigma C_i$
heating (+ ventilation) system		68,7	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0	0,0	0,00	0,00
cooling system		29,33	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
domestic hot water system		18,1	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0	0,0	0,00	0,00
total		116,1	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0	0,0	0,00	0,00
		kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)		kWh/(m ² a)		kWh/(m ² a)	g/kWh	kg/(m ² a)	Cent/kWh	Euro/(m ² a)

Figura AVII. 8 - Necessidade de energia global primária do edifício após a reabilitação

Quadro AVII. 11 - Base de dados dos impactes ambientais de energia da produção de AQS, associados à situação inicial do edifício, existentes no programa

	Energy initially adopted	Categories of environmental impact of LCA Cradle-to-gate						Embodied energy Cradle-to-gate	
		ADP (Kg Sb eq)	GWP (Kg CO2 eq)	ODP (Kg CFC-11 eq)	AP (kg SO2 eq)	POCP (Kg C2H4 eq)	EP (kg PO4 eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)
EC1	Gas-REH	3,14E-03	3,80E-01	5,00E-08	3,32E-04	4,10E-05	6,99E-05	6,48E+00	2,27E-02
EC2	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EC3	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
TOTAL		3,14E-03	3,80E-01	5,00E-08	3,32E-04	4,10E-05	6,99E-05	6,48E+00	2,27E-02

Quadro AVII. 12 - Base de dados dos impactes ambientais de energia de aquecimento, associados à situação inicial do edifício, existentes no programa

	Energy initially adopted	Categories of environmental impact of LCA Cradle-to-gate						Embodied energy Cradle-to-gate	
		ADP (Kg Sb eq)	GWP (Kg CO2 eq)	ODP (Kg CFC-11 eq)	AP (kg SO2 eq)	POCP (Kg C2H4 eq)	EP (kg PO4 eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)
EC1	EI-REH	1,30E-01	1,70E+01	1,02E-06	1,54E-01	5,75E-03	2,67E-02	2,44E+02	4,36E+01
EC2	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EC3	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
TOTAL		1,30E-01	1,70E+01	1,02E-06	1,54E-01	5,75E-03	2,67E-02	2,44E+02	4,36E+01

Quadro AVII. 13 - Base de dados dos impactes ambientais de energia do arrefecimento, associados à situação inicial do edifício, existentes no programa

	Energy initially adopted	Categories of environmental impact of LCA Cradle-to-gate						Embodied energy Cradle-to-gate	
		ADP (Kg Sb eq)	GWP (Kg CO2 eq)	ODP (Kg CFC-11 eq)	AP (kg SO2 eq)	POCP (Kg C2H4 eq)	EP (kg PO4 eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)
EC1	EI-REH	4,52E-02	5,96E+00	3,56E-07	5,39E-02	2,01E-03	9,32E-03	8,53E+01	1,52E+01
EC2	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EC3	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
TOTAL		4,52E-02	5,96E+00	3,56E-07	5,39E-02	2,01E-03	9,32E-03	8,53E+01	1,52E+01

Quadro AVII. 14 - Base de dados dos impactes ambientais dos materiais associados à melhor solução de reabilitação

Element type	Categories of environmental impact of LCA Cradle-to-gate						Embodied energy Cradle-to-gate	
	ADP (Kg Sb eq)	GWP (Kg CO2 eq)	ODP (Kg CFC-11 eq)	AP (kg SO2 eq)	POCP (Kg C2H4 eq)	EP (kg PO4 eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)
Roof_1	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Roof_2	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Wall_1	1,78E-02	2,71E+00	6,93E-08	6,44E-03	3,30E-04	1,07E-03	3,90E+01	1,88E+00
Wall_2	1,78E-02	2,71E+00	6,93E-08	6,44E-03	3,30E-04	1,07E-03	3,90E+01	1,88E+00
Wall_3	3,55E-02	5,42E+00	1,39E-07	1,29E-02	6,59E-04	2,14E-03	7,80E+01	3,75E+00
Floor_1	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Floor_2	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Door_1	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Window_1	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Window_2	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Window_3	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
TOTAL	7,11E-02	1,08E+01	2,77E-07	2,57E-02	1,32E-03	4,28E-03	1,56E+02	7,50E+00

Quadro AVII. 15 - Base de dados dos impactes ambientais associados ao transporte dos materiais associados à melhor solução de reabilitação

Element type	Categories of environmental impact of LCA Cradle-to-gate						Embodied energy Cradle-to-gate	
	ADP (Kg Sb eq)	GWP (Kg CO2 eq)	ODP (Kg CFC-11 eq)	AP (kg SO2 eq)	POCP (Kg C2H4 eq)	EP (kg PO4 eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)
Roof_1	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Roof_2	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Wall_1	1,00E-03	1,41E-01	2,21E-08	7,41E-04	2,33E-05	1,99E-04	2,41E+00	4,75E-02
Wall_2	1,00E-03	1,41E-01	2,21E-08	7,41E-04	2,33E-05	1,99E-04	2,41E+00	4,75E-02
Wall_3	2,01E-03	2,83E-01	4,42E-08	1,48E-03	4,67E-05	3,98E-04	4,82E+00	9,50E-02
Floor_1	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Floor_2	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Door_1	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Window_1	1,62E-05	2,27E-03	3,56E-10	1,19E-05	3,76E-07	3,20E-06	3,88E-02	7,64E-04
Window_2	1,62E-05	2,27E-03	3,56E-10	1,19E-05	3,76E-07	3,20E-06	3,88E-02	7,64E-04
Window_3	3,23E-05	4,55E-03	7,11E-10	2,39E-05	7,51E-07	6,41E-06	7,76E-02	1,53E-03
TOTAL	4,08E-03	5,75E-01	8,99E-08	3,01E-03	9,49E-05	8,09E-04	9,80E+00	1,93E-01

Quadro AVII. 16 - Base de dados dos impactes ambientais de energia para a produção de AQS, associados à melhor solução de reabilitação, existentes no edifício

	Energy adopted after rehabilitation	Categories of environmental impact of LCA Cradle-to-gate						Embodied energy Cradle-to-gate	
		ADP (Kg Sb eq)	GWP (Kg CO2 eq)	ODP (Kg CFC-11 eq)	AP (kg SO2 eq)	POCP (Kg C2H4 eq)	EP (kg PO4 eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)
EC1	Gas-REH	3,14E-03	3,80E-01	5,00E-08	3,32E-04	4,10E-05	6,99E-05	6,48E+00	2,27E-02
EC2	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EC3	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	TOTAL	3,14E-03	3,80E-01	5,00E-08	3,32E-04	4,10E-05	6,99E-05	6,48E+00	2,27E-02

Quadro AVII. 17 - Base de dados dos impactes ambientais de energia para aquecimento, associados à melhor solução de reabilitação, existentes no edifício

	Energy adopted after rehabilitation	Categories of environmental impact of LCA Cradle-to-gate						Embodied energy Cradle-to-gate	
		ADP (Kg Sb eq)	GWP (Kg CO2 eq)	ODP (Kg CFC-11 eq)	AP (kg SO2 eq)	POCP (Kg C2H4 eq)	EP (kg PO4 eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)
EC1	EI-REH	7,13E-02	9,38E+00	5,61E-07	8,49E-02	3,16E-03	1,47E-02	1,34E+02	2,40E+01
EC2	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EC3	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	TOTAL	7,13E-02	9,38E+00	5,61E-07	8,49E-02	3,16E-03	1,47E-02	1,34E+02	2,40E+01

Quadro AVII. 18 - Base de dados dos impactos ambientais de energia para arrefecimento, associados à melhor solução de reabilitação, existentes no edifício

	Energy adopted after rehabilitation	Categories of environmental impact of LCA Cradle-to-gate						Embodied energy Cradle-to-gate	
		ADP (Kg Sb eq)	GWP (Kg CO2 eq)	ODP (Kg CFC-11 eq)	AP (kg SO2 eq)	POCP (Kg C2H4 eq)	EP (kg PO4 eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)
EC1	EI-REH	3,46E-02	4,56E+00	2,72E-07	4,13E-02	1,54E-03	7,13E-03	6,53E+01	1,17E+01
EC2	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EC3	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
TOTAL		3,46E-02	4,56E+00	2,72E-07	4,13E-02	1,54E-03	7,13E-03	6,53E+01	1,17E+01

Quadro AVII. 19 - Quadro resumo dos resultados obtidos em impactos ambientais para a energia utilizada, na situação inicial do edifício

	Energy requirements kWh/(m ² a)	Categories of environmental impact of LCA Cradle-to-gate						Embodied energy Cradle-to-gate	
		ADP (Kg Sb eq)	GWP (Kg CO2 eq)	ODP (Kg CFC-11 eq)	AP (kg SO2 eq)	POCP (Kg C2H4 eq)	EP (kg PO4 eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)
DHW	18,08	3,14E-03	3,80E-01	5,00E-08	3,32E-04	4,10E-05	6,99E-05	6,48E+00	2,27E-02
HEATING	103,26	1,30E-01	1,70E+01	1,02E-06	1,54E-01	5,75E-03	2,67E-02	2,44E+02	4,36E+01
COOLING	36,07	4,52E-02	5,96E+00	3,56E-07	5,39E-02	2,01E-03	9,32E-03	8,53E+01	8,53E+01
TOTAL		1,78E-01	2,34E+01	1,42E-06	2,09E-01	7,80E-03	3,61E-02	3,36E+02	1,29E+02

Quadro AVII. 20 - Quadro resumo dos resultados obtidos em impactos ambientais para a energia utilizada, materiais e respetivo transporte, após a reabilitação do edifício (m²a)

	Energy requirements kWh/(m ² a)	Categories of environmental impact of LCA Cradle-to-gate						Embodied energy Cradle-to-gate	
		ADP (Kg Sb eq)	GWP (Kg CO2 eq)	ODP (Kg CFC-11 eq)	AP (kg SO2 eq)	POCP (Kg C2H4 eq)	EP (kg PO4 eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)
DHW	18,08	3,14E-03	3,80E-01	5,00E-08	3,32E-04	4,10E-05	6,99E-05	6,48E+00	2,27E-02
HEATING	56,82	7,13E-02	9,38E+00	5,61E-07	8,49E-02	3,16E-03	1,47E-02	1,34E+02	2,40E+01
COOLING	27,62	3,46E-02	4,56E+00	2,72E-07	4,13E-02	1,54E-03	7,13E-03	6,53E+01	1,17E+01
ENERGY		1,09E-01	1,43E+01	8,83E-07	1,27E-01	4,74E-03	2,19E-02	2,06E+02	3,57E+01
MATERIALS		7,11E-02	1,08E+01	2,77E-07	2,57E-02	1,32E-03	4,28E-03	1,56E+02	7,50E+00
TRANSPORT		4,08E-03	5,75E-01	8,99E-08	3,01E-03	9,49E-05	8,09E-04	9,80E+00	1,93E-01
TOTAL		2,93E-01	4,01E+01	2,13E-06	2,82E-01	1,09E-02	4,89E-02	5,78E+02	7,91E+01

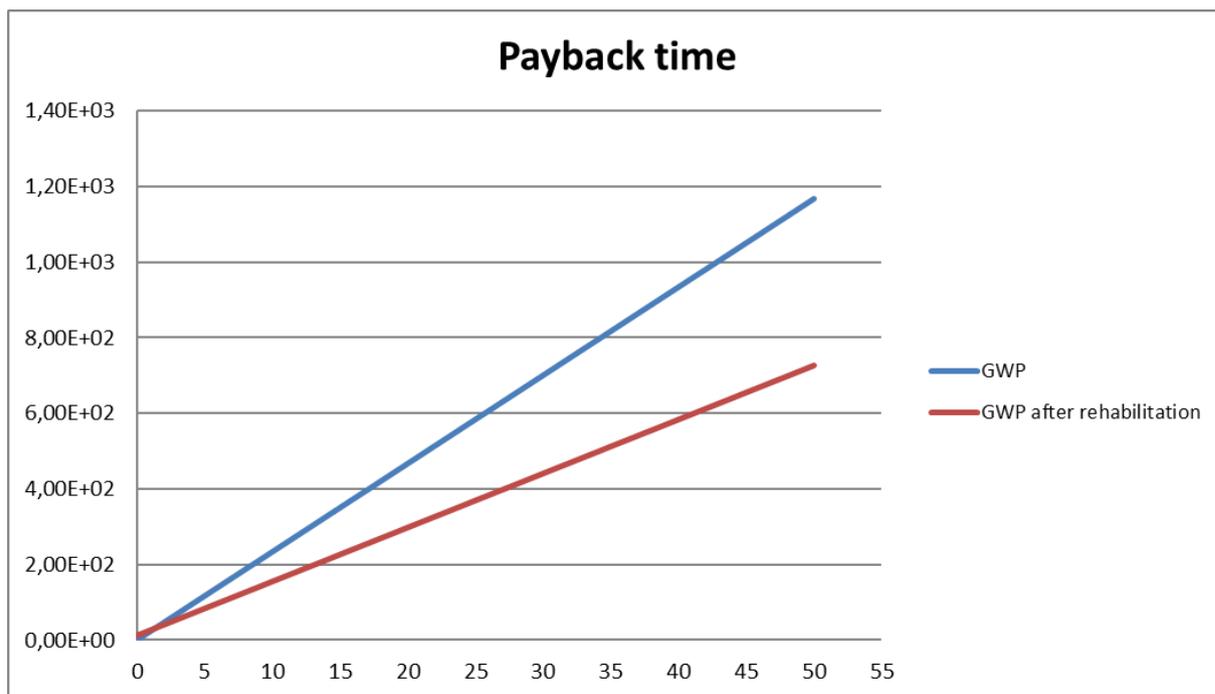


Figura AVII. 9 - Tempo de retorno dos impactes ambientais para a melhor solução em Beja

Anexo VIII - Preenchimento das folhas de cálculo da metodologia para a melhor solução em Lisboa, L.3.1, e respetivos resultados

Quadro AVIII. 1 - Quadro principal para o cálculo dos ganhos solares na estação de aquecimento na situação inicial

Windows orientation	Reduction factor			I_Sol (kWh)	Solar energy transmittance $g_{gl,n}$	
	A (m ²)	External shading F_{sh}	Frame area fraction of the window F_F		Glass composition	$g_{gl,n}$
Window_Horizontal	0,00	0,00	0,7	718	Colorless 6mm	0,85
Window_East	3,75	0,87		425		
Window_South	3,75	0,93		742		
Window_West	3,75	1,00		425		
Window_North	3,75	1,00		134		
Window_Northeast	0,00	0,00		210		
Window_Southwest	0,00	0,00		636		
Window_Southwest	0,00	0,00		636		
Window_Southeast	0,00	0,00		636		
Window_Northwest	0,00	0,00		210		

Quadro AVIII. 2 - Quadro auxiliar para o cálculo dos ganhos solares na estação de aquecimento na situação inicial

Auxiliary calculation F _{sh}							
Windows orientation	Horizon angle	F _h	Overhang angle	F ₀	Fin angle	F _f	F _{sh}
East	20° to 33° lat.	0,87	0° to 33° lat.	1,00	0°-Left and Right	1,00	0,87
South	20° to 33° lat.	0,93	0° to 33° lat.	1,00	0°-Left and Right	1,00	0,93
West	20° to 33° lat.	1,00	0° to 33° lat.	1,00	0°-Left and Right	1,00	1,00
North	20° to 33° lat.	1,00	0° to 33° lat.	1,00	0°-Left and Right	1,00	1,00
Northeast	Doesn't exist	0	Doesn't exist	0,00	Doesn't exist	0,00	0,00
Southwest	Doesn't exist	0	Doesn't exist	0,00	Doesn't exist	0,00	0,00
Southwest	Doesn't exist	0,00	Doesn't exist	0,00	Doesn't exist	0,00	0,00
Southeast	Doesn't exist	0,00	Doesn't exist	0,00	Doesn't exist	0,00	0,00
Northwest	Doesn't exist	0,00	Doesn't exist	0,00	Doesn't exist	0,00	0,00

Quadro AVIII. 3 - Quadro principal para o cálculo do fator solar na estação de arrefecimento na situação inicial

Windows orientation	A (m ²)	Reduction factor		I_Sol (kWh)	Solar energy transmittance
		External shading F _{sh}	Frame area fraction of the window F _F		g _{gl,n}
Horizontal	0,00	0,00	0,7	718	0,00
East	3,75	1,00		425	0,53
South	3,75	1,00		742	0,50
West	3,75	1,00		425	0,53
North	3,75	1,00		134	0,77
Northeast	0,00	0,00		210	0,61
Southwest	0,00	0,00		636	0,50
Southwest	0,00	0,00		636	0,50
Southeast	0,00	0,00		636	0,27
Northwest	0,00	0,00		210	0,15

Quadro AVIII. 4 - Quadro auxiliar para o cálculo do fator solar na estação de arrefecimento na situação inicial

Auxiliary calculation F_{sh}						
Windows orientation	F_h	Overhang angle	F_0	Fin angle	F_f	F_{sh}
East	1,00	0° to 39° lat.	1,00	0°-Left and Right	1,00	1,00
South	1,00	0° to 39° lat.	1,00	0°-Left and Right	1,00	1,00
West	1,00	0° to 39° lat.	1,00	0°-Left and Right	1,00	1,00
North	1,00	0° to 39° lat.	1,00	0°-Left and Right	1,00	1,00
Northeast	1,00	Doesn't exist	0,00	Doesn't exist	0,00	0,00
Southwest	1,00	Doesn't exist	0,00	Doesn't exist	0,00	0,00
Southwest	1,00	Doesn't exist	0,00	Doesn't exist	0,00	0,00
Southeast	1,00	Doesn't exist	0,00	Doesn't exist	0,00	0,00
Northwest	1,00	Doesn't exist	0,00	Doesn't exist	0,00	0,00

Quadro AVIII. 5 - Quadro principal para o cálculo dos ganhos solares opacos na estação de arrefecimento na situação inicial

Opaque building elements	Dimensionless absorption coefficient for solar radiation of the opaque part		R_{se} ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)	I_{Sol} (kWh)	
	Color	α		Orientation	I_{Sol} (kWh)
Roof_1	Clear (white, cream, yellow, orange, light red)	0,40	0,04	Horizontal	718
Roof_2	Doesn't exist	0,00		Horizontal	718
Wall_1	Clear (white, cream, yellow, orange, light red)	0,40		South	742
Wall_2	Clear (white, cream, yellow, orange, light red)	0,40		North	134
Wall_3	Clear (white, cream, yellow, orange, light red)	0,40		East	425

Quadro AVIII. 6 - Quadro auxiliar para o cálculo do fator solar na estação de arrefecimento na situação inicial do edifício

Auxiliary calculation $g_{gl,n}$									
F_{mv}		g_T							
Orientation	F_{mv}	Glass composition	$g_{,vi}$	Glass Type / Protections	Interior protection	g_{Tvc}	Outdoor protection	g_{Tvc}	g_T
East	0,60	Colorless 6mm	0,85	Interior protection-Simple glass	Transparent curtains-Clear (Simple glass-interior protection)	0,38	Simple glass-Outdoor protection		0,38
South	0,60	Colorless 6mm	0,85	Interior protection-Simple glass	Transparent curtains-Clear (Simple glass-interior protection)	0,38	Simple glass-Outdoor protection		0,38
West	0,60	Colorless 6mm	0,85	Interior protection-Simple glass	Transparent curtains-Clear (Simple glass-interior protection)	0,38	Simple glass-Outdoor protection		0,38
North	0,00	Colorless 6mm	0,85	Interior protection-Simple glass	Transparent curtains-Clear (Simple glass-interior protection)	0,38	Simple glass-Outdoor protection		0,38
Northeast	0,40	Colorless 6mm	0,85	Interior protection-Simple glass	Transparent curtains-Clear (Simple glass-interior protection)	0,38	Simple glass-Outdoor protection		0,38
Southwest	0,70	Colorless 6mm	0,85	Interior protection-Simple glass	Transparent curtains-Clear (Simple glass-interior protection)	0,38	Simple glass-Outdoor protection		0,38
Southeast	0,70	Colorless 6mm	0,85	Interior protection-Simple glass	Transparent curtains-Clear (Simple glass-interior protection)	0,38	Simple glass-Outdoor protection		0,38
Northwest	0,40	Colorless 6mm	0,85	Interior protection-Simple glass	Transparent curtains-Clear (Simple glass-interior protection)	0,38	Simple glass-Outdoor protection		0,38

Quadro AVIII. 7 - Quadro auxiliar para o cálculo do fator solar na estação de arrefecimento na situação inicial do edifício (cont.)

g_{Tp}					$g_{gl,n}$
Orientation	$F_{w,v}$	Glass composition	$g_{,vi}$	g_{Tp}	
East-Simple flat glass	0,9	Colorless 6mm	0,85		0,53
South-Simple flat glass	0,8	Colorless 6mm	0,85		0,50
West-Simple flat glass	0,9	Colorless 6mm	0,85		0,53
Northwest-Simple flat glass	0,9	Colorless 6mm	0,85		0,77
Northwest-Simple flat glass	0,9	Colorless 6mm	0,85		0,61
Southwest-Simple flat glass	0,9	Colorless 6mm	0,85		0,50
Southeast-Simple flat glass	0,9	Simple glass	0,00		0,27
Northeast-Simple flat glass	0,9	Simple glass	0,00		0,15

Quadro AVIII. 8 - Composição do elemento construtivo da parede 1 para a melhor solução de reabilitação da fachada do edifício, L.3.1

Wall_1	di (m)	λ (W/m.°C)	Rj (m ² .°C/W)	Thermal resistance of element without insulation, in case that existing insulation is removed during refurbishment R_before (m ² °C/W)	Mst (kg/m ²)
Cement mortar	0,015	1,3	0,01	0,01	30
Polystyrene expandable EPS	0,07	0,04	1,75	1,75	1,4
ETICS slender mortar	0,004	1	0,00	0,00	6,8

Quadro AVIII. 9 - Impactes ambientais associados aos materiais utilizados para a melhor solução de reabilitação na parede 1

Categories of environmental impact of LCA Cradle-to-gate						Embodied energy Cradle-to-gate	
ADP (Kg Sb eq)	GWP (Kg CO2 eq)	ODP (Kg CFC-11 eq)	AP (kg SO2 eq)	POCP (Kg C2H4 eq)	EP (kg PO4 eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)
3,42E-01	1,33E+02	5,65E-06	2,28E-01	9,11E-03	5,82E-02	9,24E+02	1,43E+02
1,36E+00	1,08E+02	0,00E+00	3,64E-01	2,18E-02	3,58E-02	2,77E+03	1,22E+01
7,74E-02	3,01E+01	1,28E-06	5,17E-02	2,07E-03	1,32E-02	2,09E+02	3,24E+01

Quadro AVIII. 10 - Impactes ambientais associados ao transporte dos materiais utilizados na melhor solução de reabilitação na parede 1

Do you need transportation to the building element concerned?		Categories of environmental impact of LCA Cradle-to-gate					Embodied energy Cradle-to-gate		
		ADP (Kg Sb eq)	GWP (Kg CO2 eq)	ODP (Kg CFC-11 eq)	AP (kg SO2 eq)	POCP (Kg C2H4 eq)	EP (kg PO4 eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)
Yes	2,6	3,31E-03	4,66E-01	7,29E-08	2,44E-03	7,70E-05	6,57E-04	7,95E+00	1,57E-01
Yes	7,6	4,52E-04	6,36E-02	9,94E-09	3,33E-04	1,05E-05	8,96E-05	1,08E+00	2,14E-02
Yes	7,6	2,19E-03	3,09E-01	4,83E-08	1,62E-03	5,10E-05	4,35E-04	5,27E+00	1,04E-01

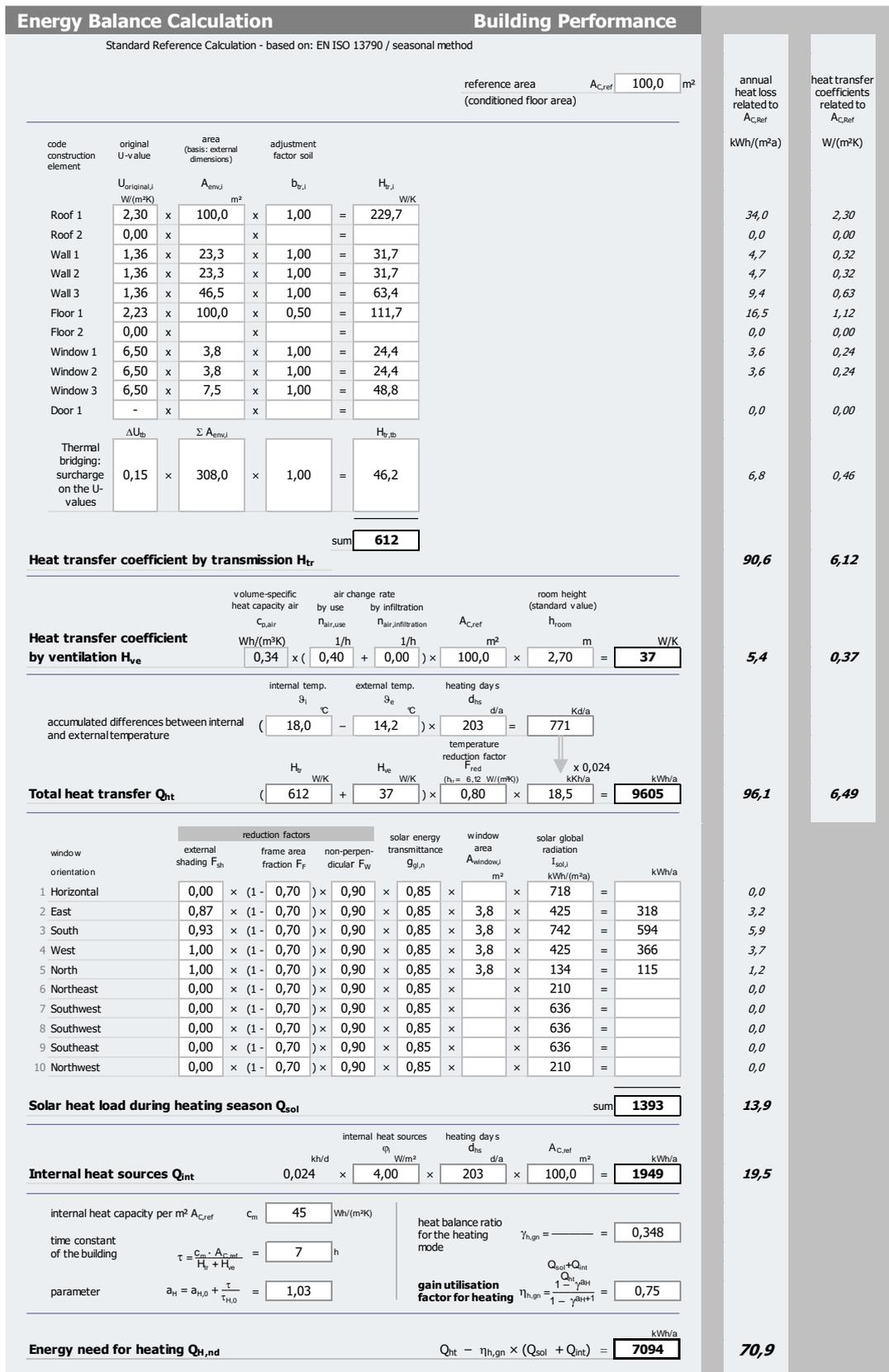


Figura AVIII. 1 - Necessidade energética de aquecimento na situação inicial do edifício

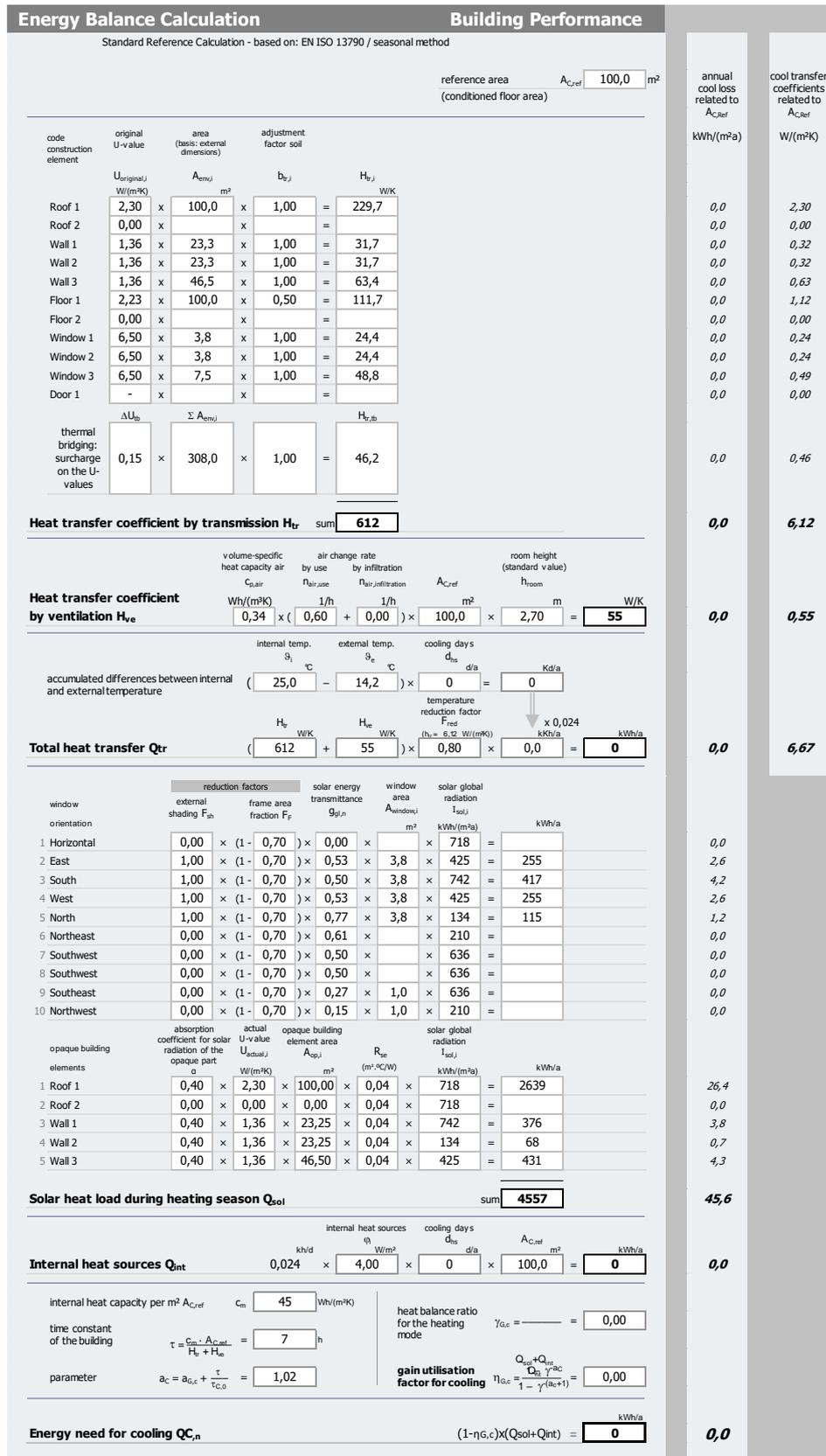


Figura AVIII. 2 - Necessidades energéticas de arrefecimento na situação inicial do edifício

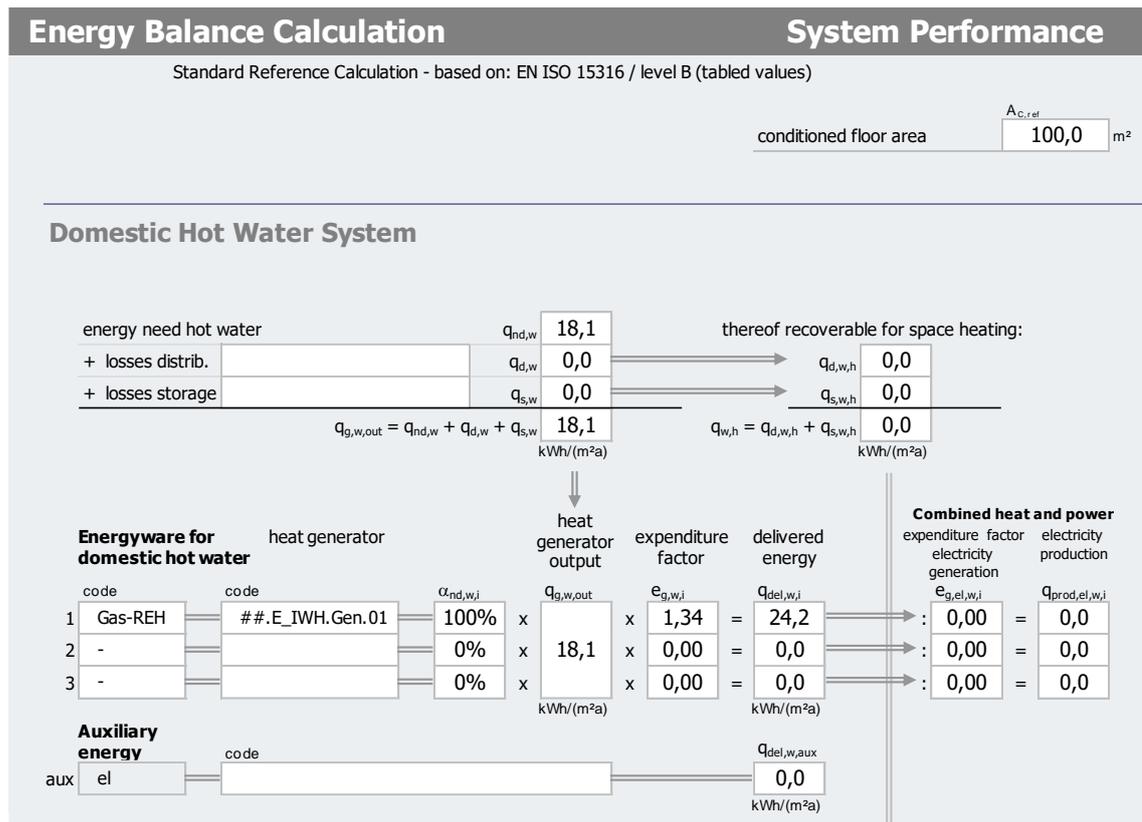


Figura AVIII. 3 - Necessidades energéticas para a preparação de AQS na situação inicial do edifício

Energy Balance Calculation						Energy Carriers				
						conditioned floor area		A _{C,ref} 100,0 m ²		
Assessment of Energywares										
Standard Calculation	delivered energy	total primary energy		non-renewable primary energy		carbon dioxide emissions		energy costs		
Heating (+ Ventilation) System	Q _{del,i}	f _{p,total,i}	Q _{p,total,i} = Q _{del,i} · f _{p,total,i}	f _{p,nonren,i}	Q _{p,nonren,i} = Q _{del,i} · f _{p,nonren,i}	f _{CO2,i}	m _{CO2,i} = Q _{del,i} · f _{CO2,i}	p _i (energyware price)	C _i = Q _{del,i} · p _i	
EI-REH	76,6	2,50	191,5	2,50	191,5	144	11,0	0,00	0,00	
-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Auxiliary Electricity	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Electricity Production / Export	23,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Cooling System										
EI-REH	0,00	2,50	0,00	2,50	0,00	144	0,00	0,00	0,00	
-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Domestic Hot Water System										
Gas-REH	24,2	1,00	24,2	1,00	24,2	202	4,9	0,00	0,00	
-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Auxiliary Electricity	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Electricity Production / Export	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Summary and Expenditure Factors	heat need Q _{nd}	ΣQ _{del}	E _{p,total} = $\frac{Q_{p,total}}{Q_{nd}}$	Q _{p,total} = ΣQ _{p,total}	E _{p,nonren} = $\frac{Q_{p,nonren}}{Q_{nd}}$	Q _{p,nonren} = ΣQ _{p,nonren}	f _{CO2,heat} = $\frac{m_{CO2}}{Q_{nd}}$	m _{CO2,i} = Σm _{CO2,i}	p _{heat} = $\frac{C}{Q_{nd}}$	C = ΣC _i
heating (+ ventilation) system	70,9	99,6	2,70	191,5	2,70	191,5	156	11,0	0,00	0,00
cooling system	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
domestic hot water system	18,1	24,2	1,34	24,2	1,34	24,2	271	4,9	0,00	0,00
total	89,0	123,9	2,42	215,8	2,42	215,8	179	15,9	0,00	0,00
	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)		kWh/(m ² a)		kWh/(m ² a)	g/kWh	kg/(m ² a)	Cent/kWh	Euro/(m ² a)

Figura AVIII. 4 - Necessidade de energia global primária na situação inicial do edifício

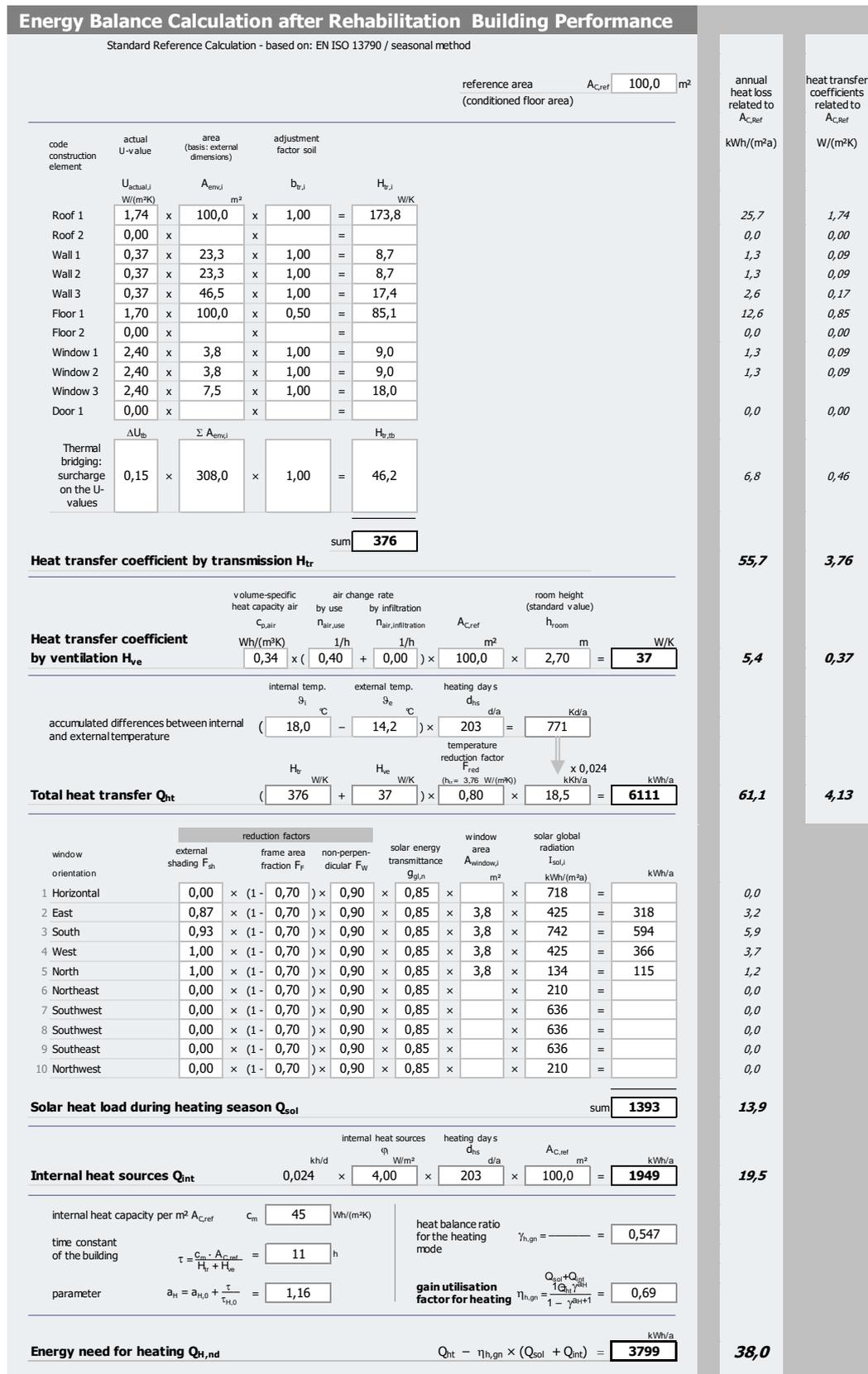


Figura AVIII. 5 - Necessidades energéticas do edifício na estação de aquecimento após a reabilitação

