



Departamento
de Engenharia Civil

Melhoria da eficiência energética de edifícios existentes – Análise técnico-económica

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em
Engenharia Civil

Autor

Hugo Eduardo Gabriel Gaspar

Orientadores

**Prof. Doutor Eduardo Manuel Ferreira Almeida da
Natividade de Jesus**

Mestre Rui Manuel dos Santos Ferreira

Instituição

Instituto Superior de Engenharia de Coimbra

Coimbra, Junho 2016

RESUMO

As alterações climáticas colocam o tema da eficiência energética na lista das prioridades mundiais, tornando-se fundamental que se estabeleça uma cooperação internacional para fazer face ao problema em questão. A redução do consumo energético a curto e médio prazo constitui assim um dos desafios, tendo em conta que o setor energético é um dos principais responsáveis pela emissão de gases de efeito de estufa (GEE). Em Portugal, o peso dos setores da habitação e de serviços no consumo de energia demonstra que o investimento na reabilitação, com conseqüente melhoria da eficiência energética dos edifícios, pode ser um contributo para o cumprimento das metas. Assim, importa conhecer as necessidades energéticas dos edifícios e estudar o impacto da introdução de medidas de reabilitação energética. Este assunto assume particular relevância nos edifícios antigos que, de uma forma geral, não possuem isolamento térmico. Neste sentido, procurou-se realizar uma avaliação técnico-económica de uma reabilitação térmica de um edifício antigo, com o auxílio de um software de simulação dinâmica.

Efetivamente, a melhoria das necessidades energéticas dos edifícios pode representar potenciais poupanças para os consumidores e ter um grande contributo na diminuição do impacto ambiental dos edifícios antigos.

Palavras-chave: Eficiência energética; Reabilitação térmica de edifícios; Simulação dinâmica; Avaliação técnico-económica

ABSTRACT

Climate change poses the issue of energy efficiency in the list of global priorities, making it essential to establish an international cooperation to address the problem in question. So, the reduction of the energy consumption in the short and medium term is one of the challenges, bearing in mind that the energy sector is a major contributor to the emission of greenhouse gases (GHGs). In Portugal, the weight of the sectors of housing and services in energy consumption shows that investment in rehabilitation, with consequent improvement in energy efficiency of buildings can be a contribution to meeting the goals. It is therefore important to know the energy needs of buildings and study the impact of the introduction of energy rehabilitation measures. This issue is particularly important in old buildings that, in general, have no insulation. In this sense, we tried to carry out a technical and economic evaluation of a thermal rehabilitation of an old building with the aid of a dynamic simulation software.

Indeed, the improvement of the energy needs of buildings may represent potential savings for consumers and have a great contribution in reducing the environmental impact of old buildings.

Keywords: Energy efficiency; Thermal rehabilitation of buildings; Dynamic simulation; Technical and economic evaluation.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento do tema	13
1.2 Objetivos e metodologia	14
1.3 Estrutura da dissertação	14

2. PARQUE EDIFICADO EM PORTUGAL

2.1 Evolução e caracterização do parque edificado nacional	16
2.2. Estado de conservação do parque edificado	18
2.3. Sistemas Construtivos	20
2.3.1. Breve história da evolução dos sistemas construtivos	20
2.3.2. Sistemas construtivos - panorama nacional	21

3. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

3.1. Eficiência Energética em Portugal	23
3.1.1 Dependência energética	23
3.1.2 Intensidade energética	24
3.1.3 Emissões de gases de efeito estufa	25
3.2 Sistema de Certificação Energética dos Edifícios – Um contributo para a eficiência energética ..	27

4. A REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS

4.1. A Reabilitação em Portugal	29
4.2 Oportunidades de reabilitação energética	30
4.3 Aspetos que afetam o desempenho energético dos edifícios	31
4.4 Reabilitação energética em edifícios	32
4.4.1 Contextualização	32
4.4.2 Reabilitação térmica da envolvente dos edifícios	33
4.4.3 Reabilitação térmica das paredes exteriores	34
4.4.3.1 Soluções de isolamento térmico exterior	36
4.4.3.2 Soluções de isolamento térmico interior	39
4.4.3.3 Soluções de isolamento térmico na caixa de ar de paredes duplas	40
4.4.4 Reabilitação térmica dos pavimentos	40

4.4.5	Reabilitação térmica das coberturas	42
4.4.5.1	Coberturas inclinadas	43
4.4.5.2	Coberturas horizontais	45
4.4.6	Reabilitação térmica e energética dos vãos envidraçados	47
4.4.6.1	Reforço do isolamento térmico dos vãos envidraçados	47
4.4.6.2	Permeabilidade ao ar	48
4.4.6.3	Controlo de ganhos solares	48
4.4.7	Ventilação natural	49
5. METODOLOGIA		
5.1	Metodologia geral	51
5.2	Caso de estudo	51
5.2.1	Enquadramento – Caracterização da baixa de Coimbra e suas construções	51
5.2.2	Descrição do caso de estudo	52
5.3.2	Caracterização construtiva	53
5.3.2.1	Paredes exteriores	54
5.3.2.2	Paredes divisórias	55
5.3.2.3	Pavimentos interiores	55
5.3.2.4	Piso térreo	56
5.3.2.5	Cobertura	56
5.3.2.7	Vãos envidraçados	58
5.4	Software de simulação dinâmica - Energy Plus e Design Builder	58
5.4.1	Procedimento básico	59
6. ANÁLISE DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DO EDIFÍCIO		
6.1	Necessidades energéticas atuais do edifício	65
6.2	Propostas de reabilitação	66
6.2.1	Reabilitação térmica das paredes exteriores	66
6.2.2	Reabilitação térmica da cobertura	68
6.2.3	Reabilitação térmica dos vãos envidraçados	69
6.3	Resultados pós-reabilitação	70
6.3.1	Situação pós-reabilitação – Necessidades energéticas	70
6.3.1.1	Paredes exteriores	70
6.3.1.2	Cobertura	71

6.3.1.3 Vãos envidraçados.....	72
6.3.1.4 Combinações das soluções	74
6.3.1.5 Resumo dos resultados	75
6.3.2 Análise custo/benefício	75
6.3.2.1 Estimativa de custos	75
6.3.2.2 Rentabilidade / Tempo de retorno do investimento.....	78
7. CONCLUSÃO	80
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Apoio do Estado ao setor da habitação entre 1992 e 2002 (Freitas et al, 2012).....	16
Figura 2 - Evolução do número de alojamentos familiares e de famílias clássicas em Portugal (1970-2011) (INE, 2012).....	17
Figura 3 - Distribuição de alojamentos familiares clássicos segundo a forma de ocupação (1991-2011) (INE 2012).....	17
Figura 4 - Evolução dos fogos licenciados e fogos concluídos, 2001-2011 (INE 2012).....	18
Figura 5 - Número de edifícios clássicos segundo o estado de conservação (INE, 2013).....	18
Figura 6 - Número de edifícios clássicos segundo o estado de conservação (INE, 2013).....	19
Figura 7 - Proporção de edifícios clássicos por época de construção e estado de conservação, 2011 (INE, 2013).....	19
Figura 8 - Evolução das fachadas em Portugal dos anos 40 até hoje (Boto, 2014)	21
Figura 9 - Número de edifícios clássicos segundo a época de construção do edifício (INE, 2013).....	21
Figura 10 - Número de edifícios clássicos segundo o tipo de estrutura de construção, 2011 (INE, 2013) ..	22
Figura 11 - Número de edifícios clássicos segundo o tipo de revestimento exterior das paredes (INE, 2013).....	22
Figura 12 - Número de edifícios clássicos segundo o tipo de cobertura, 2011 (INE, 2013).....	22
Figura 13 - Evolução da dependência Energética de Portugal (DGEG, 2015).....	23
Figura 14 - Dependência Energética na UE em 2013 (DGEG, 2015).....	24
Figura 15 - Intensidade Energética da Economia em Energia Primária na UE-28 em 2013 (ktep/1000 EUR) (DGEG, 2015).....	24
Figura 16 - Evolução das Emissões de GEE em Portugal (Mton CO ₂ e) (DGEG, 2015).....	25
Figura 17 - Distribuição do consumo de energia por setores (DGEG, 2015).....	27
Figura 18 - Número de fogos concluídos em obras de construção nova e reabilitação (INE, 2013).....	29
Figura 19 - Distribuição da produtividade do setor da construção em países da União Europeia segundo segmento, 2011 (INE, 2013).....	30
Figura 20 - Revestimento independente descontínuo com isolante térmico na caixa de ar (DGEG, 2004).....	37
Figura 21 - Sistema de isolamento térmico compósito exterior com revestimento espesso (DGEG, 2004).....	38
Figura 22 - Sistema de isolamento térmico compósito exterior com revestimento delgado (DGEG, 2004).....	38

Figura 23 - Solução de rebocos isolantes (DGEG, 2004).	39
Figura 24 – Contra fachada com isolante na caixa de ar (DGEG, 2004).....	40
Figura 25 - Pavimentos sobre espaço exterior ou não aquecido - isolamento superior (DGEG, 2004).	41
Figura 26 - Pavimentos sobre espaço exterior ou não aquecido - isolamento térmico inferior (DGEG, 2004).	41
Figura 27 - Pavimento sobre espaço não aquecido - isolamento térmico intermédio (DGEG, 2004).	41
Figura 28 - Cobertura inclinada com desvão não habitável - isolamento térmico na esteira horizontal (DGEG, 2004).	44
Figura 29 - Cobertura inclinada com desvão habitável - isolamento térmico nas vertentes (DGEG, 2004).	45
Figura 30 - Cobertura invertida sobre impermeabilização existente ou nova (DGEG, 2004).	46
Figura 31 - Cobertura invertida sobre isolante suporte de impermeabilização (DGEG, 2004).	46
Figura 32 - Localização do caso de estudo - Baixa de Coimbra.	53
Figura 33 - Pormenor construtivo das paredes exteriores.	54
Figura 34 - Pormenor construtivo de um frontal tecido (Ramos, 2009).....	55
Figura 35 - Pormenor construtivo de parede de tabique (Ramos, 2009).	55
Figura 36 - Pormenor construtivo dos pavimentos interiores (Ramos, 2009).	56
Figura 37 - Pormenor construtivo do piso térreo.	56
Figura 38 - Pormenor construtivo da cobertura inclinada em desvão não-habitável.....	57
Figura 39 - Pormenor construtivo da cobertura inclinada em desvão habitável.....	57
Figura 40 - Pormenor construtivo esteira simples (Ramos, 2009).....	58
Figura 41 - Caixilharia de madeira antiga com vidro simples.	58
Figura 42 - Janela de iniciação de projeto novo no Design Builder.	59
Figura 43 - Modelo geométrico concluído no Design Builder.....	60
Figura 44 - Seleção de atividade para um quarto no Design Builder.	61
Figura 45 - Separador “Construction” no Design Builder.	61
Figura 46 - Definição das camadas das paredes exteriores no Design Builder.	62
Figura 47 - Propriedades globais de uma parede exterior no Design Builder.	62
Figura 48 - Separador "Opennings" no Design Builder.	63
Figura 49 - Separador "lighting" no Design Builder.	63
Figura 50 - Separador "HVAC" no Design Builder.	64

Figura 51 - Seleção do período de simulação dinâmica no Design Builder.	64
Figura 52 – Ganhos térmicos em condições atuais.	66
Figura 53 - Pormenor construtivo da proposta de reabilitação das paredes exteriores.	67
Figura 54 - Pormenor construtivo da proposta de reabilitação térmica da esteira.	68
Figura 55 - Pormenor construtivo da proposta de reabilitação da cobertura inclina sobre o desvão habitado.	69
Figura 56 - Secção de caixilharia de PVC com vidro duplo.....	69
Figura 57 - Ganhos térmicos após substituição dos vãos envidraçados.	73

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Soluções de reforço do isolamento térmico de paredes exteriores (Paiva et al, 2006).	35
Quadro 2 - Vantagens e inconvenientes do isolamento térmico exterior de fachadas em relação ao isolamento interior (Paiva et al, 2006).....	36
Quadro 3 - Soluções de reforço do isolamento térmico de pavimentos sobre espaços exteriores ou não aquecidos (Paiva et al, 2006).	42
Quadro 4 - Soluções de reforço do isolamento térmico das coberturas (Paiva et al, 2006).	43
Quadro 5 - Caracterização construtiva das paredes exteriores por piso.	54
Quadro 6 - Caracterização construtiva das paredes divisórias - Sistema de frontais	55
Quadro 7 - Caracterização construtiva das paredes em tabique.	55
Quadro 8 - Caracterização construtiva dos pavimentos interiores.	56
Quadro 9 - Caracterização construtiva do piso térreo.	56
Quadro 10 - Caracterização construtiva da cobertura inclinada sobre desvão não-habitável.....	57
Quadro 11 - Caracterização construtiva da cobertura inclinada sobre desvão habitável.....	57
Quadro 12 - Caracterização construtiva do teto do sótão.	58
Quadro 13 - Características dos vãos envidraçados.	58
Quadro 14 - Necessidades energéticas do edifício em situação atual.	65
Quadro 16 - Caracterização da solução de reabilitação das paredes exteriores.	68
Quadro 17 - Caracterização da solução de reabilitação da cobertura – Esteira do teto.....	68
Quadro 18 - Caracterização da solução de reabilitação da cobertura - Desvão habitável.	69
Quadro 19 - Caracterização da solução de reabilitação dos vãos envidraçados.	69
Quadro 20 - Necessidades energéticas após reabilitação térmica das paredes exteriores.....	70
Quadro 21 - Variação das necessidades energéticas após reabilitação térmica das paredes exteriores.	71
Quadro 22 - Variação da produção de CO ₂ após reabilitação das paredes exteriores.	71
Quadro 23 - Necessidades energéticas após reabilitação térmica da cobertura.	71
Quadro 24 - Variação das necessidades energéticas após reabilitação térmica da cobertura.	71
Quadro 25 - Variação da produção de CO ₂ após reabilitação da cobertura.	72
Quadro 26 - Necessidades energéticas após substituição dos vãos envidraçados.	72
Quadro 27 - Variação das necessidades energéticas após substituição dos vãos envidraçados.	72
Quadro 28 - Variação da produção de CO ₂ após substituição dos vãos envidraçados.	73

Quadro 29 – Ganhos térmicos após substituição dos vãos envidraçados.	73
Quadro 30 - Variação dos ganhos após substituição dos vãos envidraçados.	74
Quadro 31 - Necessidades energéticas e suas variações após aplicação de combinações de medidas de reabilitação.	74
Quadro 32 - Produção de CO ₂ e sua variação após aplicação de combinações de medidas de reabilitação.	75
Quadro 33- Resumo das necessidades energéticas obtidas com a aplicação das medidas de reabilitação propostas.	75
Quadro 34 - Custo das soluções de reabilitação por m ²	76
Quadro 35 - Áreas de aplicação de cada solução de reabilitação e respetivos custos de investimento.	76
Quadro 36 - Propostas de reabilitação finais, seus custos de investimento e contributo para a redução das necessidades energéticas.	77
Quadro 37 - Poupança económica gerada pela aplicação das propostas de reabilitação.	78
Quadro 38 - Tempos de retorno dos investimentos relativos às propostas de reabilitação.	78

SIMBOLOGIA

Tep/M€ – Toneladas de petróleo equivalente por milhões de euros

CO₂e – Dióxido de carbono equivalente

CO₂ – Dióxido de carbono

CO – Monóxido de carbono

NO_x – Óxido nitroso

SO₂ – Dióxido de enxofre

ISG – Índice de Seletividade Espectral

TL – Transmitância luminosa

g – Fator solar

ABREVIATURAS

GEE – Gases de Efeito de Estufa

CECAC – Comité Executivo da Comissão para as Alterações Climáticas

CELE – Comércio Europeu de Licenças de Emissão

PIB – Produto Interno Bruto

ENDS – Estratégia Nacional de Desenvolvimento Sustentável

ITIC – Instituto Técnico para a Indústria da Construção

SCE – Sistema de Certificação Energética de Edifícios

REH – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação

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

AQS – Águas Quentes Sanitárias

EPS – Expanded Polystyrene (Poliestireno expandido)

XPS – Extruded Polystyrene (Poliestireno extrudido)

ETICS - External Thermal Insulation Composite Systems

1. INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento do tema

As alterações climáticas e as questões energéticas são dois temas cada vez mais presentes e com mais destaque na agenda mundial. Segundo a Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG), o sector dos edifícios é um dos principais responsáveis pelo consumo de energia final da Europa, representando, aproximadamente, 40% do consumo global de energia e 34% das emissões de CO₂ para a atmosfera. Porém, mais de 50% deste consumo pode ser reduzido através de medidas de eficiência energética, o que pode resultar numa redução anual de 400 milhões de toneladas de CO₂, que constitui quase a totalidade do compromisso da UE no âmbito do Protocolo de Quioto (DGEG, 2016). Com base nisto, é pertinente considerar a intervenção ao nível do desempenho energético dos edifícios, de modo a conseguir torná-los energeticamente mais eficientes, atendendo à satisfação das necessidades de habitação, nomeadamente as condições de conforto térmico, bem-estar e saúde, garantindo reduzidos consumos de energia. Foi neste sentido, que a União Europeia (UE) aprovou a Diretiva relativa ao Desempenho Energético dos Edifícios (2002/91/CE), entretanto já alterada pela Diretiva 2010/31/UE, que impôs aos Estados Membros a emissão de Certificados Energéticos, para obter licença de utilização em edifícios novos, aquando de uma reabilitação importante de edifícios existentes, aquando da locação ou venda de edifícios de habitação e de serviços existentes, e periodicamente (6 anos) para todos os edifícios públicos (de serviços) com mais de 1.000 m² (UE, 2010).

De um ponto de vista nacional em torno deste tema da eficiência energética nos edifícios, é importante reconhecer o estado do parque habitacional português, que assentou numa construção desenfadada de habitação nas últimas décadas. Esta situação veio traduzir-se na realidade com que nos confrontamos hoje: um grande parque habitacional construído com uma das maiores “capitações” da Europa, ou seja, a taxa de crescimento de famílias foi inferior à taxa de crescimento do parque habitacional. Para além disso, salienta-se que aproximadamente 54% dos edifícios existentes têm mais de 35 anos, existindo cerca de 1 milhão de edifícios do parque habitacional português a necessitar de intervenção, nomeadamente ao nível do melhoramento do seu comportamento energético (INE, 2012).

O Decreto-lei nº 118/2013 de 20 de agosto, que transpôs para a ordem jurídica nacional a Directiva nº 2010/31/EU, inclui num único diploma o Sistema de Certificação Energética dos 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) (SCE, 2013). O SCE constitui assim um dos três pilares sobre os quais assenta a legislação relativa à qualidade térmica dos edifícios em Portugal, definindo regras e métodos para verificação da aplicação efetiva dos referidos regulamentos (REH e RECS), tanto às novas edificações como aos imóveis já construídos (ADENE, 2013), evidenciando os requisitos de qualidade térmica e de eficiência energética para os principais tipos de

sistemas técnicos. Para além da definição de um mapa evolutivo de requisitos com um horizonte temporal no limite de 2020, apontando no sentido da renovação do parque imobiliário por via da promoção de edifícios cada vez mais eficientes, surge também o conceito de edifício com necessidades quase nulas de energia, o qual passará a constituir uma referência para as grandes intervenções no edificado existente em 2020 (SCE, 2013).

Assim, atendendo à situação atual do nosso país e às exigências emergentes a nível energético, a reabilitação térmica e energética de edifícios constitui claramente uma das áreas com maior potencial de crescimento no sector da construção em Portugal, fazendo, por isso, todo o sentido desenvolver um trabalho que estude e compare a valia técnica e económica das medidas de melhoramento da eficiência energética dos edifícios já construídos.

1.2 Objetivos e metodologia

Pretende-se com este trabalho adquirir conhecimentos específicos na área da térmica em edifícios e estudar e avaliar sistemas construtivos e medidas de reabilitação energética. O objetivo principal da dissertação consiste em avaliar o comportamento térmico de um edifício antigo, de modo a poder identificar medidas de reabilitação térmica adequadas ao seu estado atual, essencialmente a nível da envolvente exterior, que visem a melhoria da eficiência energética, mas que também sejam economicamente viáveis e rentáveis. Atingir este objetivo envolve:

- Realizar uma análise dinâmica aos distintos sistemas construtivos, recorrendo ao software Design Builder;
- Realizar simulações antes e após a aplicação de medidas de reabilitação, de forma a avaliar propostas de intervenção e o seu impacto nos consumos energéticos de um determinado edifício;
- Efetuar a análise económica das propostas de intervenção a fim de perceber a relação custo/benefício da aplicação das medidas de reabilitação estudadas para o edifício, tendo em conta o período de retorno do investimento.

1.3 Estrutura da dissertação

Com vista a facilitar a compreensão do enquadramento da dissertação e dos resultados obtidos na elaboração do projeto é apresentada em primeiro lugar alguma teoria relacionada com o parque habitacional nacional (capítulo 2), o conceito de eficiência energética (capítulo 3) e a reabilitação (capítulo 4), sendo abordados aspetos relacionados com a

térmica dos edifícios. No capítulo 5 é descrita a metodologia do trabalho prático, incluindo a descrição e a caracterização construtiva do caso de estudo e uma breve explicação sobre a simulação dinâmica e o software *Design Builder*, utilizado para avaliação do desempenho energético de edifícios. Seguidamente, no capítulo 6, são apresentados os resultados obtidos após a simulação dinâmica, nomeadamente, as necessidades energéticas antes da reabilitação e após a aplicação de medidas interventivas para melhoria da eficiência energética dos edifícios, sendo avaliado o impacto das alterações no consumo energético e a sua viabilidade económica. Para finalizar, o sétimo capítulo corresponde às conclusões obtidas da realização do trabalho.

2. PARQUE EDIFICADO EM PORTUGAL

2.1 Evolução e caracterização do parque edificado nacional

Portugal conheceu, nas últimas décadas, um volume de construção nova sem precedentes. Esta tendência tem como base as políticas adotadas que têm sido claramente de incentivo à construção nova e à aquisição de habitação própria. O impacto destes erros de gestão urbanística e de política financeira é visível na degradação dos centros urbanos que viram os edifícios antigos serem abandonados. Segundo a Secretaria de Estado da Habitação, entre 1992 e 2002, mais de 70% do apoio anual do Estado ao sector da habitação foi canalizado para aquisição de casa própria, restando apenas 30% para o arrendamento e para a recuperação (Freitas *et al*, 2012).

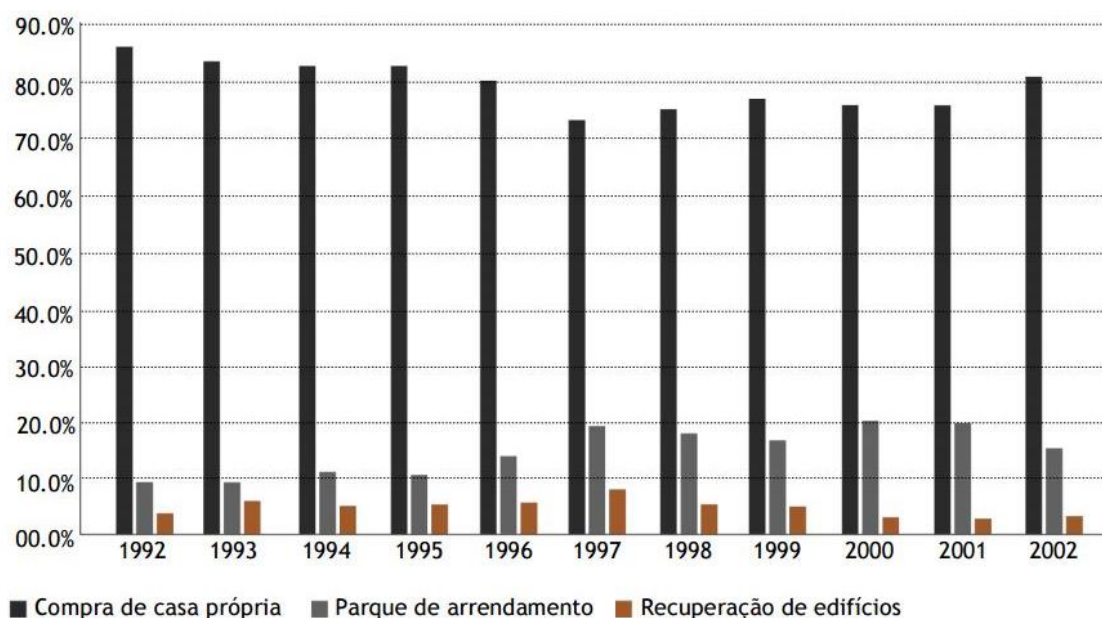


Figura 1 - Apoio do Estado ao setor da habitação entre 1992 e 2002 (Freitas et al, 2012).

De acordo com os Censos 2011, no ano de 2011, existiam no país cerca de 5,9 milhões de alojamentos familiares clássicos para aproximadamente 4 milhões de famílias clássicas, correspondendo a 1,45 alojamentos por família. Em cada uma das últimas três décadas o crescimento do número de alojamentos familiares clássicos foi sempre superior ao crescimento do número de famílias clássicas, verificando-se em 2011 um crescimento dos alojamentos na ordem dos 16% e apenas 11% no crescimento das famílias (*figura 2*) (INE, 2013).

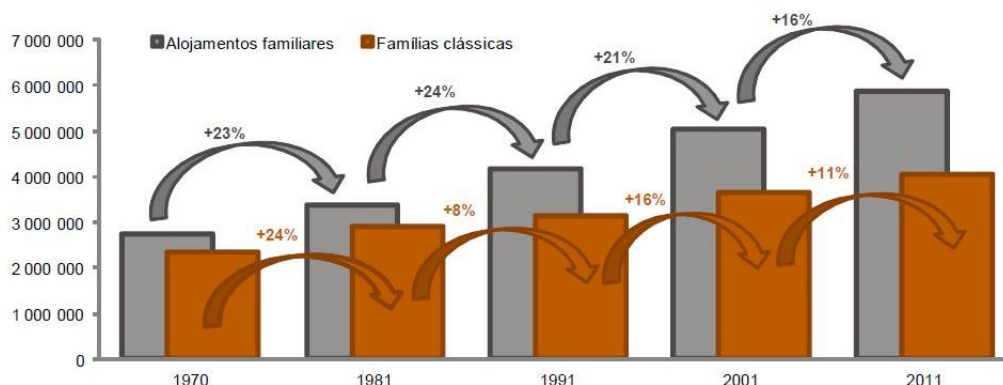


Figura 2 - Evolução do número de alojamentos familiares e de famílias clássicas em Portugal (1970-2011) (INE, 2012).

A distribuição dos 5,9 milhões de alojamentos familiares clássicos, segundo a forma de ocupação em 2011, correspondia a 68,1% de residências habituais, 19,3% de residências secundárias ou de uso sazonal e 12,6% alojamentos vagos. Desde 1991 que se verifica uma diminuição do peso dos alojamentos de residência habitual e um aumento progressivo dos alojamentos de residência secundária e dos alojamentos vagos (*figura 3*) (INE, 2012).



Figura 3 - Distribuição de alojamentos familiares clássicos segundo a forma de ocupação (1991-2011) (INE 2012).

Entre 1980 e 2001 Portugal tinha a maior taxa de crescimento dos alojamentos por 1000 habitantes de toda a União Europeia, a rondar os 40%, resultados do Censos 2001 (Faria, 2013). O pico da construção de novos alojamentos foi em 2001, com os novos fogos (114 909 fogos) a representar 97,5% do total de fogos licenciados, comportamento este que se vê justificado pela elevada procura de alojamentos novos. No entanto, tem vindo a verificar-se uma quebra da construção nova desde 2003, chegando mesmo a registar-se um licenciamento de apenas 17 464 fogos novos, que representava 72% do total de fogos licenciados. Também se observa uma tendência decrescente no número de obras concluídas, tendo sido finalizados apenas 31 381 fogos em construções novas no ano de 2011. Na última década, Portugal assistiu a um decréscimo em todo o tipo de construção, mas com principal destaque para a construção de

edifícios de habitação, sendo esta diminuição bastante acentuada face às décadas precedentes (*figura 4*) (INE, 2012).

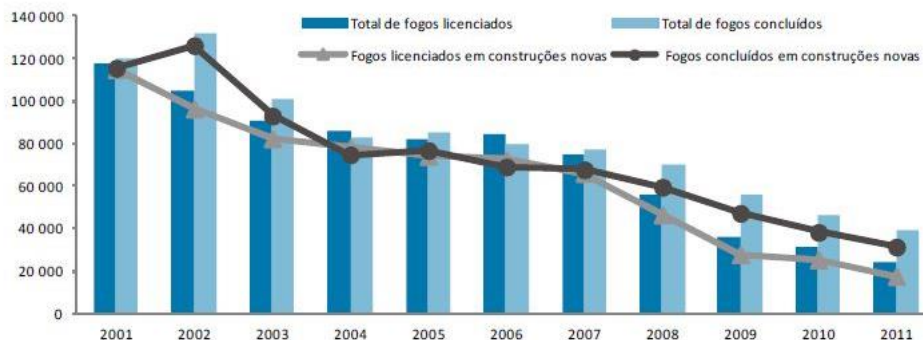


Figura 4 - Evolução dos fogos licenciados e fogos concluídos, 2001-2011 (INE 2012).

Perante um cenário de iminente estagnação da construção nova, abrem-se portas para o início de uma nova era do sector da construção em Portugal, baseado na reabilitação do parque edificado.

2.2. Estado de conservação do parque edificado

Entre 2001 e 2011 verificou-se uma melhoria no estado de conservação dos edifícios de uma forma generalizada. Em 2011 constatou-se, tal como mostra a *figura 5*, que 71,1% dos edifícios não necessitavam de quaisquer reparações, representando um aumento de 34,8% (+651 110) face ao último ano censitário. Verificou-se também que quanto maior o grau das reparações necessárias, menor era a proporção de edifícios com necessidades de reparações, isto é, 17,6% necessitavam de pequenas reparações, 6,9% de reparações médias e 2,7% de grandes reparações. A proporção dos edifícios muito degradados era pouco significativa no parque habitacional português (1,7%) (INE, 2013).

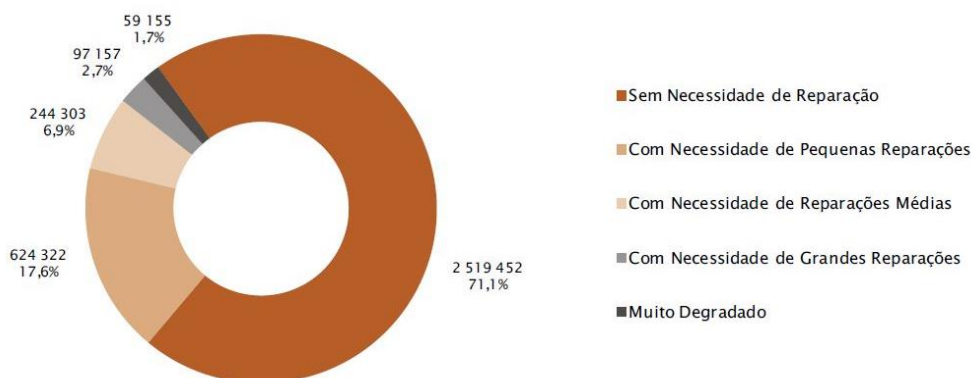


Figura 5 - Número de edifícios clássicos segundo o estado de conservação (INE, 2013).

Comparativamente aos dados dos Censos 2001, em 2011 existiam menos 11,8% (-82 394) de edifícios com necessidade de pequenas reparações, menos 25,9% (-85 302) de edifícios com necessidade de reparações médias, menos 40,4% (-65 858) de edifícios com necessidade de grandes reparações e menos 36,0% (-33 210) de edifícios muito degradados (*figura 6*). No entanto, apesar de se verificar uma melhoria no período 2001-2011, no final da década em estudo ainda subsistiam cerca de 1 milhão de edifícios (1 024 937) do parque habitacional português a necessitar de intervenção (INE, 2013).

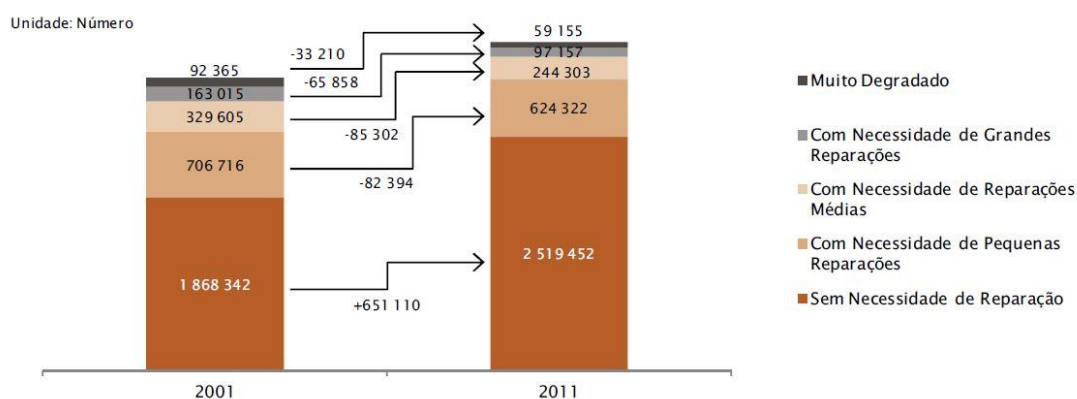


Figura 6 - Número de edifícios clássicos segundo o estado de conservação (INE, 2013).