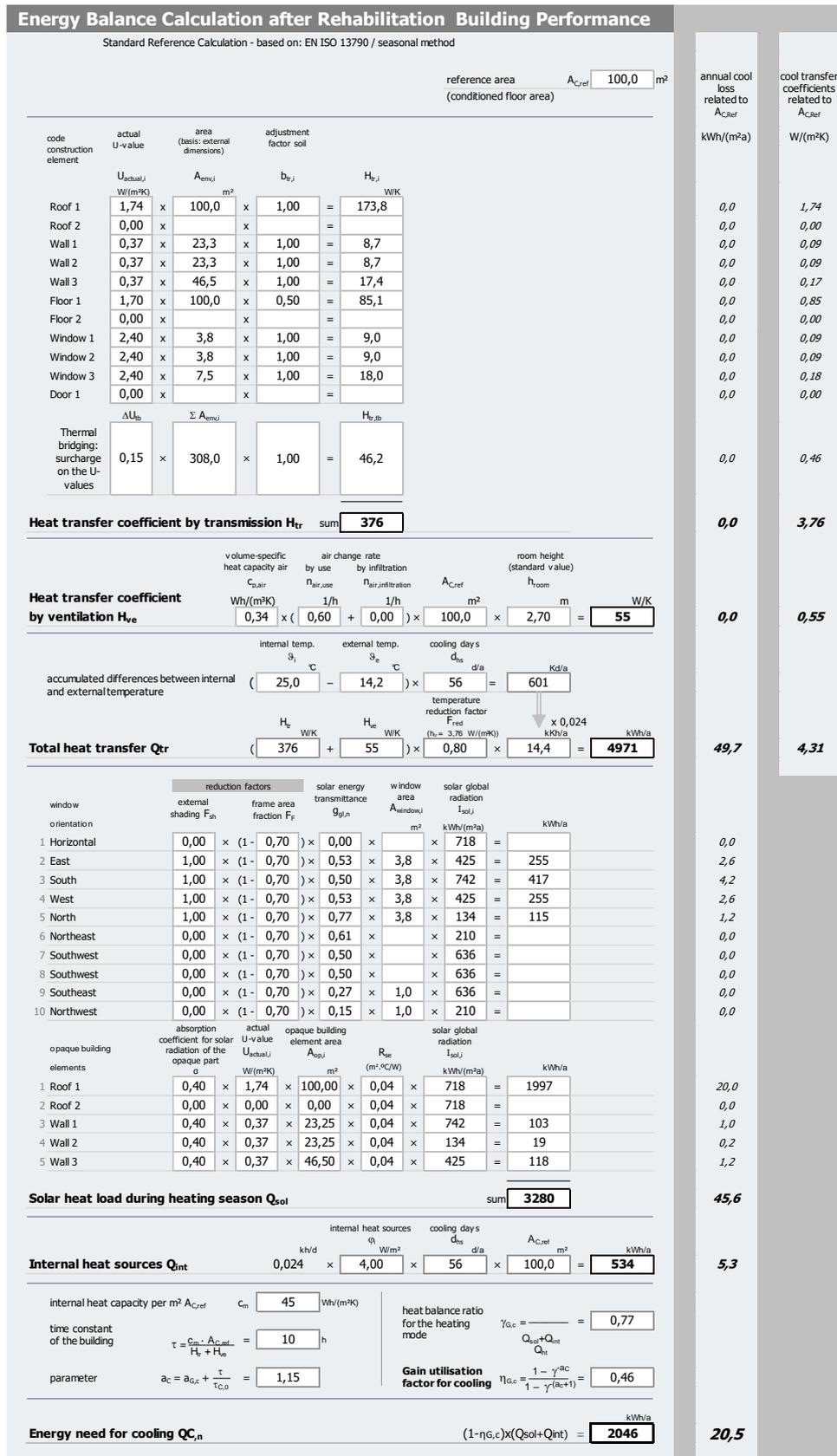


Figura AVIII. 6 - Necessidades energéticas do edifício na estação de arrefecimento após a reabilitação

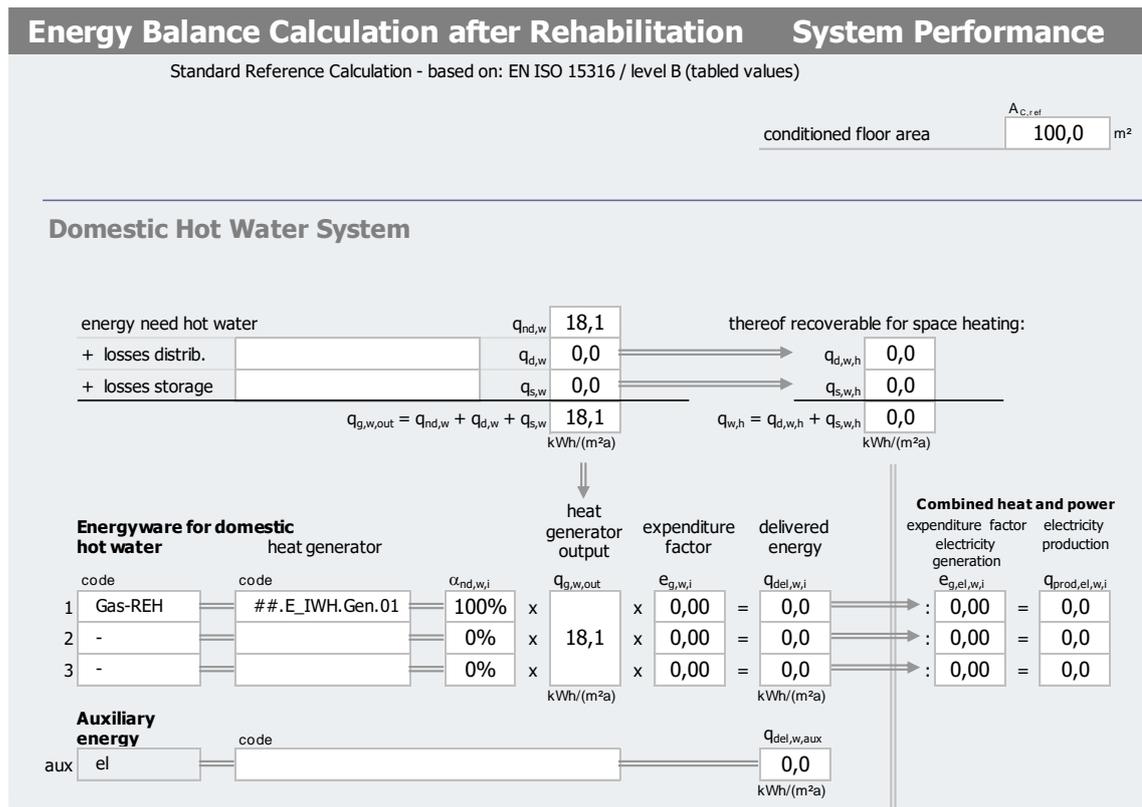


Figura A VIII. 7 - Necessidades energéticas para a preparação de AQS após a reabilitação do edifício

Energy Balance Calculation after Rehabilitation						Energy Carriers				
						conditioned floor area		A _{C,ref} 100,0 m ²		
Assessment of Energywares										
Standard Calculation	delivered energy	total primary energy		non-renewable primary energy		carbon dioxide emissions		energy costs		
	q _{del,i}	f _{p,total,i}	q _{p,total,i} = q _{del,i} · f _{p,total,i}	f _{p,nonren,i}	q _{p,nonren,i} = q _{del,i} · f _{p,nonren,i}	f _{CO2,i}	m _{CO2,i} = q _{del,i} · f _{CO2,i}	p _i (energyware price)	C _i = q _{del,i} · p _i	
Heating (+ Ventilation) System										
EI-REH	0,0	2,50	0,0	2,50	0,0	144	0,0	0,00	0,00	
-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Auxiliary Electricity	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Electricity Production / Export	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Cooling System										
EI-REH	0,00	2,50	0,00	2,50	0,00	144	0,00	0,00	0,00	
-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Domestic Hot Water System										
Gas-REH	0,0	1,00	0,0	1,00	0,0	202	0,0	0,00	0,00	
-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Auxiliary Electricity	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Electricity Production / Export	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Summary and Expenditure Factors										
	heat need Q _{nd}	Σq _{del}	e _{p,total} = $\frac{Q_{p,total}}{Q_{nd}}$	q _{p,total} = Σq _{p,total}	e _{p,nonren} = $\frac{Q_{p,nonren}}{Q_{nd}}$	q _{p,nonren} = Σq _{p,nonren}	f _{CO2,heat} = $\frac{m_{CO2}}{Q_{nd}}$	m _{CO2,i} = Σm _{CO2,i}	p _{heat} = $\frac{C}{Q_{nd}}$	C = ΣC _i
heating (+ ventilation) system	46,5	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0	0,0	0,00	0,00
cooling system	22,08	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
domestic hot water system	18,1	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0	0,0	0,00	0,00
total	86,6	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0	0,0	0,00	0,00
	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)		kWh/(m ² a)		kWh/(m ² a)	g/kWh	kg/(m ² a)	Cent/kWh	Euro/(m ² a)

Figura AVIII. 8 - Necessidade de energia global primária do edifício após a reabilitação

Quadro AVIII. 11 - Base de dados dos impactes ambientais de energia para a produção de AQS, associados à situação inicial do edifício, existentes no programa

	Energy initially adopted	Categories of environmental impact of LCA Cradle-to-gate						Embodied energy Cradle-to-gate	
		ADP (Kg Sb eq)	GWP (Kg CO2 eq)	ODP (Kg CFC-11 eq)	AP (kg SO2 eq)	POCP (Kg C2H4 eq)	EP (kg PO4 eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)
EC1	Gas-REH	3,14E-03	3,80E-01	5,00E-08	3,32E-04	4,10E-05	6,99E-05	6,48E+00	2,27E-02
EC2	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EC3	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
TOTAL		3,14E-03	3,80E-01	5,00E-08	3,32E-04	4,10E-05	6,99E-05	6,48E+00	2,27E-02

Quadro AVIII. 12 - Base de dados dos impactes ambientais para a energia do aquecimento, associados à situação inicial do edifício, existentes no programa

	Energy initially adopted	Categories of environmental impact of LCA Cradle-to-gate						Embodied energy Cradle-to-gate	
		ADP (Kg Sb eq)	GWP (Kg CO2 eq)	ODP (Kg CFC-11 eq)	AP (kg SO2 eq)	POCP (Kg C2H4 eq)	EP (kg PO4 eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)
EC1	EI-REH	8,90E-02	1,17E+01	7,00E-07	1,06E-01	3,95E-03	1,83E-02	1,68E+02	3,00E+01
EC2	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EC3	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
TOTAL		8,90E-02	1,17E+01	7,00E-07	1,06E-01	3,95E-03	1,83E-02	1,68E+02	3,00E+01

Quadro AVIII. 13 - Base de dados dos impactes ambientais para a energia do arrefecimento, associados à situação inicial do edifício, existentes no programa

	Energy initially adopted	Categories of environmental impact of LCA Cradle-to-gate						Embodied energy Cradle-to-gate	
		ADP (Kg Sb eq)	GWP (Kg CO2 eq)	ODP (Kg CFC-11 eq)	AP (kg SO2 eq)	POCP (Kg C2H4 eq)	EP (kg PO4 eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)
EC1	EI-REH	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EC2	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EC3	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
TOTAL		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Quadro AVIII. 14 - Base de dados dos impactes ambientais dos materiais associados à melhor solução de reabilitação

Element type	Categories of environmental impact of LCA Cradle-to-gate						Embodied energy Cradle-to-gate	
	ADP (Kg Sb eq)	GWP (Kg CO2 eq)	ODP (Kg CFC-11 eq)	AP (kg SO2 eq)	POCP (Kg C2H4 eq)	EP (kg PO4 eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)
Roof_1	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Roof_2	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Wall_1	1,78E-02	2,71E+00	6,93E-08	6,44E-03	3,30E-04	1,07E-03	3,90E+01	1,88E+00
Wall_2	1,78E-02	2,71E+00	6,93E-08	6,44E-03	3,30E-04	1,07E-03	3,90E+01	1,88E+00
Wall_3	3,55E-02	5,42E+00	1,39E-07	1,29E-02	6,59E-04	2,14E-03	7,80E+01	3,75E+00
Floor_1	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Floor_2	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Door_1	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Window_1	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Window_2	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Window_3	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
TOTAL	7,11E-02	1,08E+01	2,77E-07	2,57E-02	1,32E-03	4,28E-03	1,56E+02	7,50E+00

Quadro AVIII. 15 - Base de dados dos impactes ambientais associados ao transporte dos materiais associados à melhor solução de reabilitação

Element type	Categories of environmental impact of LCA Cradle-to-gate						Embodied energy Cradle-to-gate	
	ADP (Kg Sb eq)	GWP (Kg CO2 eq)	ODP (Kg CFC-11 eq)	AP (kg SO2 eq)	POCP (Kg C2H4 eq)	EP (kg PO4 eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)
Roof_1	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Roof_2	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Wall_1	5,96E-05	8,38E-03	1,31E-09	4,40E-05	1,38E-06	1,18E-05	1,43E-01	2,82E-03
Wall_2	5,96E-05	8,38E-03	1,31E-09	4,40E-05	1,38E-06	1,18E-05	1,43E-01	2,82E-03
Wall_3	1,19E-04	1,68E-02	2,62E-09	8,80E-05	2,77E-06	2,36E-05	2,86E-01	5,63E-03
Floor_1	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Floor_2	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Door_1	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Window_1	1,62E-05	2,27E-03	3,56E-10	1,19E-05	3,76E-07	3,20E-06	3,88E-02	7,64E-04
Window_2	1,62E-05	2,27E-03	3,56E-10	1,19E-05	3,76E-07	3,20E-06	3,88E-02	7,64E-04
Window_3	3,23E-05	4,55E-03	7,11E-10	2,39E-05	7,51E-07	6,41E-06	7,76E-02	1,53E-03
TOTAL	3,03E-04	4,26E-02	6,67E-09	2,24E-04	7,04E-06	6,01E-05	7,27E-01	1,43E-02

Quadro AVIII. 16 - Base de dados dos impactes ambientais de energia para a produção de AQS, associados à melhor solução de reabilitação, existentes no programa

	Energy adopted after rehabilitation	Categories of environmental impact of LCA Cradle-to-gate						Embodied energy Cradle-to-gate	
		ADP (Kg Sb eq)	GWP (Kg CO2 eq)	ODP (Kg CFC-11 eq)	AP (kg SO2 eq)	POCP (Kg C2H4 eq)	EP (kg PO4 eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)
EC1	Gas-REH	3,14E-03	3,80E-01	5,00E-08	3,32E-04	4,10E-05	6,99E-05	6,48E+00	2,27E-02
EC2	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EC3	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
TOTAL		3,14E-03	3,80E-01	5,00E-08	3,32E-04	4,10E-05	6,99E-05	6,48E+00	2,27E-02

Quadro AVIII. 17 - Base de dados dos impactes ambientais de energia para aquecimento, associados à melhor solução de reabilitação, existentes no programa

	Energy adopted after rehabilitation	Categories of environmental impact of LCA Cradle-to-gate						Embodied energy Cradle-to-gate	
		ADP (Kg Sb eq)	GWP (Kg CO2 eq)	ODP (Kg CFC-11 eq)	AP (kg SO2 eq)	POCP (Kg C2H4 eq)	EP (kg PO4 eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)
EC1	El-REH	4,76E-02	6,27E+00	3,75E-07	5,68E-02	2,12E-03	9,81E-03	8,98E+01	1,61E+01
EC2	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EC3	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
TOTAL		4,76E-02	6,27E+00	3,75E-07	5,68E-02	2,12E-03	9,81E-03	8,98E+01	1,61E+01

Quadro AVIII. 18 - Base de dados dos impactes ambientais de energia para arrefecimento, associados à melhor solução de reabilitação, existentes no programa

	Energy adopted after rehabilitation	Categories of environmental impact of LCA Cradle-to-gate						Embodied energy Cradle-to-gate	
		ADP (Kg Sb eq)	GWP (Kg CO2 eq)	ODP (Kg CFC-11 eq)	AP (kg SO2 eq)	POCP (Kg C2H4 eq)	EP (kg PO4 eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)
EC1	El-REH	2,57E-02	3,38E+00	2,02E-07	3,06E-02	1,14E-03	5,28E-03	4,84E+01	8,64E+00
EC2	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EC3	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
TOTAL		2,57E-02	3,38E+00	2,02E-07	3,06E-02	1,14E-03	5,28E-03	4,84E+01	8,64E+00

Quadro AVIII. 19 - Quadro resumo dos resultados obtidos nos impactes ambientais para a energia utilizada, na situação inicial do edifício

	Energy requirements kWh/(m²a)	Categories of environmental impact of LCA Cradle-to-gate						Embodied energy Cradle-to-gate	
		ADP (Kg Sb eq)	GWP (Kg CO2 eq)	ODP (Kg CFC-11 eq)	AP (kg SO2 eq)	POCP (Kg C2H4 eq)	EP (kg PO4 eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)
DHW	18,08	3,14E-03	3,80E-01	5,00E-08	3,32E-04	4,10E-05	6,99E-05	6,48E+00	2,27E-02
HEATING	70,94	8,90E-02	1,17E+01	7,00E-07	1,06E-01	3,95E-03	1,83E-02	1,68E+02	3,00E+01
COOLING	0,00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
TOTAL		9,21E-02	1,21E+01	7,50E-07	1,06E-01	3,99E-03	1,84E-02	1,74E+02	3,00E+01

Quadro AVIII. 20 - Quadro resumo dos resultados obtidos dos impactes ambientais para a energia utilizada, materiais e respetivo transporte, após a reabilitação do edifício (m²a)

	Energy requirements kWh/(m ² a)	Categories of environmental impact of LCA Cradle-to-gate						Embodied energy Cradle-to-gate	
		ADP (Kg Sb eq)	GWP (Kg CO2 eq)	ODP (Kg CFC-11 eq)	AP (kg SO2 eq)	POCP (Kg C2H4 eq)	EP (kg PO4 eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)
DHW	18,08	3,14E-03	3,80E-01	5,00E-08	3,32E-04	4,10E-05	6,99E-05	6,48E+00	2,27E-02
HEATING	37,99	4,76E-02	6,27E+00	3,75E-07	5,68E-02	2,12E-03	9,81E-03	8,98E+01	1,61E+01
COOLING	20,46	2,57E-02	3,38E+00	2,02E-07	3,06E-02	1,14E-03	5,28E-03	4,84E+01	8,64E+00
ENERGY		7,64E-02	1,00E+01	6,27E-07	8,77E-02	3,30E-03	1,52E-02	1,45E+02	2,47E+01
MATERIALS		7,11E-02	1,08E+01	2,77E-07	2,57E-02	1,32E-03	4,28E-03	1,56E+02	7,50E+00
TRANSPORT		3,03E-04	4,26E-02	6,67E-09	2,24E-04	7,04E-06	6,01E-05	7,27E-01	1,43E-02
TOTAL		2,24E-01	3,09E+01	1,54E-06	2,01E-01	7,92E-03	3,47E-02	4,46E+02	5,70E+01

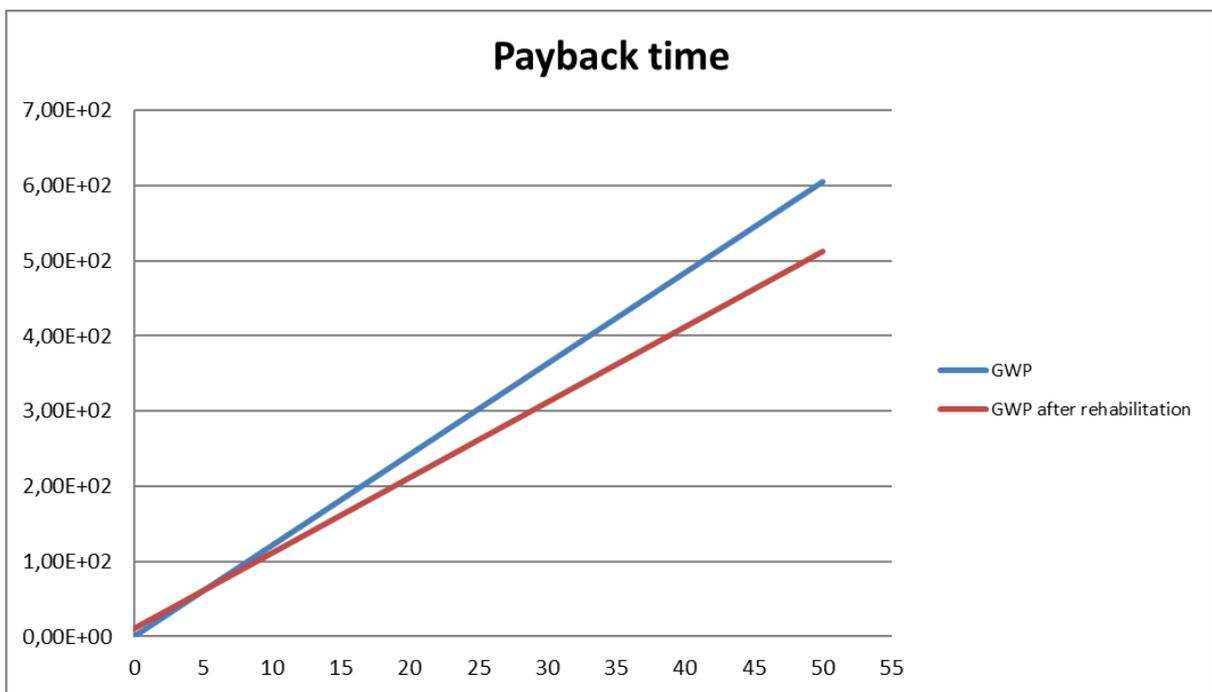


Figura AVIII. 9 - Tempo de retorno dos impactes ambientais para a melhor solução em Lisboa

Anexo IX - Preenchimento das folhas de cálculo da metodologia para a melhor solução no Porto, P.3.1, e respetivos resultados

Quadro AIX. 1 - Quadro principal para o cálculo dos ganhos solares na estação de aquecimento na situação inicial do edifício

Windows orientation	Reduction factor			I_Sol (kWh)	Solar energy transmittance $g_{gl,n}$	
	A (m ²)	External shading F_{sh}	Frame area fraction of the window F_F		Glass composition	$g_{gl,n}$
Window_Horizontal	0,00	0,00	0,7	933	Colorless 6mm	0,85
Window_East	3,75	0,87		567		
Window_South	3,75	0,93		907		
Window_West	3,75	1,00		568		
Window_North	3,75	1,00		173		
Window_Northeast	0,00	0,00		293		
Window_Southwest	0,00	0,00		806		
Window_Southwest	0,00	0,00		806		
Window_Southeast	0,00	0,00		806		
Window_Northwest	0,00	0,00		294		

Quadro AIX. 2 - Quadro auxiliar para o cálculo dos ganhos solares na estação de aquecimento na situação inicial

Auxiliary calculation F_{sh}							
Windows orientation	Horizon angle	F_h	Overhang angle	F_0	Fin angle	F_f	F_{sh}
East	20° to 33° lat.	0,87	0° to 33° lat.	1,00	0°-Left and Right	1,00	0,87
South	20° to 33° lat.	0,93	0° to 33° lat.	1,00	0°-Left and Right	1,00	0,93
West	20° to 33° lat.	1,00	0° to 33° lat.	1,00	0°-Left and Right	1,00	1,00
North	20° to 33° lat.	1,00	0° to 33° lat.	1,00	0°-Left and Right	1,00	1,00
Northeast	Doesn't exist	0	Doesn't exist	0,00	Doesn't exist	0,00	0,00
Southwest	Doesn't exist	0	Doesn't exist	0,00	Doesn't exist	0,00	0,00
Southwest	Doesn't exist	0,00	Doesn't exist	0,00	Doesn't exist	0,00	0,00
Southeast	Doesn't exist	0,00	Doesn't exist	0,00	Doesn't exist	0,00	0,00
Northwest	Doesn't exist	0,00	Doesn't exist	0,00	Doesn't exist	0,00	0,00

Quadro AIX. 3 - Quadro principal para o cálculo do fator solar na estação de arrefecimento na situação inicial

Windows orientation	A (m ²)	Reduction factor		I_Sol (kWh)	Solar energy transmittance
		External shading F _{sh}	Frame area fraction of the window F _F		g _{gl,n}
Horizontal	0,00	0,00	0,7	933	0,00
East	3,75	1,00		567	0,53
South	3,75	1,00		907	0,50
West	3,75	1,00		568	0,53
North	3,75	1,00		173	0,77
Northeast	0,00	0,00		293	0,61
Southwest	0,00	0,00		806	0,50
Southwest	0,00	0,00		806	0,50
Southeast	0,00	0,00		806	0,27
Northwest	0,00	0,00		294	0,15

Quadro AIX. 4 - Quadro auxiliar para o cálculo do fator solar na estação de arrefecimento na situação inicial do edifício

Auxiliary calculation F_{sh}						
Windows orientation	F_h	Overhang angle	F_0	Fin angle	F_f	F_{sh}
East	1,00	0° to 39° lat.	1,00	0°-Left and Right	1,00	1,00
South	1,00	0° to 39° lat.	1,00	0°-Left and Right	1,00	1,00
West	1,00	0° to 39° lat.	1,00	0°-Left and Right	1,00	1,00
North	1,00	0° to 39° lat.	1,00	0°-Left and Right	1,00	1,00
Northeast	1,00	Doesn't exist	0,00	Doesn't exist	0,00	0,00
Southwest	1,00	Doesn't exist	0,00	Doesn't exist	0,00	0,00
Southwest	1,00	Doesn't exist	0,00	Doesn't exist	0,00	0,00
Southeast	1,00	Doesn't exist	0,00	Doesn't exist	0,00	0,00
Northwest	1,00	Doesn't exist	0,00	Doesn't exist	0,00	0,00

Quadro AIX. 5 - Quadro principal para o cálculo dos ganhos solares opacos na estação de arrefecimento na situação inicial do edifício

Opaque building elements	Dimensionless absorption coefficient for solar radiation of the opaque part		R_{se} ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)	I_{Sol} (kWh)	
	Color	α		Orientation	I_{Sol} (kWh)
Roof_1	Clear (white, cream, yellow, orange, light red)	0,40	0,04	Horizontal	933
Roof_2	Doesn't exist	0,00		Horizontal	933
Wall_1	Clear (white, cream, yellow, orange, light red)	0,40		South	907
Wall_2	Clear (white, cream, yellow, orange, light red)	0,40		North	173
Wall_3	Clear (white, cream, yellow, orange, light red)	0,40		East	567

Quadro AIX. 6 - Quadro auxiliar para o cálculo do fator solar na estação de arrefecimento na situação inicial do edifício

Auxiliary calculation $g_{gl,n}$									
F_{mv}		g_T							
Orientation	F_{mv}	Glass composition	$g_{,vi}$	Glass Type / Protection	Interior protection	g_{Tvc}	Outdoor protection	g_{Tvc}	g_T
East	0,60	Colorless 6mm	0,85	Interior protection Simple glass	Transparent curtains- Clear (Simple glass- interior protection)	0,38	Simple glass- Outdoor protection		0,38
South	0,60	Colorless 6mm	0,85	Interior protection Simple glass	Transparent curtains- Clear (Simple glass- interior protection)	0,38	Simple glass- Outdoor protection		0,38
West	0,60	Colorless 6mm	0,85	Interior protection Simple glass	Transparent curtains- Clear (Simple glass- interior protection)	0,38	Simple glass- Outdoor protection		0,38
North	0,00	Colorless 6mm	0,85	Interior protection Simple glass	Transparent curtains- Clear (Simple glass- interior protection)	0,38	Simple glass- Outdoor protection		0,38
Northeast	0,40	Colorless 6mm	0,85	Interior protection Simple glass	Transparent curtains- Clear (Simple glass- interior protection)	0,38	Simple glass- Outdoor protection		0,38
Southwest	0,70	Colorless 6mm	0,85	Interior protection Simple glass	Transparent curtains- Clear (Simple glass- interior protection)	0,38	Simple glass- Outdoor protection		0,38
Southeast	0,70	Colorless 6mm	0,85	Interior protection Simple glass	Transparent curtains- Clear (Simple glass- interior protection)	0,38	Simple glass- Outdoor protection		0,38
Northwest	0,40	Colorless 6mm	0,85	Interior protection Simple glass	Transparent curtains- Clear (Simple glass- interior protection)	0,38	Simple glass- Outdoor protection		0,38

Quadro AIX. 7 - Quadro auxiliar para o cálculo do fator solar na estação de arrefecimento na situação inicial do edifício (cont.)

g_{Tp}					$g_{gl,n}$
Orientation	$F_{w,v}$	Glass composition	$g_{,vi}$	g_{Tp}	
East-Simple flat glass	0,9	Colorless 6mm	0,85		0,53
South-Simple flat glass	0,8	Colorless 6mm	0,85		0,50
West-Simple flat glass	0,9	Colorless 6mm	0,85		0,53
Northwest-Simple flat glass	0,9	Colorless 6mm	0,85		0,77
Northwest-Simple flat glass	0,9	Colorless 6mm	0,85		0,61
Southwest-Simple flat glass	0,9	Colorless 6mm	0,85		0,50
Southeast-Simple flat glass	0,9	Simple glass	0,00		0,27
Northeast-Simple flat glass	0,9	Simple glass	0,00		0,15

Quadro AIX. 8 - Composição do elemento construtivo da parede 1 para a melhor solução de reabilitação, P.3.1

Wall_1	di (m)	λ (W/m.°C)	Rj (m ² .°C/W)	Thermal resistance of element without insulation, in case that existing insulation is removed during refurbishment R_before (m ² °C/W)	Mst (kg/m ²)
Cement mortar	0,015	1,3	0,01	0,01	30
Polystyrene expandable EPS	0,08	0,04	2,00	2,00	1,6
ETICS slender mortar	0,004	1	0,00	0,00	6,8

Quadro AIX. 9 - Impactes ambientais associados aos materiais utilizados para a melhor solução de reabilitação na parede 1

Categories of environmental impact of LCA Cradle-to-gate						Embodied energy Cradle-to-gate	
ADP (Kg Sb eq)	GWP (Kg CO2 eq)	ODP (Kg CFC-11 eq)	AP (kg SO2 eq)	POCP (Kg C2H4 eq)	EP (kg PO4 eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)
3,42E-01	1,33E+02	5,65E-06	2,28E-01	9,11E-03	5,82E-02	9,24E+02	1,43E+02
1,55E+00	1,24E+02	0,00E+00	4,16E-01	2,49E-02	4,09E-02	3,16E+03	1,40E+01
7,74E-02	3,01E+01	1,28E-06	5,17E-02	2,07E-03	1,32E-02	2,09E+02	3,24E+01

Quadro AIX. 10 - Impactes ambientais associados ao transporte dos materiais utilizados na melhor solução de reabilitação na parede 1

Do you need transportation to the building element concerned?		Categories of environmental impact of LCA Cradle-to-gate						Embodied energy Cradle-to-gate	
		ADP (Kg Sb eq)	GWP (Kg CO2 eq)	ODP (Kg CFC-11 eq)	AP (kg SO2 eq)	POCP (Kg C2H4 eq)	EP (kg PO4 eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)
Yes	11,4	1,45E-02	2,04E+00	3,20E-07	1,07E-02	3,37E-04	2,88E-03	3,48E+01	6,86E-01
Yes	3,6	2,45E-04	3,44E-02	5,38E-09	1,81E-04	5,68E-06	4,85E-05	5,87E-01	1,16E-02
Yes	11,4	3,29E-03	4,63E-01	7,24E-08	2,43E-03	7,65E-05	6,53E-04	7,90E+00	1,56E-01

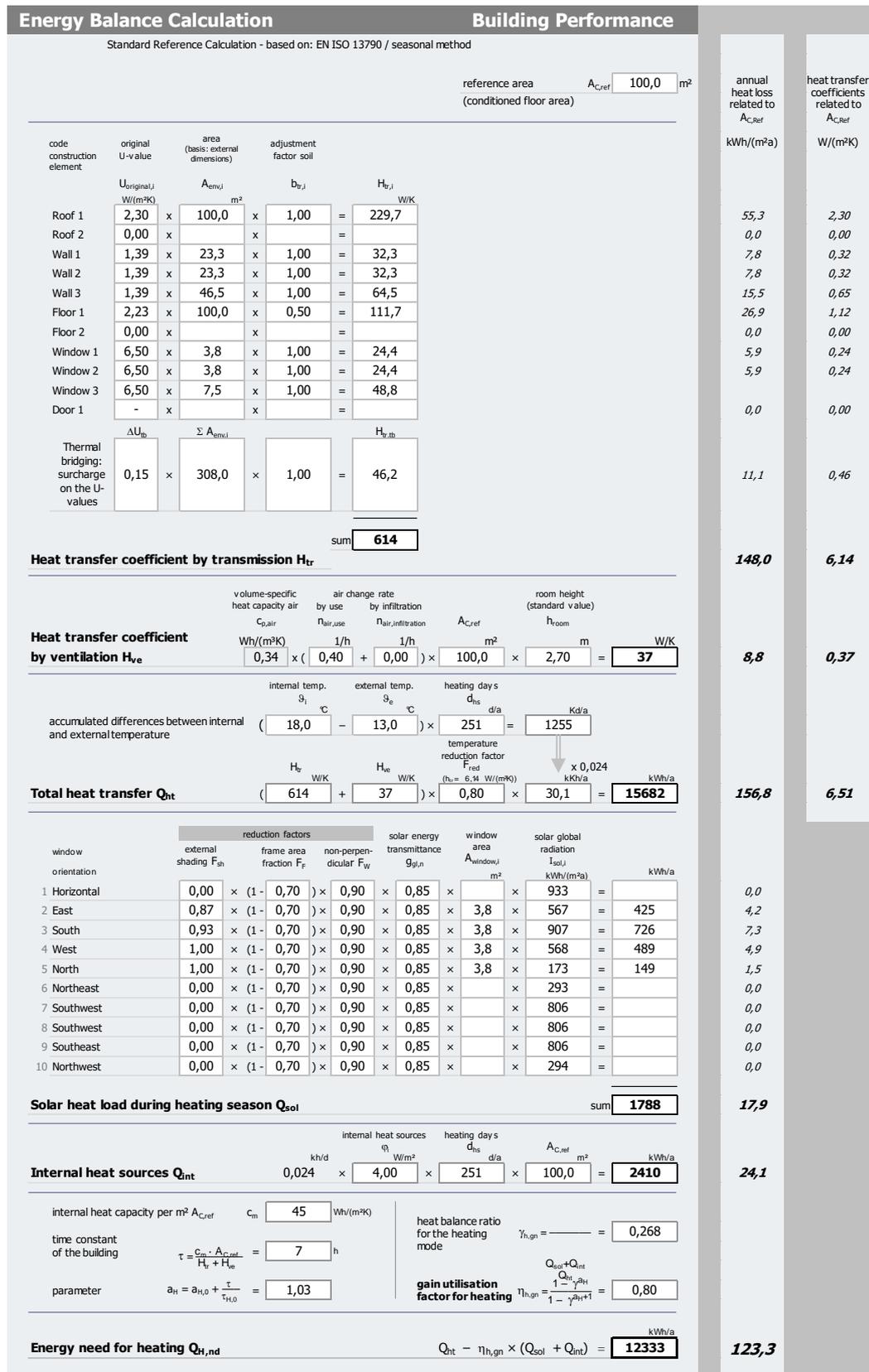


Figura AIX. 1 - Necessidade energética de aquecimento na situação inicial do edifício

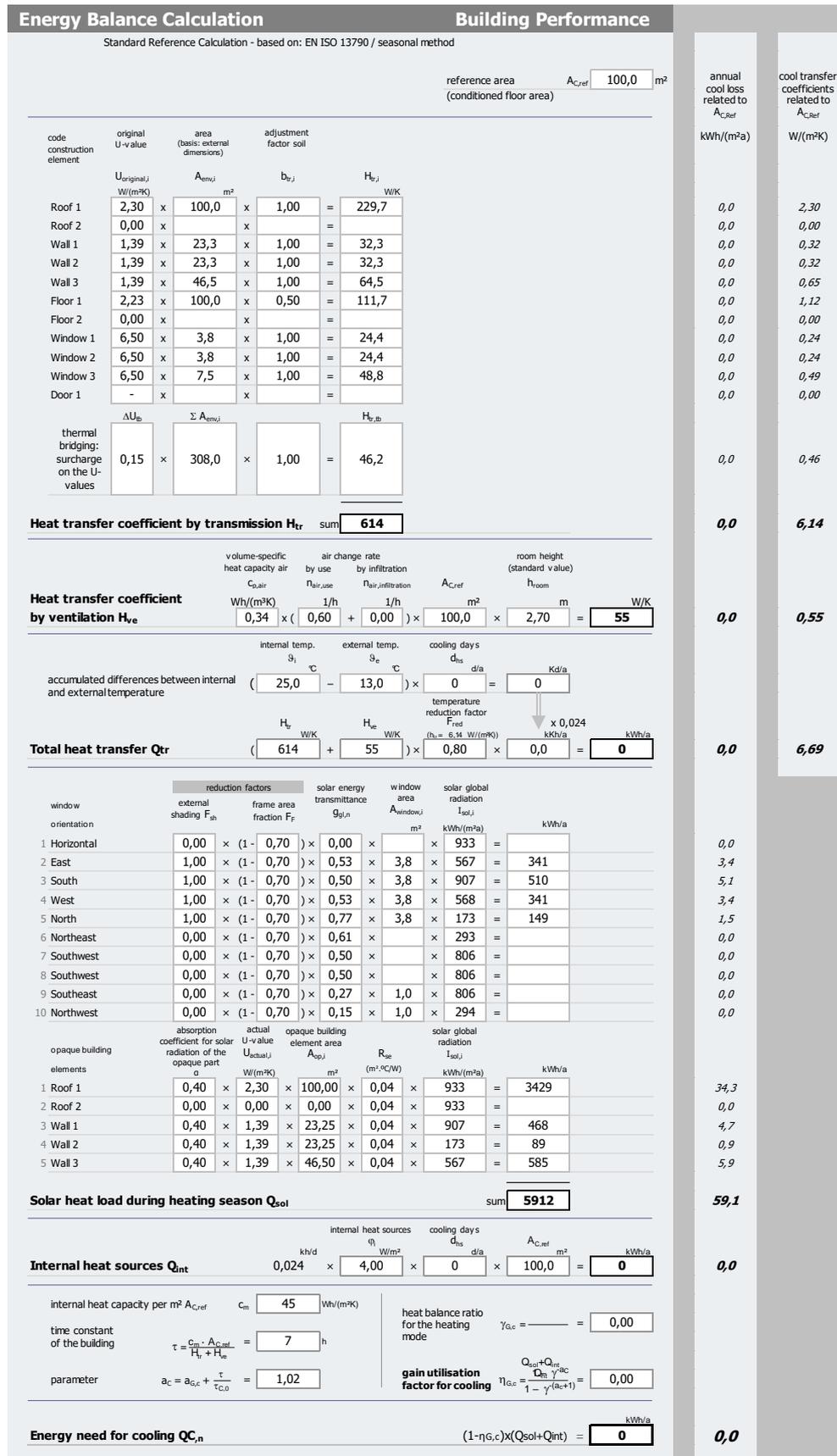


Figura AIX. 2 - Necessidade energética de arrefecimento na situação inicial do edifício

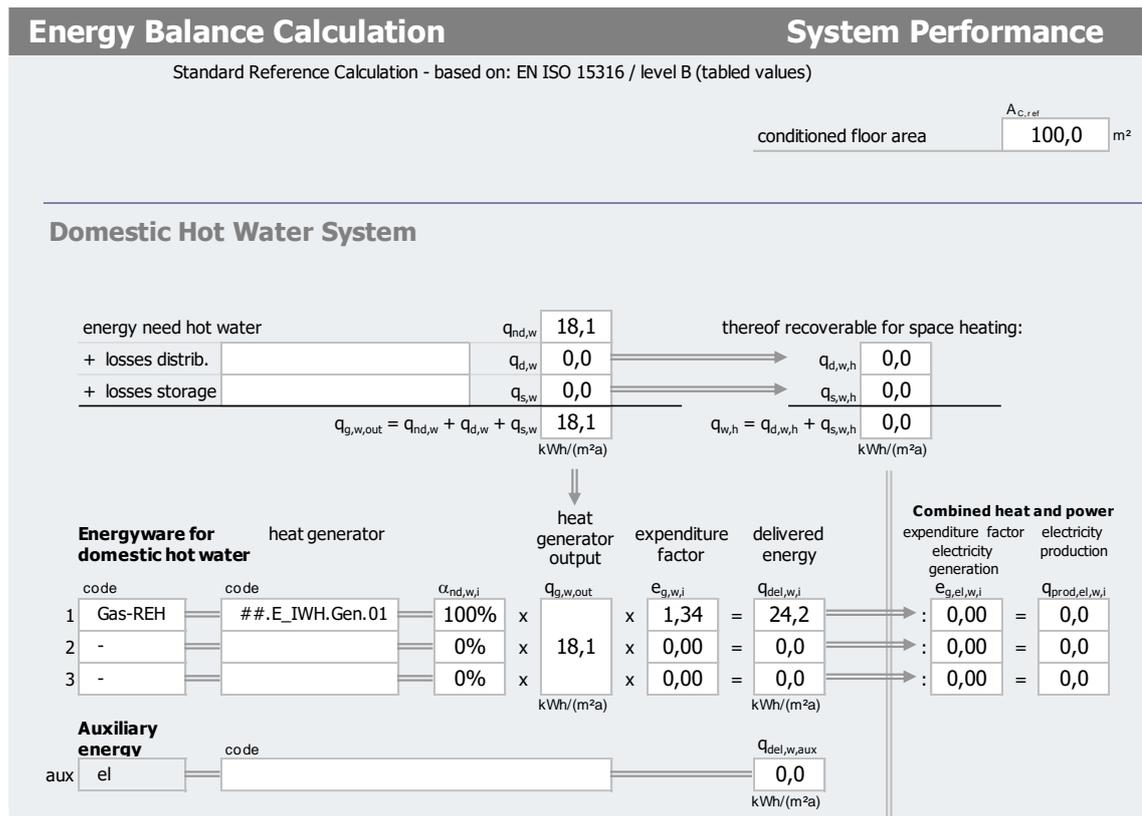


Figura AIX. 3 - Necessidades energéticas para a preparação de AQS na situação inicial do edifício