Segundo dados dos Censos 2011, existe uma forte relação entre a idade dos edifícios e o seu estado de conservação. Os dados apresentados na *figura 7* apontam para que dos edifícios concluídos antes de 1945 apenas cerca de 40% não necessitavam de qualquer tipo de reparação e mais de 20% encontravam-se muito degradados ou a necessitar de grandes reparações.

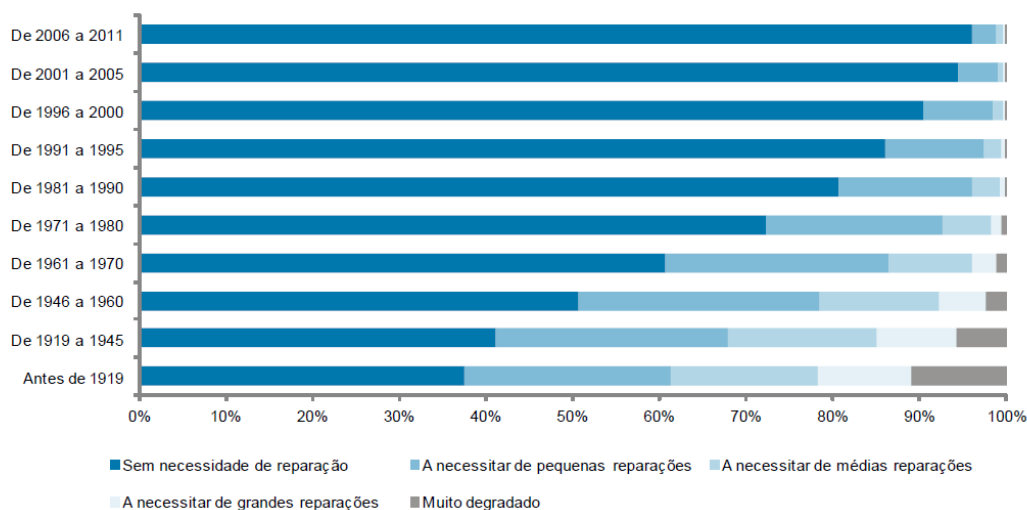


Figura 7 - Proporção de edifícios clássicos por época de construção e estado de conservação, 2011 (INE, 2013).

2.3. Sistemas Construtivos

2.3.1. Breve história da evolução dos sistemas construtivos

A tradição construtiva portuguesa tem sofrido ao longo do tempo mudanças rápidas, sendo vários os motivos de evolução. O aumento das exigências, o aparecimento de novas técnicas e a introdução de novos materiais têm contribuído efetivamente para a existência de um processo dinâmico (Faria, 2013).

A pedra como material de construção tem origens muito remotas e esteve associada à construção de diversos tipos de edifícios, desde os dólmenes e antas da pré-história até às catedrais da Idade Média (Mendonça, (2005). Em Portugal até finais do século XIX e princípio do século XX foram constantes as aplicações estruturais da madeira, sendo, efetivamente, a construção de paredes de perpeanho com armação de madeira nos pisos e na cobertura, o modelo com que se chegou ao início do século (Mendonça, 2005). É então nos anos 20 que se inicia a utilização estrutural do betão armado, sendo progressivamente introduzidas padieiras, pequenas consolas, vigas, partes de lajes e finalmente pilares, resultando desta inovação o aparecimento de coberturas planas. No entanto, apenas no pós-guerra ocorre a difusão da estrutura de betão propriamente dita, surgindo a par desta mudança estrutural no sistema de construção, um sem número de inovações pelo aparecimento de novos materiais. Surgiram os primeiros caixilhos de alumínio anodizado e as primeiras utilizações correntes de materiais de isolamento térmico, como a espuma de vidro, lã mineral, o aglomerado negro de cortiça, o poliestireno (expandido) ou a espuma rígida de poliuretano, esta já nos anos 70. Nos anos 80 surge o início da técnica da madeira lamelada e colada e das estruturas metálicas tridimensionais e são aperfeiçoados os sistemas de blocos de cimento nas alvenarias e os produtos cerâmicos, multiplicando-se as soluções de telhas e tijolo maciço. Na passagem para os anos 90 são desenvolvidos os caixilhos de PVC (Faria, 2013).

Assim, as técnicas construtivas das paredes exteriores também sofreram uma evolução com a seguinte sequência (*figura 8*), durante o século XX: paredes simples de pedra, tijolo maciço ou perfurado e relativamente espessas, até aos anos 40; paredes de pedra com pano interior de tijolo furado e eventual caixa de ar, nos anos 50; paredes duplas de tijolo com um dos panos mais espesso, nos anos 60; paredes duplas de tijolo furado com isolamento térmico, preenchendo total ou parcialmente a caixa-de-ar, nos anos 80, devido a preocupações energéticas. No início do ano 2000 continua a predominância das paredes duplas com isolamento térmico na caixa de ar em poliuretano em placas ou projetado. No entanto, ressurgiram as paredes simples através de soluções inovadoras, com paredes de tijolo cerâmico, blocos de betão de argila expandida ou aligeirada com isolamento térmico pelo exterior, que apresentam um bom desempenho térmico (Brito, 2010).

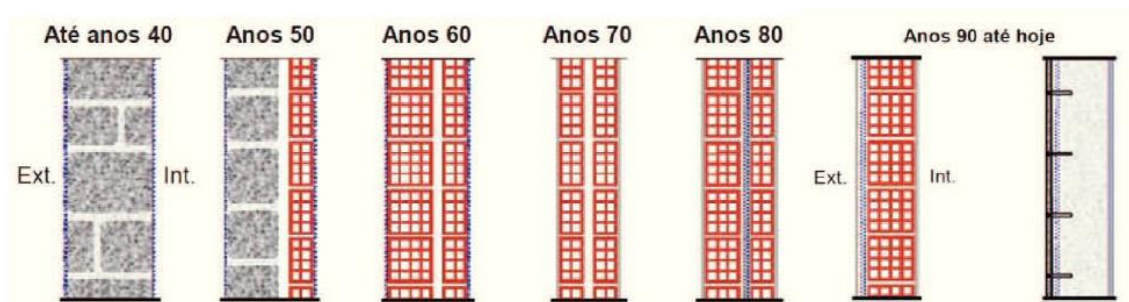


Figura 8 - Evolução das fachadas em Portugal dos anos 40 até hoje (Boto, 2014)

2.3.2. Sistemas construtivos - panorama nacional

Importa conhecer os cenários prováveis de encontrar no exercício de uma reabilitação em Portugal. Um facto é que Portugal tem um dos parques habitacionais mais recentes de toda a Europa, tendo-se verificado em 2011, que cerca de 61,3% dos edifícios foram construídos depois de 1971 (*figura 9*) (INE, 2013).

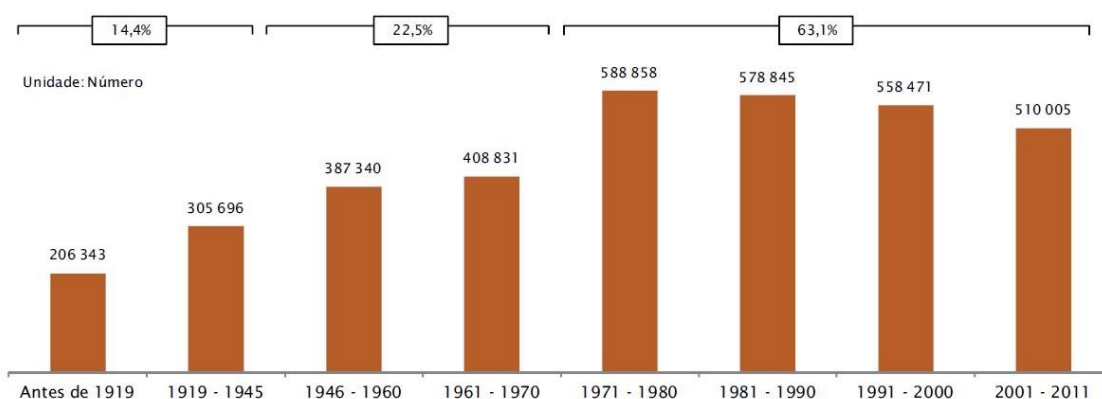


Figura 9 - Número de edifícios clássicos segundo a época de construção do edifício (INE, 2013).

Apesar do parque edificado em Portugal ser recente, existe uma diversidade de sistemas construtivos característicos das épocas de construção dos edifícios, tal como evidencia a *figura 10*. Mais de metade dos edifícios em 2011 tinham diversos tipos de estruturas que não o betão armado, sendo que desses 31,7% tinham paredes de alvenaria com placa, 13,6% possuíam paredes de alvenaria sem placa, 5,3% tinham paredes de alvenaria de pedra solta ou de adobe e 0,8% apresentavam outros tipos de estrutura (INE, 2013).

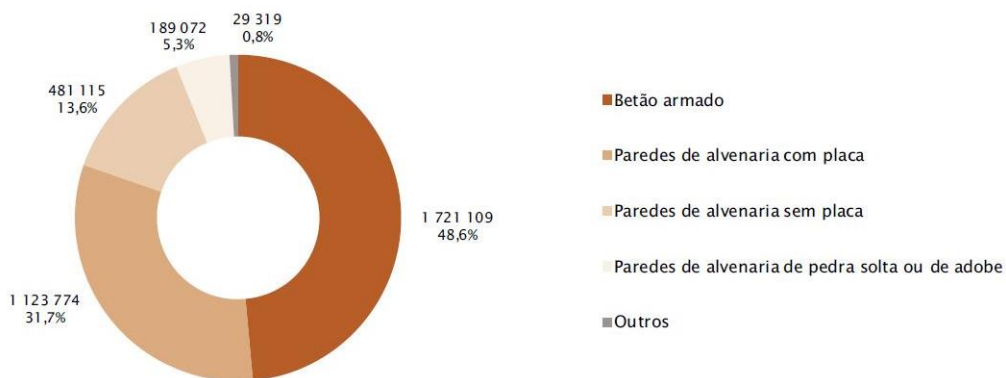


Figura 10 - Número de edifícios clássicos segundo o tipo de estrutura de construção, 2011 (INE, 2013).

Quanto ao tipo de revestimentos exteriores, como mostra a figura 11, existe uma predominância de edifícios com reboco tradicional ou marmorite, com um peso de 84% (2 977 132 edifícios).

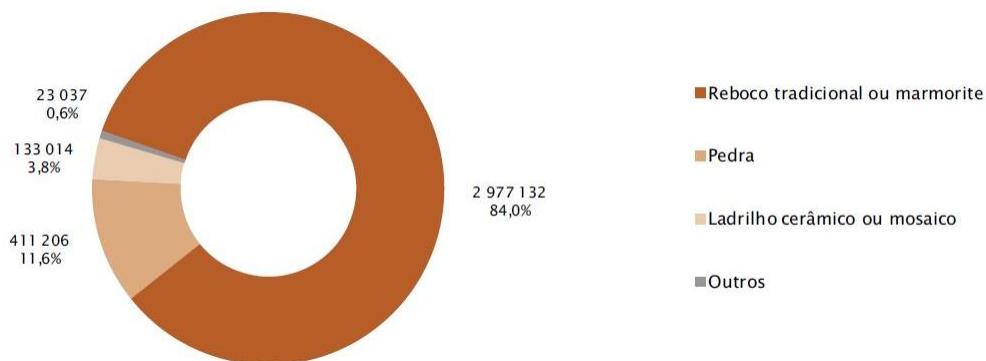


Figura 11 - Número de edifícios clássicos segundo o tipo de revestimento exterior das paredes (INE, 2013).

Relativamente à cobertura, em 2011, quase a totalidade dos edifícios tinha cobertura inclinada revestida a telhas cerâmicas ou de betão, representando 93,1% das coberturas existentes, como ilustrado na figura 12 (INE, 2013).

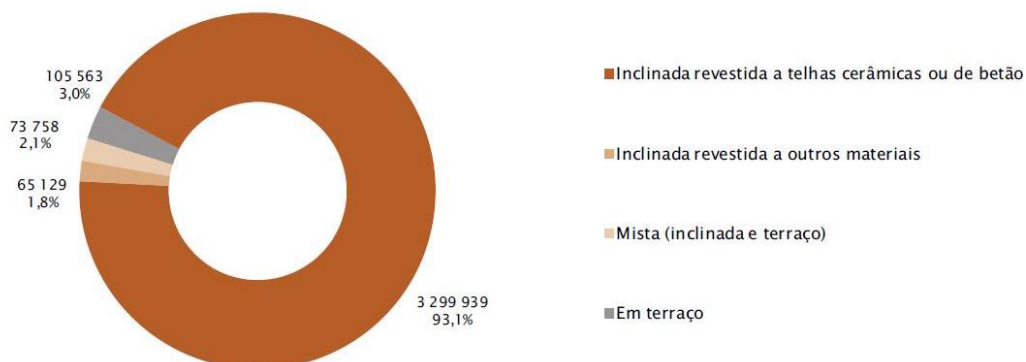


Figura 12 - Número de edifícios clássicos segundo o tipo de cobertura, 2011 (INE, 2013).

3. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

3.1. Eficiência Energética em Portugal

A eficiência energética é um tema bastante discutido e estudado nos dias de hoje, em Portugal e no mundo. Existem alguns indicadores que explicam a necessidade de se dar tamanha importância a este tema em Portugal:

- Dependência Energética;
- Intensidade Energética;
- Emissões de GEE;
- Peso dos setores de habitação e de serviços nos consumos energéticos.

3.1.1 Dependência Energética

A inexistência de produção nacional de fontes de energia fósseis, como petróleo e gás natural, leva a que Portugal tenha níveis de dependência energética muito elevados, sendo 80% a 90% da energia consumida importada. Reduzir esta dependência é um dos principais desafios da atual política energética nacional. A aposta nas energias renováveis e na eficiência energética, com maior incidência nos últimos anos, tem permitido a Portugal baixar a sua dependência para níveis inferiores a 80%. Como se pode constatar na *figura 13*, em 2013 a dependência energética era de 73,9%, correspondendo a uma redução de 14,9 pontos percentuais face a 2005, ano em que se verificou a dependência energética mais elevada da última década e meia (DGEG, 2015).

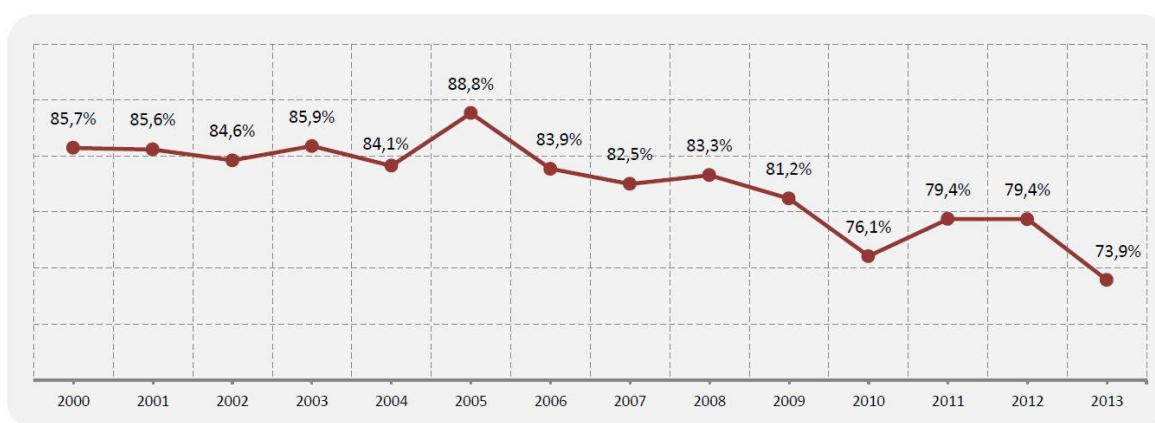


Figura 13 - Evolução da dependência Energética de Portugal (DGEG, 2015).

Segundo dados do Eurostat, em 2013, Portugal era o 8º país, do conjunto de países da UE-28, com maior dependência energética, com cerca de 20 pontos percentuais acima da média (*figura 14*).

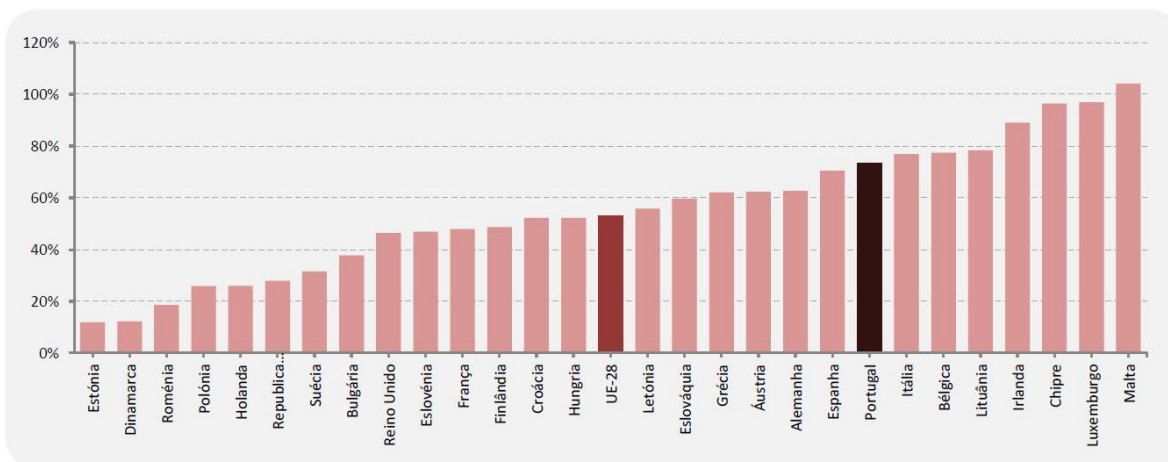


Figura 14 - Dependência Energética na UE em 2013 (DGEG, 2015).

3.1.2 Intensidade energética

A intensidade energética da economia nacional mede o consumo de energia de uma economia e sua eficiência energética global. Este indicador corresponde à relação entre o consumo interno bruto de energia e o Produto Interno Bruto (PIB) para um determinado ano civil. Em 2013 Portugal foi, quando comparado com os países da UE-28, o 14º país com menor intensidade energética da economia em energia primária com 129 tep/M€ (figura 15). No entanto, permanece cerca de 6,9% acima da média da UE-28 (DGEG, 2015).

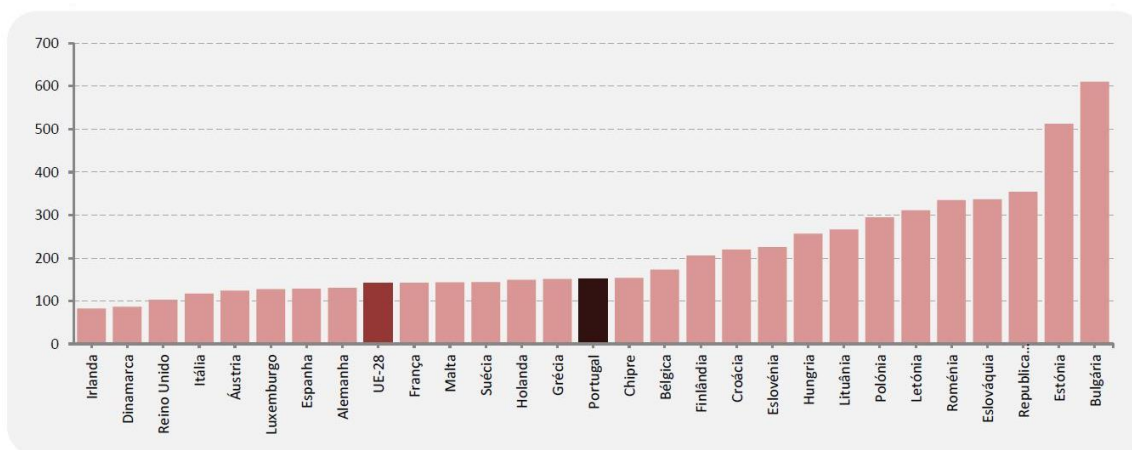


Figura 15 - Intensidade Energética da Economia em Energia Primária na UE-28 em 2013 (ktep/1000 EUR) (DGEG, 2015).

Ter uma intensidade energética elevada significa que se está a utilizar cada vez mais energia para produzir o mesmo nível de riqueza (ITIC, 2008). A Estratégia Nacional de Desenvolvimento Sustentável (ENDS 2015) aponta como um dos pontos fracos de Portugal: "Uma grande intensidade energética da economia que, não obstante a redução de importância dos sectores industriais pesados continuou em patamares elevados, devido ao acréscimo dos

consumos de transporte individual e do sector residencial e dos serviços, responsável pelo aumento significativo das emissões de GEE (gases com efeito de estufa), implicando grandes dificuldades no cumprimento dos compromissos assumidos com a UE e a nível internacional, que se podem traduzir em fortes penalizações financeiras e no estrangulamento do desenvolvimento" (INE, 2015).

3.1.3 Emissões de Gases de Efeito Estufa

Em 2012 as emissões totais de Gases de Efeito Estufa (GEE) situaram-se na ordem das 68,8 Mton CO₂e, das quais 47,9 Mton CO₂e são relativas ao setor energético, que representa cerca de 70% das emissões totais. Devido ao investimento que Portugal tem feito na adoção de medidas de redução das emissões de GEE no setor da energia, tem-se verificado um decréscimo significativo das emissões totais de GEE nos últimos anos (DGEG, 2015). No entanto, e de acordo com o Inventário Nacional de Emissões de 2012 (relativo ao ano 2010), as emissões de GEE representavam um aumento de 17,5% face a 1990 (Ganarra, 2011). A *figura 16* representa a evolução das emissões de GEE entre 1990 e 2012.

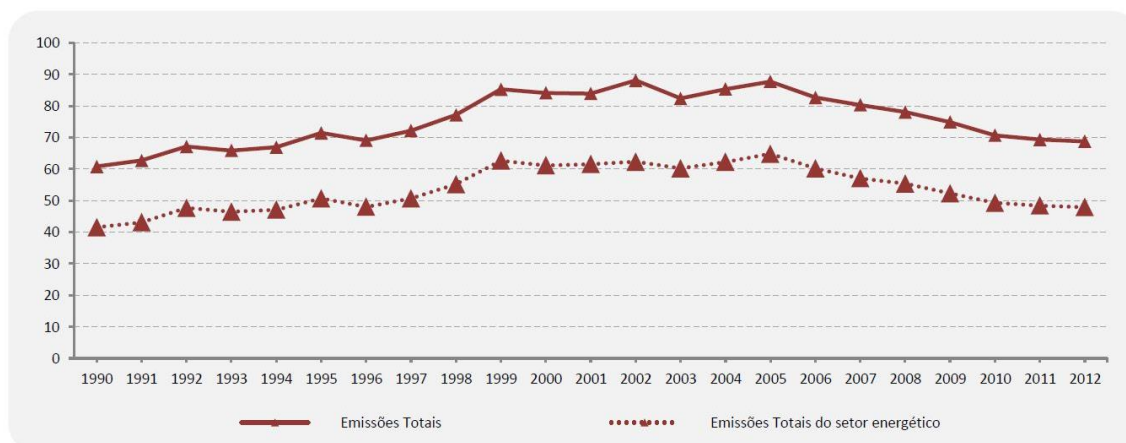


Figura 16 - Evolução das Emissões de GEE em Portugal (Mton CO₂e) (DGEG, 2015).

A estagnação, e posterior descida do PIB a partir de 2007, decorrente da crise económica mundial, conduziram naturalmente a um decréscimo do consumo energético nacional, com consequente diminuição das emissões de GEE em Portugal. No entanto, não se pode assumir a crise económica como o único fator de redução das emissões de GEE, dado que a partir de 2005 se verificou uma divergência entre o crescimento do PIB e o crescimento das emissões, o que significa que estas iniciaram o seu decréscimo por outras razões que não o abrandamento da economia.

Segundo os profissionais do Comité Executivo da Comissão para as Alterações Climáticas (CECAC) existem vários fatores que explicam o fenómeno de decréscimo das emissões de GEE: a crescente incorporação de energia renovável e gás natural na produção de eletricidade; uma melhoria das emissões do sector florestal; uma redução dos incêndios; ganhos de eficiência

no sector habitacional e no sector dos transportes (pela incorporação de biocombustíveis); a eficiência energética nos sectores abrangidos pelo Comércio Europeu de Licenças de Emissão (CELE); a reforma “verde” da tributação automóvel e ainda a atual crise económica (Ganarra, 2011). Esta opinião é partilhada pelo secretário de Estado do Ambiente, Paulo Lemos, que diz que a estagnação da economia não é o fator central (Garcia, 2014). Refere ainda: “A tendência de decréscimo vem desde 2005. Não duvido que haja um efeito da crise mais recente, mas há o efeito de políticas como a das renováveis, da eficiência energética, da fiscalidade automóvel” (Público, 2014).

É notório o impacto positivo da eficiência energética na redução das emissões de GEE em Portugal, que volta a ter um importante contributo no cumprimento do Protocolo de Quioto. Este protocolo de partilha de responsabilidades a nível comunitário estabelecia que Portugal não podia exceder as 382 Mton CO₂e no período 2008-2012. Em 2012 Portugal encontrava-se em linha para cumprir os objetivos, restando 20,4 Mton CO₂e para se atingir o máximo permitido (DGEG, 2015). Segundo o Sistema de Previsão do Cumprimento de Quioto da Comissão para as Alterações Climáticas do Ministério do Ambiente, Portugal conseguiu um desvio face à Meta Nacional 2008-2012 de menos 6,96% e menos 26,58 Mton CO₂e, valores que ficam bastante abaixo da meta que lhe cabia, encerrando assim o primeiro ciclo de Quioto com resultados bem positivos (Almeida, 2012).

3.1.4 Peso dos setores de habitação e de serviços nos consumos energéticos

Os setores doméstico e de serviços representavam, em 2013, 29% do consumo final de energia em Portugal, valor que se manteve inalterado desde 2004. Apesar da estagnação conjunta dos dois setores, houve durante este período, um aumento de 1% no consumo no setor doméstico e uma redução na mesma ordem de grandeza no setor de serviços (DGEG, 2015). Comparando estes resultados com os do período de 1990-2004, quando o setor doméstico tinha uma taxa de crescimento média anual do consumo final de energia de 1,9% e o setor de serviços de 8,6%, verifica-se uma tendência decrescente na taxa de crescimento do setor doméstico na ordem dos 0,9% e uma tendência decrescente nos consumos do setor de serviços, revelando um investimento na eficiência energética deste setor (Freitas, 2012).



Figura 17 - Distribuição do consumo de energia por setores (DGEG, 2015).

3.2 Sistema de Certificação Energética dos Edifícios – Um contributo para a eficiência energética

Os edifícios são vistos como um dos sectores onde se poderão obter ganhos importantes ao nível dos consumos energéticos, razão pela qual se assiste a um esforço a nível europeu para combater a ineficiência energética. É nesse sentido que surge o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE) que integra agora o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS), que sendo um dos três pilares sobre os quais assenta a legislação relativa à qualidade térmica dos edifícios em Portugal, visa assegurar e promover a melhoria do desempenho energético dos edifícios (ADENE, 2013). O impacto mais evidente do SCE sobre o parque residencial existente manifesta-se através da obrigatoriedade destes apresentarem um certificado energético aquando da sua venda ou arrendamento (ITIC, 2008).

O certificado energético assume um papel importante na caracterização energética dos imóveis, referindo o estado do edifício e o respetivo potencial de reabilitação propondo medidas de melhoria, sendo que recentemente foi otimizado na ótica dos consumidores apresentando linguagem menos técnica e mais sintetizada. Esta ferramenta caracteriza o nível de desempenho energético dos imóveis através de classes de A+ a G, do mais eficiente para o menos eficiente respetivamente (ADENE, 2013).

Apesar da obrigatoriedade de se apresentar um certificado energético nas condições mencionadas anteriormente, os proprietários não são obrigados a realizar qualquer tipo de obras que visem a melhoria energética dos edifícios. O desafio é então provar que existem vantagens objetivas para que haja uma tomada de decisão favorável. O argumento que assume mais peso nos dias de hoje, e que é o principal objetivo desta dissertação, é provar que o investimento na reabilitação energética dos edifícios é viável, sendo portanto, recuperável em prazos atrativos, isto é, num período de tempo relativamente curto considerando o período de vida útil de um edifício. Outros argumentos com demasiada importância quer social, ambiental ou económica, não estão, porventura, na base da tomada de decisão como por exemplo, o impacto do consumo energético dos edifícios sobre o ambiente, a melhoria da qualidade do ar interior dos edifícios

e conseqüente melhoria da saúde dos seus ocupantes, devido ao facto de não haver uma tradução monetária direta para os investidores ou utilizadores do edifício (ITIC, 2008).

4. A REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS

4.1. A Reabilitação em Portugal

Tem vindo a assistir-se a um aumento do número de fogos reabilitados, continuando contudo a ser inferior ao número de fogos concluídos em construções novas. Entre 1991 e 2011 existiram dois períodos com evoluções distintas. Numa primeira fase, de 1991 a 2001, verificou-se um crescimento progressivo do número de fogos concluídos em construções novas e a manutenção do número de fogos reabilitados, ligeiramente acima dos 2 000 fogos por ano. Numa segunda fase, entre 2002 e 2011, a tendência foi decrescente no número de fogos concluídos em obras de construção nova e crescente no número de fogos reabilitados. Apesar do aumento de reabilitações neste período, o número de fogos concluídos em construção nova continua a ser deveras maior, como se pode constatar na *figura 28*.

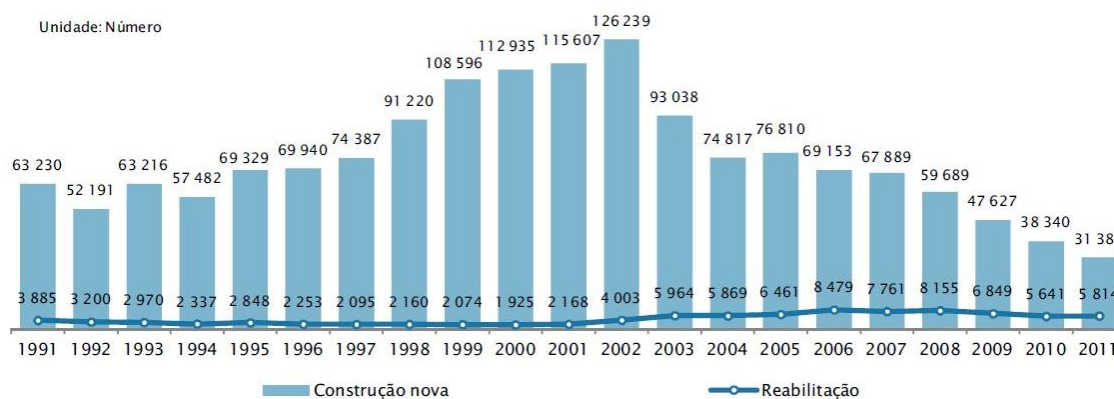


Figura 18 - Número de fogos concluídos em obras de construção nova e reabilitação (INE, 2013).

O decréscimo significativo do número de fogos concluídos em construção nova representava em 2011, uma queda de 75,1% face aos resultados de 2002 e as previsões indicavam que até 2015 a tendência seria da continuação de uma redução gradual até aos 9.000 fogos concluídos. Este fator contribuiu significativamente para o aumento da taxa de reabilitação demonstrando que não se deveu, única e exclusivamente, ao aumento do número de fogos concluídos em obras de reabilitação (INE, 2013).

A reabilitação tem sido fortemente impulsionada por entidades particulares, principalmente pessoas singulares, sendo em grande parte referente a edifícios residenciais.

Comparando Portugal com outros países da União Europeia (*figura 19*), verificou-se que em 2011 era o 5º país com menor taxa de reabilitação ao lado da República Checa com apenas 26% da distribuição da produtividade do setor da construção.

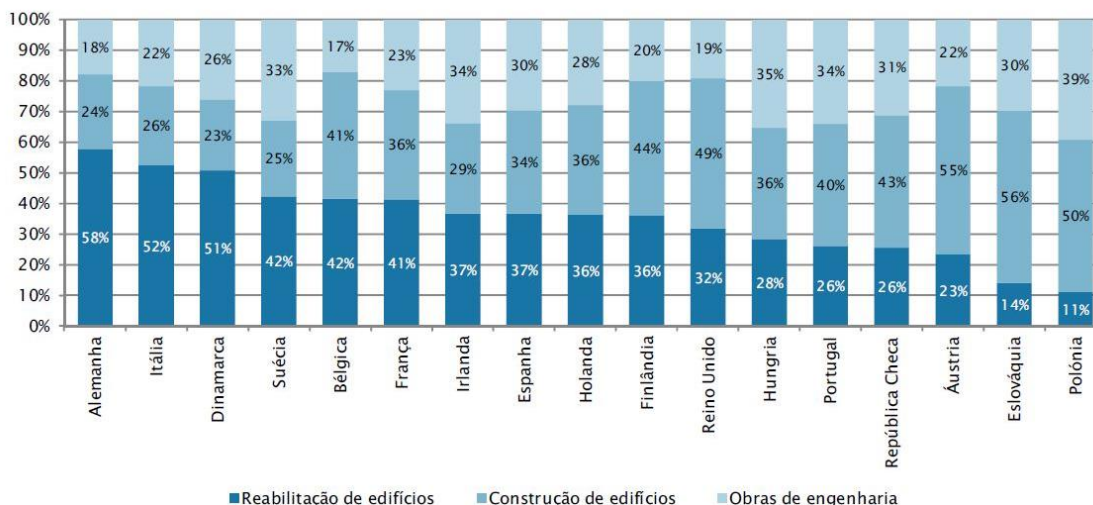


Figura 19 - Distribuição da produtividade do setor da construção em países da União Europeia segundo segmento, 2011 (INE, 2013).