Energy Balance Calculation						Energy Carriers				
						conditioned floor area		$A_{C,ref}$ 100,0 m ²		
Assessment of Energywares										
Standard Calculation										
Standard Calculation	delivered energy	total primary energy		non-renewable primary energy		carbon dioxide emissions		energy costs		
	$Q_{del,i}$	$f_{p,total,i}$	$Q_{p,total,i} = Q_{del,i} \cdot f_{p,total,i}$	$f_{p,nonren,i}$	$Q_{p,nonren,i} = Q_{del,i} \cdot f_{p,nonren,i}$	$f_{CO_2,i}$	$m_{CO_2,i} = Q_{del,i} \cdot f_{CO_2,i}$	p_i (energyware price)	$C_i = Q_{del,i} \cdot p_i$	
Heating (+ Ventilation) System										
EI-REH	133,2	2,50	333,0	2,50	333,0	144	19,2	0,00	0,00	
-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Auxiliary Electricity	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Electricity Production / Export	40,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Cooling System										
EI-REH	0,00	2,50	0,00	2,50	0,00	144	0,00	0,00	0,00	
-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Domestic Hot Water System										
Gas-REH	24,2	1,00	24,2	1,00	24,2	202	4,9	0,00	0,00	
-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Auxiliary Electricity	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Electricity Production / Export	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Summary and Expenditure Factors										
	heat need Q_{nd}	ΣQ_{del}	$E_{p,total} = \frac{Q_{p,total}}{Q_{nd}}$	$Q_{p,total} = \Sigma Q_{p,total}$	$E_{p,nonren} = \frac{Q_{p,nonren}}{Q_{nd}}$	$Q_{p,nonren} = \Sigma Q_{p,nonren}$	$f_{CO_2,heat} = \frac{m_{CO_2}}{Q_{nd}}$	$m_{CO_2,i} = \Sigma m_{CO_2,i}$	$P_{heat} = \frac{C}{Q_{nd}}$	$C = \Sigma C_i$
heating (+ ventilation) system	123,3	173,2	2,70	333,0	2,70	333,0	156	19,2	0,00	0,00
cooling system	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
domestic hot water system	18,1	24,2	1,34	24,2	1,34	24,2	271	4,9	0,00	0,00
total	141,4	197,4	2,53	357,2	2,53	357,2	170	24,1	0,00	0,00
	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)		kWh/(m ² a)		kWh/(m ² a)	g/kWh	kg/(m ² a)	Cent/kWh	Euro/(m ² a)

Figura AIX. 4 - Necessidade de energia global primária na situação inicial do edifício

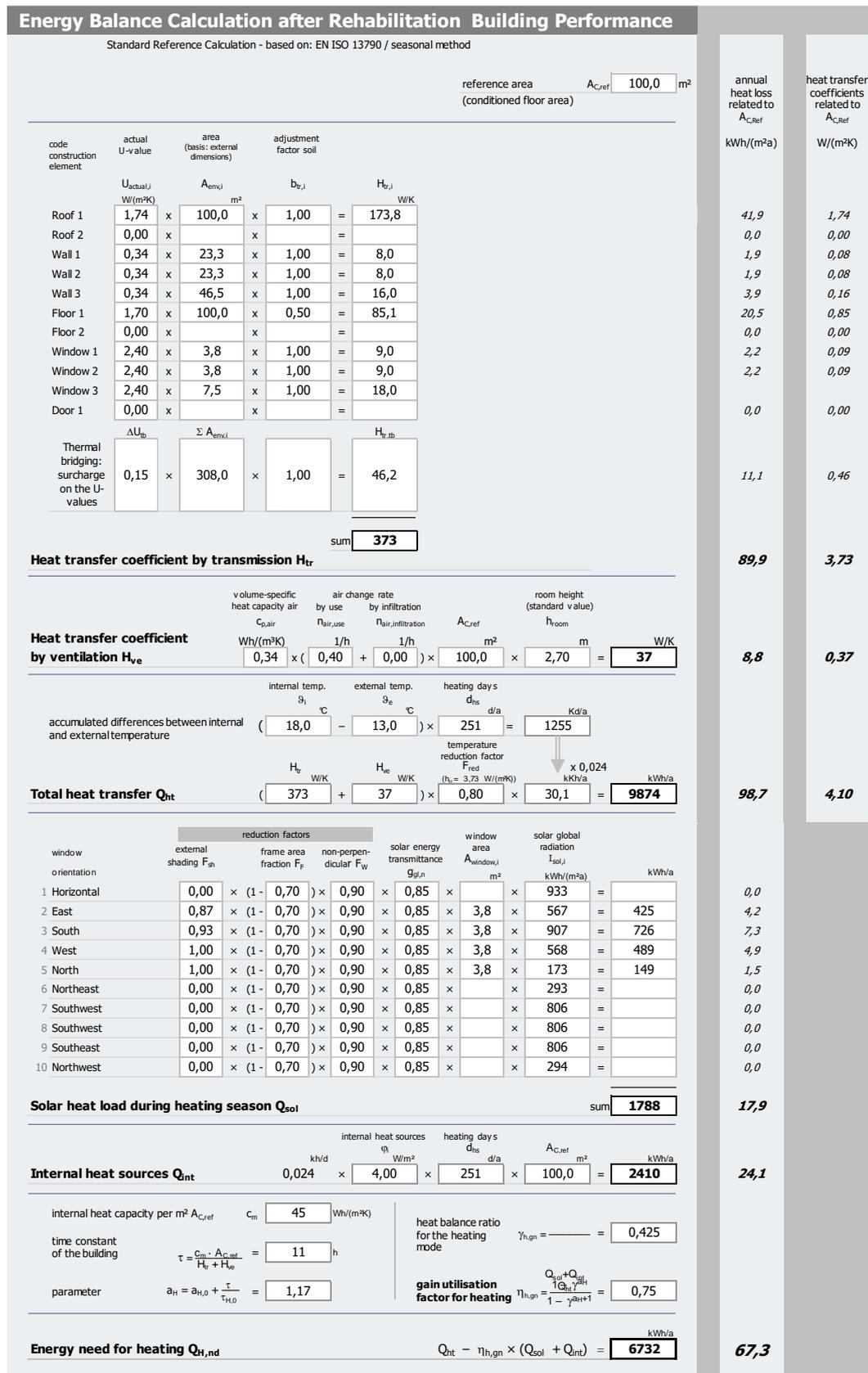


Figura AIX. 5 - Necessidades energéticas do edifício na estação de aquecimento após a reabilitação

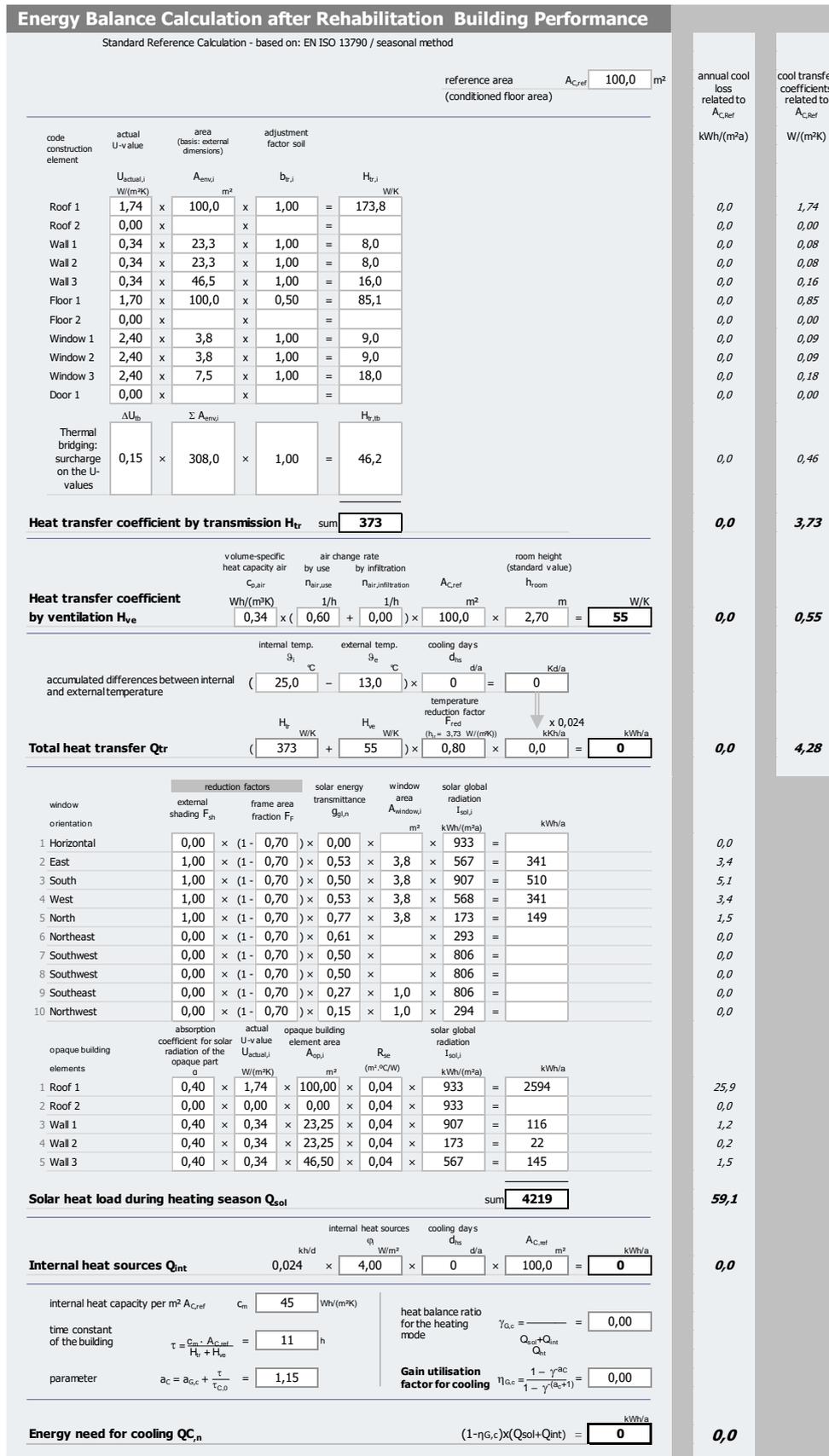


Figura AIX. 6 - Necessidades energéticas do edifício na estação de arrefecimento após a reabilitação

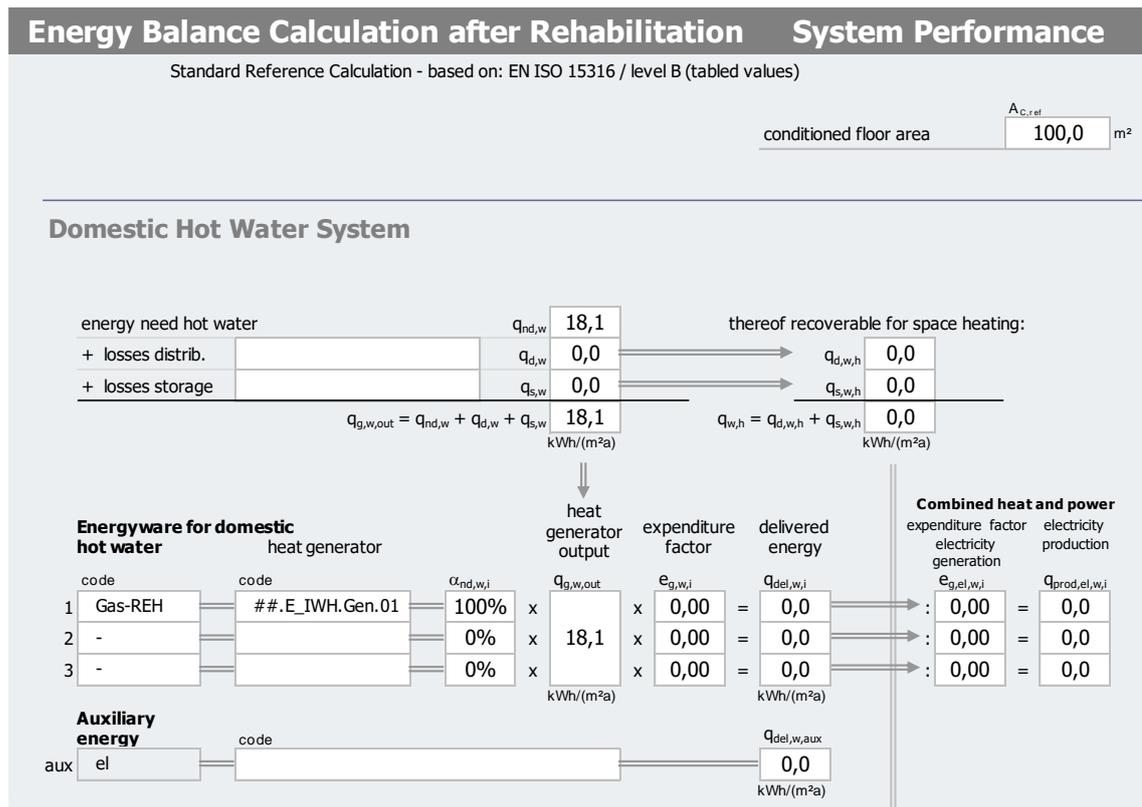


Figura AIX. 7 - Necessidades energéticas para a preparação de AQS após a reabilitação do edifício

Energy Balance Calculation after Rehabilitation							Energy Carriers			
						conditioned floor area	A _{C,ref} 100,0 m ²			
Assessment of Energywares										
Standard Calculation										
Heating (+ Ventilation) System	delivered energy	total primary energy		non-renewable primary energy		carbon dioxide emissions		energy costs		
	q _{del,i}	f _{p,total,i}	q _{p,total,i} = q _{del,i} / f _{p,total,i}	f _{p,nonren,i}	q _{p,nonren,i} = q _{del,i} / f _{p,nonren,i}	f _{CO2,i}	m _{CO2,i} = q _{del,i} · f _{CO2,i}	p _i (energyware price)	c _i = q _{del,i} · p _i	
EI-REH	0,0	2,50	0,0	2,50	0,0	144	0,0	0,00	0,00	
-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Auxiliary Electricity	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Electricity Production / Export	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Cooling System										
EI-REH	0,00	2,50	0,00	2,50	0,00	144	0,00	0,00	0,00	
-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Domestic Hot Water System										
Gas-REH	0,0	1,00	0,0	1,00	0,0	202	0,0	0,00	0,00	
-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Auxiliary Electricity	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Electricity Production / Export	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Summary and Expenditure Factors										
	heat need q _{hd}	Σq _{del}	e _{p,total} = q _{p,total} / q _{hd}	q _{p,total} = Σq _{p,total}	e _{p,nonren} = q _{p,nonren} / q _{hd}	q _{p,nonren} = Σq _{p,nonren}	f _{CO2,heat} = m _{CO2} / q _{hd}	m _{CO2,i} = Σm _{CO2,i}	p _{heat} = c / q _{hd}	C = Σc _i
heating (+ ventilation) system	81,5	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0	0,0	0,00	0,00
cooling system	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
domestic hot water system	18,1	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0	0,0	0,00	0,00
total	99,6	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0	0,0	0,00	0,00
	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)		kWh/(m ² a)		kWh/(m ² a)	g/kWh	kg/(m ² a)	Cent/kWh	Euro/(m ² a)

Figura AIX. 8 - Necessidades de energia global primária do edifício após a reabilitação

Quadro AIX. 11 - Base de dados dos impactes ambientais de energia para a produção de AQS, associados à situação inicial do edifício, existentes no programa

	Energy initially adopted	Categories of environmental impact of LCA Cradle-to-gate						Embodied energy Cradle-to-gate	
		ADP (Kg Sb eq)	GWP (Kg CO2 eq)	ODP (Kg CFC-11 eq)	AP (kg SO2 eq)	POCP (Kg C2H4 eq)	EP (kg PO4 eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)
EC1	Gas-REH	3,14E-03	3,80E-01	5,00E-08	3,32E-04	4,10E-05	6,99E-05	6,48E+00	2,27E-02
EC2	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EC3	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
TOTAL		3,14E-03	3,80E-01	5,00E-08	3,32E-04	4,10E-05	6,99E-05	6,48E+00	2,27E-02

Quadro AIX. 12 - Base de dados dos impactes ambientais de energia do aquecimento, associados à situação inicial do edifício, existentes no programa

	Energy initially adopted	Categories of environmental impact of LCA Cradle-to-gate						Embodied energy Cradle-to-gate	
		ADP (Kg Sb eq)	GWP (Kg CO2 eq)	ODP (Kg CFC-11 eq)	AP (kg SO2 eq)	POCP (Kg C2H4 eq)	EP (kg PO4 eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)
EC1	EI-REH	1,55E-01	2,04E+01	1,22E-06	1,84E-01	6,87E-03	3,19E-02	2,92E+02	5,21E+01
EC2	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EC3	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
TOTAL		1,55E-01	2,04E+01	1,22E-06	1,84E-01	6,87E-03	3,19E-02	2,92E+02	5,21E+01

Quadro AIX. 13 - Base de dados dos impactes ambientais de energia do arrefecimento, associados à situação inicial do edifício, existentes no programa

	Energy initially adopted	Categories of environmental impact of LCA Cradle-to-gate						Embodied energy Cradle-to-gate	
		ADP (Kg Sb eq)	GWP (Kg CO2 eq)	ODP (Kg CFC-11 eq)	AP (kg SO2 eq)	POCP (Kg C2H4 eq)	EP (kg PO4 eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)
EC1	EI-REH	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EC2	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EC3	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
TOTAL		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Quadro AIX. 14 - Base de dados dos impactes ambientais dos materiais associados à melhor solução de reabilitação

Element type	Categories of environmental impact of LCA Cradle-to-gate						Embodied energy Cradle-to-gate	
	ADP (Kg Sb eq)	GWP (Kg CO2 eq)	ODP (Kg CFC-11 eq)	AP (kg SO2 eq)	POCP (Kg C2H4 eq)	EP (kg PO4 eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)
Roof_1	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Roof_2	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Wall_1	1,97E-02	2,86E+00	6,93E-08	6,96E-03	3,61E-04	1,12E-03	4,30E+01	1,89E+00
Wall_2	1,97E-02	2,86E+00	6,93E-08	6,96E-03	3,61E-04	1,12E-03	4,30E+01	1,89E+00
Wall_3	3,94E-02	5,73E+00	1,39E-07	1,39E-02	7,22E-04	2,24E-03	8,59E+01	3,79E+00
Floor_1	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Floor_2	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Door_1	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Window_1	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Window_2	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Window_3	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
TOTAL	7,88E-02	1,15E+01	2,77E-07	2,78E-02	1,44E-03	4,49E-03	1,72E+02	7,57E+00

Quadro AIX. 15 - Base de dados dos impactes ambientais associados ao transporte dos materiais associados à melhor solução de reabilitação

Element type	Categories of environmental impact of LCA Cradle-to-gate						Embodied energy Cradle-to-gate	
	ADP (Kg Sb eq)	GWP (Kg CO2 eq)	ODP (Kg CFC-11 eq)	AP (kg SO2 eq)	POCP (Kg C2H4 eq)	EP (kg PO4 eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)
Roof_1	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Roof_2	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Wall_1	1,81E-04	2,54E-02	3,97E-09	1,33E-04	4,20E-06	3,58E-05	4,33E-01	8,54E-03
Wall_2	1,81E-04	2,54E-02	3,97E-09	1,33E-04	4,20E-06	3,58E-05	4,33E-01	8,54E-03
Wall_3	3,61E-04	5,08E-02	7,95E-09	2,67E-04	8,39E-06	7,16E-05	8,67E-01	1,71E-02
Floor_1	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Floor_2	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Door_1	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Window_1	1,62E-05	2,27E-03	3,56E-10	1,19E-05	3,76E-07	3,20E-06	3,88E-02	7,64E-04
Window_2	1,62E-05	2,27E-03	3,56E-10	1,19E-05	3,76E-07	3,20E-06	3,88E-02	7,64E-04
Window_3	3,23E-05	4,55E-03	7,11E-10	2,39E-05	7,51E-07	6,41E-06	7,76E-02	1,53E-03
TOTAL	7,87E-04	1,11E-01	1,73E-08	5,81E-04	1,83E-05	1,56E-04	1,89E+00	3,72E-02

Quadro AIX. 16 - Base de dados dos impactes ambientais de energia para a produção de AQS, associados à melhor solução de reabilitação, existentes no programa

	Energy adopted after rehabilitation	Categories of environmental impact of LCA Cradle-to-gate						Embodied energy Cradle-to-gate	
		ADP (Kg Sb eq)	GWP (Kg CO2 eq)	ODP (Kg CFC-11 eq)	AP (kg SO2 eq)	POCP (Kg C2H4 eq)	EP (kg PO4 eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)
EC1	Gas-REH	3,14E-03	3,80E-01	5,00E-08	3,32E-04	4,10E-05	6,99E-05	6,48E+00	2,27E-02
EC2	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EC3	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
TOTAL		3,14E-03	3,80E-01	5,00E-08	3,32E-04	4,10E-05	6,99E-05	6,48E+00	2,27E-02

Quadro AIX. 17 - Base de dados dos impactes ambientais de energia para aquecimento, associados à melhor solução de reabilitação, existentes no programa

	Energy adopted after rehabilitation	Categories of environmental impact of LCA Cradle-to-gate						Embodied energy Cradle-to-gate	
		ADP (Kg Sb eq)	GWP (Kg CO2 eq)	ODP (Kg CFC-11 eq)	AP (kg SO2 eq)	POCP (Kg C2H4 eq)	EP (kg PO4 eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)
EC1	EI-REH	8,44E-02	1,11E+01	6,64E-07	1,01E-01	3,75E-03	1,74E-02	1,59E+02	2,84E+01
EC2	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EC3	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
TOTAL		8,44E-02	1,11E+01	6,64E-07	1,01E-01	3,75E-03	1,74E-02	1,59E+02	2,84E+01

Quadro AIX. 18 - Base de dados dos impactes ambientais de energia para arrefecimento, associados à melhor solução de reabilitação, existentes no programa

	Energy adopted after rehabilitation	Categories of environmental impact of LCA Cradle-to-gate						Embodied energy Cradle-to-gate	
		ADP (Kg Sb eq)	GWP (Kg CO2 eq)	ODP (Kg CFC-11 eq)	AP (kg SO2 eq)	POCP (Kg C2H4 eq)	EP (kg PO4 eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)
EC1	EI-REH	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EC2	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EC3	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
TOTAL		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Quadro AIX. 19 - Quadro resumo dos resultados obtidos para os impactes ambientais para a energia utilizada, na situação inicial do edifício

	Energy requirements kWh/(m²a)	Categories of environmental impact of LCA Cradle-to-gate						Embodied energy Cradle-to-gate	
		ADP (Kg Sb eq)	GWP (Kg CO2 eq)	ODP (Kg CFC-11 eq)	AP (kg SO2 eq)	POCP (Kg C2H4 eq)	EP (kg PO4 eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)
DHW	18,08	3,14E-03	3,80E-01	5,00E-08	3,32E-04	4,10E-05	6,99E-05	6,48E+00	2,27E-02
HEATING	123,33	1,55E-01	2,04E+01	1,22E-06	1,84E-01	6,87E-03	3,19E-02	2,92E+02	5,21E+01
COOLING	0,00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
TOTAL		1,58E-01	2,07E+01	1,27E-06	1,85E-01	6,91E-03	3,19E-02	2,98E+02	5,21E+01

Quadro AIX. 20 - Quadro resumo dos resultados obtidos para os impactes ambientais para a energia utilizada, materiais e respetivo transporte, após a reabilitação do edifício (m2a)

	Energy requirements kWh/(m ² a)	Categories of environmental impact of LCA Cradle-to-gate						Embodied energy Cradle-to-gate	
		ADP (Kg Sb eq)	GWP (Kg CO2 eq)	ODP (Kg CFC-11 eq)	AP (kg SO2 eq)	POCP (Kg C2H4 eq)	EP (kg PO4 eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)
DHW	18,08	3,14E-03	3,80E-01	5,00E-08	3,32E-04	4,10E-05	6,99E-05	6,48E+00	2,27E-02
HEATING	67,32	8,44E-02	1,11E+01	6,64E-07	1,01E-01	3,75E-03	1,74E-02	1,59E+02	2,84E+01
COOLING	0,00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
ENERGY		8,76E-02	1,15E+01	7,14E-07	1,01E-01	3,79E-03	1,75E-02	1,66E+02	2,85E+01
MATERIALS		7,88E-02	1,15E+01	2,77E-07	2,78E-02	1,44E-03	4,49E-03	1,72E+02	7,57E+00
TRANSPORT		7,87E-04	1,11E-01	1,73E-08	5,81E-04	1,83E-05	1,56E-04	1,89E+00	3,72E-02
TOTAL		2,55E-01	3,46E+01	1,72E-06	2,30E-01	9,04E-03	3,96E-02	5,05E+02	6,45E+01

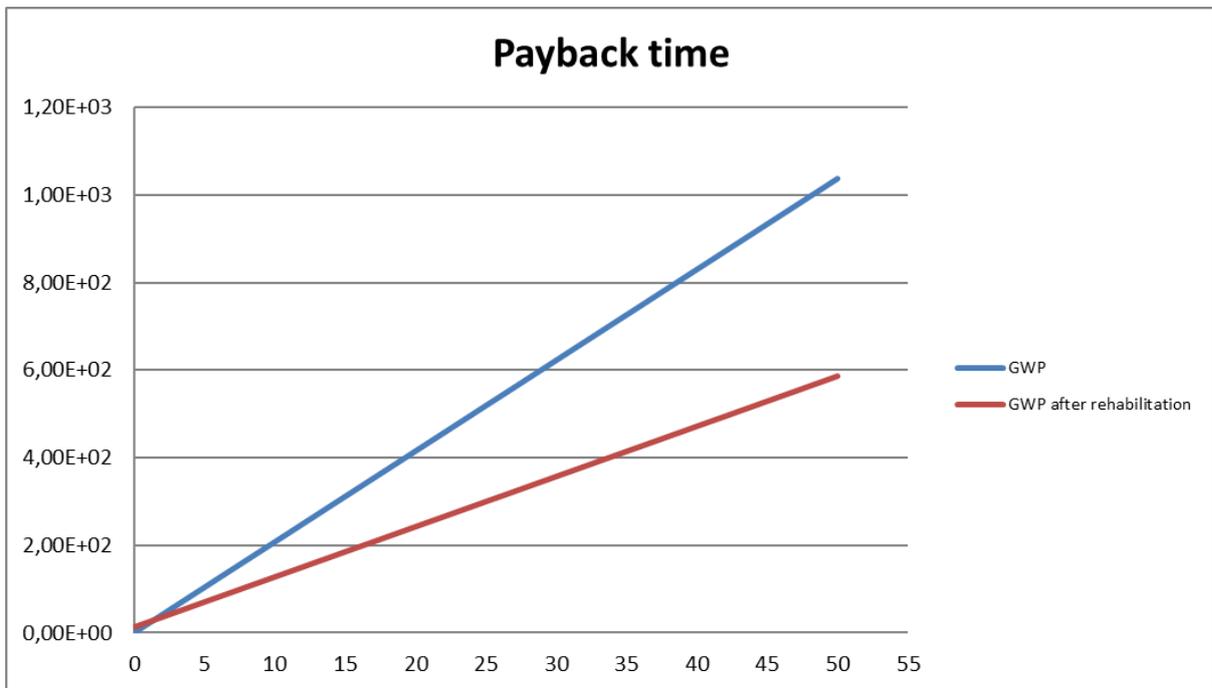


Figura AIX. 9 - Tempo de retorno dos impactes ambientais para a melhor solução no Porto

Anexo X - Preenchimento das folhas de cálculo da metodologia para a melhor solução em Vila Real, VR.3.1, e respetivos resultados

Quadro AX. 1 - Quadro principal para o cálculo dos ganhos solares na estação de aquecimento na situação inicial do edifício

Windows orientation	Reduction factor			I_Sol (kWh)	Solar energy transmittance $g_{gl,n}$	
	A (m ²)	External shading F_{sh}	Frame area fraction of the window F_F		Glass composition	$g_{gl,n}$
Window_Horizontal	0,00	0,00	0,7	946	Colorless 6mm	0,85
Window_East	3,75	0,87		558		
Window_South	3,75	0,93		877		
Window_West	3,75	1,00		549		
Window_North	3,75	1,00		182		
Window_Northeast	0,00	0,00		298		
Window_Southwest	0,00	0,00		777		
Window_Southwest	0,00	0,00		777		
Window_Southeast	0,00	0,00		785		
Window_Northwest	0,00	0,00		293		

Quadro AX. 2 - Quadro auxiliar para o cálculo dos ganhos solares na estação de aquecimento na situação inicial do edifício

Auxiliary calculation F _{sh}							
Windows orientation	Horizon angle	F _h	Overhang angle	F ₀	Fin angle	F _f	F _{sh}
East	20° to 33° lat.	0,87	0° to 33° lat.	1,00	0°-Left and Right	1,00	0,87
South	20° to 33° lat.	0,93	0° to 33° lat.	1,00	0°-Left and Right	1,00	0,93
West	20° to 33° lat.	1,00	0° to 33° lat.	1,00	0°-Left and Right	1,00	1,00
North	20° to 33° lat.	1,00	0° to 33° lat.	1,00	0°-Left and Right	1,00	1,00
Northeast	Doesn't exist	0	Doesn't exist	0,00	Doesn't exist	0,00	0,00
Southwest	Doesn't exist	0	Doesn't exist	0,00	Doesn't exist	0,00	0,00
Southwest	Doesn't exist	0,00	Doesn't exist	0,00	Doesn't exist	0,00	0,00
Southeast	Doesn't exist	0,00	Doesn't exist	0,00	Doesn't exist	0,00	0,00
Northwest	Doesn't exist	0,00	Doesn't exist	0,00	Doesn't exist	0,00	0,00

Quadro AX. 3 - Quadro principal para o cálculo do fator solar na estação de arrefecimento na situação inicial

Windows orientation	A (m ²)	Reduction factor		I_Sol (kWh)	Solar energy transmittance
		External shading F _{sh}	Frame area fraction of the window F _F		g _{gl,n}
Horizontal	0,00	0,00	0,7	946	0,00
East	3,75	1,00		558	0,53
South	3,75	1,00		877	0,50
West	3,75	1,00		549	0,53
North	3,75	1,00		182	0,77
Northeast	0,00	0,00		298	0,61
Southwest	0,00	0,00		777	0,50
Southwest	0,00	0,00		777	0,50
Southeast	0,00	0,00		785	0,27
Northwest	0,00	0,00		293	0,15

Quadro AX. 4 – Quadro auxiliar para o cálculo do fator solar na estação de arrefecimento na situação inicial

Auxiliary calculation F _{sh}						
Windows orientation	Fh	Overhang angle	F0	Fin angle	Ff	Fsh
East	1,00	0° to 39° lat.	1,00	0°-Left and Right	1,00	1,00
South	1,00	0° to 39° lat.	1,00	0°-Left and Right	1,00	1,00
West	1,00	0° to 39° lat.	1,00	0°-Left and Right	1,00	1,00
North	1,00	0° to 39° lat.	1,00	0°-Left and Right	1,00	1,00
Northeast	1,00	Doesn't exist	0,00	Doesn't exist	0,00	0,00
Southwest	1,00	Doesn't exist	0,00	Doesn't exist	0,00	0,00
Southwest	1,00	Doesn't exist	0,00	Doesn't exist	0,00	0,00
Southeast	1,00	Doesn't exist	0,00	Doesn't exist	0,00	0,00
Northwest	1,00	Doesn't exist	0,00	Doesn't exist	0,00	0,00

Quadro AX. 5 - Quadro principal para o cálculo dos ganhos solares opacos na estação de arrefecimento na situação inicial do edifício

Opaque building elements	Dimensionless absorption coefficient for solar radiation of the opaque part		R _{se} (W/m ² .°C)	I _{Sol} (kWh)	
	Color	α		Orientation	I _{Sol} (kWh)
Roof_1	Clear (white, cream, yellow, orange, light red)	0,40	0,04	Horizontal	946
Roof_2	Doesn't exist	0,00		Horizontal	946
Wall_1	Clear (white, cream, yellow, orange, light red)	0,40		South	877
Wall_2	Clear (white, cream, yellow, orange, light red)	0,40		North	182
Wall_3	Clear (white, cream, yellow, orange, light red)	0,40		East	558

Quadro AX. 6 - Quadro auxiliar para o cálculo do fator solar na estação de arrefecimento na situação inicial

Auxiliary calculation $g_{gl,n}$									
F_{mv}		g_T							
Orientation	F_{mv}	Glass composition	$g_{,vi}$	Glass Type / Protections	Interior protection	g_{Tvc}	Outdoor protection	g_{Tvc}	g_T
East	0,60	Colorless 6mm	0,85	Interior protection-Simple glass	Transparent curtains-Clear (Simple glass-interior protection)	0,38	Simple glass- Outdoor protection		0,38
South	0,60	Colorless 6mm	0,85	Interior protection-Simple glass	Transparent curtains-Clear (Simple glass-interior protection)	0,38	Simple glass- Outdoor protection		0,38
West	0,60	Colorless 6mm	0,85	Interior protection-Simple glass	Transparent curtains-Clear (Simple glass-interior protection)	0,38	Simple glass- Outdoor protection		0,38
North	0,00	Colorless 6mm	0,85	Interior protection-Simple glass	Transparent curtains-Clear (Simple glass-interior protection)	0,38	Simple glass- Outdoor protection		0,38
Northeast	0,40	Colorless 6mm	0,85	Interior protection-Simple glass	Transparent curtains-Clear (Simple glass-interior protection)	0,38	Simple glass- Outdoor protection		0,38
Southwest	0,70	Colorless 6mm	0,85	Interior protection-Simple glass	Transparent curtains-Clear (Simple glass-interior protection)	0,38	Simple glass- Outdoor protection		0,38
Southeast	0,70	Colorless 6mm	0,85	Interior protection-Simple glass	Transparent curtains-Clear (Simple glass-interior protection)	0,38	Simple glass- Outdoor protection		0,38
Northwest	0,40	Colorless 6mm	0,85	Interior protection-Simple glass	Transparent curtains-Clear (Simple glass-interior protection)	0,38	Simple glass- Outdoor protection		0,38

Quadro AX. 7 - Quadro auxiliar para o cálculo do fator solar na estação de arrefecimento na situação inicial (cont.)

g_{Tp}					$g_{gl,n}$
Orientation	$F_{w,v}$	Glass composition	$g_{,vi}$	g_{Tp}	
East-Simple flat glass	0,9	Colorless 6mm	0,85		0,53
South-Simple flat glass	0,8	Colorless 6mm	0,85		0,50
West-Simple flat glass	0,9	Colorless 6mm	0,85		0,53
Northwest-Simple flat glass	0,9	Colorless 6mm	0,85		0,77
Northwest-Simple flat glass	0,9	Colorless 6mm	0,85		0,61
Southwest-Simple flat glass	0,9	Colorless 6mm	0,85		0,50
Southeast-Simple flat glass	0,9	Simple glass	0,00		0,27
Northeast-Simple flat glass	0,9	Simple glass	0,00		0,15

Quadro AX. 8 - Composição do elemento construtivo da parede 1 para a melhor solução de reabilitação a aplicar no edifício, VR.3.1

Wall_1	di (m)	λ (W/m.°C)	Rj (m ² .°C/W)	Thermal resistance of element without insulation, in case that existing insulation is removed during refurbishment R_before (m ² °C/W)	Mst (kg/m ²)
Cement mortar	0,015	1,3	0,01	0,01	30
Polystyrene expandable EPS	0,1	0,04	2,50	2,50	2
ETICS slender mortar	0,004	1	0,00	0,00	6,8

Quadro AX. 9 - Impactes ambientais associados aos materiais utilizados para a melhor solução de reabilitação na parede 1

Categories of environmental impact of LCA Cradle-to-gate						Embodied energy Cradle-to-gate	
ADP (Kg Sb eq)	GWP (Kg CO2 eq)	ODP (Kg CFC-11 eq)	AP (kg SO2 eq)	POCP (Kg C2H4 eq)	EP (kg PO4 eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)
3,42E-01	1,33E+02	5,65E-06	2,28E-01	9,11E-03	5,82E-02	9,24E+02	1,43E+02
1,94E+00	1,54E+02	0,00E+00	5,20E-01	3,11E-02	5,11E-02	3,95E+03	1,75E+01
7,74E-02	3,01E+01	1,28E-06	5,17E-02	2,07E-03	1,32E-02	2,09E+02	3,24E+01

Quadro AX. 10 - Impactes ambientais associados ao transporte dos materiais utilizados na melhor solução de reabilitação da parede 1

Do you need transportation to the building element concerned?		Categories of environmental impact of LCA Cradle-to-gate						Embodied energy Cradle-to-gate	
		ADP (Kg Sb eq)	GWP (Kg CO2 eq)	ODP (Kg CFC-11 eq)	AP (kg SO2 eq)	POCP (Kg C2H4 eq)	EP (kg PO4 eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)
Yes	7,9	1,01E-02	1,42E+00	2,21E-07	7,43E-03	2,34E-04	2,00E-03	2,41E+01	4,76E-01
Yes	0,35	2,97E-05	4,18E-03	6,54E-10	2,19E-05	6,91E-07	5,89E-06	7,13E-02	1,40E-03
Yes	7,9	2,28E-03	3,21E-01	5,02E-08	1,68E-03	5,30E-05	4,52E-04	5,47E+00	1,08E-01

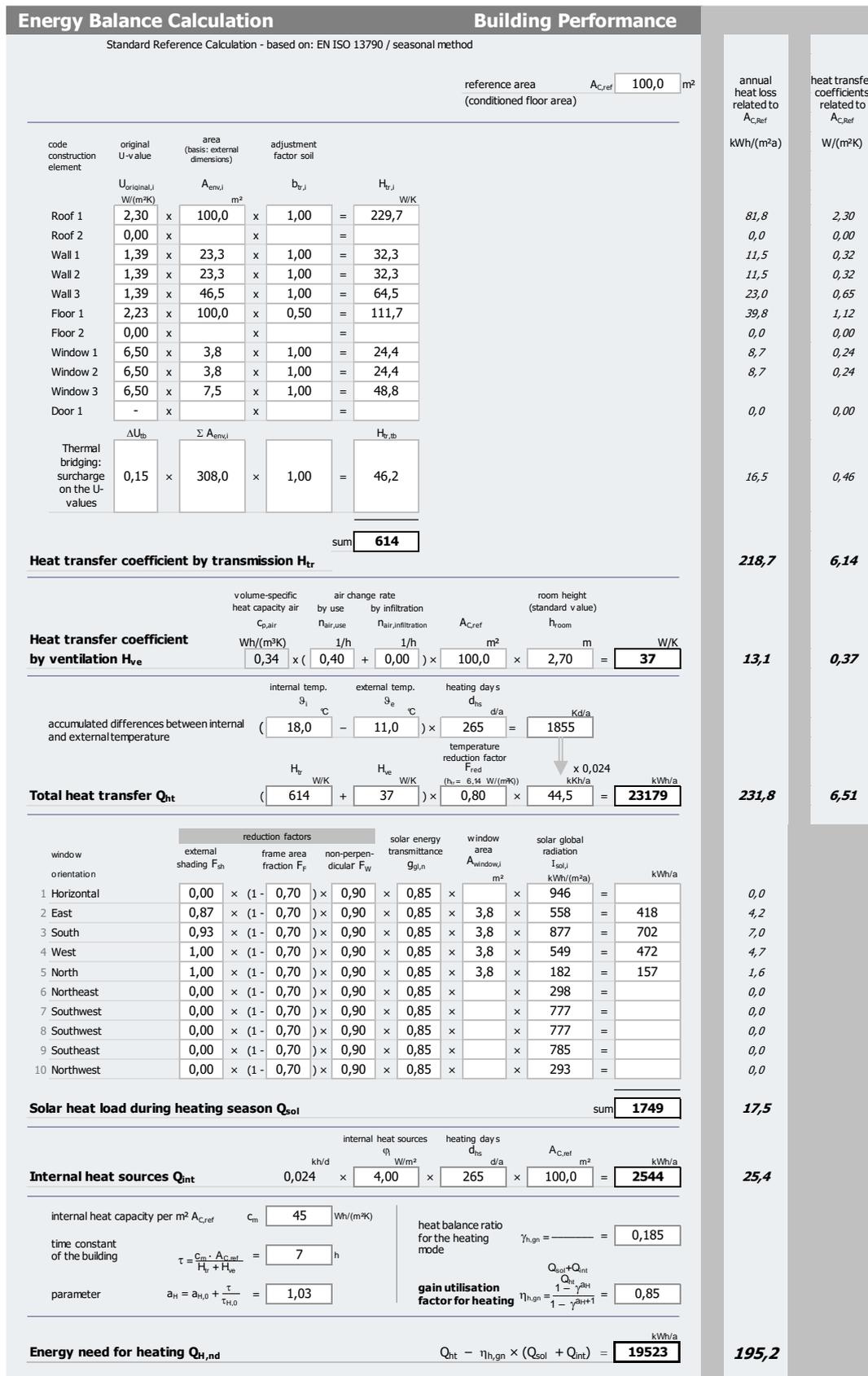


Figura AX. 1 - Necessidade energética de aquecimento na situação inicial do edifício