Diversos fatores podem estar a retrair a atividade do segmento da reabilitação, nomeadamente:

- A falta de liquidez financeira das empresas e dos promotores imobiliários;
- Dificuldade de escoamento de habitação nova;
- A existência de um quadro legal da construção que não se adequa (parcial ou substancialmente) às intervenções de reabilitação (Vilhena, 2013).

4.2 Oportunidades de reabilitação energética

Existe em Portugal uma grande oportunidade para o desenvolvimento da reabilitação energética dos edifícios. É importante demonstrar que não são necessariamente só os fogos para os quais seja necessário solicitar um Certificado Energético que constituem uma oportunidade de reabilitação.

Como visto anteriormente, e segundo o censo 2011, 17,6% dos edifícios necessitavam de pequenas reparações, 6,9% necessitavam de reparações médias e 2,7% necessitavam de grandes reparações. Embora não se consiga estabelecer uma relação direta entre o estado de conservação e o seu desempenho energético, o senso comum diz que a probabilidade de um edifício comprometer o conforto térmico dos seus ocupantes aumenta consideravelmente à medida que se verifica a degradação de alguns dos seus elementos construtivos, promovendo naturalmente a sua ineficiência energética. Um estudo realizado pelo Instituto Técnico para a Indústria da Construção (ITIC), considerou um universo de cerca de 3,3 milhões de edifícios aos quais correspondiam pouco mais de 5,5 milhões de alojamentos familiares clássicos, pertencentes ao parque habitacional existente à data do Censo 2001 com algumas correções, com vista à quantificação do edificado construído no período pós censitário (2001 a 2006). O ITIC concluiu

que deste universo, 43% dos edifícios eram um potencial alvo de reabilitação de obras de requalificação energética. Segundo a fonte, a estimativa do potencial de reabilitação energética baseou-se na quantificação do valor das obras previsivelmente mais frequentes em processos de requalificação energética de um edifício, isto é, colocação de vidros duplos nas janelas, revestimento térmico das paredes e da cobertura. Não foram consideradas as seguintes intervenções: colocação de coletores solares para aquecimento de águas sanitárias, proteção térmica das canalizações de água quente, substituição de esquentadores por caldeiras, modernização e correto dimensionamento das instalações elétricas e a colocação de estores exteriores em edifícios que não os tenham ou nos quais os existentes estejam em mau estado. De acordo com os seus cálculos, o ITIC afirmava que, com um investimento por fogo na ordem dos 5.000 euros, o mercado potencial deveria situar-se entre 11.350 milhões de euros e 14.276 milhões de euros. Admitindo a existência de 2,5 milhões de fogos com potencial de requalificação energética, e estimando-se um ritmo de requalificação na ordem dos 100.000 fogos/ano, assumiam que existia um potencial com um período de execução de 25 anos (ITIC, 2008).

4.3 Aspetos que afetam o desempenho energético dos edifícios

Analisar a possibilidade de incluir-se medidas de eficiência energética num edifício exige que se considere não só o estado de degradação do edifício, mas também as suas características atuais que podem afetar negativamente o seu desempenho térmico, aumentando os consumos energéticos, quer na estação de aquecimento, quer na estação de arrefecimento (Garcia, 2014).

Destacam-se as características que mais afetam o desempenho térmico do edifício:

- Insuficiente isolamento térmico nos elementos da envolvente opaca;
- Existência de pontes térmicas;
- Presença de humidade, afetando o desempenho energético e a durabilidade;
- Baixo desempenho térmico dos vãos envidraçados e portas;
- Falta de proteção solar adequada nos vãos envidraçados, dando origem a sobreaquecimento no interior dos edifícios;
- Ventilação não controlada, criando maiores necessidades de aquecimento no inverno, ou pelo contrário, ventilação insuficiente dando origem ao aumento da humidade relativa no Inverno e sobreaquecimento no Verão com conseqüente desconforto dos ocupantes e redução da qualidade do ar interior.

Existem fatores associados à utilização dos ocupantes dos edifícios, nomeadamente, comportamentos inadequados na conservação da energia, que também podem aumentar significativamente os consumos energéticos, dos quais se destacam:

- Utilização dos sistemas de arrefecimento e/ou aquecimento enquanto as janelas estão abertas;

- Climatização desnecessária dos espaços, permitindo temperaturas interiores fora dos níveis recomendados, isto é, demasiado quentes no Inverno e demasiado frios no Verão.

4.4 Reabilitação energética em edifícios

4.4.1 Contextualização

A reabilitação energética integra medidas que permitem reduzir os consumos energéticos, otimizam balanços energéticos e melhoram de forma muito significativa as condições de conforto e salubridade dos utilizadores (Silva, 2013). As intervenções desta natureza assumem particular importância no contexto da reabilitação geral de edifícios, não só pelos benefícios que trazem para os utilizadores dos edifícios, mas também pelo contributo no cumprimento das metas nacionais e europeias no que diz respeito à eficiência energética e à emissão de GEE.

As medidas de economia e de utilização racional de energia que integram as estratégias de reabilitação energética têm em consideração três linhas de intervenção:

- Envolvente;
- Equipamentos;
- Energias renováveis.

Ao nível da envolvente as medidas mais frequentes incidem no reforço da proteção térmica, no controlo das infiltrações de ar e no recurso a tecnologias solares passivas e ativas (Paiva et al, 2006). As intervenções na envolvente têm como objetivo essencial minimizar as trocas energéticas entre o espaço interior aquecido e o exterior (Silva, 2013). É a este nível que se encontram as ações de reabilitação mais acessíveis (Machado, 2014).

A melhoria da eficiência dos sistemas e equipamentos energéticos constituem medidas importantes, garantindo melhores rendimentos e conseqüentemente menores consumos. No entanto, são medidas que no contexto nacional atual apresentam uma relação custo/benefício pouco favorável devido aos custos elevados de investimento e manutenção (Almeida, 2012).

A integração de energias renováveis seria benéfica essencialmente ao nível da diminuição das necessidades energéticas na produção de Águas Quentes Sanitárias (AQS) com colocação de sistemas solares térmicos (Machado, 2014). No entanto, e à semelhança dos equipamentos, apresenta custos de investimento e manutenção elevados, apresentando no contexto atual uma relação custo/benefício desfavorável (Almeida, 2012).

A combinação de medidas de eficiência energética, de conservação de energia e de redução das emissões de carbono, constitui na maioria dos casos a solução de reabilitação mais eficaz e mais rentável (Almeida, 2012). Esta combinação simultânea de medidas pode trazer sinergias, já que permite reforçar o efeito de cada uma delas e, muitas vezes, constitui a única forma de se

assegurar o efeito de determinada medida aplicada (Paiva et al, 2006). É de assinalar que nem todas as combinações são rentáveis atendendo à relação entre custos de investimento, custos energéticos e custos de manutenção que se podem obter da sua aplicação. Torna-se portanto, fundamental determinar as melhores combinações de medidas de eficiência energética, conservação de energia e redução das emissões de carbono, de modo a obter-se a solução de custo ótimo (Almeida, 2012).

As medidas de reabilitação energética, quando bem estruturadas, trazem cobenefícios que são muitas vezes as razões principais que levam à tomada de decisão da realização de uma reabilitação, assumindo no contexto nacional atual maior importância que as reduções das necessidades energéticas e dos potenciais consumos de energia. De entre os cobenefícios destacam-se:

- Aumento da qualidade e valor do edifício;
- Melhoria das condições de conforto;
- Redução das patologias;
- Redução dos custos de manutenção e uso do edifício;
- Redução da potência dos equipamentos dos sistemas de climatização a instalar ou a reabilitar.

Apesar de não ser um dos cobenefícios com maior influência aquando da tomada de decisão da realização de uma reabilitação energética, a redução das emissões de CO₂, CO, NO_x e SO₂ é um dos mais importantes, dado que tem um contributo muito positivo para redução do impacto ambiental e para a saúde (Paiva et al, 2006).

4.4.2 Reabilitação térmica da envolvente dos edifícios

A reabilitação térmica da envolvente dos edifícios representa a parcela da reabilitação energética que assume maior importância no contexto nacional atual, devido à sua relação custo/benefício. Estudos indicam que se consegue reduzir o consumo energético dos edifícios entre 30% a 35% apenas com a realização de pequenas intervenções que otimizem a envolvente (Silva, 2013).

Como abordado anteriormente, a reabilitação térmica da envolvente dos edifícios pode ser realizada através da implementação de 3 tipos de medidas distintas visando a economia de energia: reforço da proteção térmica, controlo das infiltrações de ar e recurso a tecnologias solares, passivas e ativas (Paiva et al, 2006).

O reforço da proteção térmica pode ser obtido através do isolamento térmico dos elementos da envolvente opaca, nomeadamente, paredes exteriores, pavimentos sobre espaços exteriores ou não aquecidos e coberturas (Silva, 2013). Pode ser obtido também através do reforço do isolamento térmico dos vãos envidraçados e do controlo dos ganhos solares devidos aos vãos

envidraçados, adotando proteções solares que adequem estes ganhos às necessidades de aquecimento e arrefecimento no inverno e verão, respetivamente (Paiva et al, 2006).

As infiltrações de ar podem ser responsáveis por 30% a 50% do total das necessidades energéticas de aquecimento, o que leva à necessidade de minimizar caudais (Silva, 2013). Isso pode ser conseguido através da reparação e, eventualmente, da reabilitação da caixilharia exterior (Paiva et al, 2006). No entanto, não se pode ter só em atenção o conforto térmico interior deixando o edifício estanque. É necessário assegurar-se um caudal mínimo tendo em atenção a qualidade do ar interior e a minimização do risco de condensações. Apesar de difícil, é extremamente importante que se encontre um equilíbrio entre o conforto térmico e a qualidade do ar interior (Silva, 2013).

As tecnologias solares passivas constituem uma excelente medida de resolução do excesso de perdas térmicas nos vãos envidraçados na estação de aquecimento, dado que estas perdas podem ser responsáveis por 35% a 40% das perdas térmicas totais dos edifícios de habitação nesta estação (Paiva et al, 2006). A integração destas tecnologias nos vãos envidraçados passa, por exemplo, pelo aumento da área de vãos envidraçados nas fachadas viradas a sul ou pela implementação de espaços tipo “estufa” ou “solário” ligados a envidraçados pré-existentes, aumentando desta forma os ganhos solares no inverno. No entanto, há que garantir nestes casos a adequada proteção durante a estação de arrefecimento para minimizar o risco de sobreaquecimento (Silva, 2013).

4.4.3 Reabilitação térmica das paredes exteriores

Contribuir para a qualidade térmica pode não ser a única razão para se tomar a decisão de colocar isolamento térmico nas paredes exteriores, porque este também pode contribuir para a correção ou reparação de anomalias nos paramentos existentes (Simões, 2007).

Atendendo às necessidades e às limitações dos edifícios pode optar-se por colocar o isolamento térmico em diferentes localizações da parede exterior: no exterior, no interior ou na caixa de ar, caso se trate de parede dupla. Cada uma destas opções admite diversos tipos de soluções que se apresentam no *quadro 1*.

Localização do isolamento térmico	TIPOS DE SOLUÇÕES	
Exterior	Revestimentos não isolantes independentes (com interposição de um isolante térmico na caixa de ar)	Revestimentos independentes descontínuos (elementos fixados mecanicamente)
		Revestimentos independentes contínuos de ligantes minerais armados (rebocos armados e desligados do suporte)
	Sistemas compósitos de isolamento térmico pelo exterior com revestimento sobre isolante	Revestimentos espessos de ligantes minerais, armados (rebocos armados), sobre isolante
		Revestimentos delgados de ligantes sintéticos ou mistos, armados, sobre isolante
	Revestimentos isolantes	Vetures
		Rebocos isolantes
Revestimentos de espuma isolante projetada		
Interior	Painéis isolantes prefabricados (em geral com altura de andar) fixados contra a parede	
	Contra fachadas	Com caixa de ar simples
		Com interposição de um isolante térmico e sem caixa de ar
		Com interposição de um isolante térmico e com caixa de ar
Revestimentos refletores		
Na caixa de ar (em paredes duplas)	Injeção de produtos isolantes a granel	Fibras ou flocos
		Grânulos de material isolante
	Injeção de espumas isolantes	Espuma rígida de poliuretano
		Espuma de ureia-formaldeído

Quadro 1 - Soluções de reforço do isolamento térmico de paredes exteriores (Paiva et al, 2006).

Em caso de paredes com apenas um pano, resta apenas a possibilidade de colocação de isolamento térmico pelo interior ou pelo exterior. A opção por uma das duas soluções possíveis está condicionada por vários aspetos como, por exemplo, a necessidade de preservação da arquitetura da fachada exterior, que obriga à colocação do isolamento na face interior, ou a falta de espaço interior ou até mesmo o estado de degradação da face exterior, que levam à opção pela colocação do isolamento na face exterior da parede.

4.4.3.1 Soluções de isolamento térmico exterior

A colocação de isolamento térmico exterior apresenta mais vantagens face à solução de colocação do isolamento interior. Caso não hajam limitações arquitetónicas, nomeadamente, a necessidade de preservação da fachada, deve optar-se pela colocação do isolamento pelo exterior, pois as suas vantagens superam claramente as desvantagens, destacando-se a melhoria da inércia térmica interior das construções e a eliminação de pontes térmicas (*quadro 2*).

VANTAGENS	Isolamento térmico mais eficiente
	Melhoria da resistência da parede à penetração da chuva
	Disponibilidade total da capacidade térmica da parede para a inércia térmica interior do edifício
	Ausência de descontinuidade da camada isolante
	Manutenção das dimensões dos espaços interiores
	Dispensa de interrupções nas instalações interiores e de trabalhos de reposição de acabamentos
	Eliminação das pontes térmicas e das consequentes condensações nas paredes
	Menores riscos de incêndio e de toxicidade
	Manutenção da ocupação dos edifícios durante as obras
	Melhoria do aspeto exterior dos edifícios (eventualmente)
INCONVENIENTES	Alteração do aspeto exterior do edifício
	Dificuldade eventual de execução de remates em zonas de ângulo e ressaltos
	Custo em regra mais elevado
	Maior risco de degradação por vandalismo
	Risco de fendilhação dos revestimentos (em soluções com revestimentos contínuos)

Quadro 2 - Vantagens e inconvenientes do isolamento térmico exterior de fachadas em relação ao isolamento interior (Paiva et al, 2006).

Das soluções apresentadas, as mais utilizadas são:

- Revestimentos independentes descontínuos com interposição de um isolante térmico na caixa de ar;
- Sistemas compósitos de isolamento térmico pelo exterior com revestimento sobre o isolante.

4.4.3.1.1 Revestimentos independentes descontínuos com interposição de um isolante térmico na caixa de ar

Vulgarmente conhecidas por sistemas de fachada ventilada, as soluções de revestimentos descontínuos com interposição de um isolante térmico na caixa de ar consistem no recobrimento geral da face exterior da parede com um material de baixa condutibilidade térmica (por exemplo, placas de poliestireno expandido moldado (EPS) ou extrudido (XPS), ou mantas de lã mineral), e na colocação de um revestimento independente (constituído, por exemplo, por placas de pedra, placas cerâmicas, placas de fibrocimento ou placas plásticas) fixado à parede através de uma estrutura de suporte metálica ou de madeira, que visam proteger o isolamento térmico da ação da chuva incidente. A estrutura de suporte também tem um papel fundamental na definição de uma caixa de ar fortemente ventilada (no mínimo 20 mm de espessura) entre o revestimento e o isolamento térmico (Paiva et al, 2006). Este tipo de fachada tem várias vantagens das quais se destacam: a minimização do risco de formação de humidade na parede devido ao “efeito de chaminé” que se cria na caixa de ar (admissão de ar frio na base da fachada e saída de ar quente na parte superior); e o facto de manter a parede sombreada no verão protegendo-a dos raios solares, o que permite assegurar temperaturas mais baixas na parede e consequentemente no interior do edifício aumentando o conforto.

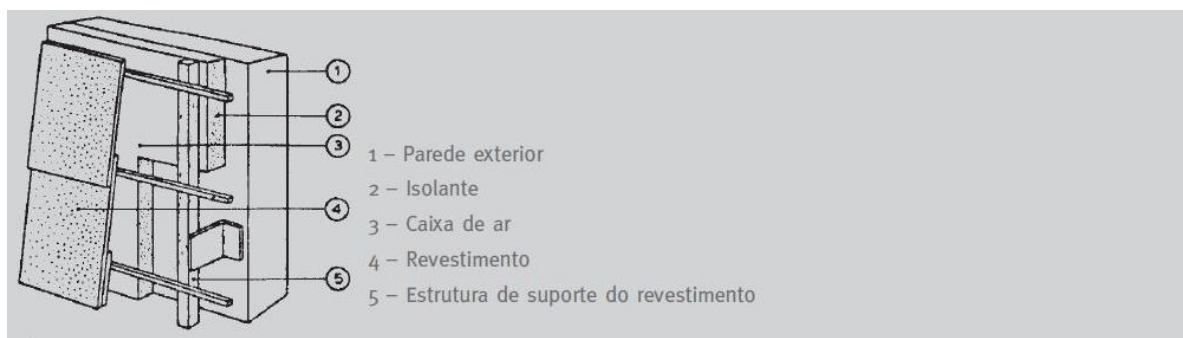


Figura 20 - Revestimento independente descontínuo com isolante térmico na caixa de ar (DGEG, 2004).