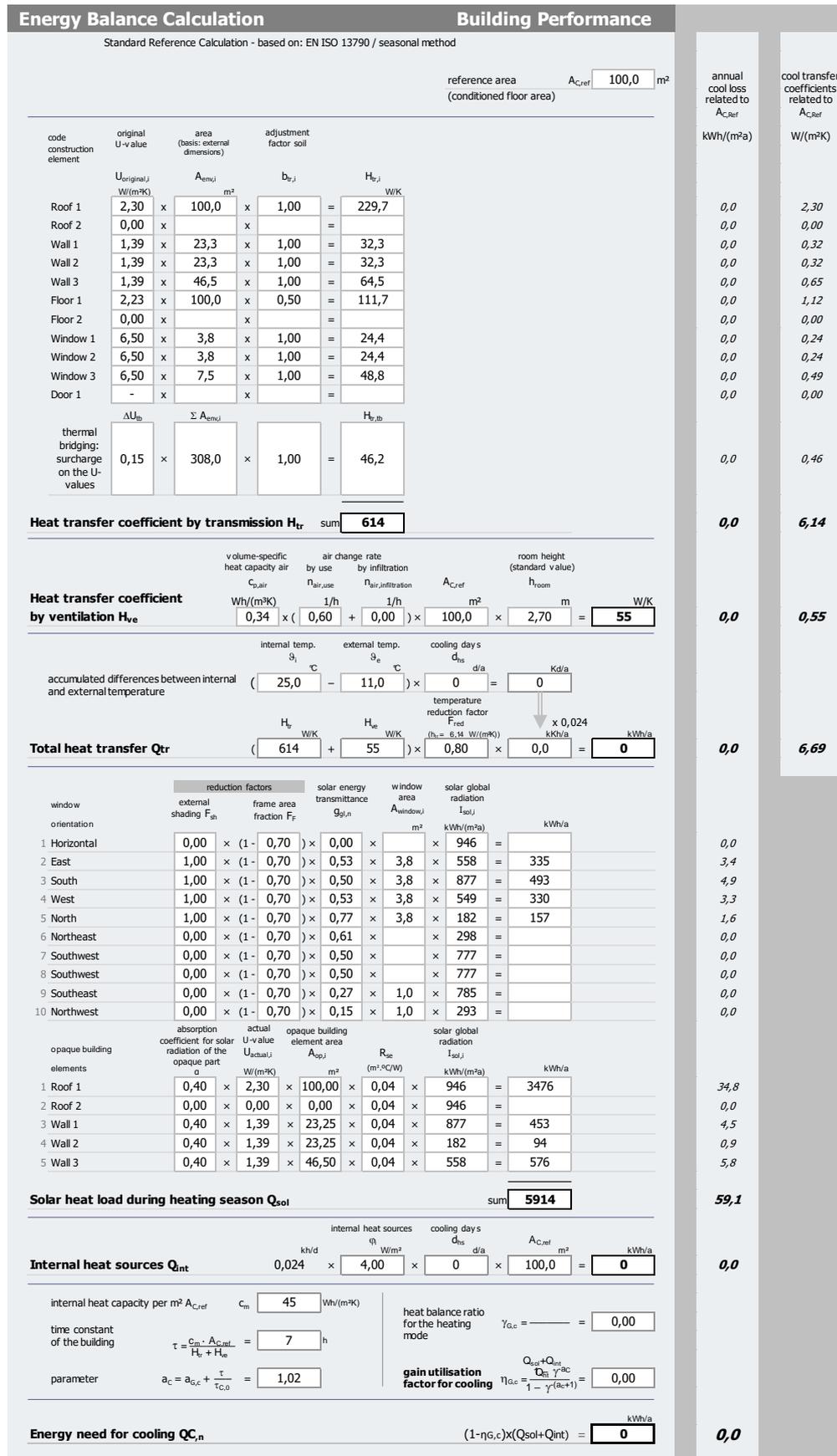


Figura AX. 2 - Necessidade energética para arrefecimento na situação inicial do edifício

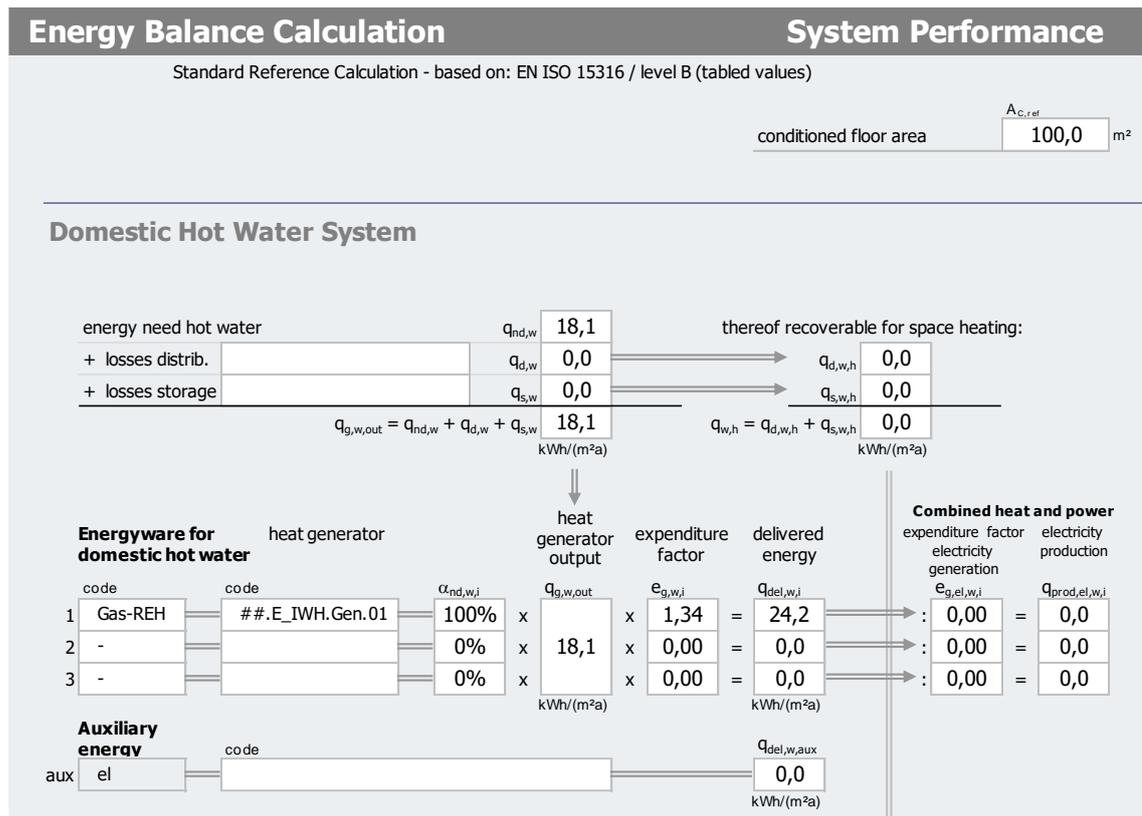


Figura AX. 3 - Necessidades energéticas para a preparação de AQS na situação inicial do edifício

Energy Balance Calculation						Energy Carriers				
						conditioned floor area		A _{C.ref} 100,0 m ²		
Assessment of Energywares										
Standard Calculation										
Heating (+ Ventilation) System	delivered energy	total primary energy		non-renewable primary energy		carbon dioxide emissions		energy costs		
	Q _{del,i}	f _{p,total,i}	Q _{p,total,i} = $\frac{Q_{del,i}}{f_{p,total,i}}$	f _{p,nonren,i}	Q _{p,nonren,i} = $\frac{Q_{del,i}}{f_{p,nonren,i}}$	f _{CO2,i}	m _{CO2,i} = $\frac{Q_{del,i}}{f_{CO2,i}}$	p _i (energyware price)	C _i = $\frac{Q_{del,i}}{p_i}$	
EI-REH	210,8	2,50	527,1	2,50	527,1	144	30,4	0,00	0,00	
-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Auxiliary Electricity	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Electricity Production / Export	63,3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Cooling System										
EI-REH	0,00	2,50	0,00	2,50	0,00	144	0,00	0,00	0,00	
-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Domestic Hot Water System										
Gas-REH	24,2	1,00	24,2	1,00	24,2	202	4,9	0,00	0,00	
-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Auxiliary Electricity	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Electricity Production / Export	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Summary and Expenditure Factors										
	heat need Q _{nd}	ΣQ _{del}	e _{p,total} = $\frac{Q_{p,total}}{Q_{nd}}$	Q _{p,total} = ΣQ _{p,total}	e _{p,nonren} = $\frac{Q_{p,nonren}}{Q_{nd}}$	Q _{p,nonren} = ΣQ _{p,nonren}	f _{CO2,heat} = $\frac{m_{CO2}}{Q_{nd}}$	m _{CO2,i} = Σm _{CO2,i}	p _{heat} = $\frac{c}{Q_{nd}}$	C = ΣC _i
heating (+ ventilation) system	195,2	274,2	2,70	527,1	2,70	527,1	156	30,4	0,00	0,00
cooling system	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
domestic hot water system	18,1	24,2	1,34	24,2	1,34	24,2	271	4,9	0,00	0,00
total	213,3	298,4	2,58	551,3	2,58	551,3	165	35,3	0,00	0,00
	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)		kWh/(m ² a)		kWh/(m ² a)	g/kWh	kg/(m ² a)	Cent/kWh	Euro/(m ² a)

Figura AX. 4 - Necessidade de energia global primária na situação inicial do edifício

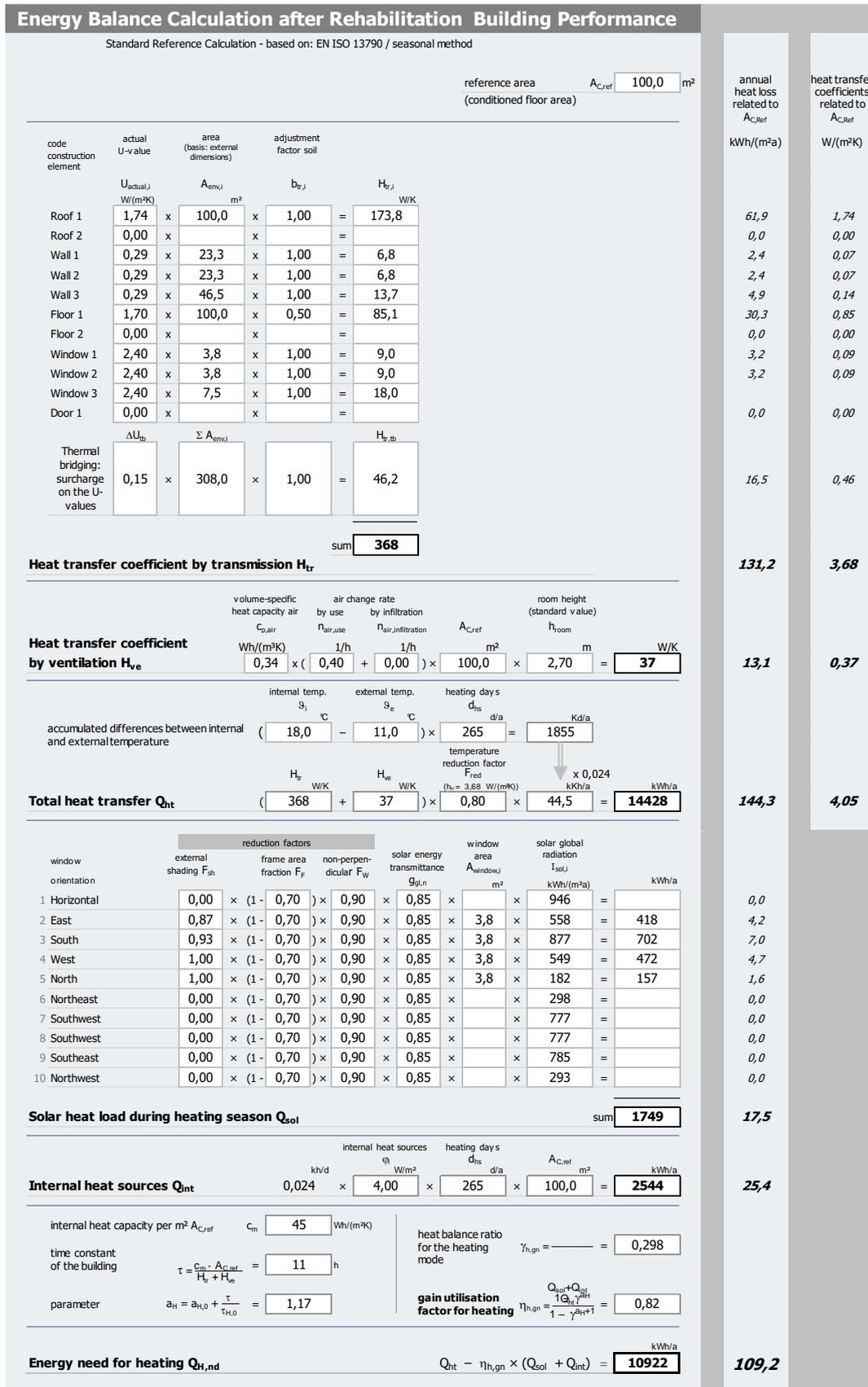


Figura AX. 5 - Necessidades energéticas do edifício na estação de aquecimento após a reabilitação

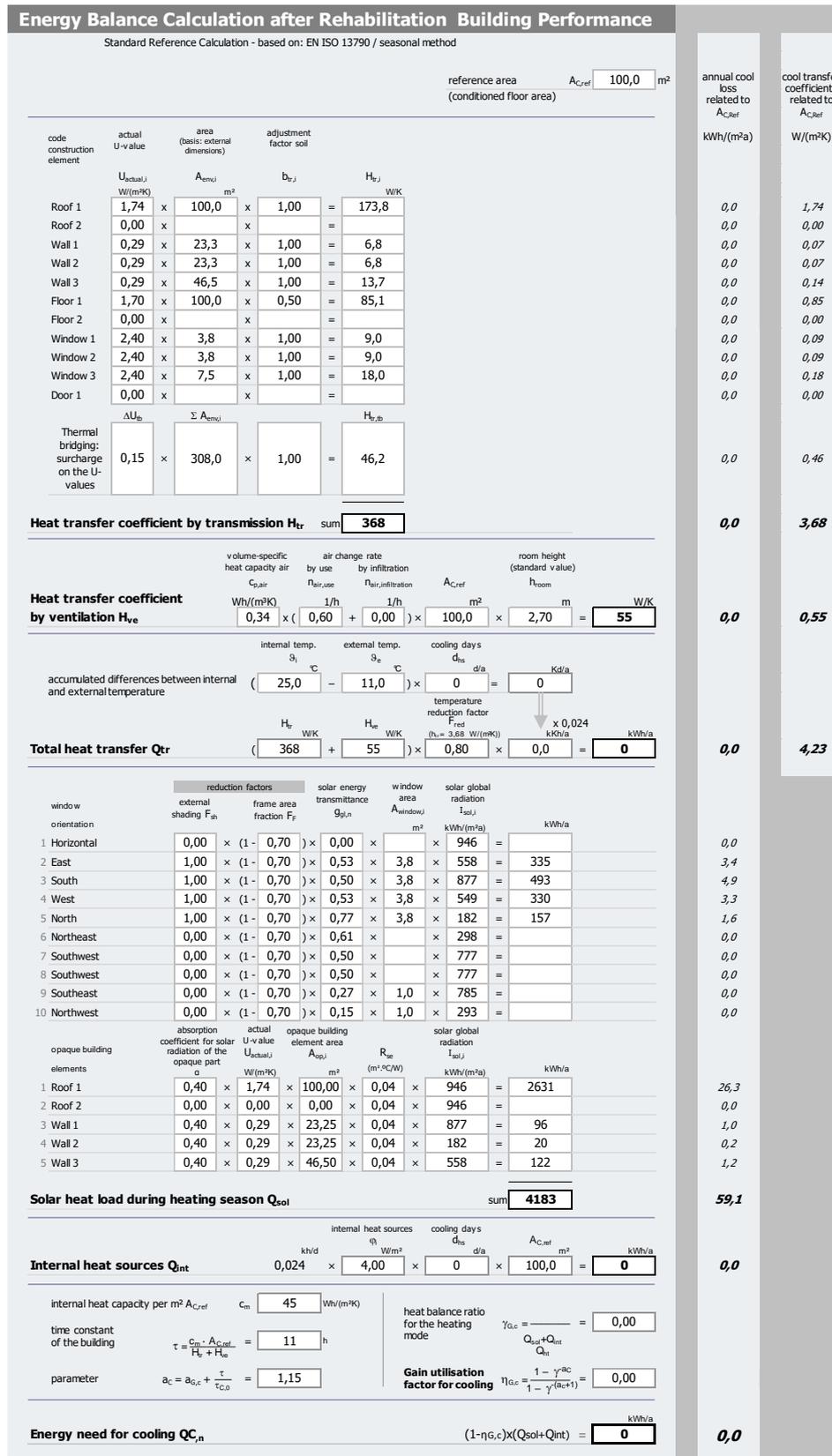


Figura AX. 6 - Necessidades energéticas do edifício na estação de aquecimento após a reabilitação

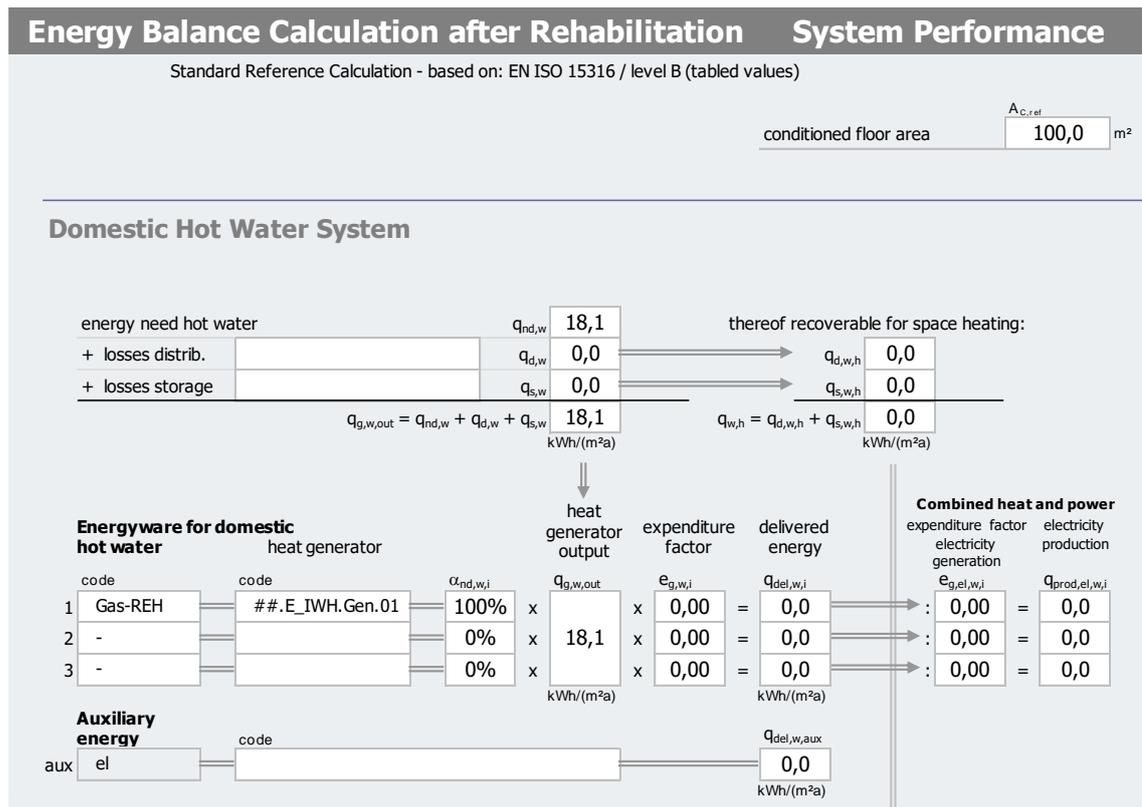


Figura AX. 7 - Necessidades energéticas para a preparação de AQS após a reabilitação do edifício

Energy Balance Calculation after Rehabilitation						Energy Carriers				
						A _{C,ref} conditioned floor area 100,0 m ²				
Assessment of Energywares										
Standard Calculation	delivered energy	total primary energy		non-renewable primary energy		carbon dioxide emissions		energy costs		
	q _{del,i}	f _{p,total,i}	q _{p,total,i} = q _{del,i} / f _{p,total,i}	f _{p,nonren,i}	q _{p,nonren,i} = q _{del,i} / f _{p,nonren,i}	f _{CO2,i}	m _{CO2,i} = q _{del,i} · f _{CO2,i}	p _i (energyware price)	c _i = q _{del,i} · p _i	
Heating (+ Ventilation) System										
EI-REH	0,0	2,50	0,0	2,50	0,0	144	0,0	0,00	0,00	
-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Auxiliary Electricity	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Electricity Production / Export	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Cooling System										
EI-REH	0,00	2,50	0,00	2,50	0,00	144	0,00	0,00	0,00	
-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Domestic Hot Water System										
Gas-REH	0,0	1,00	0,0	1,00	0,0	202	0,0	0,00	0,00	
-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Auxiliary Electricity	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Electricity Production / Export	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Summary and Expenditure Factors										
	heat need q _{hd}	Σq _{del}	e _{p,total} = q _{p,total} / q _{hd}	q _{p,total} = Σq _{p,total}	e _{p,nonren} = q _{p,nonren} / q _{hd}	q _{p,nonren} = Σq _{p,nonren}	f _{CO2,heat} = m _{CO2} / q _{hd}	m _{CO2,i} = Σm _{CO2,i}	p _{heat} = c / q _{hd}	C = Σc _i
heating (+ ventilation) system	130,7	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0	0,0	0,00	0,00
cooling system	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
domestic hot water system	18,1	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0	0,0	0,00	0,00
total	148,7	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0	0,0	0,00	0,00
	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)		kWh/(m ² a)		kWh/(m ² a)	g/kWh	kg/(m ² a)	Cent/kWh	Euro/(m ² a)

Figura AX. 8 - Necessidade de energia global primária do edifício após a reabilitação

Quadro AX. 11 - Base de dados dos impactos ambientais de energia da produção de AQS, associados à situação inicial do edifício, existentes no programa

	Energy initially adopted	Categories of environmental impact of LCA Cradle-to-gate						Embodied energy Cradle-to-gate	
		ADP (Kg Sb eq)	GWP (Kg CO2 eq)	ODP (Kg CFC-11 eq)	AP (kg SO2 eq)	POCP (Kg C2H4 eq)	EP (kg PO4 eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)
EC1	Gas-REH	3,14E-03	3,80E-01	5,00E-08	3,32E-04	4,10E-05	6,99E-05	6,48E+00	2,27E-02
EC2	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EC3	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
TOTAL		3,14E-03	3,80E-01	5,00E-08	3,32E-04	4,10E-05	6,99E-05	6,48E+00	2,27E-02

Quadro AX. 12 - Base de dados dos impactes ambientais de energia do aquecimento, associados à situação inicial do edifício, existentes no programa

	Energy initially adopted	Categories of environmental impact of LCA Cradle-to-gate						Embodied energy Cradle-to-gate	
		ADP (Kg Sb eq)	GWP (Kg CO2 eq)	ODP (Kg CFC-11 eq)	AP (kg SO2 eq)	POCP (Kg C2H4 eq)	EP (kg PO4 eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)
EC1	EI-REH	2,45E-01	3,22E+01	1,93E-06	2,92E-01	1,09E-02	5,04E-02	4,61E+02	8,25E+01
EC2	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EC3	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
TOTAL		2,45E-01	3,22E+01	1,93E-06	2,92E-01	1,09E-02	5,04E-02	4,61E+02	8,25E+01

Quadro AX. 13 - Base de dados dos impactes ambientais de energia de arrefecimento, associados à situação inicial do edifício, existentes no programa

	Energy initially adopted	Categories of environmental impact of LCA Cradle-to-gate						Embodied energy Cradle-to-gate	
		ADP (Kg Sb eq)	GWP (Kg CO2 eq)	ODP (Kg CFC-11 eq)	AP (kg SO2 eq)	POCP (Kg C2H4 eq)	EP (kg PO4 eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)
EC1	EI-REH	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EC2	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EC3	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
TOTAL		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Quadro AX. 14 - Base de dados dos impactos ambientais dos materiais associados à melhor solução de reabilitação

Element type	Categories of environmental impact of LCA Cradle-to-gate						Embodied energy Cradle-to-gate	
	ADP (Kg Sb eq)	GWP (Kg CO2 eq)	ODP (Kg CFC-11 eq)	AP (kg SO2 eq)	POCP (Kg C2H4 eq)	EP (kg PO4 eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)
Roof_1	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Roof_2	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Wall_1	2,36E-02	3,17E+00	6,93E-08	8,00E-03	4,23E-04	1,22E-03	5,09E+01	1,93E+00
Wall_2	2,36E-02	3,17E+00	6,93E-08	8,00E-03	4,23E-04	1,22E-03	5,09E+01	1,93E+00
Wall_3	4,72E-02	6,35E+00	1,39E-07	1,60E-02	8,46E-04	2,45E-03	1,02E+02	3,86E+00
Floor_1	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Floor_2	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Door_1	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Window_1	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Window_2	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Window_3	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
TOTAL	9,43E-02	1,27E+01	2,77E-07	3,20E-02	1,69E-03	4,90E-03	2,03E+02	7,71E+00

Quadro AX. 15 - Base de dados dos impactos ambientais associados ao transporte dos materiais associados à melhor de solução de reabilitação

Element type	Categories of environmental impact of LCA Cradle-to-gate						Embodied energy Cradle-to-gate	
	ADP (Kg Sb eq)	GWP (Kg CO2 eq)	ODP (Kg CFC-11 eq)	AP (kg SO2 eq)	POCP (Kg C2H4 eq)	EP (kg PO4 eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)
Roof_1	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Roof_2	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Wall_1	1,24E-04	1,74E-02	2,72E-09	9,13E-05	2,88E-06	2,45E-05	2,97E-01	5,85E-03
Wall_2	1,24E-04	1,74E-02	2,72E-09	9,13E-05	2,88E-06	2,45E-05	2,97E-01	5,85E-03
Wall_3	2,48E-04	3,48E-02	5,45E-09	1,83E-04	5,75E-06	4,91E-05	5,94E-01	1,17E-02
Floor_1	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Floor_2	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Door_1	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Window_1	1,62E-05	2,27E-03	3,56E-10	1,19E-05	3,76E-07	3,20E-06	3,88E-02	7,64E-04
Window_2	1,62E-05	2,27E-03	3,56E-10	1,19E-05	3,76E-07	3,20E-06	3,88E-02	7,64E-04
Window_3	3,23E-05	4,55E-03	7,11E-10	2,39E-05	7,51E-07	6,41E-06	7,76E-02	1,53E-03
TOTAL	5,60E-04	7,87E-02	1,23E-08	4,13E-04	1,30E-05	1,11E-04	1,34E+00	2,65E-02

Quadro AX. 16 - Base de dados dos impactes ambientais de energia para produção de AQS, associados à melhor solução de reabilitação, existentes no programa

	Energy adopted after rehabilitation	Categories of environmental impact of LCA Cradle-to-gate						Embodied energy Cradle-to-gate	
		ADP (Kg Sb eq)	GWP (Kg CO2 eq)	ODP (Kg CFC-11 eq)	AP (kg SO2 eq)	POCP (Kg C2H4 eq)	EP (kg PO4 eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)
EC1	Gas-REH	3,14E-03	3,80E-01	5,00E-08	3,32E-04	4,10E-05	6,99E-05	6,48E+00	2,27E-02
EC2	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EC3	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
TOTAL		3,14E-03	3,80E-01	5,00E-08	3,32E-04	4,10E-05	6,99E-05	6,48E+00	2,27E-02

Quadro AX. 17 - Base de dados dos impactes ambientais de energia para aquecimento, associados à melhor solução de reabilitação, existentes no programa

	Energy adopted after rehabilitation	Categories of environmental impact of LCA Cradle-to-gate						Embodied energy Cradle-to-gate	
		ADP (Kg Sb eq)	GWP (Kg CO2 eq)	ODP (Kg CFC-11 eq)	AP (kg SO2 eq)	POCP (Kg C2H4 eq)	EP (kg PO4 eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)
EC1	EI-REH	1,37E-01	1,80E+01	1,08E-06	1,63E-01	6,08E-03	2,82E-02	2,58E+02	4,61E+01
EC2	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EC3	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
TOTAL		1,37E-01	1,80E+01	1,08E-06	1,63E-01	6,08E-03	2,82E-02	2,58E+02	4,61E+01

Quadro AX. 18 - Base de dados dos impactes ambientais de energia para arrefecimento, associados à melhor solução de reabilitação, existentes no programa

	Energy adopted after rehabilitation	Categories of environmental impact of LCA Cradle-to-gate						Embodied energy Cradle-to-gate	
		ADP (Kg Sb eq)	GWP (Kg CO2 eq)	ODP (Kg CFC-11 eq)	AP (kg SO2 eq)	POCP (Kg C2H4 eq)	EP (kg PO4 eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)
EC1	EI-REH	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EC2	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
EC3	-	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
TOTAL		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Quadro AX. 19 - Quadro resumo dos resultados obtidos para os impactes ambientais para a energia utilizada, na situação inicial do edifício

	Energy requirements kWh/(m²a)	Categories of environmental impact of LCA Cradle-to-gate						Embodied energy Cradle-to-gate	
		ADP (Kg Sb eq)	GWP (Kg CO2 eq)	ODP (Kg CFC-11 eq)	AP (kg SO2 eq)	POCP (Kg C2H4 eq)	EP (kg PO4 eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)
DHW	18,08	3,14E-03	3,80E-01	5,00E-08	3,32E-04	4,10E-05	6,99E-05	6,48E+00	2,27E-02
HEATING	195,23	2,45E-01	3,22E+01	1,93E-06	2,92E-01	1,09E-02	5,04E-02	4,61E+02	8,25E+01
COOLING	0,00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
TOTAL		2,48E-01	3,26E+01	1,98E-06	2,92E-01	1,09E-02	5,05E-02	4,68E+02	8,25E+01

Quadro AX. 20 - Quadro resumo dos resultados obtidos para os impactes ambientais da energia utilizada, materiais e respetivo transporte, após a reabilitação do edifício (m²a)

	Energy requirements kWh/(m ² a)	Categories of environmental impact of LCA Cradle-to-gate						Embodied energy Cradle-to-gate	
		ADP (Kg Sb eq)	GWP (Kg CO2 eq)	ODP (Kg CFC-11 eq)	AP (kg SO2 eq)	POCP (Kg C2H4 eq)	EP (kg PO4 eq)	ENR (MJ eq)	ER (MJ eq)
DHW	18,08	3,14E-03	3,80E-01	5,00E-08	3,32E-04	4,10E-05	6,99E-05	6,48E+00	2,27E-02
HEATING	109,22	1,37E-01	1,80E+01	1,08E-06	1,63E-01	6,08E-03	2,82E-02	2,58E+02	4,61E+01
COOLING	0,00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
ENERGY		1,40E-01	1,84E+01	1,13E-06	1,64E-01	6,12E-03	2,83E-02	2,65E+02	4,62E+01
MATERIALS		9,43E-02	1,27E+01	2,77E-07	3,20E-02	1,69E-03	4,90E-03	2,03E+02	7,71E+00
TRANSPORT		5,60E-04	7,87E-02	1,23E-08	4,13E-04	1,30E-05	1,11E-04	1,34E+00	2,65E-02
TOTAL		3,75E-01	4,96E+01	2,54E-06	3,60E-01	1,40E-02	6,16E-02	7,34E+02	1,00E+02

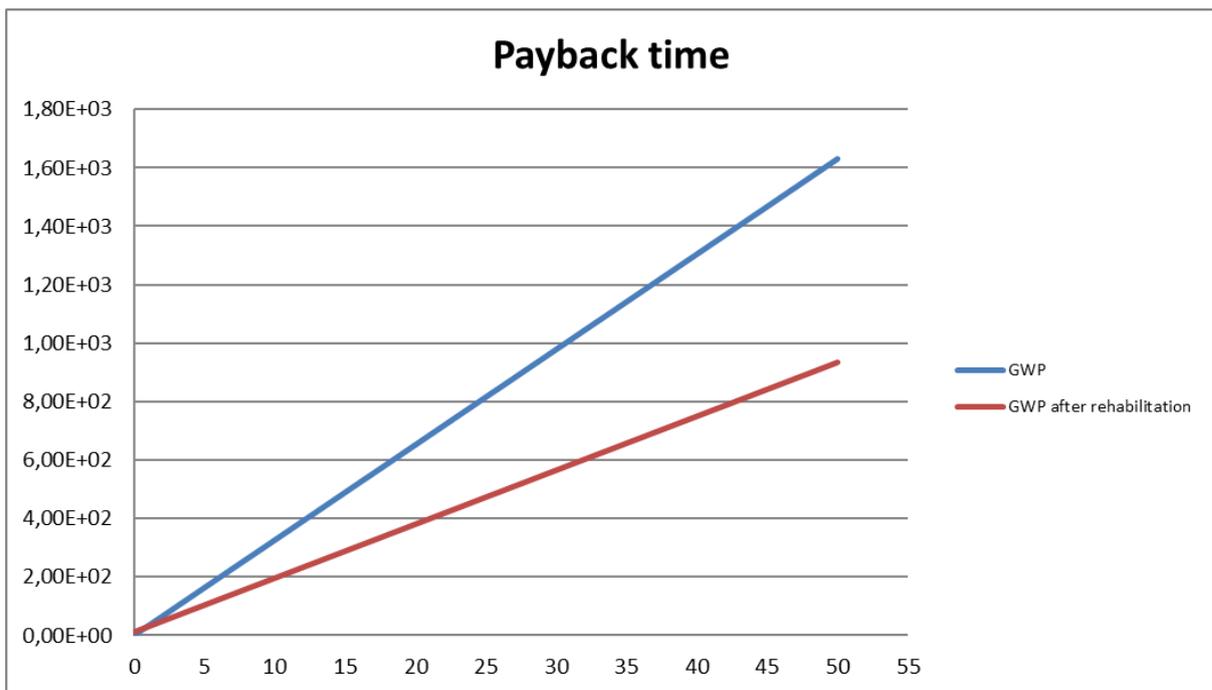


Figura AX. 9 - Tempo de retorno dos impactes ambientais para a melhor solução em Vila Real

Anexo XI – Avaliação do desempenho energético, ambiental e económico do edifício em Beja

Quadro AXI. 1 - Desempenho geral do edifício em Beja

Solução	Desempenho geral do edifício após a reabilitação										Investimento inicial da reabilitação (m ²)	Manutenção anual (m ²)
	Reabilitação	Aquecimento		Arrefecimento		AQS	GWP (kg CO ₂ eq)		Consumo energético	Materiais e transporte		
Espessura isolamento (m)	Espessura da caixa-de-ar (m)	U (W/m ² .°C)	QH.nd (kWh/m ² .ano)	QC.nd (kWh/m ² .ano)	Qw (kWh/m ² .ano)	Consumo energético	Materiais e transporte	Consumo energético			Materiais e transporte	
Inicial	0	-	1,39	103,26	36,07	18,08	2,34E+01	18,08	-	-	-	-
B.1.1	0,06	0,01	0,38	56,93	27,64	18,08	1,43E+01	18,08	9,87E+01	33,10 €	0,16 €	0,16 €
B.1.2	0,06	0,01	0,37	56,63	27,58	18,08	1,43E+01	18,08	9,96E+01	31,65 €	0,16 €	0,16 €
B.1.3	0,08	0,01	0,35	56,27	27,50	18,08	1,42E+01	18,08	1,08E+02	60,49 €	0,16 €	0,16 €
B.1.4	0,06	0,01	0,38	56,93	27,64	18,08	1,43E+01	18,08	9,74E+01	31,86 €	0,16 €	0,16 €
B.1.5	0,06	0,01	0,37	56,63	27,58	18,08	1,43E+01	18,08	1,10E+02	34,48 €	0,16 €	0,16 €
B.1.6	0,06	0,01	0,38	56,93	27,64	18,08	1,43E+01	18,08	9,68E+01	30,85 €	0,16 €	0,16 €
B.2.1	0,05	0,03	0,38	56,89	27,64	18,08	1,43E+01	18,08	2,95E+02	17,58 €	0,10 €	0,10 €
B.2.2	0,06	0,03	0,37	56,68	27,59	18,08	1,43E+01	18,08	3,00E+02	35,78 €	0,14 €	0,14 €
B.2.3	0,05	0,03	0,38	56,89	27,64	18,08	1,43E+01	18,08	2,95E+02	20,00 €	0,11 €	0,11 €
B.2.4	0,05	0,03	0,37	56,64	27,58	18,08	1,43E+01	18,08	3,04E+02	18,73 €	0,10 €	0,10 €
B.2.5	0,06	0,03	0,35	56,30	27,51	18,08	1,42E+01	18,08	2,94E+02	17,87 €	0,10 €	0,10 €
B.2.6	0,05	0,03	0,39	57,05	27,67	18,08	1,44E+01	18,08	2,95E+02	22,60 €	0,11 €	0,11 €
B.3.1	0,07	-	0,38	56,82	27,62	18,08	1,43E+01	18,08	1,14E+01	14,20 €	0,03 €	0,03 €
B.3.2	0,08	-	0,37	56,72	27,60	18,08	1,43E+01	18,08	1,70E+01	32,68 €	0,05 €	0,05 €
B.3.3	0,08	-	0,34	56,24	27,49	18,08	1,42E+01	18,08	1,05E+01	22,04 €	0,04 €	0,04 €
B.3.4	0,06	-	0,39	57,12	27,69	18,08	1,44E+01	18,08	2,18E+01	12,15 €	0,02 €	0,02 €
B.4.1	0,05	-	0,39	57,10	27,68	18,08	1,44E+01	18,08	1,65E+01	50,51 €	0,40 €	0,40 €
B.4.2	0,03	-	0,36	56,47	27,54	18,08	1,43E+01	18,08	1,40E+01	73,96 €	0,52 €	0,52 €
B.5.1	0,10	-	0,50	59,00	28,10	18,08	1,48E+01	18,08	9,14E+02	D	D	D
B.5.2	0,10	-	0,80	64,35	29,26	18,08	1,58E+01	18,08	2,68E+01	D	D	D
B.5.3	0,10	-	0,88	65,89	29,59	18,08	1,61E+01	18,08	2,28E+01	D	D	D
B.5.4	0,10	-	0,81	64,68	29,33	18,08	1,59E+01	18,08	1,21E+03	D	D	D
B.6.1	0,06	0,02	0,36	56,52	27,55	18,08	1,43E+01	18,08	4,61E+01	118,23 €	1,87 €	1,87 €
B.6.2	0,06	0,02	0,34	56,25	27,50	18,08	1,42E+01	18,08	4,68E+01	121,94 €	1,87 €	1,87 €
B.6.3	0,06	0,02	0,38	56,93	27,64	18,08	1,43E+01	18,08	4,98E+01	134,47 €	1,90 €	1,90 €
B.6.4	0,06	0,02	0,36	56,52	27,55	18,08	1,43E+01	18,08	4,48E+01	123,34 €	1,88 €	1,88 €
B.6.5	0,05	0,02	0,38	56,88	27,63	18,08	1,43E+01	18,08	5,10E+01	118,67 €	1,87 €	1,87 €
B.6.6	0,06	0,02	0,37	56,69	27,59	18,08	1,43E+01	18,08	4,57E+01	121,93 €	1,87 €	1,87 €
B.6.7	0,05	0,02	0,39	56,98	27,65	18,08	1,44E+01	18,08	5,35E+01	148,51 €	1,93 €	1,93 €
B.7.1	0,08	-	0,32	55,88	27,41	18,08	1,41E+01	18,08	2,11E+02	195,84 €	0,71 €	0,71 €
B.8.1	0,12+0,06	-	0,18	53,24	26,84	18,08	1,36E+01	18,08	8,54E+01	150,29 €	2,25 €	2,25 €

Legenda:

D - Desprezável por não cumprir os valores mínimos definidos para o valor de U

* Inclui transporte desde a fábrica até à localização do cenário de aplicação por se tratar de um caso especial