4.4.3.1.2 Sistemas compósitos de isolamento térmico pelo exterior com revestimento sobre o isolante

Os sistemas compósitos de isolamento térmico pelo exterior com revestimento sobre o isolante são correntemente conhecidos como ETICS (External Thermal Isulation Composite Systems) e constituem a solução mais utilizada para aplicação do isolamento térmico pelo exterior na atualidade (Silva P., 2013). Este tipo de solução é constituída por placas de isolamento térmico fixadas à face exterior da parede exterior por colagem, por fixação mecânica ou por ambos os processos, revestidas por um reboco armado com rede metálica ou rede de fibra de vidro. O acabamento final pode ser pintado ou revestido de modo a transmitir uma aparência tradicional.

O sistema ETICS apresenta dois subtipos que se distinguem pela espessura do revestimento aplicado: sistema com revestimento espesso e sistema com revestimento delgado. Os sistemas

de revestimento espesso são constituídos normalmente por placas de lã mineral ou de poliestireno expandido moldado na camada de isolamento térmico e por um revestimento de ligante mineral armado com uma rede metálica ou de fibra de vidro. Os sistemas com revestimento delgado caracterizam-se por utilizarem, tipicamente, placas de poliestireno expandido moldado (EPS) e um revestimento de ligante sintético ou misto armado com uma rede de fibra de vidro (Paiva et al, 2006).

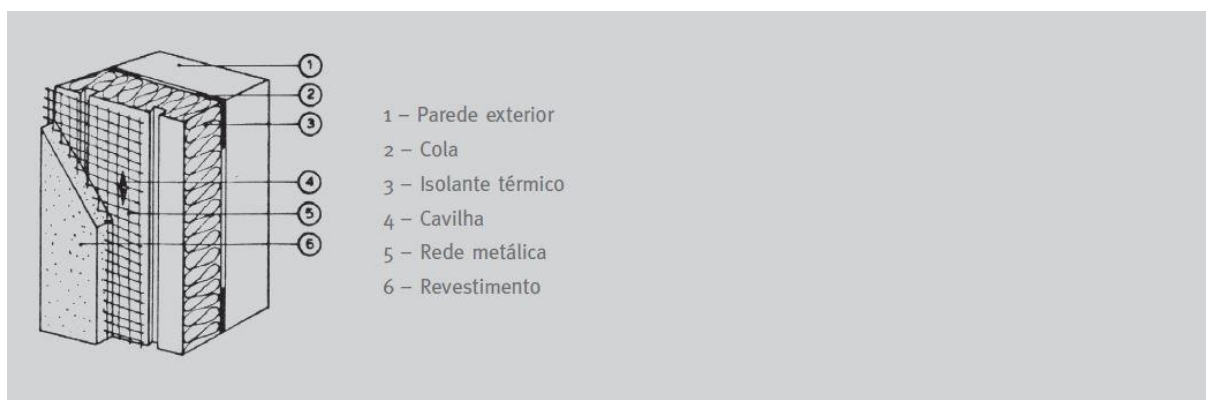


Figura 21 - Sistema de isolamento térmico composto exterior com revestimento espesso (DGEG, 2004).

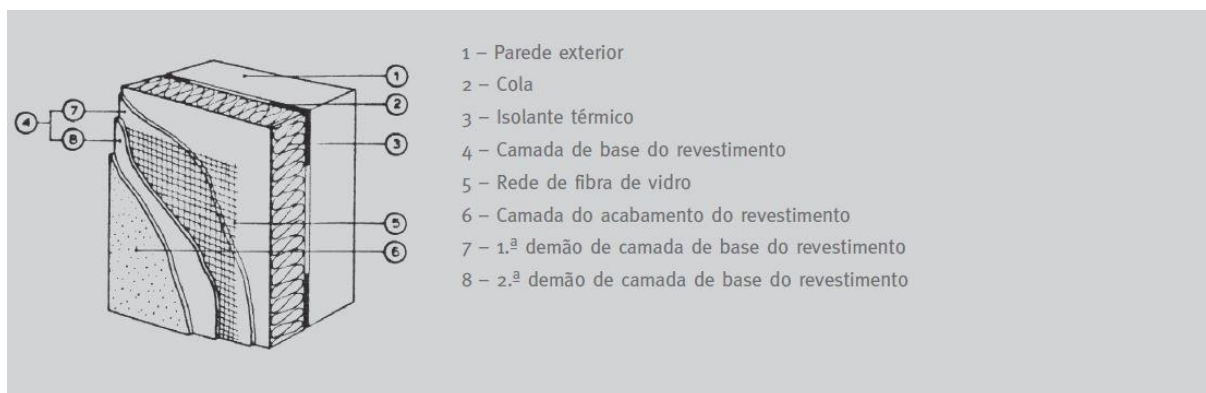


Figura 22 - Sistema de isolamento térmico composto exterior com revestimento delgado (DGEG, 2004).

4.4.3.1.3 Rebocos isolantes

Os rebocos isolantes surgem no sentido de melhorar as características térmicas de um reboco face aos rebocos tradicionais. As argamassas que os constituem incorporam grânulos de um isolante térmico, como por exemplo o poliestireno expandido, melhorando a condutibilidade térmica do revestimento e contribuindo assim para o aumento da resistência térmica do edifício. Contudo, este tipo de revestimento apresenta espessuras máximas limitadas e o seu contributo para a resistência térmica do edifício não é tão significativa como nos sistemas em que se utilizam camadas de isolamentos térmicos. Por esta razão, a utilização de rebocos isolantes tem

de ser vista como uma solução de isolamento térmico complementar, necessitando sempre da adoção de outras medidas (Paiva et al, 2006).

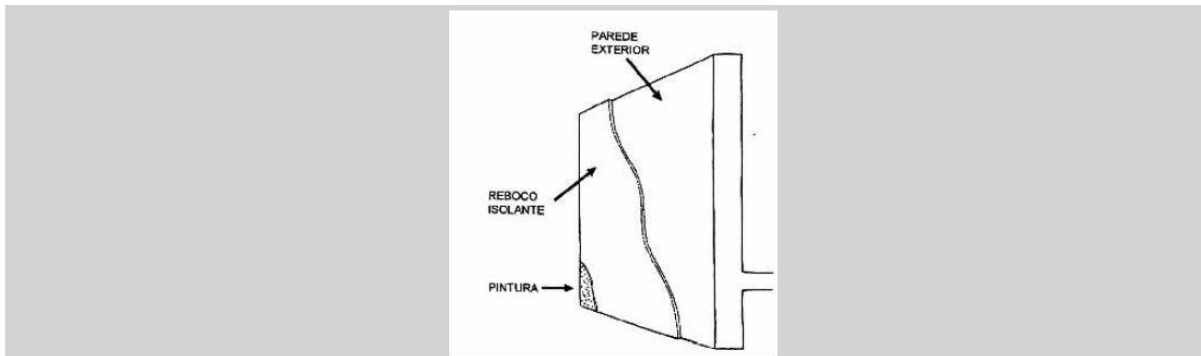


Figura 23 - Solução de rebocos isolantes (DGEG, 2004).

4.4.3.2 Soluções de isolamento térmico interior

Apesar de ser uma solução com menos benefícios que a solução de isolamento pelo exterior, colocar isolamento térmico pelo interior é em muitas situações a única opção viável.

Como soluções aplicáveis em superfície corrente pode optar-se pela aplicação de painéis isolantes prefabricados fixados contra a parede rehabilitada ou pela execução de uma contra fachada no lado interior da parede.

4.4.3.2.1 Painéis isolantes prefabricados

Esta solução consiste na colocação de painéis com a altura do andar constituídos por uma placa de gesso cartonado colada a uma placa de isolamento térmico, normalmente EPS ou XPS na face interior de paredes exteriores. A fixação dos painéis à parede pode ser feita através de colagem direta ou através de uma estrutura de apoio.

4.4.3.2.2 Contra fachada executada no lado interior da parede

Na execução de contra fachada no lado interior da parede exterior tem-se adotado correntemente dois tipos de soluções: contra fachada de alvenaria e contra fachada de gesso cartonado. Em ambas as soluções é aconselhável que se coloque uma camada de isolamento entre a parede exterior e a contra fachada. A diferença entre os dois tipos de solução está no tipo de paramento interior adotado, um constituído por alvenaria de pequena espessura e outro por um forro de placas de gesso cartonado com estrutura de apoio. Em ambas as soluções se rouba espaço interior, no entanto a contra fachada de gesso cartonado é a que prejudica menos a área e a funcionalidade dos espaços.

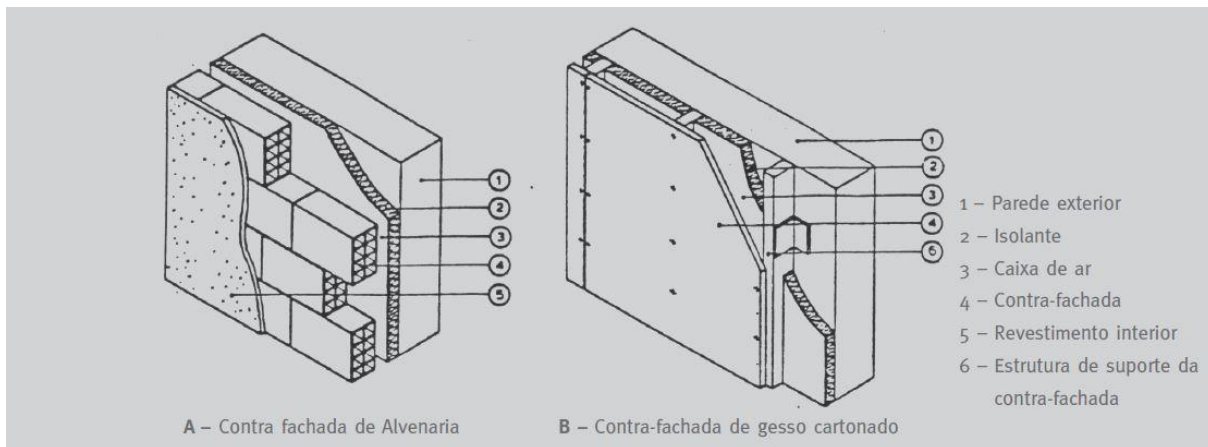


Figura 24 – Contra fachada com isolante na caixa de ar (DGEG, 2004).

4.4.3.3 Soluções de isolamento térmico na caixa de ar de paredes duplas

Se se pretende manter o aspeto exterior e interior das paredes e preservar a área útil do edifício, esta é a solução ideal, pois consiste no preenchimento da caixa-de-ar com materiais isolantes soltos ou espumas injetadas. Esta solução também permite reduzir as operações de reposição dos respetivos paramentos, que se limitam à vedação dos furos de injeção.

Contudo, existe uma série de cuidados a ter aquando da sua execução. É fundamental que o isolamento preencha completamente a caixa de ar e que não sofra qualquer tipo de assentamentos para evitar pontes térmicas. Uma das principais limitações desta solução reside no próprio isolamento térmico devido às suas características hidrófilas. Se o pano exterior não for estanque o isolamento térmico absorve água e vê a sua condutibilidade térmica afetada. A espuma de ureia-formaldeído é um dos materiais mais utilizados no isolamento térmico da caixa-de-ar e é um exemplo dos cuidados a ter aquando da adoção desta solução. Este material apresenta deficiente estabilidade higroscópica, dimensional e química podendo originar retrações e consequente fendilhação do material, absorção de água e libertação de formaldeído, respetivamente. É importante referir que o formaldeído é uma substância nociva para a saúde quando a sua concentração no ar excede o limite admissível, tornando-se fundamental assegurar a estanquidade do pano interior para evitar que se difunda no ambiente interno.

4.4.4 Reabilitação térmica dos pavimentos

Os pavimentos que devem ser sujeitos a reabilitação térmica são os que estão em contato com espaços exteriores, espaços interiores não aquecidos (garagem, armazéns, etc.), espaços não aquecidos e não ventilados (caixas de ar sobre o terreno) ou ainda os pisos térreos. A reabilitação dos pavimentos pode ser feita através da colocação de isolamento térmico em três zonas distintas:

- Na face superior do pavimento;
- Na face inferior do pavimento;
- Na zona intermédia, caso o pavimento possua vazios.

Embora não seja a solução que mais contribui para a eficiência energética do edifício, a aplicação do isolamento térmico sobre a laje é frequentemente adotada. Esta solução tem algumas limitações, nomeadamente a redução do pé direito e a interrupção do isolamento térmico no encontro com paredes divisórias.

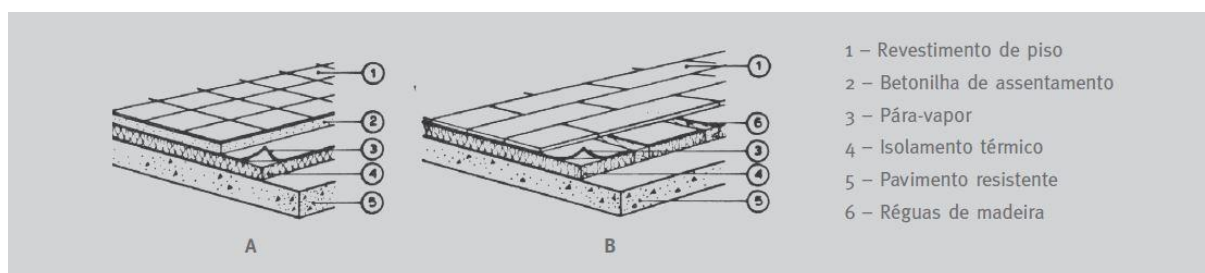


Figura 25 - Pavimentos sobre espaço exterior ou não aquecido - isolamento superior (DGEG, 2004).

Isolar pela face inferior do pavimento constitui a melhor solução, não só por ser mais eficiente do ponto de vista térmico, mas também pelo facto de em regra ser de mais rápida e fácil aplicação sendo de menor custo. No entanto, é necessário que o espaço subjacente seja acessível.

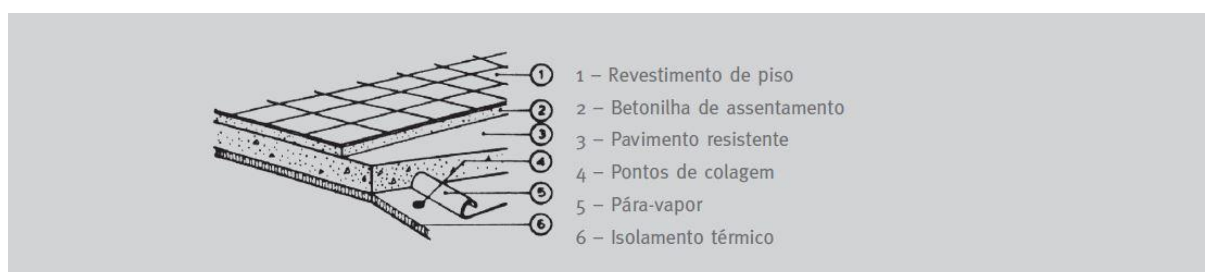


Figura 26 - Pavimentos sobre espaço exterior ou não aquecido - isolamento térmico inferior (DGEG, 2004).

A aplicação de isolamento na zona intermédia está restringida às lajes com vazios, por exemplo pavimentos com perfis metálicos (Silva P, 2013).

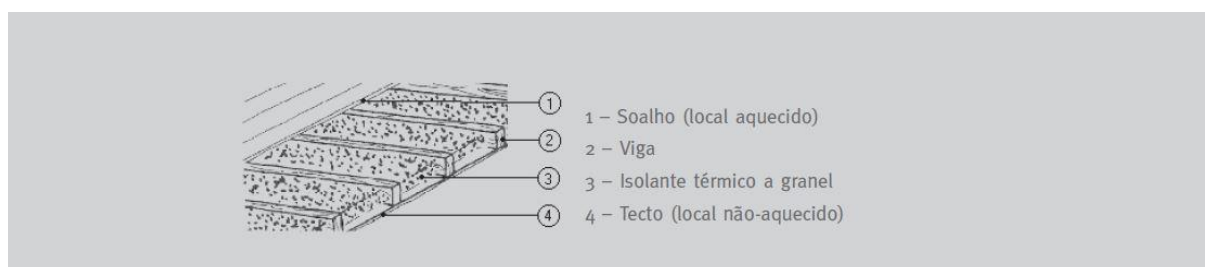


Figura 27 - Pavimento sobre espaço não aquecido - isolamento térmico intermédio (DGEG, 2004).

O quadro 3 apresenta vários tipos de soluções de isolamento de pavimentos sobre espaços exteriores ou não aquecidos.