Quadro AXI. 2 - Desempenho ambiental do edifício em Beja

Impactes ambientais associados aos consumos energéticos: GWP (kg CO2 eq)								
Solução	Impactes para os consumos:				Totais após reabilitação (kg CO2 eq)	Impactes a 30 anos associados ao:		Tempo de retorno GWP (anos)
	Energético inicial (kg CO2 eq)	Energético após reabilitação (kg CO2 eq)	Produção dos materiais (kg CO2 eq)	Transporte dos materiais (kg CO2 eq)		Consumo energético inicial (kg CO2 eq)	Consumo energético após reabilitação (kg CO2 eq)	
B.1.1	2,34E+01	1,43E+01	9,81E+01	5,74E-01	9,36E+01	7,02E+02	5,28E+02	11
B.1.2		1,43E+01	9,89E+01	6,64E-01	1,14E+02		5,29E+02	11
B.1.3		1,42E+01	1,07E+02	5,75E-01	1,22E+02		5,34E+02	12
B.1.4		1,43E+01	9,68E+01	6,29E-01	1,12E+02		5,26E+02	10,5
B.1.5		1,43E+01	1,09E+02	5,74E-01	1,24E+02		5,39E+02	12
B.1.6		1,43E+01	9,62E+01	6,15E-01	1,11E+02		5,26E+02	11
B.2.1		1,43E+01	2,94E+02	1,45E+00	3,10E+02		7,24E+02	33
B.2.2		1,43E+01	2,99E+02	1,45E+00	3,15E+02		7,29E+02	33,5
B.2.3		1,43E+01	2,93E+02	1,50E+00	3,09E+02		7,24E+02	33
B.2.4		1,43E+01	3,03E+02	1,45E+00	3,19E+02		7,33E+02	33,5
B.2.5		1,42E+01	2,93E+02	1,49E+00	3,09E+02		7,20E+02	32
B.2.6		1,44E+01	2,94E+02	1,47E+00	3,10E+02		7,27E+02	33
B.3.1		1,43E+01	1,08E+01	5,75E-01	2,57E+01		4,40E+02	1
B.3.2		1,43E+01	1,64E+01	5,76E-01	3,13E+01		4,46E+02	1,5
B.3.3		1,42E+01	9,72E+00	8,07E-01	2,47E+01		4,37E+02	1
B.3.4		1,44E+01	2,12E+01	5,75E-01	3,62E+01		4,54E+02	2
B.4.1		1,44E+01	1,55E+01	1,01E+00	3,09E+01		4,49E+02	1,5
B.4.2		1,43E+01	1,31E+01	8,51E-01	2,83E+01		4,43E+02	1,5
B.5.1		1,48E+01	9,10E+02	3,58E+00	9,28E+02		1,36E+03	∞
B.5.2		1,58E+01	2,18E+01	5,02E+00	4,26E+01		5,01E+02	4
B.5.3		1,61E+01	1,77E+01	5,06E+00	3,89E+01		5,06E+02	3
B.5.4		1,59E+01	1,21E+03	3,79E+00	1,23E+03		1,69E+03	∞
B.6.1		1,43E+01	4,49E+01	1,15E+00	6,04E+01		4,75E+02	5
B.6.2		1,42E+01	4,56E+01	1,24E+00	6,10E+01		4,73E+02	5
B.6.3		1,43E+01	4,86E+01	1,15E+00	6,41E+01		4,79E+02	5
B.6.4		1,43E+01	4,36E+01	1,21E+00	5,91E+01		4,74E+02	5
B.6.5		1,43E+01	4,98E+01	1,15E+00	6,53E+01		4,80E+02	6
B.6.6		1,43E+01	4,45E+01	1,18E+00	6,00E+01		4,75E+02	5
B.6.7	1,44E+01	5,21E+01	1,44E+00	6,79E+01	4,86E+02	6		
B.7.1	1,41E+01	2,07E+02	4,18E+00	2,25E+02	6,34E+02	23		
B.8.1	1,36E+01	8,21E+01	3,34E+00	9,90E+01	4,93E+02	8,5		

Quadro AXI. 3 - Desempenho económico do edifício em Beja

Solução	Necessidades nominais de energia útil para o funcionamento do edifício após a reabilitação:						Desempenho económico do edifício após a reabilitação				Tempo de retorno dos custos energéticos (anos)	
	QH,nd (kWh/m ² .ano)	QC,nd (kWh/m ² .ano)	Totais (kWh/ano)	Custos anuais dos consumos energéticos associados:		Poupança anual inerente à reabilitação (€/ano)	Poupança energética ao fim de 30 anos (€/ano)	Investimento na reabilitação				
				Consumo energético inicial (€/ano)	Consumos energético após a reabilitação (€/ano)			Investimento inicial	Manutenção anual			
Inicial	103,26	36,07	13933									
B.1.1	56,93	27,64	8457	3 065,26 €	1 945,11 €	1 120,15 €	33 604,50 €	3 078,30 €	14,88 €	0,8		
B.1.2	56,63	27,58	8421	3 065,26 €	1 936,83 €	1 128,43 €	33 852,90 €	2 943,45 €	15,16 €	0,8		
B.1.3	56,27	27,50	8377	3 065,26 €	1 926,71 €	1 138,55 €	34 156,50 €	5 625,57 €	15,25 €	0,9		
B.1.4	56,93	27,64	8457	3 065,26 €	1 945,11 €	1 120,15 €	33 604,50 €	2 962,98 €	15,25 €	0,8		
B.1.5	56,63	27,58	8421	3 065,26 €	1 936,83 €	1 128,43 €	33 852,90 €	3 206,64 €	15,07 €	0,8		
B.1.6	56,93	27,64	8457	3 065,26 €	1 945,11 €	1 120,15 €	33 604,50 €	2 869,05 €	15,07 €	0,8		
B.2.1	56,89	27,64	8453	3 065,26 €	1 944,19 €	1 121,07 €	33 632,10 €	1 634,94 €	9,39 €	0,5		
B.2.2	56,68	27,59	8427	3 065,26 €	1 938,21 €	1 127,05 €	33 811,50 €	3 327,54 €	12,74 €	0,8		
B.2.3	56,89	27,64	8453	3 065,26 €	1 944,19 €	1 121,07 €	33 632,10 €	1 860,00 €	9,77 €	0,6		
B.2.4	56,64	27,58	8422	3 065,26 €	1 937,06 €	1 128,20 €	33 846,00 €	1 741,89 €	9,58 €	0,6		
B.2.5	56,30	27,51	8381	3 065,26 €	1 927,63 €	1 137,63 €	34 128,90 €	1 661,91 €	9,49 €	0,5		
B.2.6	57,05	27,67	8472	3 065,26 €	1 948,56 €	1 116,70 €	33 501,00 €	2 101,80 €	10,32 €	0,7		
B.3.1	56,82	27,62	8444	3 065,26 €	1 942,12 €	1 123,14 €	33 694,20 €	1 320,60 €	2,60 €	0,5		
B.3.2	56,72	27,60	8432	3 065,26 €	1 939,36 €	1 125,90 €	33 777,00 €	3 039,24 €	4,65 €	0,8		
B.3.3	56,24	27,49	8373	3 065,26 €	1 925,79 €	1 139,47 €	34 184,10 €	2 049,72 €	4,09 €	0,6		
B.3.4	57,12	27,69	8481	3 065,26 €	1 950,63 €	1 114,63 €	33 438,90 €	1 129,95 €	2,23 €	0,5		
B.4.1	57,10	27,68	8478	3 065,26 €	1 949,94 €	1 115,32 €	33 459,60 €	4 697,43 €	37,57 €	0,9		
B.4.2	56,47	27,54	8401	3 065,26 €	1 932,23 €	1 133,03 €	33 990,90 €	6 878,28 €	48,17 €	0,9		
B.6.1	56,52	27,55	8407	3 065,26 €	1 933,61 €	1 131,65 €	33 949,50 €	10 995,39 €	173,63 €	0,9		
B.6.2	56,25	27,50	8375	3 065,26 €	1 926,25 €	1 139,01 €	34 170,30 €	11 340,19 €	173,91 €	0,9		
B.6.3	56,93	27,64	8457	3 065,26 €	1 945,11 €	1 120,15 €	33 604,50 €	12 505,71 €	176,70 €	0,9		
B.6.4	56,52	27,55	8407	3 065,26 €	1 933,61 €	1 131,65 €	33 949,50 €	11 470,62 €	174,56 €	0,9		
B.6.5	56,88	27,63	8451	3 065,26 €	1 943,73 €	1 121,53 €	33 645,90 €	11 036,31 €	173,72 €	0,9		
B.6.6	56,69	27,59	8428	3 065,26 €	1 938,44 €	1 126,82 €	33 804,60 €	11 339,49 €	174,28 €	0,9		
B.6.7	56,98	27,65	8463	3 065,26 €	1 946,49 €	1 118,77 €	33 563,10 €	13 811,43 €	179,30 €	0,9		
B.7.1	55,88	27,41	8329	3 065,26 €	1 915,67 €	1 149,59 €	34 487,70 €	16 195,49 €	66,26 €	0,9		
B.8.1	53,24	26,84	8008	3 065,26 €	1 841,84 €	1 223,42 €	36 702,60 €	11 717,07 €	209,06 €	0,9		

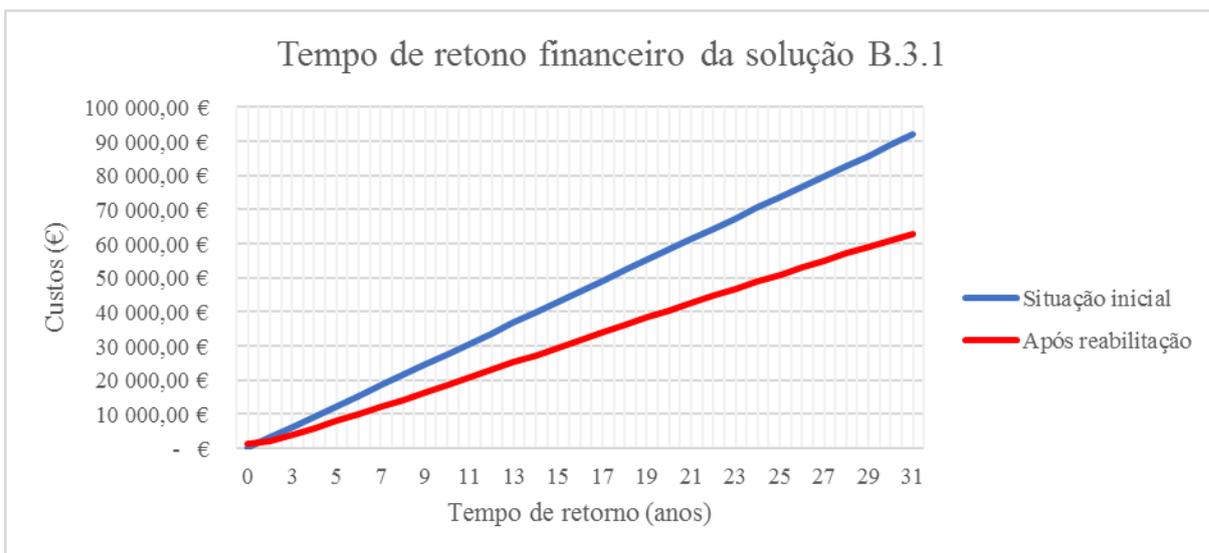


Figura AXI. 1 - Tempo de retorno financeiro para a melhor solução em Beja

Quadro AXI. 4 - Relação energia consumida/emissões de carbono a 30 anos

Relação Energia/ Emissões de CO2 a 30 anos		
Solução	Energia consumida (kWh/ano)	Emissões de CO2 (kg CO2 eq)
Inicial	417990,0	7,02E+02
B.1.1	253710,0	5,28E+02
B.1.2	252630,0	5,29E+02
B.1.3	251310,0	5,34E+02
B.1.4	253710,0	5,26E+02
B.1.5	252630,0	5,39E+02
B.1.6	253710,0	5,26E+02
B.2.1	253590,0	7,24E+02
B.2.2	252810,0	7,29E+02
B.2.3	253590,0	7,24E+02
B.2.4	252660,0	7,33E+02
B.2.5	251430,0	7,20E+02
B.2.6	254160,0	7,27E+02
B.3.1	253320,0	4,40E+02
B.3.2	252960,0	4,46E+02
B.3.3	251190,0	4,37E+02
B.3.4	254430,0	4,54E+02
B.4.1	254340,0	4,49E+02
B.4.2	252030,0	4,43E+02
B.5.1	261300,0	1,36E+03
B.5.2	280830,0	5,01E+02
B.5.3	286440,0	5,06E+02
B.5.4	282030,0	1,69E+03
B.6.1	252210,0	4,75E+02
B.6.2	251250,0	4,73E+02
B.6.3	253710,0	4,79E+02
B.6.4	252210,0	4,74E+02
B.6.5	253530,0	4,80E+02
B.6.6	252840,0	4,75E+02
B.6.7	253890,0	4,86E+02
B.7.1	249870,0	6,34E+02
B.8.1	240240,0	4,93E+02

Anexo XII – Avaliação do desempenho energético, ambiental e económico do edifício em Lisboa

Quadro AXII. 1 - Desempenho energético do edifício em Lisboa

Solução	Reabilitação		Desempenho geral do edifício após a reabilitação				AQES			GWP (kg CO2 eq)		Investimento inicial da reabilitação (m ²)	Manutenção anual (m ²)
	Espessura isolamento (m)	Espessura da cauka-de-at (m)	U (W/m ² .°C)	Aquecimento QH.nd (kWh/m ² .ano)	Arrefecimento QC.nd (kWh/m ² .ano)	Qw (kWh/m ² .ano)	Consumo energético	Matérias e transporte	Mant. inicial	Mant. anual			
Inicial	0	-	1,39	71,27	0	18,08	1,21E+01	-	-	-	-	-	-
L.1.1	0,06	0,01	0,38	38,09	20,47	18,08	1,00E+01	9,81E+01	38,13 €	0,16 €	0,16 €	0,16 €	0,16 €
L.1.2	0,06	0,01	0,37	37,88	20,45	18,08	1,00E+01	9,90E+01	35,76 €	0,16 €	0,16 €	0,16 €	0,16 €
L.1.3	0,08	0,01	0,35	37,62	20,42	18,08	9,96E+00	1,07E+02	60,44 €	0,16 €	0,16 €	0,16 €	0,16 €
L.1.4	0,06	0,01	0,38	38,09	20,47	18,08	1,00E+01	9,68E+01	35,97 €	0,16 €	0,16 €	0,16 €	0,16 €
L.1.5	0,06	0,01	0,37	37,88	20,45	18,08	1,00E+01	1,09E+02	39,51 €	0,16 €	0,16 €	0,16 €	0,16 €
L.1.6	0,06	0,01	0,38	38,09	20,47	18,08	1,00E+01	9,62E+01	34,83 €	0,16 €	0,16 €	0,16 €	0,16 €
L.2.1	0,05	0,03	0,38	38,06	20,47	18,08	1,00E+01	2,94E+02	18,96 €	0,11 €	0,11 €	0,11 €	0,11 €
L.2.2	0,06	0,03	0,37	37,91	20,45	18,08	1,00E+01	2,99E+02	37,16 €	0,14 €	0,14 €	0,14 €	0,14 €
L.2.3	0,05	0,03	0,38	38,06	20,47	18,08	1,00E+01	2,93E+02	21,38 €	0,11 €	0,11 €	0,11 €	0,11 €
L.2.4	0,05	0,03	0,37	37,88	20,45	18,08	1,00E+01	3,03E+02	20,11 €	0,11 €	0,11 €	0,11 €	0,11 €
L.2.5	0,06	0,03	0,37	37,64	20,42	18,08	9,97E+00	2,93E+02	19,68 €	0,11 €	0,11 €	0,11 €	0,11 €
L.2.6	0,05	0,03	0,39	38,18	20,48	18,08	1,00E+01	2,94E+02	24,02 €	0,12 €	0,12 €	0,12 €	0,12 €
L.3.1	0,07	-	0,38	38,01	20,46	18,08	1,00E+01	1,08E+01	12,65 €	0,03 €	0,03 €	0,03 €	0,03 €
L.3.2	0,08	-	0,37	37,94	20,45	18,08	1,00E+01	1,64E+01	33,24 €	0,06 €	0,06 €	0,06 €	0,06 €
L.3.3	0,08	-	0,34	37,60	20,42	18,08	9,96E+00	9,78E+00	22,56 €	0,05 €	0,05 €	0,05 €	0,05 €
L.3.4	0,06	-	0,39	38,23	20,48	18,08	1,01E+01	2,12E+01	12,67 €	0,03 €	0,03 €	0,03 €	0,03 €
L.4.1	0,05	-	0,39	38,21	20,48	18,08	1,01E+01	1,56E+01	50,51 €	0,40 €	0,40 €	0,40 €	0,40 €
L.4.2	0,03	-	0,36	37,77	20,44	18,08	9,99E+00	1,31E+01	73,96 €	0,52 €	0,52 €	0,52 €	0,52 €
L.5.1	0,10	-	0,50	39,56	20,61	18,08	1,03E+01	9,10E+02	D	D	D	D	D
L.5.2	0,10	-	0,80	43,37	21,08	18,08	1,10E+01	2,19E+01	D	D	D	D	D
L.5.3	0,10	-	0,88	44,46	21,17	18,08	1,12E+01	1,80E+01	D	D	D	D	D
L.5.4	0,10	-	0,81	43,60	21,10	18,08	1,11E+01	1,21E+03	D	D	D	D	D
L.6.1	0,06	0,02	0,36	37,80	20,44	18,08	9,99E+00	4,50E+01	121,49 €	1,91 €	1,91 €	1,91 €	1,91 €
L.6.2	0,06	0,02	0,34	37,61	20,42	18,08	9,96E+00	4,57E+01	125,11 €	1,91 €	1,91 €	1,91 €	1,91 €
L.6.3	0,06	0,02	0,38	38,09	20,47	18,08	1,00E+01	4,87E+01	137,64 €	1,94 €	1,94 €	1,94 €	1,94 €
L.6.4	0,06	0,02	0,36	37,80	20,44	18,08	9,99E+00	4,37E+01	126,51 €	1,92 €	1,92 €	1,92 €	1,92 €
L.6.5	0,05	0,02	0,38	38,06	20,46	18,08	1,00E+01	5,35E+01	121,93 €	1,91 €	1,91 €	1,91 €	1,91 €
L.6.6	0,06	0,02	0,37	37,92	20,45	18,08	1,00E+01	4,46E+01	125,16 €	1,92 €	1,92 €	1,92 €	1,92 €
L.6.7	0,05	0,02	0,39	38,12	20,47	18,08	1,01E+01	5,22E+01	151,83 €	1,97 €	1,97 €	1,97 €	1,97 €
L.7.1	0,08	-	0,32	37,34	20,39	18,08	9,91E+00	2,10E+02	159,54 €	0,72 €	0,72 €	0,72 €	0,72 €
L.8.1	0,12+0,06	-	0,18	35,47	20,20	18,08	9,57E+00	8,46E+01	122,86 €	2,38 €	2,38 €	2,38 €	2,38 €

Legenda:

D - Desprezável por não cumprir os valores mínimos definidos para o valor de U

* Inclui transporte desde a fábrica até à localização do cenário de aplicação por se tratar de um caso especial

Quadro AXII. 2 - Desempenho ambiental do edifício em Lisboa

Impactes ambientais associados aos consumos energéticos: GWP (kg CO2 eq)								
Solução	Impactes para os consumos:				Totais após reabilitação (kg CO2 eq)	Impactes a 30 anos associados ao:		Tempo de retorno GWP (anos)
	Energético inicial (kg CO2 eq)	Energético após reabilitação (kg CO2 eq)	Produção dos materiais (kg CO2 eq)	Transporte dos materiais (kg CO2 eq)		Consumo energético inicial (kg CO2 eq)	Consumo energético após reabilitação (kg CO2 eq)	
L.1.1	1,21E+01	1,00E+01	9,81E+01	3,64E-02	1,08E+02	3,63E+02	3,98E+02	49
L.1.2		1,00E+01	9,89E+01	5,79E-02	1,09E+02		3,99E+02	48
L.1.3		9,96E+00	1,07E+02	3,90E-02	1,17E+02		4,06E+02	50
L.1.4		1,00E+01	9,68E+01	4,10E-02	1,07E+02		3,97E+02	48
L.1.5		1,00E+01	1,09E+02	3,69E-02	1,19E+02		4,09E+02	50
L.1.6		1,00E+01	9,62E+02	3,93E-02	9,72E+02		1,26E+03	48
L.2.1		1,00E+01	2,94E+02	5,95E-02	3,04E+02		5,94E+02	∞
L.2.2		1,00E+01	2,99E+02	6,03E-02	3,09E+02		5,99E+02	∞
L.2.3		1,00E+01	2,93E+02	6,23E-02	3,03E+02		5,93E+02	∞
L.2.4		1,00E+01	3,03E+02	5,90E-02	3,13E+02		6,03E+02	∞
L.2.5		9,97E+00	2,93E+02	6,18E-02	3,03E+02		5,92E+02	∞
L.2.6		1,00E+01	2,94E+02	6,54E-02	3,04E+02		5,94E+02	∞
L.3.1		1,00E+01	1,08E+01	4,26E-02	2,08E+01		3,11E+02	5
L.3.2		1,00E+01	1,64E+01	3,68E-02	2,64E+01		3,16E+02	8
L.3.3		9,96E+00	9,72E+00	5,59E-02	1,97E+01		3,09E+02	5
L.3.4		1,01E+01	2,12E+01	4,28E-02	3,13E+01		3,24E+02	10
L.4.1		1,01E+01	1,55E+01	5,06E-02	2,57E+01		3,19E+02	7
L.4.2		9,99E+00	1,31E+01	3,99E-02	2,31E+01		3,13E+02	6
L.5.1		1,03E+01	9,10E+02	1,84E-01	9,20E+02		1,22E+03	∞
L.5.2		1,10E+01	2,18E+01	1,10E-01	3,29E+01		3,52E+02	20
L.5.3		1,12E+01	1,77E+01	2,83E-01	2,92E+01		3,54E+02	20
L.5.4		1,11E+01	1,21E+03	1,98E-01	1,22E+03		1,54E+03	∞
L.6.1		9,99E+00	4,49E+01	6,21E-02	5,50E+01		3,45E+02	22
L.6.2		9,96E+00	4,56E+01	8,36E-02	5,56E+01		3,44E+02	22
L.6.3		1,00E+01	4,86E+01	6,35E-02	5,87E+01		3,49E+02	24
L.6.4		9,99E+00	4,36E+01	6,67E-02	5,37E+01		3,43E+02	21
L.6.5		1,00E+01	5,34E+01	6,22E-02	6,35E+01		3,53E+02	26
L.6.6		1,00E+01	4,45E+01	1,01E-01	5,46E+01		3,45E+02	22
L.6.7	1,01E+01	5,21E+01	6,51E-02	6,23E+01	3,55E+02	26		
L.7.1	9,91E+00	2,07E+02	2,71E+00	2,20E+02	5,07E+02	∞		
L.8.1	9,57E+00	8,21E+01	2,45E+00	9,41E+01	3,72E+02	34		

Quadro AXII. 3 - Desempenho económico do edifício em Lisboa

Solução	Necessidades nominais de energia útil para o funcionamento do edifício após a reabilitação:				Desempenho económico do edifício após a reabilitação					Tempo de retorno dos custos energéticos (anos)	
	QH,nd (kWh/m ² .ano)	QC,nd (kWh/m ² .ano)	Totais (kWh/ano)	Custos anuais dos consumos energéticos associados:		Poupança anual inerente à reabilitação (€/ano)	Poupança energética ao fim de 30 anos (€/ano)	Investimento na reabilitação			
				Consumo energético inicial (€/ano)	Consumos energético após a reabilitação (€/ano)			Investimento inicial	Manutenção anual		
Inicial	71,27	0	7127								
L.1.1	38,09	20,47	5856		1 346,88 €	221,06 €	6 631,80 €	3 545,72 €	14,51 €		1
L.1.2	37,88	20,45	5833		1 341,59 €	226,35 €	6 790,50 €	3 325,68 €	14,69 €		1
L.1.3	37,62	20,42	5804		1 334,92 €	233,02 €	6 990,60 €	5 620,69 €	15,16 €		1
L.1.4	38,09	20,47	5856		1 346,88 €	221,06 €	6 631,80 €	3 345,21 €	14,69 €		1
L.1.5	37,88	20,45	5833		1 341,59 €	226,35 €	6 790,50 €	3 674,62 €	14,51 €		1
L.1.6	38,09	20,47	5856		1 346,88 €	221,06 €	6 631,80 €	3 239,19 €	14,51 €		1
L.2.1	38,06	20,47	5853		1 346,19 €	221,75 €	6 652,50 €	1 763,28 €	10,04 €		1
L.2.2	37,91	20,45	5836		1 342,28 €	225,66 €	6 769,80 €	3 455,88 €	13,39 €		1
L.2.3	38,06	20,47	5853		1 346,19 €	221,75 €	6 652,50 €	1 988,34 €	10,42 €		1
L.2.4	37,88	20,45	5833		1 341,59 €	226,35 €	6 790,50 €	1 870,23 €	10,23 €		1
L.2.5	37,64	20,42	5806		1 335,38 €	232,56 €	6 976,80 €	1 830,24 €	10,04 €		1
L.2.6	38,18	20,48	5866		1 349,18 €	218,76 €	6 562,80 €	2 233,86 €	10,97 €		1
L.3.1	38,01	20,46	5847		1 344,81 €	223,13 €	6 693,90 €	1 176,17 €	2,70 €		0,9
L.3.2	37,94	20,45	5839		1 342,97 €	224,97 €	6 749,10 €	3 091,09 €	5,58 €		1
L.3.3	37,60	20,42	5802		1 334,46 €	233,48 €	7 004,40 €	2 098,08 €	4,19 €		0,9
L.3.4	38,23	20,48	5871		1 350,33 €	217,61 €	6 528,30 €	1 178,31 €	2,33 €		0,9
L.4.1	38,21	20,48	5869		1 349,87 €	218,07 €	6 542,10 €	4 697,43 €	37,57 €		1
L.4.2	37,77	20,44	5821		1 338,83 €	229,11 €	6 873,30 €	6 878,28 €	48,17 €		1
L.6.1	39,56	20,61	6017		1 383,91 €	184,03 €	5 520,90 €	11 298,57 €	177,72 €		1
L.6.2	43,37	21,08	6445		1 482,35 €	85,59 €	2 567,70 €	11 635,00 €	177,91 €		1
L.6.3	44,46	21,17	6563		1 509,49 €	58,45 €	1 753,50 €	12 800,52 €	180,79 €		1
L.6.4	43,60	21,10	6470		1 488,10 €	79,84 €	2 395,20 €	11 765,43 €	178,75 €		1
L.6.5	37,80	20,44	5824		1 339,52 €	228,42 €	6 852,60 €	11 339,49 €	177,82 €		1
L.6.6	37,61	20,42	5803		1 334,69 €	233,25 €	6 997,50 €	11 639,88 €	178,47 €		1
L.6.7	38,09	20,47	5856		1 346,88 €	221,06 €	6 631,80 €	14 120,19 €	183,40 €		1
L.7.1	37,80	20,44	5824		1 339,52 €	228,42 €	6 852,60 €	14 837,62 €	66,65 €		1
L.8.1	38,06	20,46	5852		1 345,96 €	221,98 €	6 659,40 €	11 425,70 €	220,97 €		1

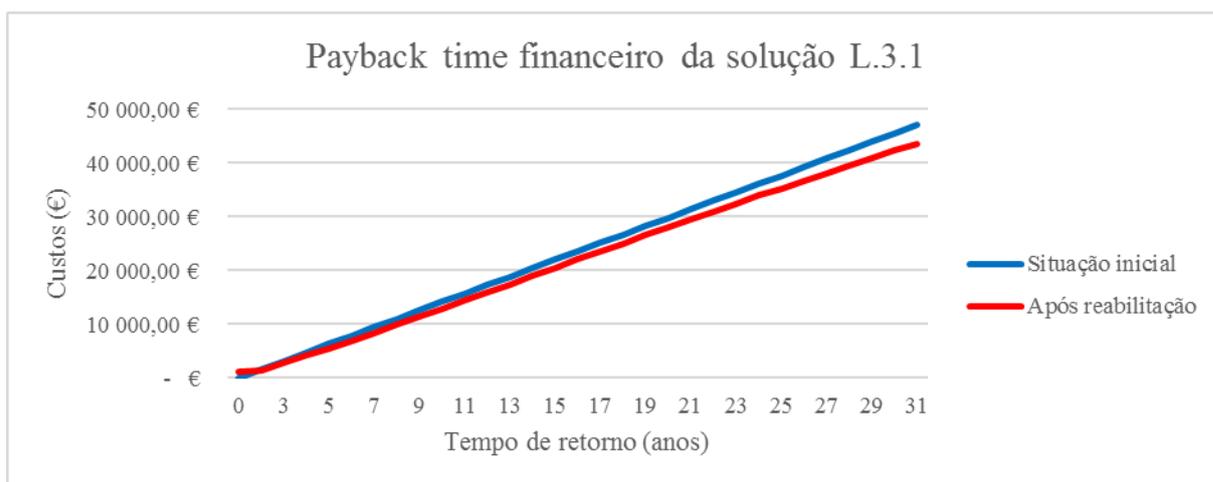


Figura AXII. 1 - Tempo de retorno financeiro para a melhor solução em Lisboa

Quadro AXII. 4 - Relação energia consumida/emissões de carbono a 30 anos

Relação Energia/ Emissões de CO2 a 30 anos		
Solução	Energia consumida (kWh/ano)	Emissões de CO2 (kg CO2 eq)
Inicial	213810,0	3,63E+02
L.1.1	175680,0	3,98E+02
L.1.2	174990,0	3,99E+02
L.1.3	174120,0	4,06E+02
L.1.4	175680,0	3,97E+02
L.1.5	174990,0	4,09E+02
L.1.6	175680,0	1,26E+03
L.2.1	175590,0	5,94E+02
L.2.2	175080,0	5,99E+02
L.2.3	175590,0	5,93E+02
L.2.4	174990,0	6,03E+02
L.2.5	174180,0	5,92E+02
L.2.6	175980,0	5,94E+02
L.3.1	175410,0	3,11E+02
L.3.2	175170,0	3,16E+02
L.3.3	174060,0	3,09E+02
L.3.4	176130,0	3,24E+02
L.4.1	176070,0	3,19E+02
L.4.2	174630,0	3,13E+02
L.5.1	180510,0	1,22E+03
L.5.2	193350,0	3,52E+02
L.5.3	196890,0	3,54E+02
L.5.4	194100,0	1,54E+03
L.6.1	174720,0	3,45E+02
L.6.2	174090,0	3,44E+02
L.6.3	175680,0	3,49E+02
L.6.4	174720,0	3,43E+02
L.6.5	175560,0	3,53E+02
L.6.6	175110,0	3,45E+02
L.6.7	175770,0	3,55E+02
L.7.1	173190,0	5,07E+02
L.8.1	167010,0	3,72E+02

Anexo XIII – Avaliação do desempenho energético, ambiental e económico do edifício no Porto

Quadro AXIII. 1 - Desempenho energético do edifício no Porto

Solução	Desempenho geral do edifício após a reabilitação										Manutenção anual (€/m²)
	Reabilitação		U (W/m².°C)	Aquecimento	Arrefecimento	AQS	GWP (kg CO2 eq)		Investimento inicial da reabilitação (€/m²)		
	Espessura isolamento (m)	Espessura da caixa-de-ar (m)		QH,nd (kWh/m².ano)	QC,nd (kWh/m².ano)	Qw (kWh/m².ano)	Consumo energético	Materiais e transporte			
Inicial	0	-	1,39	123,33	0	18,08	2,07E+01	-	-	-	
P.1.1	0,07	0,02	0,35	67,39	0,00	18,08	1,15E+01	1,01E+02	39,19 €	0,16 €	
P.1.2	0,08	0,01	0,31	66,50	0,00	18,08	1,14E+01	1,03E+02	42,35 €	0,16 €	
P.1.3	0,08	0,01	0,35	67,37	0,00	18,08	1,15E+01	1,07E+02	59,78 €	0,16 €	
P.1.4	0,08	0,01	0,32	66,84	0,00	18,08	1,14E+01	1,00E+02	39,36 €	0,17 €	
P.1.5	0,08	0,01	0,31	66,50	0,00	18,08	1,14E+01	1,17E+02	42,36 €	0,16 €	
P.1.6	0,08	0,01	0,32	66,84	0,00	18,08	1,14E+01	9,96E+01	35,39 €	0,16 €	
P.2.1	0,06	0,03	0,35	67,40	0,00	18,08	1,15E+01	2,95E+02	20,14 €	0,11 €	
P.2.2	0,08	0,03	0,32	66,74	0,00	18,08	1,14E+01	3,01E+02	38,50 €	0,15 €	
P.2.3	0,06	0,03	0,35	67,40	0,00	18,08	1,15E+01	2,94E+02	23,86 €	0,12 €	
P.2.4	0,06	0,03	0,33	67,10	0,00	18,08	1,15E+01	3,06E+02	21,52 €	0,12 €	
P.2.5	0,06	0,03	0,35	67,40	0,00	18,08	1,15E+01	2,93E+02	19,66 €	0,11 €	
P.2.6	0,07	0,03	0,34	67,28	0,00	18,08	1,15E+01	2,95E+02	26,76 €	0,13 €	
P.3.1	0,08	-	0,34	67,32	0,00	18,08	1,15E+01	1,16E+01	13,48 €	0,02 €	
P.3.2	0,10	-	0,32	66,77	0,00	18,08	1,14E+01	1,90E+01	39,85 €	0,05 €	
P.3.3	0,08	-	0,34	67,32	0,00	18,08	1,15E+01	9,86E+00	22,59 €	0,05 €	
P.3.4	0,08	-	0,32	66,91	0,00	18,08	1,14E+01	2,62E+01	15,58 €	0,02 €	
P.4.1	0,08	-	32,00	66,70	0,00	18,08	1,14E+01	1,82E+01	55,28 €	0,44 €	
P.4.2	0,04	-	0,30	66,45	0,00	18,08	1,14E+01	1,41E+01	76,10 €	0,53 €	
P.5.1	0,10	-	0,50	70,62	0,00	18,08	1,20E+01	9,11E+02	D	D	
P.5.2	0,10	-	0,80	76,99	0,00	18,08	1,31E+01	9,49E+01	D	D	
P.5.3	0,10	-	0,88	78,82	0,00	18,08	1,34E+01	1,87E+01	D	D	
P.5.4	0,10	-	0,81	77,38	0,00	18,08	1,32E+01	1,21E+03	D	D	
P.6.1	0,07	0,02	0,33	67,02	0,00	18,08	1,14E+01	4,57E+01	123,74 €	1,94 €	
P.6.2	0,06	0,02	0,34	67,34	0,00	18,08	1,15E+01	4,58E+01	126,71 €	1,94 €	
P.6.3	0,08	0,02	0,33	66,96	0,00	18,08	1,14E+01	5,14E+01	140,04 €	1,97 €	
P.6.4	0,08	0,02	0,30	66,49	0,00	18,08	1,14E+01	4,46E+01	131,47 €	1,96 €	
P.6.5	0,06	0,02	0,34	67,34	0,00	18,08	1,15E+01	5,61E+01	124,43 €	1,94 €	
P.6.6	0,07	0,02	0,34	67,22	0,00	18,08	1,15E+01	4,52E+01	128,32 €	1,95 €	
P.6.7	0,06	0,02	0,35	67,45	0,00	18,08	1,15E+01	5,51E+01	158,76 €	2,01 €	
P.7.1	0,08	-	0,32	66,90	0,00	18,08	1,14E+01	2,08E+02	124,19 €	0,72 €	
P.8.1	0,12+0,06	-	0,18	63,75	0,00	18,08	1,09E+01	8,25E+01	64,25 €	2,42 €	

Legenda:

D - Desprezável por não cumprir os valores mínimos definidos para o valor de U

* Inclui transporte desde a fábrica até à localização do cenário de aplicação por se tratar de um caso especial

Quadro AXIII. 2 - Desempenho ambiental do edifício no Porto

Impactes ambientais associados aos consumos energéticos: GWP (kg CO2 eq)								
Solução	Impactes para os consumos:				Totais após reabilitação (kg CO2 eq)	Impactes a 30 anos associados ao:		Tempo de retorno GWP (anos)
	Energético inicial (kg CO2 eq)	Energético após reabilitação (kg CO2 eq)	Produção dos materiais (kg CO2 eq)	Transporte dos materiais (kg CO2 eq)		Consumo energético inicial (kg CO2 eq)	Consumo energético após reabilitação (kg CO2 eq)	
P.1.1	2,07E+01	1,15E+01	1,01E+02	8,44E-02	1,13E+02	6,21E+02	4,46E+02	11
P.1.2		1,14E+01	1,03E+02	1,30E-01	1,15E+02		4,45E+02	11
P.1.3		1,15E+01	1,07E+02	1,39E-01	1,19E+02		4,52E+02	12
P.1.4		1,14E+01	1,00E+02	1,12E-01	1,12E+02		4,42E+02	11
P.1.5		1,14E+01	1,17E+02	8,49E-02	1,28E+02		4,59E+02	13
P.1.6		1,14E+01	9,95E+01	1,05E-01	1,11E+02		4,42E+02	10
P.2.1		1,15E+01	2,95E+02	2,19E-01	3,07E+02		6,40E+02	64
P.2.2		1,14E+01	3,01E+02	2,74E-01	3,13E+02		6,43E+02	33
P.2.3		1,15E+01	2,94E+02	2,39E-01	3,06E+02		6,39E+02	33
P.2.4		1,15E+01	3,06E+02	2,19E-01	3,18E+02		6,51E+02	33
P.2.5		1,15E+01	2,93E+02	2,34E-01	3,05E+02		6,38E+02	33
P.2.6		1,15E+01	2,95E+02	2,25E-01	3,07E+02		6,40E+02	32
P.3.1		1,15E+01	1,15E+01	1,11E-01	2,31E+01		3,57E+02	1,5
P.3.2		1,14E+01	1,88E+01	1,79E-01	3,04E+01		3,61E+02	3,5
P.3.3		1,15E+01	9,72E+00	1,38E-01	2,14E+01		3,55E+02	0,5
P.3.4		1,14E+01	2,61E+01	1,11E-01	3,76E+01		3,68E+02	2,5
P.4.1		1,14E+01	1,80E+01	2,14E-01	2,96E+01		3,60E+02	2
P.4.2		1,14E+01	1,40E+01	1,47E-01	2,55E+01		3,56E+02	1,5
P.5.1		1,20E+01	9,10E+02	6,39E-01	9,23E+02		1,27E+03	∞
P.5.2		1,31E+01	2,18E+01	7,31E+01	1,08E+02		4,88E+02	3
P.5.3		1,34E+01	1,77E+01	9,52E-01	3,21E+01		4,21E+02	2,5
P.5.4		1,32E+01	1,21E+03	6,84E-01	1,22E+03		1,61E+03	∞
P.6.1		1,14E+01	4,55E+01	2,00E-01	5,71E+01		3,88E+02	5
P.6.2		1,15E+01	4,56E+01	2,33E-01	5,73E+01		3,91E+02	5
P.6.3		1,14E+01	5,11E+01	2,54E-01	6,28E+01		3,93E+02	6
P.6.4		1,14E+01	4,44E+01	2,27E-01	5,60E+01		3,87E+02	5
P.6.5		1,15E+01	5,59E+01	2,00E-01	6,76E+01		4,01E+02	6
P.6.6		1,15E+01	4,50E+01	2,06E-01	5,67E+01		3,90E+02	5
P.6.7	1,15E+01	5,43E+01	7,88E-01	6,66E+01	4,00E+02	6		
P.7.1	1,14E+01	2,07E+02	7,95E-01	2,19E+02	5,50E+02	23		
P.8.1	1,09E+01	8,21E+01	4,08E-01	9,34E+01	4,10E+02	8		