Localização do isolamento térmico	TIPOS DE SOLUÇÕES	
Inferior	Sistemas compósitos de isolamento térmico pelo exterior com revestimento sobre isolante	Revestimentos espessos de ligantes minerais, armados (rebocos armados), sobre isolante
		Revestimentos delgados de ligantes sintéticos ou mistos, armados, sobre isolante
	Revestimentos isolantes	Vetures
		Rebocos isolantes
		Revestimentos de espuma isolante projetada
	Tetos falsos	Tetos falsos isolantes
Tetos falsos suportando uma camada de isolante térmico		
Superior	Camada isolante de betão leve entre o pavimento resistente e o revestimento de piso	
	Camada de isolante térmico entre o pavimento resistente e um piso flutuante	
Intermédio	Preenchimento dos vazios entre as vigotas de pavimentos de madeira com um isolante térmico (mantas de lã mineral ou isolante a granel)	

Quadro 3 - Soluções de reforço do isolamento térmico de pavimentos sobre espaços exteriores ou não aquecidos (Paiva et al, 2006).

4.4.5 Reabilitação térmica das coberturas

A cobertura, devido ao facto de estar mais exposta às situações adversas do ambiente e clima, nomeadamente radiação solar e grandes amplitudes térmicas, é um dos elementos da envolvente que mais afeta o desempenho térmico dos edifícios. Por isso, ao longo dos tempos têm surgido novos materiais, bem como novas técnicas construtivas com o intuito de melhorar o comportamento térmico das coberturas.

A aplicação de isolamento térmico neste elemento da envolvente é uma intervenção fundamental no âmbito da redução das perdas térmicas, pois influencia significativamente a necessidade de consumo energético na habitação, promovendo a eficiência energética da mesma, sendo uma medida relativamente simples e menos dispendiosa comparativamente com soluções de intervenção em outros elementos da envolvente (Veiga, 2011). São possíveis vários tipos de soluções de reabilitação térmica das coberturas conforme sintetizado no quadro 4.

Localização do isolamento térmico		TIPOS DE SOLUÇÕES			
Coberturas Inclinadas	Nas vertentes	Inferior	Mantas de material isolante (recobertas eventualmente com um forro inferior)	Fixadas contra as varas da cobertura	
				Fixadas contra réguas dispostas sob as varas e ao longo destas	
				Cruzadas em 2 camadas com interposição de réguas normais às varas	
		Superior	Placas de material isolante	Fixadas contra laje inclinada	
				Fixadas contra as varas da cobertura	
				Fixadas contra laje inclinada	
	Na esteira horizontal	Inferior	Revestimentos isolantes	Revestimentos descontínuos (placas fixadas mecanicamente ou coladas)	
				Tetos falsos	Teto falso isolante
					Teto falso suportando uma camada de isolante térmico
		Superior	Mantas de material isolante	Placas de material isolante	
				Material isolante a granel	Fibras ou flocos
					Grânulos de material isolante
Coberturas horizontais	Superior	Cobertura invertida	Isolante térmico sobre a impermeabilização		
			Suportes isolantes de impermeabilização		
	Intermédia	Isolante entre a laje e a camada de forma			
	Inferior	Tetos falsos	Teto falso isolante		
Teto falso suportando uma camada de isolante térmico					

Quadro 4 - Soluções de reforço do isolamento térmico das coberturas (Paiva et al, 2006).

4.4.5.1 Coberturas inclinadas

A reabilitação térmica das coberturas inclinadas pode ser executada através do reforço do isolamento térmico segundo quatro soluções possíveis em função da sua localização:

- Na face superior da esteira do teto;
- Na face inferior da esteira do teto;

- Nas vertentes da cobertura, em posição superior;
- Nas vertentes da cobertura, em posição inferior.

A melhor das quatro soluções é, inequivocamente, sempre que o desvão não seja habitável, o reforço do isolamento térmico na face superior da esteira do teto. Esta solução beneficia o edifício do ponto de vista térmico e energético, porque consegue um menor consumo de energia de aquecimento na estação fria, pois o desvão não necessita de ser aquecido e consegue um melhor desempenho na estação quente face à dissipação de calor permitida pela ventilação do desvão. Para além disso, é a mais económica mesmo comparativamente com as soluções de isolamento nas vertentes da cobertura, pois é de fácil execução, ocupa menor área e necessita de menor quantidade de material isolante.

A solução de reforço do isolamento térmico sob a esteira é a solução menos aconselhável, em particular quando existe laje de esteira, pois não é possível aplicar o isolamento de forma contínua devido ao encontro da laje com as paredes divisórias. Esta solução tem como inconveniente o facto de não proteger a estrutura contra as variações térmicas de origem climática favorecendo as condensações internas.

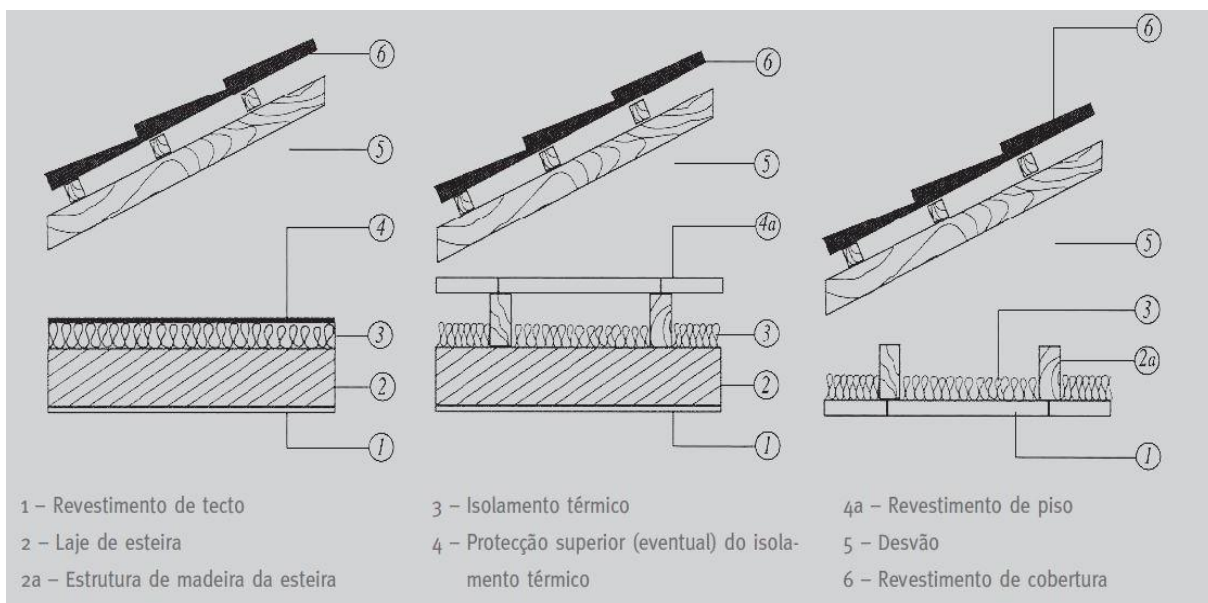


Figura 28 - Cobertura inclinada com desvão não habitável - isolamento térmico na esteira horizontal (DGEG, 2004).

O reforço do isolamento nas vertentes da cobertura apenas deve ser realizado em situações em que o desvão seja habitável. A colocação de isolamento em posição inferior é, na maioria das vezes, utilizada em casos de reabilitação de edifícios em que não seja possível remover o revestimento exterior da cobertura. Esta solução não permite o aproveitamento dos elementos da cobertura para efeitos do cálculo da inércia e não contribui para a resolução das pontes

térmicas. Assim sendo, caso seja possível remover o revestimento exterior da cobertura, deve optar-se pela colocação do isolamento térmico na vertente em posição superior. Contudo, como o isolamento é colocado imediatamente sob o revestimento descontínuo da cobertura, existe risco de penetração de água da chuva batida pelo vento através das juntas do revestimento, sendo assim recomendável que se proteja o isolamento térmico com uma membrana, colocada na sua face superior, que impeça a passagem de água e a consequente molhagem do material isolante. No entanto, a membrana não deve constituir uma barreira pára-vapor do lado exterior do isolamento térmico, pois daria origem a condensações internas, existindo para este efeito membranas microperfuradas.

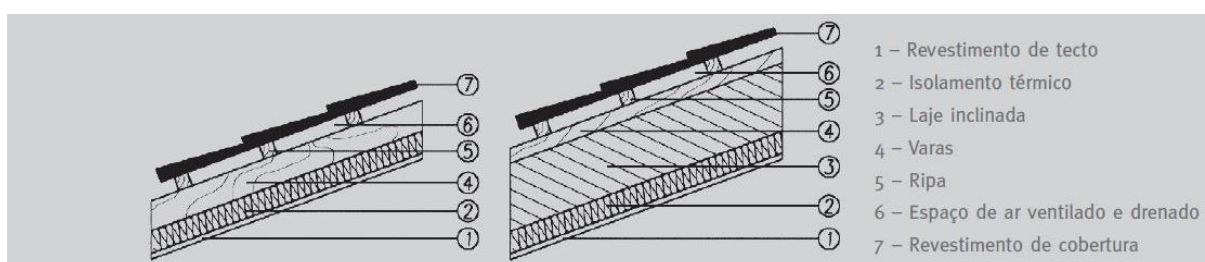


Figura 29 - Cobertura inclinada com desvão habitável - isolamento térmico nas vertentes (DGEG, 2004).

4.4.5.2 Coberturas horizontais

Para o reforço do isolamento térmico das coberturas horizontais, existem três grandes opções, caracterizadas pela posição relativa do isolante térmico a aplicar em cada uma delas:

- isolamento térmico superior;
- isolamento térmico intermédio;
- isolamento térmico inferior.

Estas três grandes opções admitem soluções de diferentes tipos. De entre as opções possíveis, a mais aconselhável é aquela em que o isolamento térmico é aplicado em posição superior, ou seja, acima da camada de forma. Dentro desta opção existem ainda duas soluções possíveis:

- cobertura invertida;
- suportes isolantes de impermeabilização.

Entre as duas soluções possíveis, a melhor opção é a de “cobertura invertida”, porque o facto do isolante térmico em placas ser colocado sobre a impermeabilização permite aumentar a vida útil desta ao protegê-la de amplitudes térmicas significativas (DGEG, 2004). Para além disso, nos casos de reabilitação térmica de coberturas horizontais, em que a impermeabilização se encontra em bom estado e não seja necessário proceder-se à sua substituição, como o isolamento térmico fica sobre esta camada evita-se a necessidade de a refazer, contrariamente ao caso de adoção da solução de suportes isolantes de impermeabilização (solução onde a impermeabilização está sobre o isolamento térmico). É fundamental proteger este sistema contra as ações do vento e da radiação direta do sol, colocando-se uma proteção pesada sobre

o isolamento térmico, com a dupla função de evitar o seu deslocamento e a sua degradação devido ao efeito dos raios ultravioleta.

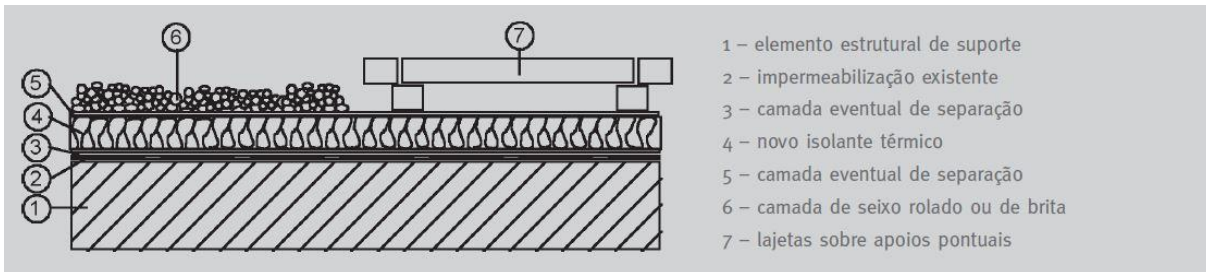


Figura 30 - Cobertura invertida sobre impermeabilização existente ou nova (DGEG, 2004).

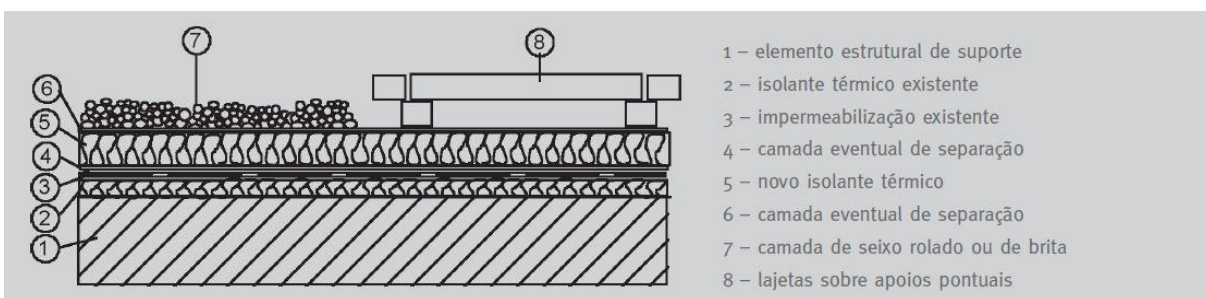


Figura 31 - Cobertura invertida sobre isolante suporte de impermeabilização (DGEG, 2004).

A execução do reforço de isolamento térmico em posição intermédia, isto é, entre a esteira horizontal e a camada de forma, é uma solução possível, embora exija cuidados especiais na sua execução e conceção para evitar que ocorram fenómenos de choque térmico, nas camadas acima do isolante térmico, e a sua consequente degradação. Exige também o levantamento prévio da camada de forma existente com consequente necessidade de reconstrução total das camadas sobrejacentes à laje de esteira (DGEG, 2004). Entre os cuidados a ter na sua conceção, sublinha-se a necessidade de se efetuar o esquartelamento da camada de forma e de adoção de um sistema de impermeabilização compatível com estas condições de suporte, ou seja, a impermeabilização não pode ser aplicada em sistema totalmente aderente (Paiva et al, 2006).

Relativamente à aplicação de um isolante térmico em posição inferior à esteira, nos casos em que esta é concretizada por uma laje, apenas se aceita quando integrada num teto-falso desligado da esteira e, mesmo assim, tem a desvantagem de não proteger termicamente a estrutura. A direta aplicação desse isolante na face inferior da laje de esteira deve ser totalmente evitada porque, além de ser termicamente menos eficiente, como acima mencionado, aumenta o risco de deformações de origem térmica da estrutura do edifício e a consequente degradação (DGEG, 2004).

4.4.6 Reabilitação térmica e energética dos vãos envidraçados

Os vãos envidraçados constituem um elemento com grande peso no balanço térmico global dos edifícios, dado que são responsáveis por uma grande parte das perdas térmicas totais na estação de aquecimento e podem gerar sobreaquecimento interior com consequentes necessidades de arrefecimento na estação quente (Machado, 2014).

No contexto da reabilitação energética dos edifícios, a reabilitação térmica dos vãos envidraçados visa por um lado reforçar o isolamento térmico, a redução das infiltrações de ar não controladas e o aumento da captação de ganhos solares, e por outro, o reforço da proteção contra a penetração indesejável da radiação solar, garantindo uma melhoria do desempenho no inverno e no verão, respetivamente. Todas estas medidas contribuem não só para a redução das necessidades de consumo de energia, como também para a melhoria das condições de conforto e de qualidade do ar no interior dos edifícios (DGEG, 2004).

4.4.6.1 Reforço do isolamento térmico dos vãos envidraçados

As medidas de reforço do isolamento térmico dos vãos envidraçados devem visar a redução do coeficiente de transmissão térmica global dos vãos (vidros, caixilharia, caixas de estore, etc.). Seguem-se algumas medidas de reabilitação térmica dos vãos, listadas por grau de eficácia decrescente:

- Substituição integral das janelas por outras com desempenho térmico melhorado (por exemplo, janela com caixilharia de alumínio com corte térmico e vidro duplo).
- Utilização de envidraçados de elevado desempenho térmico (Paiva et al, 2006). Atualmente existem no mercado diversos tipos de vidro especiais, nomeadamente vidros de baixa emissividade e vidros com lâminas preenchidas com gases raros, como o argon, ou krypton, que reduzem ainda mais as perdas térmicas (DGEG, 2004).
- Criação de janela dupla mediante a incorporação de um segundo caixilho pelo interior (Paiva et al, 2006). Esta solução apenas deve ser usada caso seja absolutamente necessária a preservação da caixilharia original. Deve-se instalar a segunda janela afastada 10 cm da original para também assegurar um maior isolamento acústico (DGEG, 2004).
- Substituição de vidros simples por duplos (Paiva et al, 2006). É de salientar que a adoção de vidros duplos, para além de reduzir as perdas térmicas e as necessidades de aquecimento, diminui a possibilidade de ocorrência de fenómenos de condensação interior e melhora o conforto térmico e acústico (DGEG, 2004).