Quadro AXIII. 3 - Desempenho económico do edifício no Porto

Solução	Necessidades nominais de energia útil para o funcionamento do edifício após a reabilitação:				Desempenho económico do edifício após a reabilitação					Tempo de retorno dos custos energéticos (anos)	
	QH.nd (kWh/m ² .ano)	QC.nd (kWh/m ² .ano)	Totais (kWh/ano)	Custos anuais dos consumos energéticos associados:		Poupança anual inerente à reabilitação (€/ano)	Poupança energética ao fim de 30 anos (€/ano)	Investimento na reabilitação			
				Consumo energético inicial (€/ano)	Consumos energético após a reabilitação (€/ano)			Investimento inicial	Manutenção anual		
Inicial	123,33	0	12333								
P.1.1	67,39	0,00	6739		1 549,97 €	1 163,29 €	34 898,70 €	3 644,39 €	14,97 €	0,9	
P.1.2	66,50	0,00	6650		1 529,50 €	1 183,76 €	35 512,80 €	3 938,32 €	15,16 €	0,9	
P.1.3	67,37	0,00	6737		1 549,51 €	1 163,75 €	34 912,50 €	5 559,31 €	15,25 €	0,9	
P.1.4	66,84	0,00	6684		1 537,32 €	1 175,94 €	35 278,20 €	3 660,48 €	15,62 €	0,8	
P.1.5	66,50	0,00	6650		1 529,50 €	1 183,76 €	35 512,80 €	3 939,29 €	15,16 €	0,9	
P.1.6	66,84	0,00	6684		1 537,32 €	1 175,94 €	35 278,20 €	3 290,90 €	14,69 €	0,8	
P.2.1	67,40	0,00	6740		1 550,20 €	1 163,06 €	34 891,80 €	1 873,02 €	10,51 €	0,6	
P.2.2	66,74	0,00	6674		1 535,02 €	1 178,24 €	35 347,20 €	3 580,50 €	13,95 €	0,8	
P.2.3	67,40	0,00	6740		1 550,20 €	1 163,06 €	34 891,80 €	2 218,98 €	11,16 €	0,6	
P.2.4	67,10	0,00	6710		1 543,30 €	1 169,96 €	35 098,80 €	2 001,36 €	10,79 €	0,7	
P.2.5	67,40	0,00	6740		1 550,20 €	1 163,06 €	34 891,80 €	1 828,38 €	10,42 €	0,5	
P.2.6	67,28	0,00	6728		1 547,44 €	1 165,82 €	34 974,60 €	2 488,68 €	11,72 €	0,6	
P.3.1	67,32	0,00	6732		1 548,36 €	1 164,90 €	34 947,00 €	1 253,73 €	2,14 €	0,5	
P.3.2	66,77	0,00	6677		1 535,71 €	1 177,55 €	35 326,50 €	3 706,28 €	4,65 €	0,7	
P.3.3	67,32	0,00	6732	2 713,26 €	1 548,36 €	1 164,90 €	34 947,00 €	2 100,87 €	4,19 €	0,6	
P.3.4	66,91	0,00	6691		1 538,93 €	1 174,33 €	35 229,90 €	1 448,66 €	1,77 €	0,5	
P.4.1	66,70	0,00	6670		1 534,10 €	1 179,16 €	35 374,80 €	5 141,04 €	41,20 €	0,9	
P.4.2	66,45	0,00	6645		1 528,35 €	1 184,91 €	35 547,30 €	7 077,30 €	49,57 €	0,9	
P.6.1	70,62	0,00	7062		1 624,26 €	1 089,00 €	32 670,00 €	11 507,82 €	180,42 €	1	
P.6.2	76,99	0,00	7699		1 770,77 €	942,49 €	28 274,70 €	11 783,80 €	180,51 €	1	
P.6.3	78,82	0,00	7882		1 812,86 €	900,40 €	27 012,00 €	13 023,72 €	183,40 €	1	
P.6.4	77,38	0,00	7738		1 779,74 €	933,52 €	28 005,60 €	12 226,71 €	181,82 €	1	
P.6.5	67,02	0,00	6702		1 541,46 €	1 171,80 €	35 154,00 €	11 571,99 €	180,51 €	1	
P.6.6	67,34	0,00	6734		1 548,82 €	1 164,44 €	34 933,20 €	11 933,76 €	181,26 €	1	
P.6.7	66,96	0,00	6696		1 540,08 €	1 173,18 €	35 195,40 €	14 764,68 €	186,93 €	1	
P.7.1	66,49	0,00	6649		1 529,27 €	1 183,99 €	35 519,70 €	11 549,58 €	67,04 €	0,9	
P.8.1	67,34	0,00	6734		1 548,82 €	1 164,44 €	34 933,20 €	5 975,53 €	224,87 €	0,9	

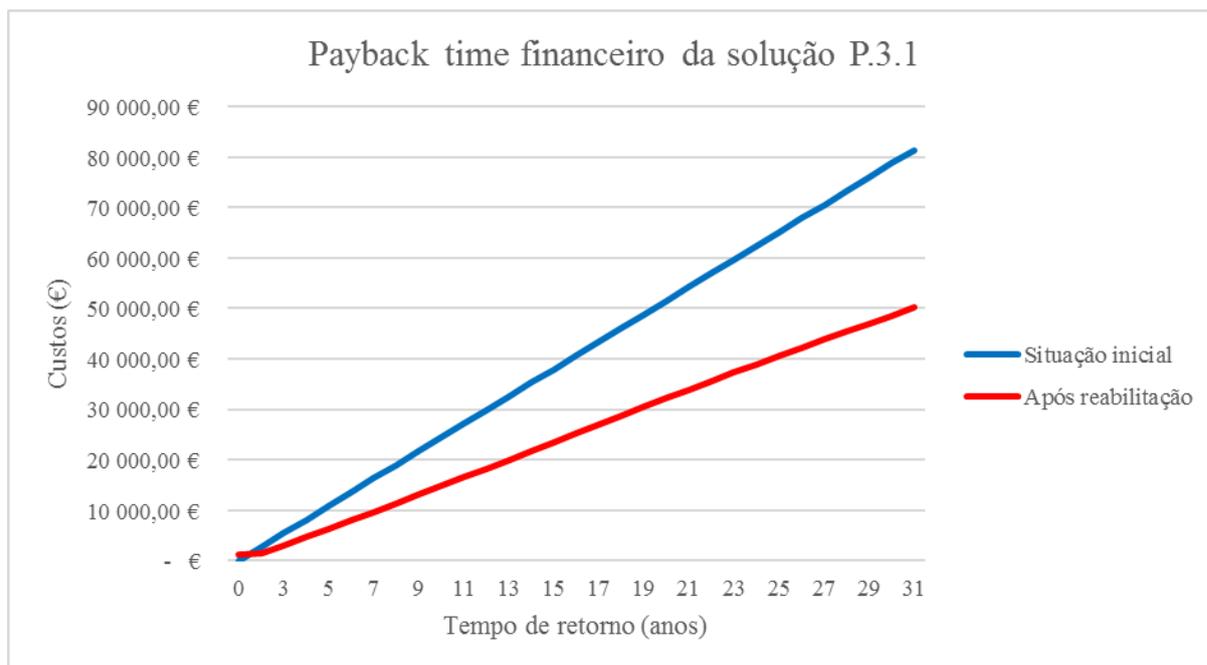


Figura AXIII. 1 - Tempo de retorno financeiro para a melhor solução no Porto

Quadro AXIII. 4 - Relação energia consumida/emissões de carbono a 30 anos

Relação Energia/ Emissões de CO2 a 30 anos		
Solução	Energia consumida (kWh/ano)	Emissões de CO2 (kg CO2 eq)
Inicial	369990,0	6,21E+02
P.1.1	202170,0	4,46E+02
P.1.2	199500,0	4,45E+02
P.1.3	202110,0	4,52E+02
P.1.4	200520,0	4,42E+02
P.1.5	199500,0	4,59E+02
P.1.6	200520,0	4,42E+02
P.2.1	202200,0	6,40E+02
P.2.2	200220,0	6,43E+02
P.2.3	202200,0	6,39E+02
P.2.4	201300,0	6,51E+02
P.2.5	202200,0	6,38E+02
P.2.6	201840,0	6,40E+02
P.3.1	201960,0	3,57E+02
P.3.2	200310,0	3,61E+02
P.3.3	201960,0	3,55E+02
P.3.4	200730,0	3,68E+02
P.4.1	200100,0	3,60E+02
P.4.2	199350,0	3,56E+02
P.5.1	211860,0	1,27E+03
P.5.2	230970,0	4,88E+02
P.5.3	236460,0	4,21E+02
P.5.4	232140,0	1,61E+03
P.6.1	201060,0	3,88E+02
P.6.2	202020,0	3,91E+02
P.6.3	200880,0	3,93E+02
P.6.4	199470,0	3,87E+02
P.6.5	202020,0	4,01E+02
P.6.6	201660,0	3,90E+02
P.6.7	202350,0	4,00E+02
P.7.1	200700,0	5,50E+02
P.8.1	191250,0	4,10E+02

Anexo XIV – Avaliação do desempenho energético, ambiental e económico do edifício em Vila Real

Quadro AXIV. 1 - Desempenho energético do edifício em Vila Real

Solução	Desempenho geral do edifício após a reabilitação										Investimento inicial da reabilitação (m ²)	Manutenção anual (m ²)
	Reabilitação		U (W/m ² .°C)	Aquecimento QH,nd (kWh/m ² .ano)	Arrefecimento QC,nd (kWh/m ² .ano)	AQS Qw (kWh/m ² .ano)	GWP (kg CO2 eq)		Materiais e transporte	Consumo energético		
	Espessura isolamento (m)	Espessura da caixa-de-ar (m)					Consumo energético	Materiais e transporte				
Inicial	0	-	1,39	195,23	0	18,08	3,26E+01	-	-	-	-	-
VR.1.1	0,09	0,035	0,29	109,26	0,00	18,08	1,84E+01	1,53E+02	40,60 €	0,16 €		
VR.1.2	0,08	0,01	0,31	109,60	0,00	18,08	1,85E+01	1,03E+02	36,76 €	0,16 €		
VR.1.3	0,10	0,025	0,30	109,34	0,00	18,08	1,84E+01	1,60E+02	65,87 €	0,17 €		
VR.1.4	0,10	0,025	0,27	108,60	0,00	18,08	1,83E+01	1,51E+02	46,85 €	0,18 €		
VR.1.5	0,10	0,025	0,26	108,13	0,00	18,08	1,82E+01	1,72E+02	44,61 €	0,17 €		
VR.1.6	0,10	0,025	0,27	108,60	0,00	18,08	1,83E+01	1,50E+02	37,57 €	0,17 €		
VR.2.1	0,08	0,03	0,30	109,30	0,00	18,08	1,84E+01	2,96E+02	19,30 €	0,10 €		
VR.2.2	0,10	0,03	0,28	108,71	0,00	18,08	1,83E+01	3,04E+02	49,48 €	0,14 €		
VR.2.3	0,08	0,03	0,30	109,30	0,00	18,08	1,84E+01	2,94E+02	21,02 €	0,11 €		
VR.2.4	0,08	0,03	0,28	108,36	0,00	18,08	1,84E+01	3,11E+02	24,05 €	0,11 €		
VR.2.5	0,08	0,03	0,30	109,30	0,00	18,08	1,84E+01	2,94E+02	19,75 €	0,10 €		
VR.2.6	0,08	0,03	0,30	109,58	0,00	18,08	1,85E+01	2,96E+02	26,88 €	0,12 €		
VR.3.1	0,10	-	0,29	109,22	0,00	18,08	1,84E+01	1,28E+01	15,24 €	0,02 €		
VR.3.2	0,125	-	0,27	108,47	0,00	18,08	1,83E+01	2,24E+01	39,53 €	0,03 €		
VR.3.3	0,10	-	0,29	109,18	0,00	18,08	1,84E+01	1,07E+01	26,69 €	0,05 €		
VR.3.4	0,10	-	0,28	108,68	0,00	18,08	1,83E+01	3,11E+01	18,17 €	0,02 €		
VR.4.1	0,10	-	0,26	108,23	0,00	18,08	1,82E+01	2,09E+01	58,46 €	0,47 €		
VR.4.2	0,05	-	0,26	108,23	0,00	18,08	1,82E+01	1,51E+01	78,24 €	0,55 €		
VR.5.1	0,10	-	0,50	115,85	0,00	18,08	1,95E+01	9,11E+02	D	D		
VR.5.2	0,10	-	0,80	125,50	0,00	18,08	2,11E+01	2,42E+01	D	D		
VR.5.3	0,10	-	0,88	128,26	0,00	18,08	2,16E+01	1,98E+01	D	D		
VR.5.4	0,10	-	0,81	126,09	0,00	18,08	2,12E+01	1,21E+03	D	D		
VR.6.1	0,08	0,02	0,30	109,58	0,00	18,08	1,85E+01	4,63E+01	119,05 €	1,86 €		
VR.6.2	0,08	0,02	0,29	108,12	0,00	18,08	1,84E+01	4,75E+01	123,18 €	1,87 €		
VR.6.3	0,10	0,02	0,29	108,96	0,00	18,08	1,84E+01	5,41E+01	147,94 €	1,89 €		
VR.6.4	0,10	0,02	0,30	109,58	0,00	18,08	1,85E+01	4,47E+01	129,55 €	1,88 €		
VR.6.5	0,08	0,02	0,29	109,12	0,00	18,08	1,84E+01	6,10E+01	124,60 €	1,87 €		
VR.6.6	0,09	0,02	0,29	109,17	0,00	18,08	1,84E+01	4,64E+01	124,29 €	1,87 €		
VR.6.7	0,08	0,02	0,30	109,58	0,00	18,08	1,84E+01	5,98E+01	164,08 €	1,95 €		
VR.7.1	0,10	-	0,28	108,64	0,00	18,08	1,83E+01	2,10E+02	167,66 €	0,85 €		
VR.8.1	0,12+0,06	-	0,18	105,43	0,00	18,08	1,78E+01	8,28E+01	73,35 €	2,34 €		

Legenda:

Desprezível por não cumprir os valores mínimos definidos para o valor de U

Inclui transporte desde a fábrica até à localização do cenário de aplicação por se tratar de um caso especial

D -

*

Quadro AXIV. 2 - Desempenho ambiental do edifício em Vila Real

Impactes ambientais associados aos consumos energéticos: GWP (kg CO2 eq)								
Solução	Impactes para os consumos:				Totais após reabilitação (kg CO2 eq)	Impactes a 30 anos associados ao:		Tempo de retorno GWP (anos)
	Energético inicial (kg CO2 eq)	Energético após reabilitação (kg CO2 eq)	Produção dos materiais (kg CO2 eq)	Transporte dos materiais (kg CO2 eq)		Consumo energético inicial (kg CO2 eq)	Consumo energético após reabilitação (kg CO2 eq)	
VR.1.1	3,26E+01	1,84E+01	1,53E+02	2,07E-01	1,72E+02	9,78E+02	7,05E+02	11
VR.1.2		1,85E+01	1,03E+02	3,37E-01	1,22E+02		6,58E+02	7
VR.1.3		1,84E+01	1,59E+02	5,47E-01	1,78E+02		7,12E+02	11
VR.1.4		1,83E+01	1,51E+02	3,07E-01	1,70E+02		7,00E+02	11
VR.1.5		1,82E+01	1,72E+02	2,07E-01	1,90E+02		7,18E+02	12
VR.1.6		1,83E+01	1,50E+02	2,82E-01	1,69E+02		6,99E+02	10
VR.2.1		1,84E+01	2,96E+02	1,54E-01	3,15E+02		8,48E+02	21
VR.2.2		1,83E+01	3,04E+02	4,95E-01	3,23E+02		8,53E+02	21,5
VR.2.3		1,84E+01	2,94E+02	2,34E-01	3,13E+02		8,46E+02	21
VR.2.4		1,84E+01	3,11E+02	1,54E-01	3,30E+02		8,63E+02	22
VR.2.5		1,84E+01	2,94E+02	2,14E-01	3,13E+02		8,46E+02	21
VR.2.6		1,85E+01	2,96E+02	2,08E-01	3,15E+02		8,51E+02	21
VR.3.1		1,84E+01	1,27E+01	7,87E-02	3,12E+01		5,65E+02	1
VR.3.2		1,83E+01	2,19E+01	5,05E-01	4,07E+01		5,71E+02	2
VR.3.3		1,84E+01	1,05E+01	1,79E-01	2,91E+01		5,63E+02	1
VR.3.4		1,83E+01	3,10E+01	7,88E-02	4,94E+01		5,80E+02	2
VR.4.1		1,82E+01	2,05E+01	3,59E-01	3,91E+01		5,67E+02	1,5
VR.4.2		1,82E+01	1,49E+01	1,58E-01	3,33E+01		5,61E+02	1
VR.5.1		1,95E+01	9,10E+02	1,20E+00	9,31E+02		1,50E+03	∞
VR.5.2		2,11E+01	2,18E+01	2,39E+00	4,53E+01		6,57E+02	2
VR.5.3		2,16E+01	1,77E+01	2,08E+00	4,14E+01		6,68E+02	1,5
VR.5.4		2,12E+01	1,21E+03	1,33E+00	1,23E+03		1,85E+03	∞
VR.6.1		1,85E+01	4,61E+01	2,31E-01	6,48E+01		6,01E+02	3
VR.6.2		1,84E+01	4,71E+01	3,61E-01	6,59E+01		5,99E+02	3,5
VR.6.3		1,84E+01	5,35E+01	5,72E-01	7,25E+01		6,06E+02	4
VR.6.4		1,85E+01	4,44E+01	3,11E-01	6,32E+01		6,00E+02	3
VR.6.5		1,84E+01	6,08E+01	2,31E-01	7,94E+01		6,13E+02	4
VR.6.6		1,84E+01	4,61E+01	2,92E-01	6,48E+01		5,98E+02	3
VR.6.7		1,84E+01	5,86E+01	1,19E+00	7,82E+01		6,12E+02	5
VR.7.1		1,83E+01	2,08E+02	1,75E+00	2,28E+02		7,59E+02	15
VR.8.1		1,78E+01	8,21E+01	7,39E-01	1,01E+02		6,17E+02	5,5

Quadro AXIV. 3 - Desempenho económico do edifício em Vila Real

Solução	Necessidades nominais de energia útil para o funcionamento do edifício após a reabilitação:						Desempenho do edifício após a reabilitação				Tempo de retorno dos custos energéticos (anos)	
	QH,nd (kWh/m ² .ano)	QC,nd (kWh/m ² .ano)	Totais (kWh/ano)	Custos anuais dos consumos energéticos associados:		Poupança anual inerente à reabilitação (€/ano)	Poupança energética ao fim de 30 anos (€/ano)	Investimento na reabilitação				
				Consumo energético inicial (€/ano)	Consumos energéticos após a reabilitação (€/ano)			Investimento inicial	Manutenção anual			
Inicial	195,23	0	19523									
VR.1.1	109,26	0,00	10926		2 512,98 €	1 782,08 €	53 462,40 €	3 775,71 €	15,16 €	0,6		
VR.1.2	109,60	0,00	10960		2 520,80 €	1 774,26 €	53 227,80 €	3 418,68 €	14,69 €	0,7		
VR.1.3	109,34	0,00	10934		2 514,82 €	1 780,24 €	53 407,20 €	6 126,14 €	16,09 €	0,8		
VR.1.4	108,60	0,00	10860		2 497,80 €	1 797,26 €	53 917,80 €	4 357,05 €	17,02 €	0,7		
VR.1.5	108,13	0,00	10813		2 486,99 €	1 808,07 €	54 242,10 €	4 148,73 €	15,35 €	0,7		
VR.1.6	108,60	0,00	10860		2 497,80 €	1 797,26 €	53 917,80 €	3 494,01 €	15,35 €	0,7		
VR.2.1	109,30	0,00	10930		2 513,90 €	1 781,16 €	53 434,80 €	1 794,90 €	9,49 €	0,5		
VR.2.2	108,71	0,00	10871		2 500,33 €	1 794,73 €	53 841,90 €	4 601,87 €	12,65 €	0,7		
VR.2.3	109,30	0,00	10930		2 513,90 €	1 781,16 €	53 434,80 €	1 954,86 €	9,86 €	0,5		
VR.2.4	108,36	0,00	10836		2 492,28 €	1 802,78 €	54 083,40 €	2 236,65 €	10,42 €	0,5		
VR.2.5	109,30	0,00	10930		2 513,90 €	1 781,16 €	53 434,80 €	1 836,52 €	9,30 €	0,5		
VR.2.6	109,58	0,00	10958		2 520,34 €	1 774,72 €	53 241,60 €	2 499,84 €	10,97 €	0,6		
VR.3.1	109,22	0,00	10922		2 512,06 €	1 783,00 €	53 490,00 €	1 417,32 €	2,05 €	0,4		
VR.3.2	108,47	0,00	10847		2 494,81 €	1 800,25 €	54 007,50 €	3 676,52 €	2,79 €	0,7		
VR.3.3	109,18	0,00	10918		2 511,14 €	1 783,92 €	53 517,60 €	2 482,17 €	4,93 €	0,6		
VR.3.4	108,68	0,00	10868		2 499,64 €	1 795,42 €	53 862,60 €	1 689,81 €	1,86 €	0,4		
VR.4.1	108,23	0,00	10823		2 489,29 €	1 805,77 €	54 173,10 €	5 436,78 €	43,62 €	0,8		
VR.4.2	108,23	0,00	10823		2 489,29 €	1 805,77 €	54 173,10 €	7 276,32 €	50,96 €	0,8		
VR.6.1	109,58	0,00	10958		2 520,34 €	1 774,72 €	53 241,60 €	11 071,65 €	173,26 €	0,9		
VR.6.2	108,12	0,00	10812		2 486,76 €	1 808,30 €	54 249,00 €	11 455,51 €	173,54 €	0,9		
VR.6.3	108,96	0,00	10896		2 506,08 €	1 788,98 €	53 669,40 €	13 758,65 €	176,14 €	0,9		
VR.6.4	109,58	0,00	10958		2 520,34 €	1 774,72 €	53 241,60 €	12 048,15 €	175,21 €	0,9		
VR.6.5	109,12	0,00	10912		2 509,76 €	1 785,30 €	53 559,00 €	11 587,80 €	174,28 €	0,9		
VR.6.6	109,17	0,00	10917		2 510,91 €	1 784,15 €	53 524,50 €	11 558,97 €	174,19 €	0,9		
VR.6.7	109,58	0,00	10958		2 520,34 €	1 774,72 €	53 241,60 €	15 259,44 €	181,63 €	0,9		
VR.7.1	108,64	0,00	10864		2 498,72 €	1 796,34 €	53 890,20 €	15 592,75 €	79,42 €	0,9		
VR.8.1	105,43	0,00	10543		2 424,89 €	1 870,17 €	56 105,10 €	6 821,83 €	217,90 €	0,8		

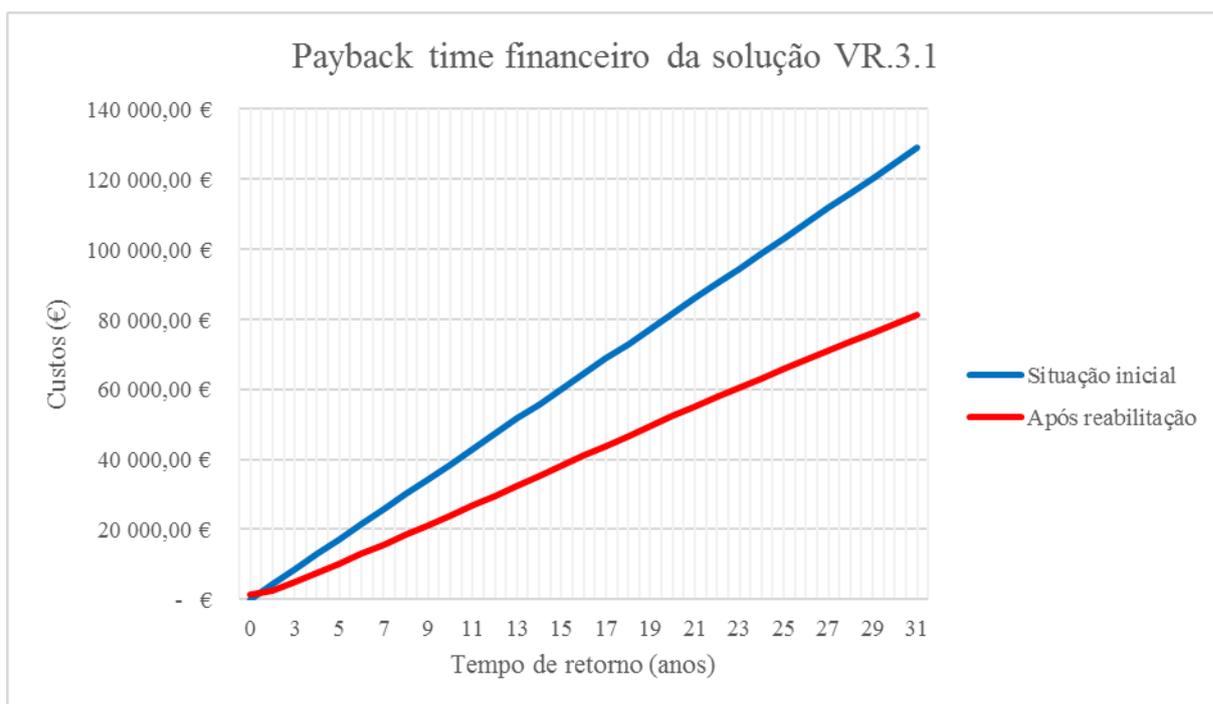


Figura AXIV. 1 - Tempo de retorno financeiro para a melhor solução em Vila Real

Quadro AXIV. 4 - Relação energia consumida/emissões de carbono a 30 anos

Relação Energia/ Emissões de CO2 a 30 anos		
Solução	Energia consumida (kWh/ano)	Emissões de CO2 (kg CO2 eq)
Inicial	585690,0	9,78E+02
VR.1.1	327780,0	7,05E+02
VR.1.2	328800,0	6,58E+02
VR.1.3	328020,0	7,12E+02
VR.1.4	325800,0	7,00E+02
VR.1.5	324390,0	7,18E+02
VR.1.6	325800,0	6,99E+02
VR.2.1	327900,0	8,48E+02
VR.2.2	326130,0	8,53E+02
VR.2.3	327900,0	8,46E+02
VR.2.4	325080,0	8,63E+02
VR.2.5	327900,0	8,46E+02
VR.2.6	328740,0	8,51E+02
VR.3.1	327660,0	5,65E+02
VR.3.2	325410,0	5,71E+02
VR.3.3	327540,0	5,63E+02
VR.3.4	326040,0	5,80E+02
VR.4.1	324690,0	5,67E+02
VR.4.2	324690,0	5,61E+02
VR.5.1	347550,0	1,50E+03
VR.5.2	376500,0	6,57E+02
VR.5.3	384780,0	6,68E+02
VR.5.4	378270,0	1,85E+03
VR.6.1	328740,0	6,01E+02
VR.6.2	324360,0	5,99E+02
VR.6.3	326880,0	6,06E+02
VR.6.4	328740,0	6,00E+02
VR.6.5	327360,0	6,13E+02
VR.6.6	327510,0	5,98E+02
VR.6.7	328740,0	6,12E+02
VR.7.1	325920,0	7,59E+02
VR.8.1	316290,0	6,17E+02

Anexo XV – Guia de boas práticas para a utilização eficiente do isolamento de elevada espessura em aglomerado negro de cortiça

Guia de boas práticas para a utilização eficiente do isolamento de elevada espessura em aglomerado negro de cortiça

Elaborado por:

Cátia Isabel Teixeira de Freitas, nº 65196

Guimarães, Outubro de 2016

Índice

Índice	2
1. Introdução.....	5
2. A evolução das fachadas em Portugal.....	6
3. Sobre o sistema.....	7
4. A cortiça	8
4.1. O que é?	8
4.2. Matérias primas de cortiça	10
4.3. A cortiça como isolante térmico e acústico	11
4.4. O aglomerado negro de cortiça	11
4.5. A componente ecológica do material.....	12
5. Componentes do sistema.....	14
5.1. Aspetos gerais	14
5.2. Suporte	15
5.3. Materiais	15
5.3.1. Produto de colagem	15
5.3.2. Isolamento térmico em aglomerado negro de cortiça.....	16
5.3.3. Armaduras	17
5.3.4. Produto da camada de base.....	17
5.3.5. Primário	18
5.3.6. Revestimento final.....	19
5.3.7. Fixação mecânica do isolamento.....	20
5.3.8. Acessórios.....	21
6. Vantagens da aplicação de sistemas de isolamento térmico de aglomerado negro de cortiça pelo exterior.....	23
7. Preparação dos trabalhos.....	26
7.1. Identificação de pontos singulares	26
7.2. Inspeção e preparação do suporte	27
7.3. Recomendações para a aplicação.....	28
8. Instalação/Aplicação do sistema	29
8.1. Montagem de perfis de arranque e laterais	29
8.2. Preparação e aplicação do produto de colagem	30
8.3. Montagem das placas de isolamento	32

8.4.	Fixação mecânica das placas	33
8.5.	Tratamento de pontos singulares	35
8.6.	Aplicação do revestimento nas placas isolantes	36
8.7.	Aplicação do acabamento final	37
9.	Pormenores Construtivos	39
9.1.	Pormenor 1: Limite inferior do sistema - Arranque com goteira	39
9.2.	Pormenor 2: Limite inferior do sistema – Arranque com contorno de armadura	40
9.3.	Pormenor 3: Limite inferior do sistema- Arranque com continuidade do isolamento enterrado	40
9.4.	Pormenor 4: Limite inferior do sistema – Arranque em zona de varanda ou terraço	41
9.5.	Pormenor 5: Limite lateral do sistema	41
9.6.	Pormenor 6: Limite lateral do sistema em zona de ombreira	42
9.7.	Pormenor 7: Ligação do sistema com os elementos construtivos	42
9.8.	Pormenor 8: Limite superior do sistema – Ligação com peitoril.....	43
9.9.	Pormenor 9: Limite superior do sistema – Ligação com platibandas.....	43
9.10.	Pormenor 10: Limite superior do sistema – Ligação com beiral	44
9.11.	Pormenor 11: Remate do sistema em padieira de estore.....	44
10.	Patologias	45
10.1.	Aspetos gerais	45
10.2.	Como a preparação, aplicação e secagem da cola e do reboco influencia o sistema	45
10.3.	Principais patologias detetadas nos ETICS	46
10.3.1.	Fissuração	46
10.3.2.	Descolagem generalizada e queda do sistema.....	47
10.3.3.	Descolagem parcial do sistema.....	47
10.3.4.	Manchas resultantes do aparecimento de microrganismos.....	47
10.3.5.	Sujidade diferencial/escorrências	48
10.3.6.	Manchas e irregularidades	48
10.3.7.	Destacamento e/ou empolamento do acabamento final	49
10.3.8.	Deterioração do recobrimento das cantoneiras de reforço	50
10.3.9.	Perfuração pontual do sistema.....	50
11.	Manutenção e reparação	51
11.1.	Aspetos gerais	51

11.2.	Manutenção	51
11.2.1.	Limpeza da fachada	51
11.2.2.	Remoção de microrganismos	52
11.3.	Renovação do revestimento de pintura	52
11.4.	Reparação	53

1. Introdução

Com o aumento das exigências da população, relativamente à qualidade dos edifícios e das preocupações ambientais, é necessário que o setor da construção se associe à tendência e tenha capacidade de resposta. Para tal, é preciso acompanhar e compreender as novas tecnologias construtivas, os novos materiais e conseguir retirar o máximo proveito e eficiência da sua utilização e combinação.

Como tal, a constituição das paredes foi evoluindo com os anos como forma de responder a todas as necessidades funcionais que lhes são exigidas por elas. Neste contexto, o sistema ETICS tornou-se uma grande mais valia na melhoria, tanto nos edifícios novos, como nos já existentes, das condições higrotérmicas (melhorando as condições térmicas e reduzindo a probabilidade de condensações), redução das necessidades energéticas para o aquecimento e arrefecimento e, conseqüentemente, redução dos custos com energia.

Pelas suas propriedades naturais, tão próprias e de elevada qualidade, o isolamento térmico em aglomerado negro de cortiça tornou-se uma mais valia quando aplicado nos sistemas ETICS por contribuir significativamente para os mais importantes requisitos de desempenho destes sistemas. O aglomerado de cortiça, por ser um material ecológico e 100% reciclável apresenta reduzido impacte ambiental, uma vez que a sua produção apresenta um reduzido contributo na concentração de gases poluentes na atmosfera.

Ao longo deste guia serão explicitadas as vantagens da aplicação de ETICS com isolamento em aglomerado negro de cortiça, as propriedades da cortiça, a constituição do sistema e a forma e os cuidados a ter na sua aplicação.

2. A evolução das fachadas em Portugal

Com o passar dos anos, o setor da construção foi acompanhando a mudança dos tempos e das necessidades do utilizador, o que implicou uma evolução das técnicas construtivas e dos materiais utilizados, sempre acompanhados por regulamentação adequada e adaptada. Nesta evolução, a constituição das fachadas foi sendo otimizada ao longo das últimas décadas, como se apresenta na Figura 1.

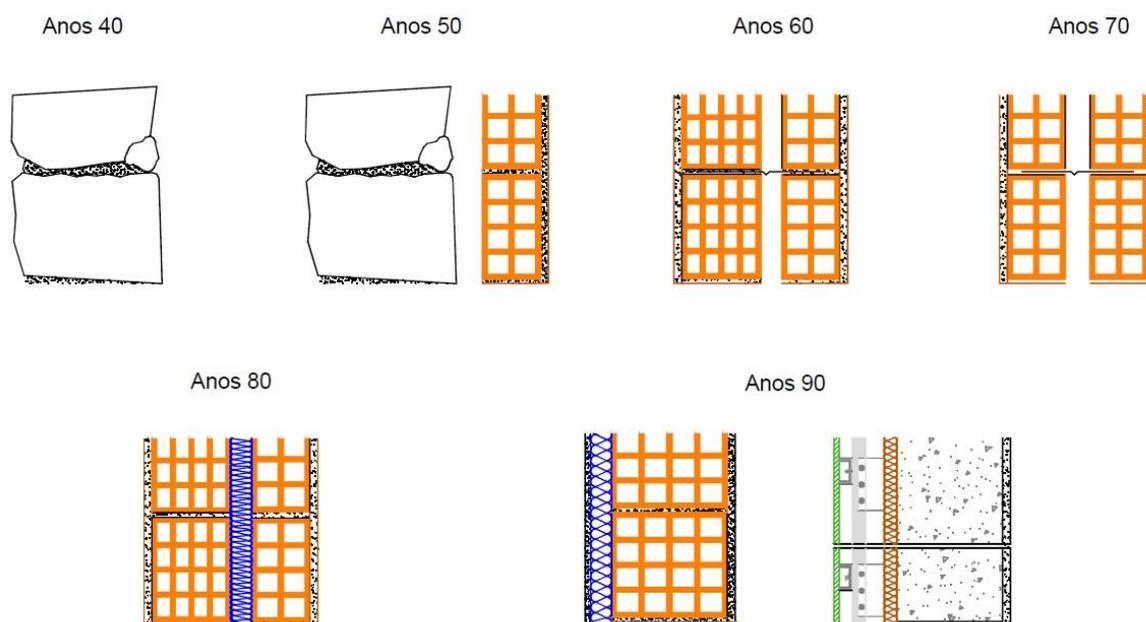


Figura 56 - Evolução das fachadas em Portugal

Até aos anos 40 do século XX, a constituição das paredes de fachada era simples e robusta, consistindo na utilização de apenas um pano de parede de elevada espessura em alvenaria de pedra ou tijolo maciço. Na década de 50 surgem as primeiras paredes com a inclusão do tijolo furado. Nesta altura, o tijolo furado de reduzida espessura era utilizado na construção de paredes duplas em que o pano exterior continuava a ser em alvenaria de pedra.

Com os avanços da tecnologia e com o desenvolvimento de novos sistemas estruturais, nos anos 60 aligeirou-se a solução construtiva para a envolvente opaca vertical exterior, com a colocação de alvenaria de tijolo vazado em ambos os panos, sendo o pano exterior de maior espessura que o interior. Tal foi alterado na década de 70, em que a espessura do pano exterior

foi sendo reduzida até ter a mesma dimensão que o pano interior, o que por vezes levava a espessuras reduzidas de parede.

Apenas na década de 80 se procedeu à integração de isolamento térmico na constituição das paredes exteriores dos edifícios, sendo colocado a preencher total ou parcialmente a caixa de ar existente entre os dois panos.

Em Portugal, foi apenas nos anos 90 que os sistemas de isolamento térmico pelo exterior e interior ganharam expressão, sendo os interiores utilizados geralmente na reabilitação. Os sistemas de isolamento pelo exterior são normalmente aplicados em suportes de betão ou alvenaria com espessura superior a 15cm e a sua fixação pode ser feita através de fixação química (colagem), fixação mecânica ou da utilização simultânea dos dois sistemas de fixação. Com a estagnação do mercado da construção nova e com a crescente preocupação da população portuguesa com a melhoria das condições de conforto térmico, aspeto exterior dos edifícios e redução dos custos de energia relacionados com a climatização, nos últimos anos tem-se verificado um crescente aumento na procura dos sistemas ETICS para reabilitação térmica da envolvente dos edifícios.

3. Sobre o sistema

Desenvolvido por Edwin Horbach, o sistema de reboco delgado armado sobre poliestireno, conhecido atualmente como ETICS (*External Termical Insulation Composite System*), surgiu da necessidade de regulação do ambiente interior dos edifícios sem recurso ao consumo de energia de forma a diminuir o seu consumo. O seu sistema começou a ser aplicado no final dos anos 50. Só no final dos anos 60 é que o sistema chega aos Estados Unidos da América, sendo aceite já no final dos anos 70 devido à crise energética que se instalou. Em Portugal, o sistema ETICS começou a ser implementado no final do século XX, já de forma definitiva (Freitas, 2002a).

Com a possibilidade de ser aplicado tanto em construções novas como existentes (na reabilitação), o sistema ETICS revolucionou o mercado dos isolamentos térmicos uma vez que responde às exigências do consumidor, estando associado à proteção ambiental possibilita uma redução do consumo de energia tanto de aquecimento como de arrefecimento.

O sistema ETICS é caracterizado pela aplicação de isolamento na face exterior da fachada do edifício minimizando assim as trocas de calor entre ambientes. Geralmente a constituição

do sistema passa por uma camada de isolamento térmico aplicada sobre o suporte, revestida por um reboco armado que poderá ser em uma ou mais camadas (Freitas, 2002a).

Entre os sistemas ETICS existem duas formas de fixação do isolamento térmico ao suporte, podendo ser através de cola (incluindo ou não fixações mecânicas complementares) ou fixação mecânica (incluindo ou não colagem complementar) (Freitas, 2002a).

Entre as várias opções de isolamentos térmicos existentes no mercado, geralmente são utilizados neste tipo de sistema as placas de poliestireno expandido (EPS), podendo ser substituídas por placas de poliestireno extrudido (XPS). Atualmente, com as preocupações ambientais e a necessidade de melhoria da eficiência energética dos edifícios, a cortiça, como material vegetal e ecológico, ganhou ênfase no mercado da construção, sendo este o material utilizado para o desenvolvimento deste guia.

4. A cortiça

4.1. O que é?

Proveniente do sobreiro (*Quercus suber* L.), a cortiça é um material com aplicações conhecidas há milhares de anos, perdendo-se as origens da sua utilização no tempo. Localizando-se o habitat natural do sobreiro na zona mediterrânica e no norte de África, foram já encontrados vários vestígios da utilização do material entre os vários países pertencentes à zona de florestação do montado (espaço florestal composto por sobreiros).



Imagem: Rubén Ulloa

Figura 57 - Localização do montado

Um das aplicações dadas à cortiça pelos antigos egípcios, além de usada nos seus barcos, foi a sua transformação em solas para as sandálias, o que foi também aproveitado mais tarde pelos romanos nas palmilhas. Tirando proveito das potencialidades da cortiça, a civilização romana utilizou-a também como revestimento nas habitações, sendo colocada em tetos e telhados.

A cortiça pode ser considerada “um dos mais extraordinários produtos da natureza” (Amorim, n.d.) pelas suas inúmeras vantagens. Por definição, a cortiça trata-se então do parênquima suberoso originado pelo meristema subero-felodérmico do sobreiro, constituindo o revestimento do seu tronco e ramos (Gil, 2012).



Figura 58 – Plantação de sobreiros

Sendo a cortiça conhecida pela sua leveza, uma vez que na sua constituição mais de 50% do seu volume é ar, não é apenas essa característica que torna a sua utilização tão interessante. Entre as suas melhores propriedades estão a elasticidade e compressibilidade, a impermeabilidade a líquidos e gases, a capacidade de isolamento térmico e acústico, o facto de ser um retardador natural do fogo (combustão lenta), possuir elevada resistência ao atrito, ser hipoalergénica e suave ao toque. Todas estas características se devem à constituição das suas células.

4.2. Matérias primas de cortiça

Enquanto matéria-prima, o ciclo de vida da cortiça apenas se inicia após o descortiçamento, que consiste na extração da casca do sobreiro. Este processo ocorre habitualmente no Verão uma vez que a árvore se encontra numa fase mais ativa do crescimento da cortiça, facilitando a sua remoção, e com uma periodicidade mínima legal (em Portugal) de nove anos. Podendo ser executado de forma manual ou mecânica.



Figura 59 - *Equipamento e matéria-prima para o descortiçamento mecânico (antes e após o processo)*

A cortiça obtida do primeiro descortiçamento, a desbóia, é uma cortiça virgem e possui uma superfície bastante irregular, sendo uma das suas poucas aplicações o isolamento já que é triturada para o fabrico de aglomerados.

4.3.A cortiça como isolante térmico e acústico

Devido às suas excelentes propriedades, a cortiça providência um grau de isolamento praticamente incomparável e que ainda não foi possível replicar pela indústria. Na origem de tais propriedades está a composição do material. Na composição química da cortiça é possível encontrar compostos como a suberina, a lenhina, os polissacáridos, os ceroides e os taninos, estando os últimos presentes em menor quantidade e sendo o principal constituinte a suberina.

Como a cortiça é um material poroso, o ar que preenche as suas células faz com que se torne um excelente isolante térmico e acústico.

4.4.O aglomerado negro de cortiça

Aglomerado negro de cortiça trata-se do vulgo para aglomerado puro expandido. O fabrico do aglomerado consiste num processo de aglutinação dos granulados de cortiça virgem, que possui um elevado teor de extrativos, a suberina, e que funcionam como ligante natural. Trata-se assim de um processo industrial 100% natural e sem utilização de aditivos.

O processo de produção dos aglomerados de cortiça é constituído por quatro fases:

- Granulação: onde a cortiça é triturada e a sua granulometria final depende da utilização a dar;
- Limpeza: fase onde são eliminadas as impurezas através de separadores densimétricos e o granulado é armazenado e seco até atingir o teor ideal de humidade;
- Aglomeração: pela colocação dos grânulos em autoclaves e por ação do vapor de água, estes são sobreaquecidos, sofrendo expansão e soltando a sua própria resina (suberina). O tempo de cozedura é dependente do teor de humidade inicial;
- Acabamentos: após a cozedura são obtidos blocos que são cortados em placas de diferentes espessuras, acertando depois as dimensões e esquadria. Finalmente, são embalados e armazenados.



Figura 60 - Processo de fabrico das placas de aglomerado negro de cortiça.

a) Granulação; b) Limpeza; c) Aglomeração; d) Acabamentos

4.5.A componente ecológica do material

Além das inúmeras vantagens da utilização da cortiça na construção, este material e a sua origem, o sobreiro, apresentam variados benefícios para o ambiente e a população em geral uma vez que a cortiça é um material reciclável e reutilizável e com vários aspetos ecológicos ligados a si.

Devido à importância económica do setor da cortiça nos países onde se encontra o seu habitat (zona mediterrânica e norte de África) e ao seu impacto ambiental, o montado é considerado um dos ecossistemas mais importantes do mundo para a biodiversidade uma vez que se torna o meio ideal para espécies raras ou em vias de extinção.

Os montados são característicos de climas quentes e de terra árida, ajudando assim na proteção contra a erosão e consequentemente a desertificação. São também uma excelente barreira contra os incêndios já que a cortiça é um material de combustão lenta, e na regulação do ciclo hidrológico.

O sobreiro tem uma grande capacidade de absorção de dióxido de carbono, que, se não fosse absorvido e fixado, seria libertado para a atmosfera, contribuindo para o efeito de estufa. A capacidade de absorção de gases da espécie é amplificada após o descortiçamento, fixando cinco vezes mais dióxido de carbono em fase de regeneração.

Quando, após transformada e aplicada, a cortiça chega ao final do seu período de utilização (por vezes devido ao final de vida útil do seu suporte) e nos casos em que é possível a recolha integral das placas, estas podem vir a ser reutilizadas com uma aplicação idêntica. Nos casos em que não é possível esse processo (devido a quebra de placas ou contaminação, por exemplo), o material pode ser valorizado através da trituração para obtenção de granulado, possibilitando assim uma nova aplicação em isolamentos térmicos ou como inerte no fabrico de betões ou argamassas leves (Gil, 2007).



Figura 61 - *Regranulado de cortiça*

Na produção de elementos de cortiça para aplicação na construção, é possível incorporar vários resíduos, como, por exemplo, restos de aglomerados, rolhas usadas ou defeituosas, entre outros.

Sendo a cortiça um material natural e ecológico, a produção dos seus aglomerados também não podia deixar de o ser, utilizando-se apenas vapor de água sobreaquecido por geradores de vapor alimentados apenas a cortiça (por exemplo, resíduos da trituração e acabamentos) e dando-se a aglomeração com base nas resinas do próprio material. Com tais vantagens de produção, torna-se assim um material difícil de igualar pelos materiais concorrentes no mercado (Gil, 2007).

5. Componentes do sistema

5.1. Aspectos gerais

A constituição do sistema ETICS mais frequentemente encontrada no mercado utiliza o poliestireno expandido (EPS) como isolante térmico. Apesar da variedade da oferta do setor, nem todos os materiais possuem as propriedades ideais para a sua colocação no exterior, expostos às ações naturais. Sendo, por isso, o EPS uma opção vantajosa em todas as vertentes da aplicação e usufruto do sistema.

Mas será o único? Não! Atualmente, após vários estudos e ensaios, concluiu-se que o aglomerado negro de cortiça é também uma escolha inteligente por parte do utilizador devido às suas excelentes propriedades térmicas e acústicas, pela sua capacidade resistente à exposição aos elementos. Mas principalmente, pela sua vertente ecológica, uma vez que se trata de um produto 100% natural e a sua produção tem um pequeno impacto no ambiente.

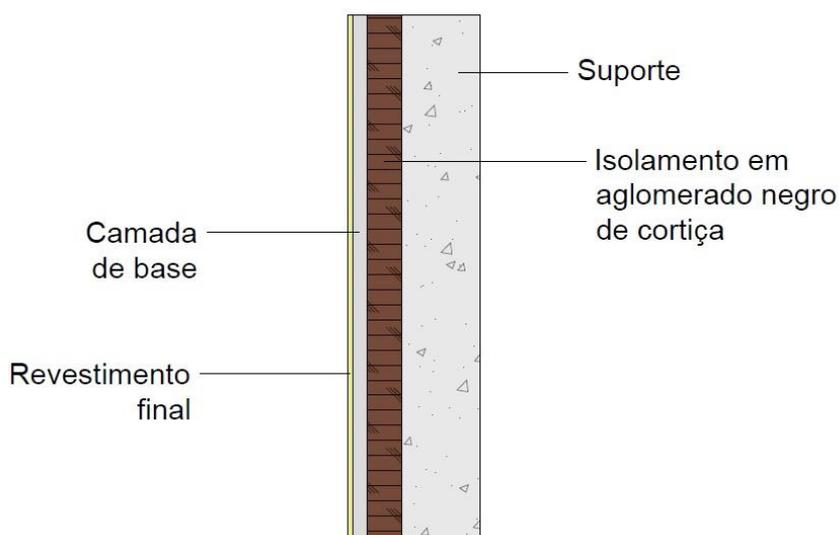


Figura 62 - *Constituição de fachada com aplicação de isolamento em aglomerado negro de cortiça pelo exterior*

5.2.Suporte

A aplicação do sistema ETICS é recomendada para superfícies verticais, planas e exteriores de edifícios, podendo os mesmos ser novos ou existentes e em processo de reabilitação. O sistema poderá também ser aplicado em superfícies horizontais ou até inclinadas, desde que protegidas da chuva.

Os suportes poderão assim ser constituídos por paredes de alvenaria de tijolo, blocos de betão, pedra, betão celular, painéis pré-fabricados de betão, blocos de betão leve com argila expandida, revestidos com cerâmico, reboco, pintura ou revestimentos orgânicos ou minerais. Em qualquer dos casos, o suporte deverá ser devidamente preparado para a aplicação de forma a não prejudicar a aderência.

5.3.Materiais

5.3.1. Produto de colagem

O produto de colagem é um produto baseado em cimento, com cargas selecionadas e agregados e aditivos que lhe conferem boas características de utilização, adesão e resistência. Este produto, é então utilizado para a fixação, por aderência, do material de isolamento térmico ao suporte e para o nivelamento da superfície onde será aplicado. Pelas suas características e pela necessidade de compatibilidade entre materiais, poderá também ser utilizado, numa fase posterior, como camada de base.

Para a execução do procedimento de colagem do isolamento de aglomerado negro de cortiça, é recomendada a utilização do adesivo e regulador em pó, Adesan CPV 22, da marca Viero, mostrando-se este compatível com o material de isolamento, devendo também ser com o suporte.

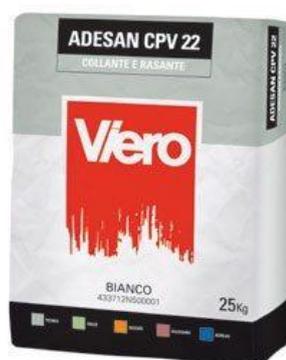


Figura 63 - Adesan CPV 22

Este produto é fornecido em pó, em sacos de 25 quilogramas, sendo necessário para a sua preparação, a mistura de 4 a 5 litros de água por cada saco. Para uma perfeita homogeneização do produto, é recomendável a utilização de um meio mecânico de mistura.

Devido à importância da fase em que se procede à colagem do isolamento térmico, a má execução da colagem é a causa de inúmeras patologias em sistemas ETICS, devendo, portanto, ser seguidas com atenção todas as indicações do fabricante para a produção do ligante e todas as instruções presentes neste guia para uma correta aplicação.

5.3.2. Isolamento térmico em aglomerado negro de cortiça

O principal objetivo da aplicação de isolamento térmico passa pelo aumento da resistência térmica da parede onde se procede à aplicação. Ao ser colocado na face exterior da mesma, a posição do isolamento contribui para o aumento da inércia térmica do edifício, o que resulta em maior conforto térmico e acústico para os utilizadores do mesmo.

Cada vez mais presentes no mercado, é possível encontrar placas de isolamento térmico em aglomerado negro de cortiça com espessuras entre 10 a 300 milímetros e com densidades entre 105 a 125 Kg/m³. As placas são fabricadas com dimensões standard, 1000*500 milímetros, podendo facilmente ser adaptadas às dimensões necessárias.



Figura 64 - Etiqueta das placas de isolamento em aglomerado negro de cortiça

A espessura do isolamento a ser aplicado deve ser selecionada de forma a que o desempenho térmico do edifício satisfaça a regulamentação em vigor e, apesar da elevada variedade de espessuras, não é recomendável a aplicação de espessuras inferiores a 40 milímetros de forma a não comprometer a estabilidade, devido aos esforços no interior do painel.

Este produto possui também uma durabilidade ilimitada sem que haja perda das suas propriedades e uma excelente elasticidade. Quanto a indicadores ecológicos, o aglomerado negro de cortiça apresenta um tempo de atraso, por cada 20 centímetros de isolamento, de 13 horas, uma energia primária muito baixa, pela absorção de carbono contribui para a redução do efeito de estufa e é um produto 100% reciclável.

5.3.3. Armaduras

Geralmente, as armaduras utilizadas consistem em redes de fibra de vidro, tecidas ou termo-coladas, incorporadas na camada de base do sistema e com tratamento de proteção antialcalino de forma a proteger a armadura da agressividade dos cimentos.

Recomenda-se assim a utilização da rede de fibra de vidro da marca Viero, fabricada com fios 100% fibra de vidro, aumentando o seu processo de fabrico a resistência à tração da rede. O tratamento químico a que é sujeita, fornece uma especial resistência às substâncias alcalinas e a altas tensões em ambos os sentidos. Esta malha é fornecida em rolos de 50 metros e possui um peso total de tecido de 160 gr/m².

Podem ser aplicados dois tipos de armadura, a armadura “normal” ou a armadura reforçada. A armadura “normal” é utilizada com o objetivo de melhorar a resistência mecânica do reboco e assegurar a sua continuidade e, no caso de impactos, assegurar uma uniforme distribuição da força de impacto pela malha de forma a reduzir o risco de fissuração do sistema. Já a armadura reforçada é aplicada como reforço da normal e em zonas singulares com necessidade de maior resistência, melhorando assim a resistência do reboco aos choques.

5.3.4. Produto da camada de base

Consistindo num reboco de reduzida espessura (entre 2 a 6 milímetros), a camada de base deve garantir o total recobrimento da armadura, podendo a argamassa a utilizar ser

semelhante ao produto de colagem. Garantindo uma boa aderência ao isolamento, melhora a resistência à fissuração e reforço da resistência aos choques.

Pela necessidade de compatibilidade entre camadas, recomenda-se a utilização na camada de base do mesmo produto utilizado na colagem do sistema, Adesan CPV 22, da marca Viero.

Na aplicação da camada, deve ser garantido o completo recobrimento da armadura. A aplicação das duas camadas exige um intervalo de algumas horas e, quando da aplicação da segunda camada, esta deve ser plana e compacta.

5.3.5. Primário

A aplicação do primário numa fase posterior à da aplicação da camada de base, serve como preparação dessa superfície para receber o acabamento final. Sendo então a função desta camada a regulação da absorção e a melhoria da aderência do acabamento final.

Para aplicação em casos de reabilitação, é aconselhada a utilização da subcapa Prymer SE, da marca Viero, podendo ser aplicado em superfícies internas e externas. Sendo especialmente recomendado para suportes degradados, deteriorados ou absorventes.

Em construção nova, após a secagem da camada de base, é recomendada a aplicação de um regulador de funo, concentrado à base de água, o Prymer ACQ. Este produto, baseado em copolímeros sintéticos em emulsão aquosa, é especialmente formulado para apresentar grande resistência à água. Por se tratar de uma aplicação pelo exterior, onde o elemento se encontra exposto às condições atmosféricas, a aplicação do Prymer ACQ sobre a camada de base, assume elevada importância pela combinação ótima das características de ambos, proporcionando assim uma maior proteção ao sistema.



Figura 65 - Prymer ACQ

Após a aplicação e secagem do Prymer ACQ, recomenda-se a aplicação de um revestimento plástico contínuo, pigmentado, de alta qualidade, o Visoplast RSTF, da marca Viero. Este produto, é baseado em copolímeros acrílicos em solução aquosa, farinhas e areias de quartzo, granulados de mármore calibrados e selecionados, pigmentos de alta qualidade e aditivos que lhe conferem uma película ótima. Tornando este produto resistente aos ataques microbiológicos. Com um aspeto rústico fino, o Visoplast RSTF, pode ser aplicado sobre reboco ou como acabamento do sistema ETICS.



Figura 66 - Acabamento acrílico Visoplast RSTF

5.3.6. Revestimento final

Para aplicação sobre o primário, o acabamento final é um revestimento que se aplica com a finalidade de proteger o sistema contra agentes naturais e assegurar o aspeto decorativo da fachada, sem nunca ser posta em causa a permeabilidade ao vapor de água.

Para uma maior proteção do sistema, é aconselhada a aplicação de um primário opacificante para exterior, o Vieroquartz, da Viero. Tratando-se de um produto baseado em copolímeros sintéticos em emulsão aquosa, com pigmentos de alta qualidade. Este produto possui uma excelente resistência à alcalinidade, o que o torna o mais indicado para aplicação sobre o Visolplast RSTF. Pelas suas características opacificantes, promove a opacidade do acabamento, melhorando com isso a qualidade do acabamento final.



Figura 67 - Vieroquartz

Como acabamento final, de forma a garantir a boa apresentação e beleza da fachada do edifício, poderá ser aplicado sobre o Visoplast RSTF, um esmalte alquídico como o KH Topcoat (1K), da marca multimix.

5.3.7. Fixação mecânica do isolamento

A fixação mecânica do isolamento térmico é, normalmente, recomendada quando na presença de edifícios em reabilitação. Esta recomendação deve-se ao facto desta fixação possuir menos exigências em relação ao suporte, pois, por vezes devido a diferenças na sua capacidade de carga, não é possível garantir uma boa aderência ao longo de toda a superfície, o que faz com que a fixação mecânica seja o único método praticável com garantia de estabilidade.

Quando aplicada a fixação por colagem, também são aplicadas fixações mecânicas como complemento do método, servindo para fixar temporariamente (até à secagem) assim como para, em caso de descolagem das placas, evitar a sua queda.

Quando o método selecionado para a fixação das placas de isolamento térmico é a fixação mecânica, antes do início dos trabalhos, o suporte deve ser alvo de limpeza e remoção de eflorescências, destaques de pintura e reposição de partes soltas.

As fixações utilizadas, geralmente, são compostas por buchas plásticas de cabeça circular e por um prego ou parafuso metálico que se encontra no seu interior.



Figura 68 - Buchas para a fixação mecânica dos painéis (Fonte: Pintaracasa.com)

Devido às solicitações a que a fachada se encontra sujeita, devem ser pensadas soluções de forma a responder às exigências impostas ao seu desempenho, sendo a variação de temperatura o requisito alvo de maior atenção, pelos efeitos que provoca no sistema. No caso em que os painéis se encontram apenas colados, existe a possibilidade de, por falta de juntas de dilatação, a cola não acompanhar os movimentos do sistema provocados pelos esforços, e provocando deformações ou destacamento das placas. De forma a evitar tal situação, poderão ser colocadas ancoragens adicionais na zona de junção das placas e no centro das mesmas, reduzindo assim o risco de destacamento.

5.3.8. Acessórios

Para reforço de pontos singulares, ligações com elementos construtivos e garantia da continuidade do sistema, são aplicados nos ETICS componentes que proporcionam o cumprimento dessas necessidades, assegurando o bom funcionamento do sistema.

No reforço das arestas do sistema poderão ser utilizados perfis em alumínio, aço inoxidável, fibra de vidro, PVC ou até alumínio com armaduras de fibra de vidro.

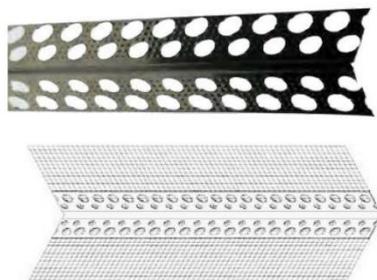


Figura 69 - Cantoneiras de reforço

Para a ligação com elementos estruturais, os perfis metálicos a ser utilizados poderão ser em alumínio ou aço inoxidável (perfis de arranque), alumínio pré-lacado ou anodizado, ou ainda de zinco. Não se recomendando a utilização de perfis em aço galvanizado.



Figura 70 - Colocação do perfil de arranque

De forma a preencher as juntas, assegurando assim a estanquidade à água do sistema, os componentes dos produtos devem ser quimicamente compatíveis com o aglomerado negro de cortiça e homologados. Geralmente, são utilizados mástiques elastómeros ou plásticos de primeira categoria (silicone, poliuretano, acrílicos, etc.) e cordões de espuma impregnada pré-comprimida. Nas juntas de dilatação estruturais os perfis a ser aplicados serão perfis cobre-juntas.

6. Vantagens da aplicação de sistemas de isolamento térmico de aglomerado negro de cortiça pelo exterior

1) Redução das pontes térmicas e diminuição do risco de condensações interiores

A aplicação do sistema ETICS exerce grande influência na resolução deste problema, uma vez que ao permitir a continuidade do isolamento térmico contribui para a diminuição das pontes térmicas criadas pelas descontinuidades do mesmo ao longo da fachada dos edifícios. Com a diminuição das pontes térmicas, beneficia-se também de uma diminuição, se não resolução, da problemática das condensações, evitando a deterioração dos paramentos interiores e a formação de bolores.

Ao reduzir as pontes térmicas a estrutura do edifício passará também a ganhar maior estabilidade, pois os materiais utilizados na construção estarão sujeitos a menores amplitudes térmicas.

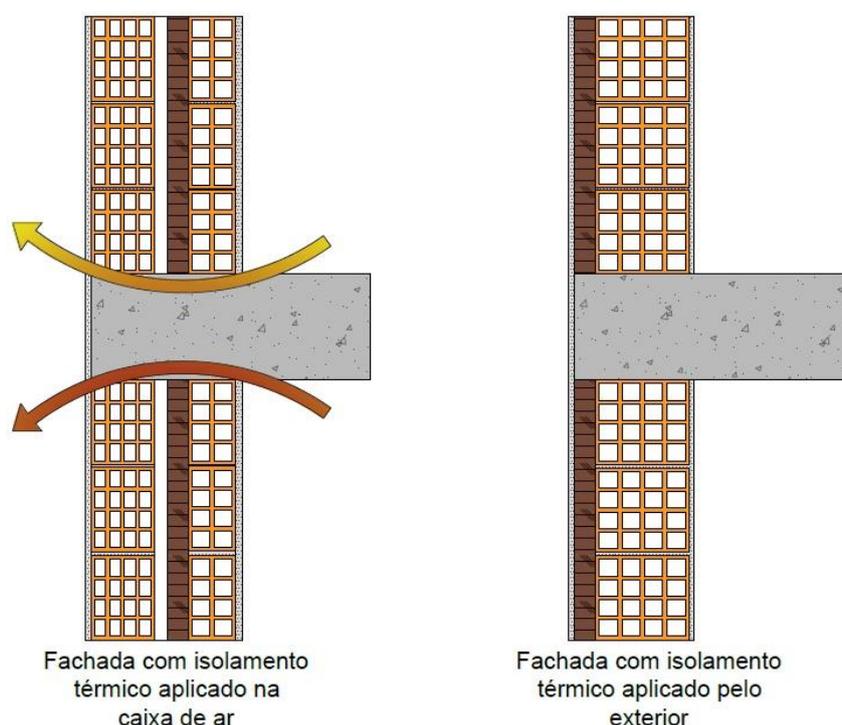


Figura 71 - Comparação das pontes térmicas entre duas constituições de fachada

2) Diminuição da espessura das paredes exteriores

Ao colocar o isolamento na face exterior da parede, está-se a contribuir para a diminuição da espessura das paredes exteriores uma vez que a parede simples isolada exteriormente

substitui a parede dupla com caixa de ar total ou parcialmente preenchida com isolamento. Economicamente, este tipo de solução é também mais vantajoso pois apesar das semelhanças de custo, oferece um aumento da área habitável e todos os benefícios da utilização do sistema ETICS.

Com a redução da espessura das paredes, conseqüentemente, diminuirá também o peso das mesmas o que leva a uma redução das cargas permanentes atuantes na estrutura.

3) Diminuição do gradiente de temperaturas a que são sujeitas as camadas interiores das paredes

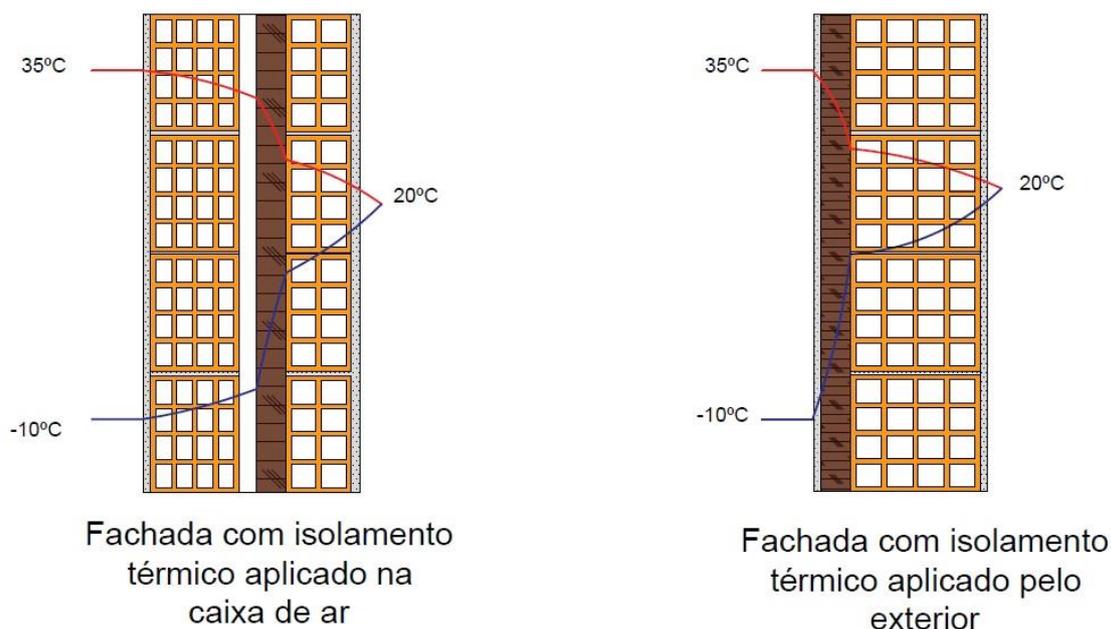


Figura 72 - Comparação do gradiente de temperaturas entre duas constituições de fachada

4) Proteção de alvenarias e elementos estruturais

Com a colocação do sistema, as alvenarias e os elementos estruturais são protegidos das ações higrotérmicas que provocam a sua degradação. Há assim um aumento da durabilidade do paramento.

5) Melhoria do conforto térmico no inverno e no verão

Uma vez que o isolamento é colocado na face exterior da parede de fachada, dá-se um aumento da inércia térmica do edifício devido a todos os constituintes da parede se encontrarem pelo interior da camada de isolamento térmico. Com isto, passa a haver uma

melhoria no conforto térmico de inverno (aumento dos ganhos solares úteis) e de verão (previne a entrada de calor através das fachadas).

6) Economia de energia e respeito pelo meio ambiente

Sendo utilizado na construção um isolamento térmico eficiente, torna-se possível poupar energia uma vez que serão reduzidas as necessidades energéticas para o aquecimento e o arrefecimento das habitações, aumentando também o conforto dos utilizadores. Com a poupança de energia preserva-se o ambiente através da diminuição da emissão de gases poluentes e da pegada ecológica provocada pelo uso de equipamentos.

7) Reabilitação sem desalojamento

Tratando-se o ETICS de um sistema de isolamento pelo exterior, em caso de reabilitações, acresce a vantagem de poder ser aplicado sem necessidade de recurso ao interior do edifício, o que permite aos habitantes a manutenção das suas rotinas, sem necessidade de realojamento.

8) Renovação estética

Como a colocação do sistema é feita na face exterior da parede, tal permite a renovação do aspeto do edifício já que podem ser aplicados vários tipos de acabamentos finais e o aspeto renovado é obtido através de revestimentos acrílicos, pinturas (texturadas ou não) ou por colagem de revestimentos ligeiros.

9) Reparação de defeitos

Este sistema é também uma solução bastante eficaz para a resolução de algumas anomalias em rebocos ou revestimentos, como fissuras, manchas, irregularidades, etc.

10) Eficácia por tempo indeterminado

Quando utilizado aglomerado negro de cortiça como isolamento no sistema ETICS, devido às características do material isolante, este garante uma eficácia do sistema por tempo indeterminado uma vez que também possui uma elevada durabilidade sem que haja perda das características existentes aquando da sua colocação.

11) Produto natural mais saudável

Sendo a cortiça um material natural e ecológico, esses fatores levam a que este material isolante seja o produto natural mais saudável, para o utilizador, presente no mercado.

12) Facilidade de colocação em obra

Por apenas existirem duas formas de colocação (colagem ou fixação mecânica) e este procedimento apenas ser executado por mão de obra especializada, a aplicação do sistema ETICS torna-se bastante simples.

13) Excelente desempenho termo-acústico do sistema

Utilizando aglomerado negro de cortiça na constituição do ETICS, esta empresta as suas propriedades ao sistema, melhorando assim a sua performance e permitindo um excelente desempenho térmico e acústico.

7. Preparação dos trabalhos

Quando é tomada a decisão da utilização de um sistema ETICS como isolante do edifício, previamente devem ser garantidas algumas condições cruciais de forma a que a durabilidade e desempenho do sistema não sejam comprometidas. A seleção do sistema deve então ser baseada em aspetos como o suporte a utilizar, a zona climática, a exposição da fachada, o tipo de acabamento que se pretende e a regulamentação de incêndio em vigor (Freitas, 2002a).

Analisando-se seguidamente como se procede à preparação dos trabalhos antes do início da obra.

7.1. Identificação de pontos singulares

Na fase anterior à de início da colocação do ETICS, mas posterior à de identificação dos aspetos de seleção apresentados acima, é importante efetuar um exame detalhado da fachada de forma a identificar as singularidades existentes. Apresentando-se a título de exemplo (Freitas, 2002a):

- Área de fachada a revestir, tendo em consideração a sua acessibilidade;

- Características do suporte;
- Dimensão e forma dos vãos e peitoris;
- Características dos dispositivos de oclusão e forma de fixação;
- Localização e forma de fixação das tubagens da rede de drenagem de águas pluviais;
- Grelhas de ventilação;
- Terraços e varandas;
- Juntas de dilatação;
- Instalação elétrica;
- Tipo de cobertura e configuração do seu contorno;
- Identificação de todos os outros elementos a fixar nas fachadas.

7.2. Inspeção e preparação do suporte

Para ser possível iniciar os trabalhos, é necessária uma avaliação do suporte onde será aplicado o sistema, a fachada. Como tal, as propriedades requeridas ao suporte variam conforme o seu tempo de vida.

No caso de edifícios novos (Freitas, 2002a):

- A superfície deverá encontrar-se isenta de poeiras;
- O suporte deve estar seco;
- É de especial relevância respeitar o período de secagem mínimo para suportes de betão e alvenaria, 45 e 30 dias, respetivamente;
- Quando em suporte de betão, caso o produto descofrante seja incompatível com a cola, devem ser realizados ensaios de aderência e, quando em presença de resultados insatisfatórios, deverá proceder-se à decapagem da superfície;
- Em casos em que exista a necessidade de regularizar a superfície, deverá ser usado um reboco compatível com o produto de colagem;
- No caso de suportes em betão celular, recomenda-se a realização de ensaios de aderência.



Figura 73 - Preparação do suporte em edifício novo

Já quando se pretende a colocação em edifícios existentes (Freitas, 2002a):

- Garantir a estabilidade do suporte;
- Garantir o tratamento das fissuras existentes;
- No caso de suportes de betão com zonas que apresentem degradação por corrosão das armaduras, estes devem ser reparados com produtos compatíveis com a cola;
- Em paredes de alvenaria ou betão com reboco de ligantes hidráulicos nos quais tenha sido aplicado um produto hidrófugo de impregnação, estas devem ser lavadas com vapor ou jato de água;
- De forma a garantir a aderência da superfície, esta deve ser inspecionada;
- Todas as pinturas ou revestimentos orgânicos existentes devem ser removidos por decapagem;
- É possível a aplicação do sistema sobre revestimentos cerâmicos, mas apenas quando apresentem a aderência recomendada e se encontrem fixos;
- No final da preparação do suporte, deverá proceder-se sempre à execução de ensaios de aderência.

7.3.Recomendações para a aplicação

Durante todo o processo inerente à colocação do sistema ETICS, a temperatura ambiente é um fator de elevada importância pois os materiais não devem ser expostos a temperaturas inferiores aos 5° C.

Sendo a competência do sistema também afetada por outros fatores ambientais como condições atmosféricas adversas (chuva, neve, vento, etc.), temperaturas superiores a 30° e a exposição direta à radiação solar.

Deverá ser alvo de especial atenção a proteção conferida à zona superior do sistema de forma a evitar a infiltração de água entre o suporte e o isolamento térmico.

Quando em intervenções de reabilitação, os tubos de queda existentes no exterior deverão ser removidos e deve ser garantida a evacuação das águas pluviais durante a realização dos trabalhos.

8. Instalação/Aplicação do sistema

8.1. Montagem de perfis de arranque e laterais

Terminada a preparação do suporte e a colocação em obra dos materiais e equipamento necessários para a execução do sistema, é possível iniciar o processo através da colocação dos perfis de arranque.

Os perfis de arranque são adaptados à espessura das placas de isolamento térmico e são colocados horizontalmente no limite inferior da superfície a revestir, de forma a limitar o sistema. A sua fixação ao suporte poderá ser efetuada com parafusos em aço inoxidável, buchas e, eventualmente, cunhas no caso de existirem irregularidades. Normalmente comercializados com um comprimento de 2.5 metros, o espaçamento máximo entre fixações deverá ser de 30 centímetros, existindo um parafuso de fixação a não mais de 5 centímetros de cada extremidade. Entre perfis deverão ser previstas juntas de 2 a 3 milímetros de forma a permitir a sua dilatação e no caso de suportes irregulares, inicialmente os perfis devem ser colocados sobre cola, impedindo assim a ventilação do espaço entre o isolamento e o suporte.

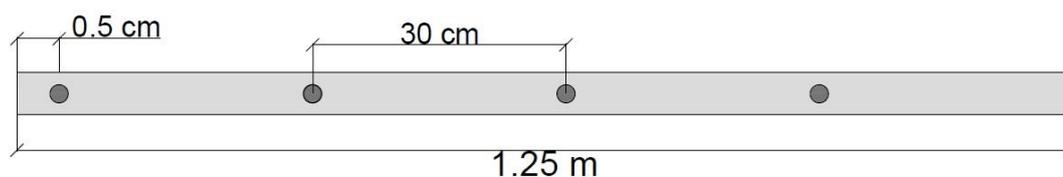


Figura 74 - Esquema do espaçamento entre as fixações do perfil de arranque

Caso o arranque do sistema se dê acima do nível do solo, o perfil deverá ser posicionado, no mínimo, 5 centímetros acima da cota mais elevada prevista para o terreno, de forma a impedir a degradação do perfil por contacto com solo. Assim, a área inferior deverá ser impermeabilizada, até, no mínimo, 20 centímetros acima do perfil de arranque, impedindo a penetração das águas do terreno na parede (Secil Argamassas, n.d.).

No caso de se pretender enterrar o arranque do sistema, a utilização dos perfis é dispensada e a área inferior deverá ser impermeabilizada, no mínimo, até 20 centímetros acima do nível do solo.

A fixação dos perfis laterais é executada da mesma forma que os perfis de arranque.

8.2.Preparação e aplicação do produto de colagem

Pela sua importância na execução e funcionamento do sistema e pelas suas especificidades, a preparação do produto de colagem não deve ser descuidada. Devem por isso ser seguidas todas as indicações e dosagens definidas pelo fabricante.

Para a preparação do adesivo Adesan Cpv 22, devem ser misturados 4 a 5 litros de água por cada saco de 25 quilogramas de produto. Recomendando-se a utilização de um meio mecânico para efetuar a mistura, de forma a obter uma argamassa homogénea e sem grumos. Após terminada a preparação do produto, este deve aguardar cerca de 3 minutos até ao início da aplicação. A argamassa deverá ser utilizada apenas durante a hora seguinte.

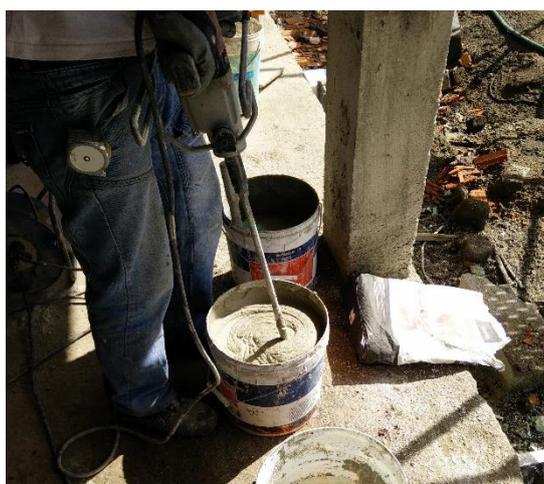


Figura 75 - Preparação do produto de colagem

A cola deve ser aplicada sobre a placa de isolamento, exceto no caso de ter sido realizada uma decapagem do suporte durante a sua preparação.

A distribuição da cola pelas placas poderá ser efetuada de três modos:

1. Colagem contínua com talocha dentada: a cola é colocada sobre toda a superfície da placa com recurso a uma talocha dentada (9 a 10 milímetros), devendo deixar livre uma faixa de 2 centímetros ao longo do contorno da placa, de forma a que a cola não preencha as juntas entre placas.
2. Colagem parcial por pontos: a aplicação da cola é feita através de pontos regulares de dimensões semelhantes ao longo da superfície da placa, com uma razão de 16 pontos por cada 1 m². Considerando uma placa com as dimensões 1 por 0.5 metros, deverão ser aplicados entre 8 a 10 pontos de cola. Mais uma vez a cola não deve preencher as juntas entre as placas.
3. Colagem parcial por bandas: a colocação da cola é feita através de uma banda de espessura regular, 4 a 8 centímetros, em todo o contorno da placa e a pelo menos 2 centímetros dos bordos, sendo colocadas também duas faixas cruzadas no centro da mesma. As bandas colocadas não deverão ser contínuas, de forma a evitar o efeito de ventosa aquando da fixação da placa ao suporte.

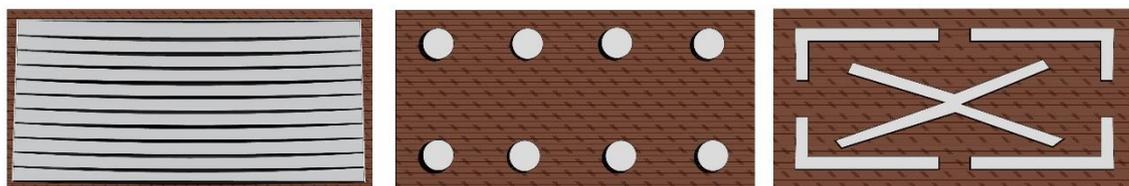


Figura 76 - Esquemas de aplicação do produto de colagem nas placas de isolamento

Quando na presença de suportes regulares, a distribuição do produto de colagem deverá ser contínua. No entanto, em suportes com irregularidades a distribuição deverá ser por pontos ou bandas, de forma a garantir uma distribuição uniforme do produto.

A cola não deverá ser utilizada para o preenchimento das juntas entre placas.

No caso de aplicação em fachadas de grande altura, deverão ser aplicadas cantoneiras horizontais de 5 em 5 metros de forma a assegurar a estabilidade do isolamento até à secagem do ligante.

8.3. Montagem das placas de isolamento

A montagem das placas de isolamento deve ser iniciada no perfil de arranque, garantindo assim o nivelamento horizontal do sistema, e colocando a fiada seguinte apoiada na anterior. A aplicação é feita de baixo para cima, de topo a topo das placas.

As juntas do sistema devem ser desencontradas, tanto entre as próprias placas como entre as placas da primeira fiada e o perfil de arranque. Nos cantos, os topos das placas também deverão ser alternados de forma a melhorar o travamento do sistema.

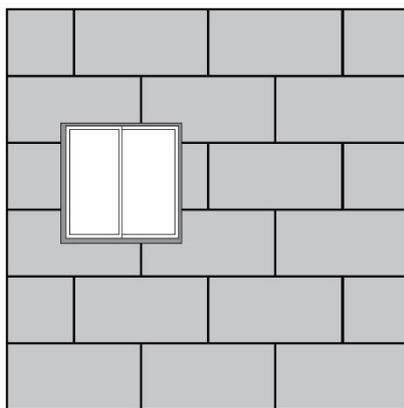


Figura 77 - *Esquema de colocação das placas de isolamento para a correta posição das juntas*

Estando a preparação do produto de colagem terminada e executada conforme as indicações do fabricante, é possível proceder à aplicação da cola nas placas de isolamento em aglomerado negro de cortiça, de forma a iniciar a colagem do sistema e assim, garantir o seu bom funcionamento.



Figura 78 - *Aplicação do produto de colagem*

A colocação das placas deve ser feita logo após a distribuição da cola pela superfície da mesma, sendo aplicada contra o suporte e comprimida, esmagando o ligante e ajustando os contornos e planimetria superficial com as placas adjacentes, não permitindo assim folgas ou desalinhamentos. Este processo deve ser auxiliado por uma talocha de madeira ou um martelo de borracha e nunca as mãos.

A verificação da verticalidade e o ajustamento de cada placa em relação às adjacentes deve ser permanente e assistido por uma régua de 2 metros e um nível de bolha de ar.



Figura 79 - *Verificação do nivelamento do sistema através de um nível de bolha de ar*

Na zona dos cantos envolventes do vão, a montagem das placas deve evitar que as juntas correspondam ao alinhamento das arestas do vão, realizando uma forma em “L” enlaçando o canto. Assim, a tendência para a formação de fissuras a partir dos cantos é diminuída.

Nas zonas de ligação do sistema com caixilharias, peitoris ou outras saliências da fachada, deverá existir uma folga de 5 milímetros para aplicação do mástique.

8.4. Fixação mecânica das placas

Apesar da colagem, quando bem feita, conferir ao sistema o suporte necessário, poderá ser necessário o reforço do suporte das placas de forma a garantir a sua correta fixação e posição final.

Em todos os casos, a fixação mecânica deverá ser executada conforme as indicações do fabricante e, uma vez que cada caso é único, as fixações deverão ser aplicadas e definidas conforme as necessidades do projeto.

Geralmente são utilizadas nas fixações buchas em plástico de cabeça circular, com, pelo menos, 50 milímetros de diâmetro, e um prego ou parafuso metálico no seu interior.

Aquando da aplicação das fixações, o ligante não deverá estar completamente seco para, caso necessário, permitir o ajustamento das placas. Quando colocadas, as cabeças circulares deverão ser pressionadas contra a placa de forma a não criar saliências no seu plano. As saliências criadas por este processo deverão ser preenchidas pelo produto a utilizar na camada de base.



Figura 80 - Sequência de aplicação da fixação mecânica

A quantidade de fixações a aplicar deve variar conforme a exposição da fachada ao vento e junto às esquinas.

Quando em reabilitações, a utilização de fixações mecânicas torna-se de elevada importância devido à possível falta de adesão do ligante ao suporte e da facilidade de aplicação em relação aos trabalhos preparatórios para a colagem.

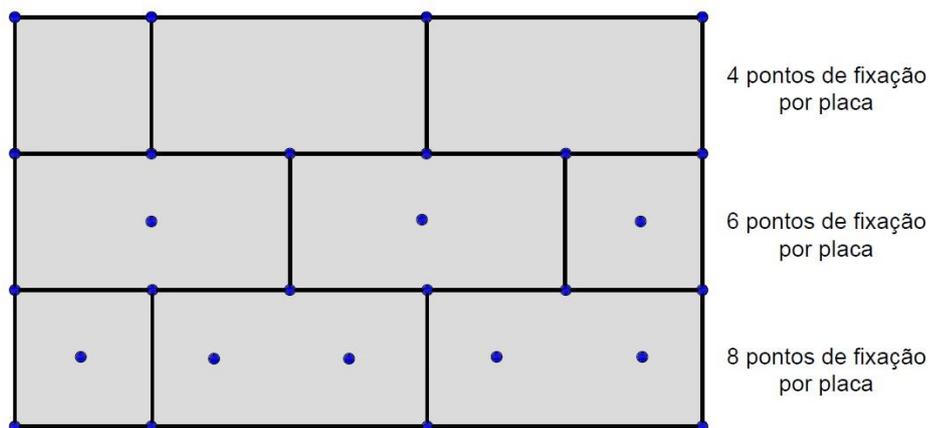


Figura 81 - Esquema da posição de colocação das fixações mecânicas

8.5. Tratamento de pontos singulares

Nas zonas de aberturas de vãos, deverá ser aplicado um reforço adicional em armadura reforçada de fibra de vidro, colando retângulos de rede posicionados a 45° em relação ao contorno do vão. Sobrepondo-se a este reforço um outro em que deverá também ser aplicada armadura de fibra de vidro nas arestas formadas pelo vão de forma a dobrar para o interior do mesmo, até alcançar a caixilharia. Este reforço deverá também ser aplicado nos ângulos formados pelo paramento. A sua colagem deve ser feita através de uma argamassa com características semelhantes à camada de base.

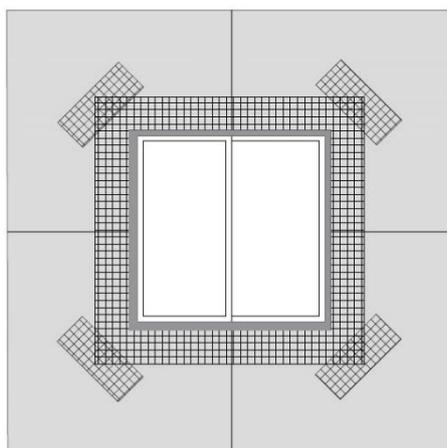


Figura 82 - Representação da aplicação do reforço em aberturas de vão

As juntas entre cantoneiras não deverão coincidir com as juntas formadas pelas placas de isolamento.



Figura 83 - *Reforço dos cantos formados pelas placas com cantoneiras e armadura*

8.6. Aplicação do revestimento nas placas isolantes

A aplicação da camada de base deverá ser realizada logo após a secagem da cola de fixação do isolamento térmico ao suporte (cerca de 48 horas). Pretende-se com isto proteger a superfície das placas da deterioração por exposição ambiental.

A constituição da camada de base deverá variar conforme a exposição do paramento a choques, podendo ser utilizadas uma ou duas armaduras normais, ou ainda, uma armadura normal e uma armadura reforçada.

Nas zonas de pontos singulares, deverá ser aplicada armadura normal com armadura reforçada.

A aplicação da argamassa preparada com Adesan Cpv 22 deve ser feita, diretamente sobre as placas de isolamento, com recurso a uma talocha de inox dentada (6 milímetros). Com a argamassa ainda fresca, deve ser estendida verticalmente a rede de fibra de vidro, sendo esta depois pressionada com uma talocha de inox lisa, de forma a ser embebida pela argamassa e até se obter uma superfície plana.

A espessura total desta camada, reboco delgado armado, deverá encontrar-se entre os 2.5 e os 4 milímetros de espessura.



Figura 84 - Sequência de aplicação da camada de base

8.7. Aplicação do acabamento final

Após terminada a secagem da camada de base, entre 24 e 48 horas, deve ser aplicado o primário Prymer ACQ. Este produto incolor, pode ser aplicado através de trincha ou rolo, possuindo um tempo de secagem de 2 a 4 horas.

Terminada a secagem do primário Prymer Acq, pode então ser aplicado o revestimento contínuo Visolplast RSTF. Este produto deve ser espalhado com uma talocha de inox e é necessária apenas 1 demão. A espessura da camada, não deverá ser superior à espessura dos grãos presentes no produto (em média 1.2 milímetros). Pode também ser aplicado por projeção, sendo aconselhada a utilização de uma pistola de “baixa pressão” ou de “taça aberta”.



Figura 85 - Aplicação do Visolplast RSTF

Uma vez que o tempo de secagem do Visolplast RSTF varia conforme as condições do ambiente em que se encontra, podendo ir de 8 horas a 24 horas, apenas quando terminada a sua secagem é possível aplicar o primário Vieroquartz, com recurso a rolo, trincha ou pistola. É necessária apenas a aplicação de 1 demão deste produto, sendo o seu tempo de secagem de 2 a 4 horas.



Figura 86 - Aplicação do Vieroquartz

Após a secagem do primário Vieroquartz, é então finalmente possível a aplicação do acabamento final. Este acabamento, será então o KH Topcoat (1K), que pode ser aplicado com métodos de pressão (pistola) ou com trincha ou rolo, sendo a sua secagem rápida.



Figura 87 - *Aspetto final da habitação com ETICS em aglomerado negro de cortiça*

9. Pormenores Construtivos

9.1. Pormenor 1: Limite inferior do sistema - Arranque com goteira

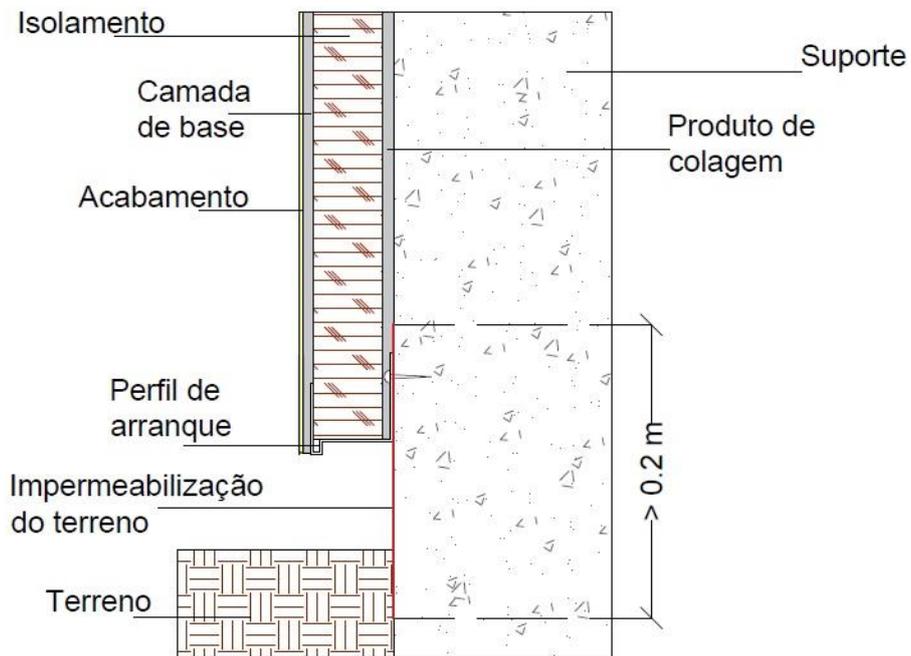


Figura 88 - *Pormenor 1*

9.2.Pormenor 2: Limite inferior do sistema – Arranque com contorno de armadura

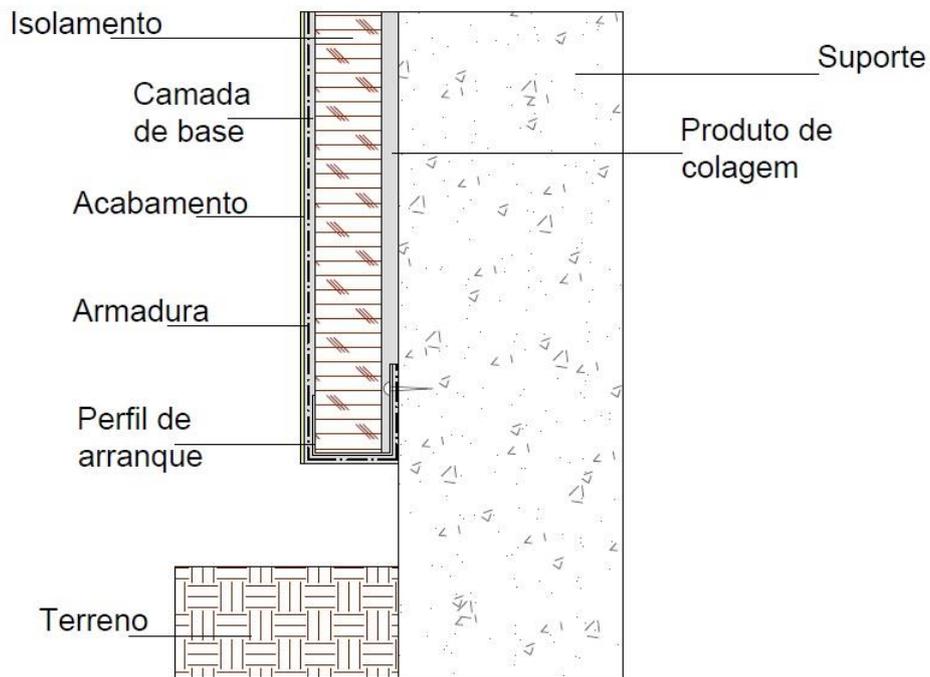


Figura 89 - Pormenor 2

9.3.Pormenor 3: Limite inferior do sistema- Arranque com continuidade do isolamento enterrado

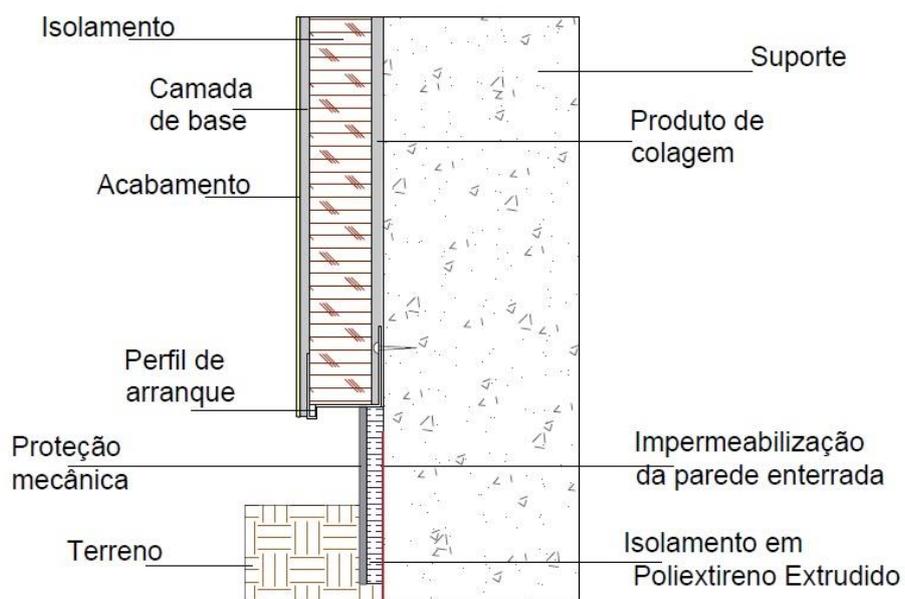


Figura 90 - Pormenor 3

9.4.Pormenor 4: Limite inferior do sistema – Arranque em zona de varanda ou terraço

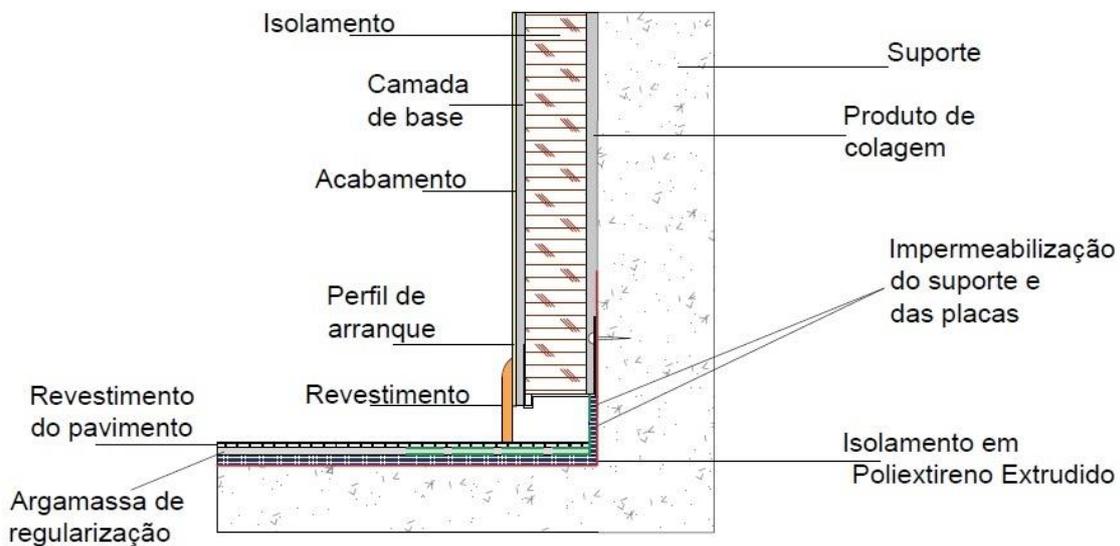


Figura 91 - Pormenor 4

9.5.Pormenor 5: Limite lateral do sistema

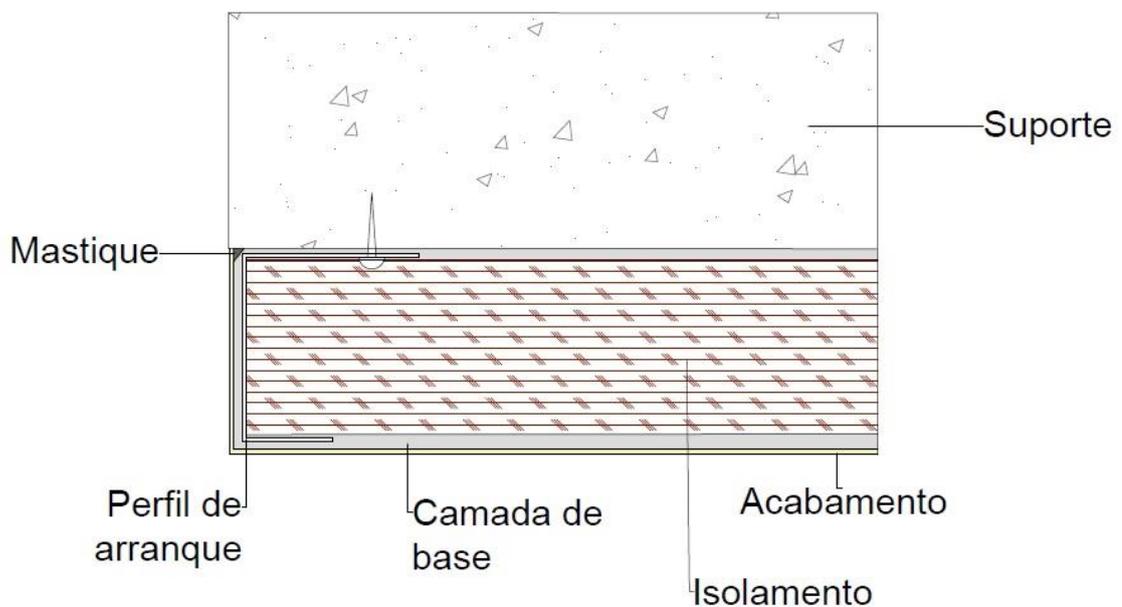


Figura 92 - Pormenor 5

9.6.Pormenor 6: Limite lateral do sistema em zona de ombreira

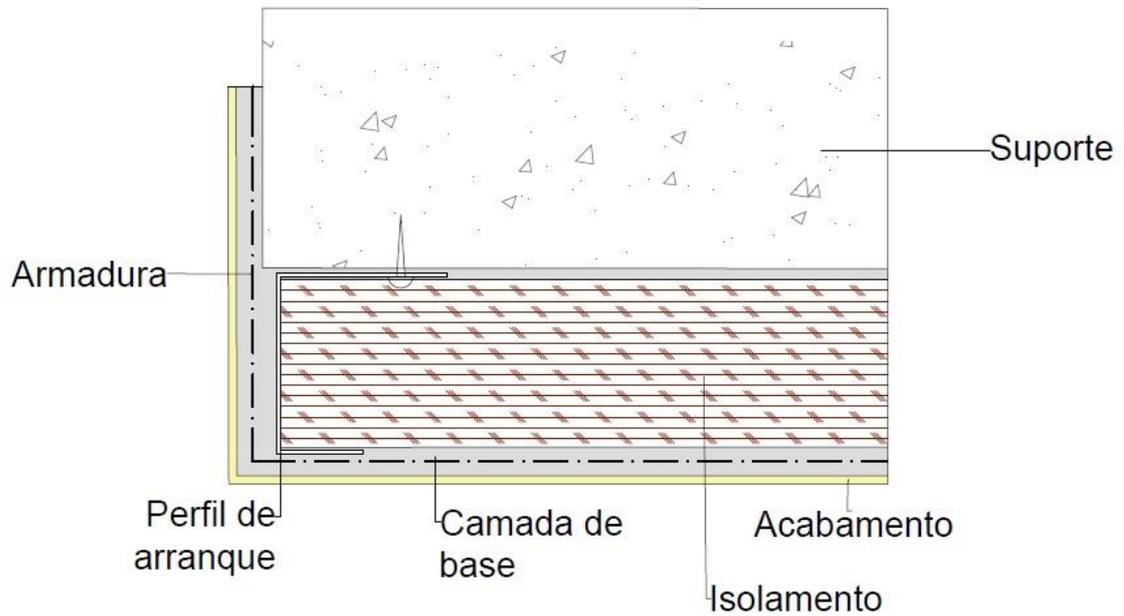


Figura 93 - Pormenor 6

9.7.Pormenor 7: Ligação do sistema com os elementos construtivos

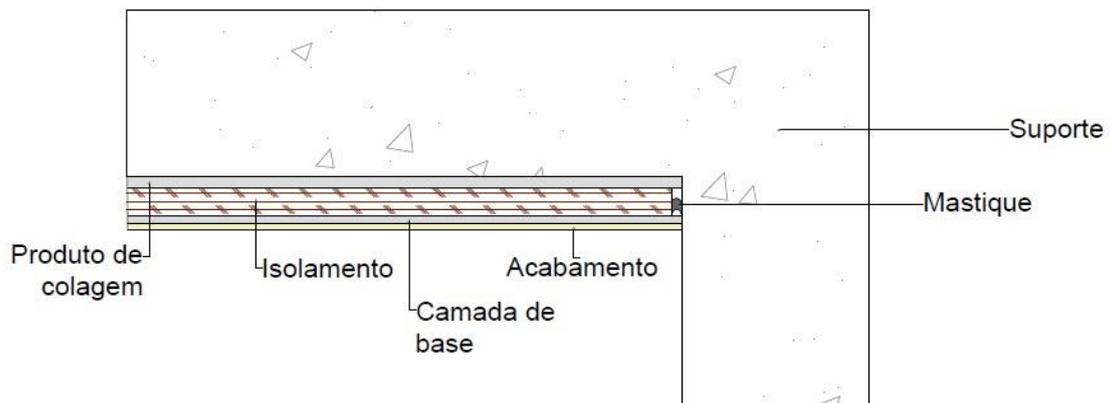


Figura 94 - Pormenor 7

9.8.Pormenor 8: Limite superior do sistema – Ligação com peitoril

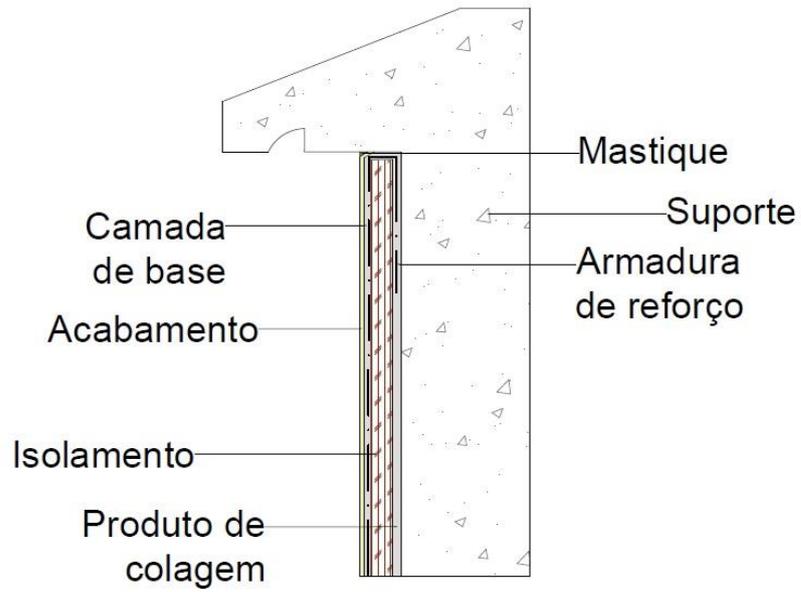


Figura 95 - Pormenor 8

9.9.Pormenor 9: Limite superior do sistema – Ligação com platibandas

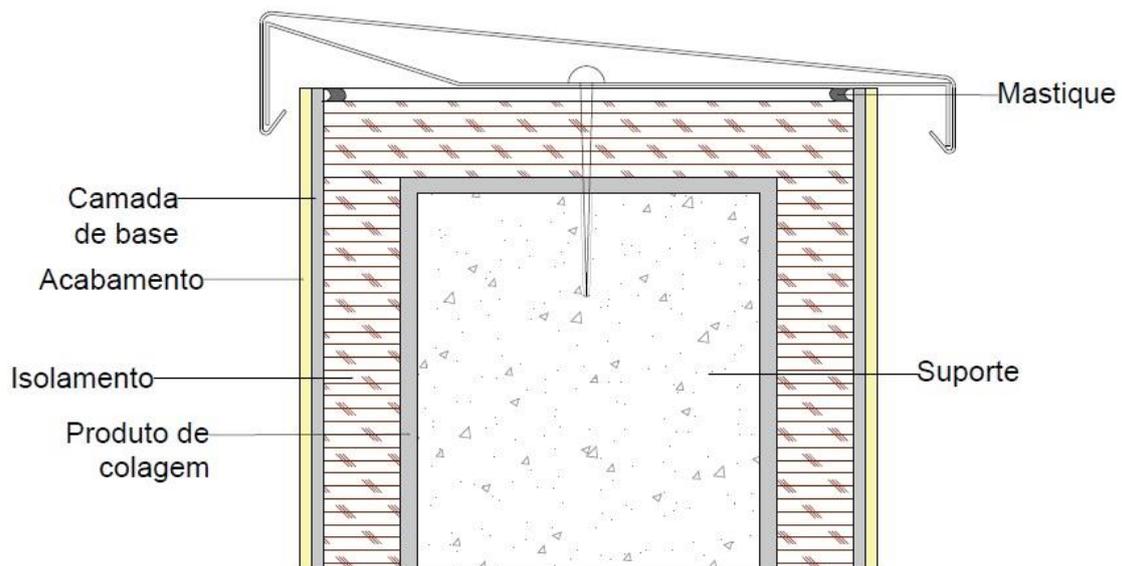


Figura 96 - Pormenor 9

9.10. Pormenor 10: Limite superior do sistema – Ligação com beiral

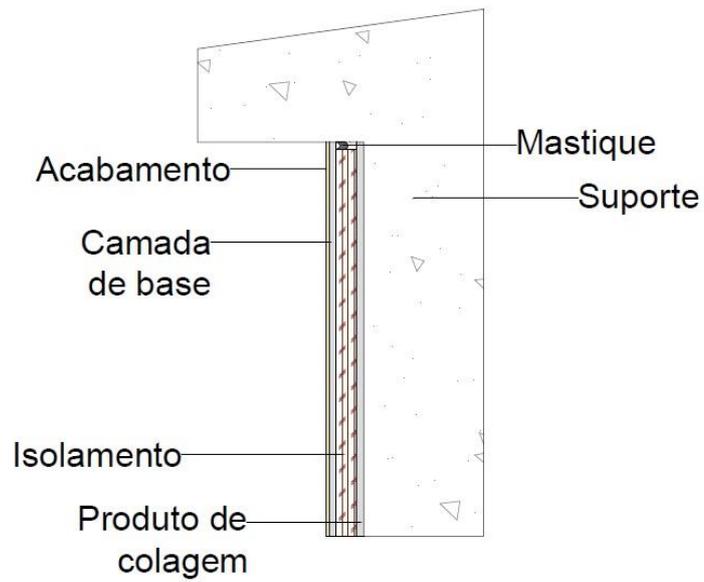


Figura 97 - Pormenor 10

9.11. Pormenor 11: Remate do sistema em padieira de estore

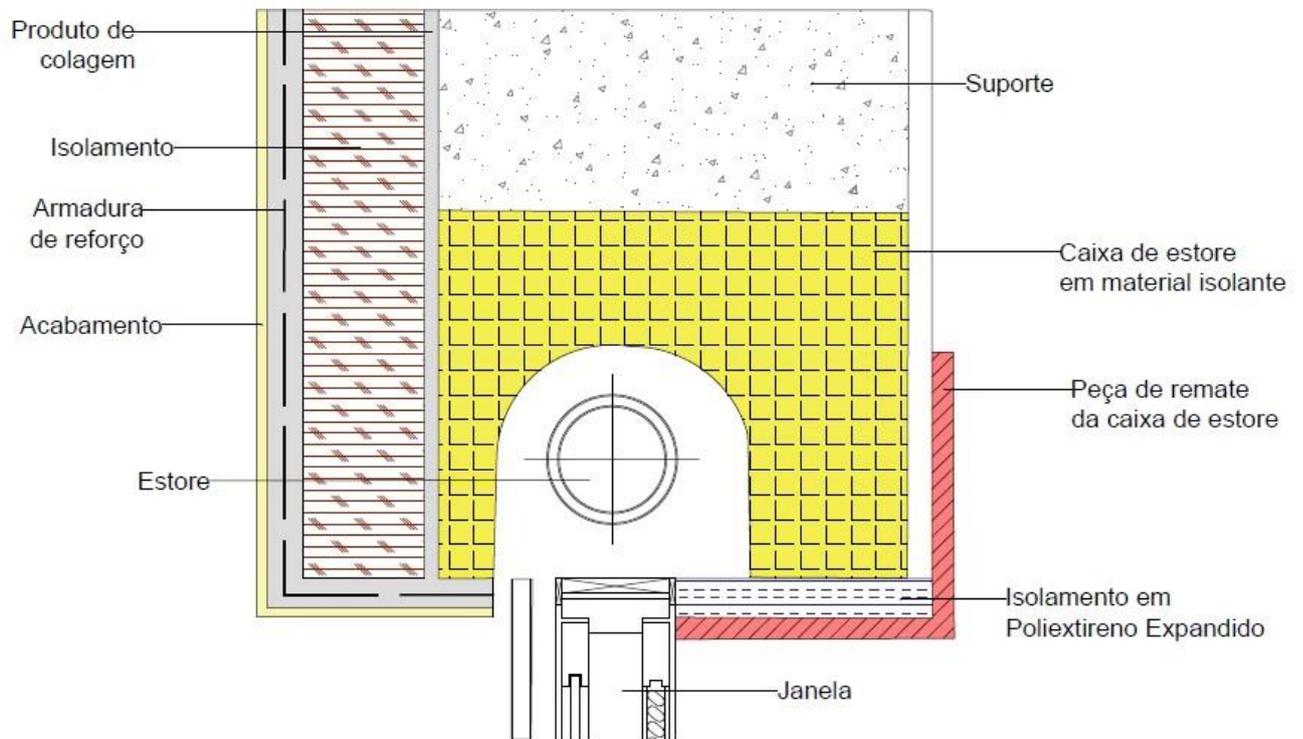


Figura 98 - Pormenor 11

10. Patologias

10.1. Aspectos gerais

Apesar de ser relativamente recente no mercado, os sistemas ETICS já provaram ser uma excelente opção tanto para aplicação em edifícios recentes, como em edifícios mais antigos, por apresentar uma resposta eficiente à regulamentação em vigor no nosso país, tendo já conquistado a sua posição no mercado da construção.

Devido às exigências técnicas da sua aplicação, esta apenas deverá ser efetuada por técnicos especializados de forma a evitar as consequências provenientes de uma má colocação. Não sendo apenas a má execução dos trabalhos a causadora de anomalias, o ambiente a que se encontrará exposto também possui grande influência no aparecimento das mesmas.

Ao longo deste capítulo serão abordadas as principais patologias detetadas nos sistemas ETICS e o que poderá ser a causa do seu aparecimento e como a execução em obra de alguns dos trabalhos preparatórios dos constituintes do sistema poderá afetar o seu desempenho e o aparecimento de determinadas anomalias.

10.2. Como a preparação, aplicação e secagem da cola e do reboco influencia o sistema

Alguns dos constituintes do sistema ETICS são preparados em obra, o que poderá afetar as suas características e comportamento devido ao modo de preparação e às condições atmosféricas durante a sua aplicação e secagem (Freitas, 2002a).

Pelas suas características e necessidades específicas de preparação, as colas e os rebocos, quando preparados em obra estão sujeitos a que haja perda das suas propriedades por desrespeito das dosagens indicadas pelo fabricante, a falta de homogeneização das misturas ou a adição de água quando não há necessidade de o fazer. Mas também na sua aplicação pode haver essas perdas, pois no caso de ser executada a temperaturas muito baixas, a cola e o reboco podem perder a sua capacidade de aderência e coesão. Já quando aplicados e sujeitos a temperaturas altas ou ventos secos, a perda ou alteração das características poderá ser devida à rápida evaporação da água (Freitas, 2002a).

10.3. Principais patologias detetadas nos ETICS

10.3.1. Fissuração

Geralmente, é possível identificar fissuras horizontais em vãos e perfis de arranque e fissuras verticais em panos livres e também em perfis de arranque.

O surgimento desta anomalia poderá estar relacionado com erros na execução do sistema, como: a má aplicação do reboco entre as placas de isolamento; a má fixação do isolamento térmico ao suporte, que provoca instabilidade no sistema; movimentações; a ausência de armadura em pontos singulares; o incorreto posicionamento da armadura e/ou inexistência dos reforços necessários; a espessura reduzida ou excessiva da camada de base; a existência de juntas não preenchidas entre placas com abertura superior a 2mm; a ausência de juntas na ligação do sistema a elementos construtivos; a utilização de materiais de revestimento em mau estado de conservação; a ocorrência de condições atmosféricas desfavoráveis durante a execução, associadas a uma incorreta preparação e aplicação da cola e revestimento; a instabilidade do sistema devido à sua dessolidarização do suporte; a existência de acabamentos com cores escuras em locais com radiação solar elevada; a existência de acabamentos com cores escuras e cores claras no mesmo pano de fachada, originando choques térmicos; a incorreta aplicação dos perfis de arranque; a expansão térmica dos materiais do sistema; a retração das argamassas utilizadas; a insuficiente espessura da camada de base para envolver a armadura. Além de influenciar e prejudicar a estética do edifício, esta patologia compromete a impermeabilização, o correto funcionamento e durabilidade do sistema (Freitas, 2002a; Neto, 2012).



Figura 99 – Fissuração (Amaro, Saraiva, de Brito, & Flores-Colen, 2012)

10.3.2. Descolagem generalizada e queda do sistema

Antes da aplicação do sistema ETICS, o suporte deve ser devidamente inspecionado, avaliado e preparado para o receber. A incorreta avaliação ou preparação do suporte pode causar anomalias de elevada gravidade, como a descolagem generalizada do sistema, seguida da sua queda.

Esta patologia pode surgir em suportes como: com elevado grau de sujidade ou poeiras, com a presença de óleo descofrante ou produtos hidrófugos uma vez que estes comprometem a aderência da cola ao suporte; com excesso de humidade ou até com gelo, mais uma vez afetando a aderência; com existência de microrganismos e sem se proceder à sua remoção (Freitas, 2002a).

10.3.3. Descolagem parcial do sistema

Por influência de pequenas anomalias ou deficiências, a descolagem do sistema poderá ser apenas parcial, podendo resultar das condições atmosféricas durante a aplicação, da incorreta distribuição do ligante e insuficiente compressão das placas contra o suporte ou até de infiltrações de água entre o isolamento e o suporte por má proteção do limite superior do sistema e imperfeito tratamento dos pontos singulares (Freitas, 2002a).

10.3.4. Manchas resultantes do aparecimento de microrganismos

Para ser possível o desenvolvimento de microrganismos é necessário a presença de água. Esta poderá ser originada pela humidade provocada pela reduzida iluminação solar em fachadas orientadas a Norte e Poente e pela humidade noturna. Possibilitando também o seu aparecimento está o não cumprimento dos tempos de espera necessários entre a aplicação de diferentes camadas do sistema, podendo a camada anterior ainda não ter alcançado o nível de humidade ótimo para a aplicação da camada seguinte. Tendo também o revestimento e acabamento do sistema implicações na origem desta patologia já que em fachadas viradas a sul, o isolamento aquece, formando as condições ótimas para o surgimento de fungos.



Figura 100 - *Manchas geradas pela presença de microrganismos (Freitas, 2002b)*

10.3.5. Sujidade diferencial/escorrências

Frequentemente presentes em zonas localizadas, como vãos de janelas, varandas e platibandas, este tipo de anomalia apenas afeta o revestimento final aplicado ao sistema, não sendo postos em causa os restantes constituintes do mesmo. Este problema é causado por aplicações defeituosas ou pela inexistência de perfil/rufos/peitoris de pingadeira, podendo ser associado a um revestimento final desapropriado para o local ou para a exposição a que será sujeito. Sendo a sua presença predominante em fachadas voltadas a Norte, esta anomalia pode, no entanto, ser encontrada em todas as orientações (Freitas, 2002a; Neto, 2012).



Figura 101 – *Escorrências (Amaro et al., 2012)*

10.3.6. Manchas e irregularidades

Geralmente associadas a uma aplicação defeituosa, as irregularidades da superfície do sistema podem ser causadas pela dessolidarização do mesmo, que por sua vez poderá ser originada pela incorreta preparação do suporte, má aderência entre o ligante e o suporte, falta de regularização da superfície, desnível entre placas por deficiente nivelamento ou regularização, entre outras (Neto, 2012).

Já o aparecimento de manchas poderá ser causado pelas condições atmosféricas desfavoráveis na aplicação das diferentes camadas que constituem o sistema, resultando em diferentes tempos de secagem, a exposição à chuva aquando da aplicação das camadas, a insuficiente espessura do revestimento de forma a disfarçar as irregularidades da camada de base (Neto, 2012).



Figura 102 – Irregularidades (Amaro et al., 2012)

10.3.7. Destacamento e/ou empolamento do acabamento final

O aparecimento desta patologia poderá estar diretamente relacionado com a insuficiente espessura do recobrimento da armadura, a incompatibilidade entre a camada de base e a de acabamento, a deficiente aplicação do acabamento e o mau estado de conservação do material aquando da sua aplicação (Neto, 2012). Mas o seu surgimento também pode ser relacionado com as condições de aplicação do reboco ou do revestimento, como a preparação do reboco em condições atmosféricas adversas ao seu fabrico, o desrespeito pelos intervalos de secagem ou ainda, a ausência de primário entre a camada de base e o revestimento final. (Freitas, 2002a).

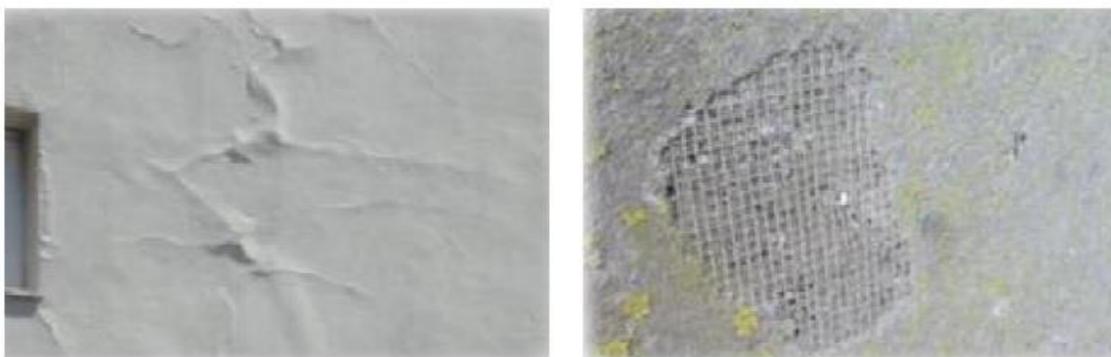


Figura 103 - *Empolamento e destaque do revestimento (Amaro et al., 2012)*

10.3.8. Deterioração do recobrimento das cantoneiras de reforço

Devido à incompatibilidade presente nas dilatações e contrações entre a cantoneira e o revestimento, o recobrimento das mesmas pode ser afetado e com o tempo deteriorar-se ao ponto de ocorrer destaque. Estes fatores, associados à incorreta aplicação dos perfis de reforço, à utilização de materiais não compatíveis com o sistema ou ao deficiente recobrimento da cantoneira, levam a que o surgimento desta patologia seja precoce.



Figura 104 - *Degradação do revestimento das cantoneiras de reforço*

10.3.9. Perfuração pontual do sistema

A utilização de sistemas ETICS em zonas acessíveis poderá ter inconvenientes como a perfuração pontual do mesmo, causadas por acidente ou até mesmo por vandalismo.



Figura 105 - *Perfuração pontual. Vandalismo. (Freitas, 2002b)*

11. Manutenção e reparação

11.1. Aspectos gerais

Devido à sua exposição, as fachadas são o elemento do edifício com maior solicitação devido aos fatores climáticos, necessitando por isso de manutenção de forma a manter um aspeto limpo.

Como qualquer outro sistema de fachada, o sistema ETICS também carece de manutenção por forma a manter as suas propriedades, garantir a sua durabilidade e o seu aspeto. O processo de manutenção inclui assim tarefas como a remoção de manchas, limpeza de rufos, capeamentos, limpeza de caleiras, rede de pluviais e de todos os elementos que ajudem a manter a estanquidade e a boa apresentação das fachadas. Deve também ser ponderada a substituição do revestimento ao fim de 10 anos, podendo este período variar conforme a textura do revestimento, o ambiente e da exposição da fachada.

11.2. Manutenção

11.2.1. Limpeza da fachada

A limpeza da fachada deverá ser efetuada por lavagem com água a baixa pressão e poderá ser utilizado detergente, desde que pouco agressivo e em pequenas quantidades, seguindo-se um enxaguamento abundante.

As operações de limpeza deverão ser executadas durante o tempo quente e seco e com uma duração não demasiado prolongada de forma a limitar a quantidade de humidade a que o sistema é exposto.

11.2.2. Remoção de microrganismos

Estão presentes no mercado numerosas opções para o tratamento de manchas causadas pelo aparecimento de microrganismos (algas, fungos, etc.), mas também poderão ser utilizados produtos tão convencionais como a lixívia.

Para a utilização da lixívia para a eliminação das manchas, deverá ser adicionada uma pequena quantidade à água e a limpeza deve ser feita pela escovagem das zonas onde estejam presentes os microrganismos.

No caso de se pretender apenas proceder à renovação da pintura, mesmo sem a presença visível de manchas, deverá ser aplicado um repelente hidrófugo de forma a prevenir o seu aparecimento.

Podem também ser utilizados produtos de compostos orgânicos de dispersão aquosa, aplicando-se com recurso a trincha ou rolo e até à saturação da zona. Antes da aplicação a superfície deverá ser limpa de forma a remover sujidades e poeiras depositadas. Durante o período de atuação do produto, a superfície deverá ser protegida da chuva para que sejam eficientemente eliminados os microrganismos presentes. Dependendo do tipo de produto utilizado, poderá ser necessário escovar a superfície no final do tratamento.

11.3. *Renovação do revestimento de pintura*

Quando os paramentos se encontram preservados, esta será a solução a adotar uma vez que apenas se pretende renovar a pintura do mesmo e não há necessidade de reparações. Antes da pintura a fachada deverá ser limpa, removendo assim impurezas e sujidade e garantindo uma boa base para a nova camada a ser aplicada.

A tinta a ser utilizada para este processo deverá garantir a compatibilidade com os constituintes do sistema, a resistência a choques térmicos, microrganismos e raios ultravioleta, a manutenção da cor inicial e possuir uma boa permeabilidade ao vapor de água.

11.4. Reparação

Sendo, no geral, os sistemas ETICS caracterizados pela sua reduzida resistência ao choque e estando as fachadas sujeitas a agressões exteriores, tanto naturais como humanas, os danos que daí poderão advir põem em causa a durabilidade e propriedades do sistema. Assim, quaisquer anomalias detetadas deverão ser imediatamente reparadas.

Possuindo a zona afetada uma área inferior ou igual a 2 cm², a reparação deverá ser feita através da limpeza de poeiras, lixagem e remoção das poeiras causadas e do preenchimento do espaço existente com um produto idêntico ao utilizado na camada de acabamento.

Já a reparação de áreas degradadas de maior dimensão implica a substituição do sistema na zona afetada. Devendo assim ser seguidos os passos que se apresentam em seguida (Freitas, 2002a; Neto, 2012):

1. Delimitar uma superfície retangular ou quadrada, envolvendo a zona afetada, e acrescentando uma margem de 2 cm de lado, mas nunca ultrapassando os limites das placas;
2. Cortar o reboco e o isolamento térmico com disco e remover todas as camadas do sistema até ao suporte;
3. Limpar o suporte e eliminar todos os resíduos de cola;
4. A partir dos cantos da área a tratar, fazer cortes de 45° no reboco da zona envolvente, de forma a libertar a armadura até uma distância de 10 cm;
5. Remover o reboco aderente à armadura e executar uma lixagem na sua zona de aderência;
6. Recortar uma placa de aglomerado negro de cortiça com uma dimensão idêntica à da zona a reparar, lixar as suas faces e aplicar com um produto de colagem semelhante ao utilizado inicialmente para fixar o sistema;
7. Terminada a secagem da cola, aplicar a primeira camada de reboco e colocar um enxerto de armadura com dimensões superiores em 5 cm à área de sistema a refazer;
8. De seguida dobrar a armadura libertada na zona envolvente sobre o enxerto;
9. Aplicar a segunda camada de reboco de forma a revestir totalmente as armaduras;
10. Após secagem aplicar o primário e o revestimento final, que deverá ser aplicado em toda a superfície de forma a não serem perceptíveis as reparações efetuadas.