Existem ainda algumas medidas complementares que devem ser tomadas em combinação com as medidas anteriormente referidas:

- Aplicação de proteções solares permitindo a oclusão noturna (Paiva et al, 2006). Em casos de habitações com ocupação noturna, as proteções devem caracterizar-se por uma baixa permeabilidade ao ar quando fechadas, permitindo a formação de um espaço de ar muito

fracamente ventilado entre a proteção e a janela, já que nessas condições as perdas térmicas através dos vãos se reduzem significativamente. São exemplos de proteções solares desse tipo os estores exteriores enroláveis, não-projetáveis, de réguas horizontais e as portadas cegas (DGEG, 2004).

- Isolamento das caixas de estore.
- Adição de dispositivos de sombreamento.

4.4.6.2 Permeabilidade ao ar

A permeabilidade ao ar da caixilharia é responsável por perdas de calor associadas à infiltração de ar gerando problemas de desconforto térmico interior na estação de aquecimento. A substituição da caixilharia constitui uma solução que garante a redução da permeabilidade ao ar. No entanto, é uma medida que só se justifica do ponto de vista económico em situações de elevado estado de degradação da caixilharia existente (Paiva et al, 2006).

Nas situações em que a caixilharia se encontra em bom estado, existem medidas de baixo custo que permitem reduzir as infiltrações de ar não controladas e dependem da natureza das deficiências observadas:

- Afição dos caixilhos, com ajustamento eventual das respetivas posições;
- Interposição de perfis vedantes nas juntas móveis;
- Substituição dos materiais de vedação envelhecidos das juntas vidro-caixilho.

Nos edifícios onde, no decurso das intervenções de reabilitação, são drasticamente reduzidas as infiltrações de ar pela caixilharia, deve ser garantida a existência de dispositivos adequados que permitam a admissão de ar novo em quantidade suficiente para assegurar os caudais mínimos de ventilação dos espaços (DGEG, 2004).

4.4.6.3 Controlo de ganhos solares

Se os ganhos solares através dos vãos envidraçados são importantes nos períodos de inverno, por outro lado podem ser responsáveis por problemas de desconforto térmico associados ao sobreaquecimento dos espaços interiores no verão. Por isso, o controlo dos ganhos solares assume particular relevância em regiões com verões quentes e longos, como é o caso da grande maioria do território continental nacional. Medidas de controlo dos ganhos solares contribuem também para reduzir ou eliminar o recurso a dispositivos de arrefecimento mecânico, das quais se destacam (Paiva et al, 2006):

- Redução da área das aberturas envidraçadas;
- Controlo das propriedades solares-ópticas dos envidraçados (transmitância luminosa – TL, fator solar – g e índice de seletividade espectral –ISE);

— Utilização de dispositivos de sombreamento (preferencialmente exteriores) eficazes.

Para além das medidas de reabilitação térmica dos vãos envidraçados, a serem aplicadas em obras de reabilitação dos edifícios, os respetivos utentes devem ser instruídos no sentido de adquirirem hábitos que levem à conservação de energia, tais como:

— Abertura das janelas para ventilação sempre que favorável (no Verão, durante a noite, quando a temperatura exterior desce abaixo da do ar interior; e no Inverno, quando se dá a situação inversa),

— Abertura completa das janelas para ventilação por períodos curtos (em vez da abertura parcial das mesmas durante um longo período);

— Oclusão dos vãos nos períodos noturnos de Inverno, ou quando se verifiquem ganhos solares excessivos (DGEG, 2004).

4.4.7 Ventilação natural

Aquando da realização de reabilitações térmicas de edifícios uma das principais preocupações é garantir a redução da permeabilidade ao ar da caixilharia de forma a minimizar as perdas de calor associadas à infiltração de ar, as quais geram problemas de desconforto térmico interior na estação de aquecimento. Como referido anteriormente, o procedimento mais comum para fazer face a este problema passa por efetuar a substituição das caixilharias antigas por caixilharias novas. No entanto, é fundamental que se garanta uma ventilação natural adequada da habitação que deve ser geral e permanente, mesmo nos períodos em que a temperatura exterior obriga a manter as janelas fechadas (NP 1037-1 2002). Deste modo, evita-se o aumento da humidade relativa no interior da habitação na estação de aquecimento e o sobreaquecimento na estação de arrefecimento, situações que geram desconforto aos ocupantes e conduzem a uma redução da qualidade do ar interior.

A ventilação natural de edifícios de habitação pode ser feita de forma conjunta ou separada. Se a ventilação for conjunta pressupõe que existe admissão de ar exterior nos compartimentos principais e saída de ar interior para o exterior nos compartimentos de serviços. Na “ventilação separada dos espaços” a ventilação é efetuada por separação de frações, isto é, o volume ventilado abrange unicamente uma fração da habitação, sendo que, a fração pode incluir um ou mais compartimentos.

A admissão de ar para o interior da habitação prevê dois tipos de aberturas, em parede de fachada (inclui aberturas posicionadas nas caixas de estore) e por condutas individuais ou coletivas. O dimensionamento das aberturas em parede de fachada depende da classe de exposição do edifício ao vento e deve ser feito para caudais-tipo.

A norma NP-1037-1 2002 prevê os requisitos mínimos de ventilação natural em edifícios de habitação.

5. METODOLOGIA

5.1 Metodologia geral

Neste capítulo é apresentada a metodologia utilizada para o desenvolvimento do objetivo principal desta dissertação que consiste no estudo de medidas de reabilitação energética, ao nível da envolvente exterior, adequadas a edifícios antigos. Inicialmente é realizada uma descrição do caso de estudo selecionado, incluindo a caracterização construtiva do edifício, assim como de parâmetros como a localização e orientação da envolvente exterior.

De seguida, efetuou-se uma simulação dinâmica, de acordo com as características do edifício, recorrendo ao software Design Builder (descrito no subcapítulo 5.2), por forma a avaliar o seu desempenho energético. Após a análise das suas necessidades energéticas atuais são postas medidas de reabilitação térmica, sendo alterado o modelo de simulação de modo a avaliar o impacto destas intervenções de melhoria ao nível da eficiência energética do edifício. Foram consideradas como medidas de reabilitação aplicáveis: isolamento térmico das paredes exteriores, isolamento térmico da cobertura e alteração dos vãos envidraçados com aplicação de elementos de sombreamento. Assim, foram comparados os resultados obtidos antes e após a aplicação de cada medida de intervenção, nomeadamente, as necessidades energéticas, os ganhos térmicos e a produção de CO₂ para perceção da intervenção mais eficiente. Por último, avaliou-se a relação custo-benefício de cada medida, com vista a selecionar a proposta de melhoria mais eficiente e economicamente mais vantajosa.

5.2 Caso de estudo

5.2.1 Enquadramento – Caracterização da baixa de Coimbra e suas construções

A Baixa de Coimbra constitui um espaço com um significado acrescido pelo elevado valor patrimonial, possuindo edifícios tradicionais com materiais e técnicas de emprego característicos de um período da história portuguesa. A sua estrutura urbana apresenta uma configuração típica, com arruamentos estreitos e em que 78% dos edifícios são em banda, 60% possuem entre quatro e cinco pisos e 80% têm aberturas apenas numa ou duas fachadas. Assim, a implantação, a altura dos edifícios e a largura do arruamento, característicos da estrutura urbana, constituem aspetos importantes dos condicionalismos existentes ao nível do cumprimento de exigências para a obtenção do conforto no interior das habitações.

Relativamente às coberturas, 96% das edificações analisadas têm coberturas inclinadas, com duas águas em 72% dos casos. Verifica-se a predominância de telhas cerâmicas como material de revestimento, em 83% dos edifícios, e a presença de telhas de fibrocimento e chapas metálicas e de vidro em cerca de 15% dos edifícios. A madeira é o material de suporte mais

frequente, representando 59% das edificações. No entanto, outros tipos de estruturas podem ser identificados decorrentes de ações de reabilitação de que algumas edificações foram alvo.

Em relação às paredes exteriores, cerca de 88% dos edifícios apresentam espessuras variáveis na mesma habitação, com a redução da sua espessura em função do aumento da altura do edifício. Cerca de 40% das paredes analisadas apresentam uma espessura variável de 0,6 a 0,7 metros quando localizadas no rés-do-chão. Em quase 45%, as paredes do rés-do-chão apresentam espessuras superiores a 0,7 metros, nas restantes as espessuras são inferiores a 0,6 metros. Existe claramente a predominância da pedra nas paredes de fachada na quase totalidade das habitações (90%), existindo em menores percentagens a aplicação de tijolo vazado (7%), tijolo maciço (0,6%) e betão armado (0,48%). No âmbito da constituição das paredes interiores verifica-se uma prevalência do tabique fasquiado (47,5%) e da alvenaria de tijolo (28,3%).

No que diz respeito às caixilharias, a madeira está presente em 65% dos edifícios, sendo prevalente a utilização de vidro simples nos envidraçados.

Considerando os tetos e pavimentos, a estrutura de suporte é muitas vezes a madeira, 74% das situações, tendo também alguma relevância o emprego de betão (25%). Verifica-se a predominância do soalho de madeira no revestimento dos pavimentos, sendo também este o material mais identificado como revestimento dos tetos.

Tendo em conta as características apresentadas anteriormente é perceptível que os níveis de conforto atingidos no interior das habitações sejam condicionados pela degradação dos materiais, componente e sistemas existentes, sendo preponderante responder às exigências de conforto atuais. As opiniões relativamente às condições térmicas do ambiente interior revelam que um elevado número de habitantes apresenta desconforto no Inverno e Verão, tornando necessário o recurso a equipamentos de aquecimento e/ou arrefecimento (Ramos, 2009).

A diversidade construtiva identificada nos núcleos históricos acaba por se apresentar como um desafio à reabilitação, na medida em que para além de condicionar as intervenções, obriga a uma necessidade de ponderação sobre as técnicas e soluções a utilizar no sentido de manter e proteger o património histórico.

5.2.2 Descrição do caso de estudo

Este trabalho incide no estudo de um edifício localizado na baixa de Coimbra, mais precisamente com o alçado noroeste na Rua da Moeda e o alçado sudoeste no Largo das Olarias. Este local insere-se na Baixa Crúzia, uma pequena área da baixinha, compreendida entre a Praça 8 de Maio e o Largo da Maracha no sentido nascente - poente e a futura rua Central e a rua do Corvo no sentido norte – sul. O valor patrimonial desta zona deve-se ao facto de ter uma ligação privilegiada com o Mosteiro de Santa Cruz e de ser uma das áreas urbanisticamente mais interessantes da Baixa de Coimbra (Campos, 2014).

Trata-se de um prédio urbano de habitação e comércio, constituído por 3 pisos e sótão habitável, com uma área de implantação de 100,3 m², com 396,7 m² de área bruta, e 299,4 m² de área útil. Possui dois espaços comerciais e acesso à habitação independente no piso térreo. Os restantes pisos são reservados a habitação. O piso 1 possui três quartos, uma sala, uma cozinha, uma divisão de arrumos e três instalações sanitárias. O piso 2 contém cinco quartos, cinco instalações sanitárias, e uma sala de arrumos. E o sótão alberga cinco quartos, quatro instalações sanitárias, e uma sala de arrumos. Faz parte de um conjunto de edifícios em banda e possui dois edifícios geminados, um a nordeste e outro a sudeste o que condiciona a quantidade e localização de aberturas, possuindo-as apenas nas fachadas noroeste e sudoeste.

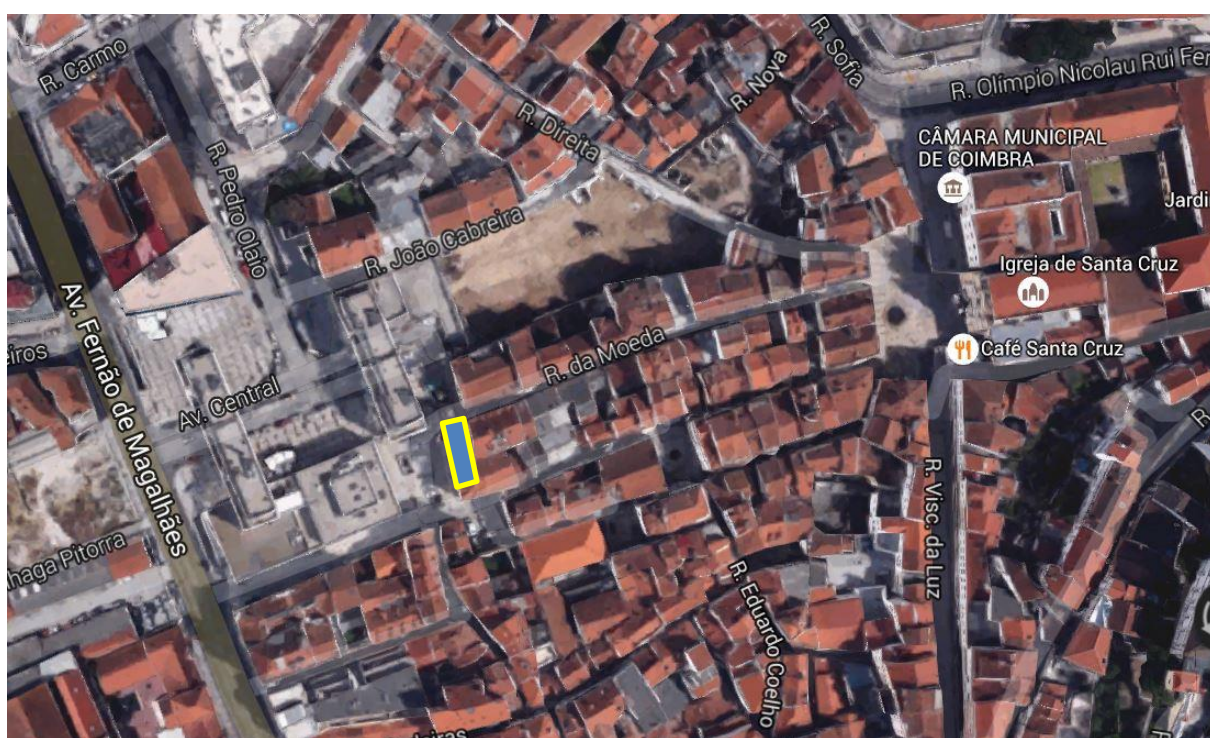


Figura 32 - Localização do caso de estudo - Baixa de Coimbra.

5.3.2 Caracterização construtiva

Tendo em conta a época de construção e a localização, considerou-se que o edifício possui sistemas construtivos tradicionais e não possui isolamento térmico. Seguidamente, descrevem-se as características construtivas do edifício na sua situação atual. Far-se-á uma descrição detalhada de cada sistema construtivo, nomeadamente paredes exteriores, coberturas, pavimentos, paredes divisórias e vãos envidraçados, referenciando-se os materiais constituintes e as suas propriedades que afetam o desempenho térmico (espessura, condutibilidade térmica, densidade e resistência térmica). Os valores da condutibilidade térmica e da densidade foram obtidos através do ITE50 e alguns valores de cálculo da resistência térmica de soluções construtivas tradicionais através do ITE54. Os dados desta caracterização foram inseridos no Design Builder com vista à execução de simulações dinâmicas.

5.3.2.1 Paredes exteriores

As paredes exteriores são constituídas por alvenaria de pedra calcária de espessura variável com a altura, entre 0,7 m a 0,3 m do piso 0 ao sótão, respetivamente. Têm ainda um revestimento exterior e interior de argamassa de cal.

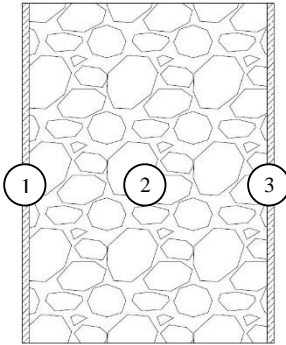


Figura 33 - Pormenor construtivo das paredes exteriores.

Constituição Paredes Exteriores	Espessura e(m)	Condutibilidade λ (W/(m.°C))	Densidade (Kg/m ³)	Resistência térmica R(m ² .°C/W)
PISO 0				
Rse				0,04
1 - Revs. Argamassa de cal	0,02	0,8	1600	0,025
2 - Alvenaria de pedra calcária	0,7	2,3	2250	0,304
3 - Revs. Argamassa de cal	0,02	0,8	1600	0,025
Rsi				0,13
Espeçura total (m)	0,74			
Resistência térmica total - Rt(m ² .°C/W)				0,524
Coefficiente de transmissão térmica - U (W/m ² .°C)				1,908
PISO 1				
Rse				0,04
1 - Revs. Argamassa de cal	0,02	0,8	1600	0,025
2 - Alvenaria de pedra calcária	0,65	2,3	2250	0,283
3 - Revs. Argamassa de cal	0,02	0,8	1600	0,025
Rsi				0,13
Espeçura total (m)	0,69			
Resistência térmica total - Rt(m ² .°C/W)				0,503
Coefficiente de transmissão térmica - U (W/m ² .°C)				1,988
PISO 2				
Rse				0,04
1 - Revs. Argamassa de cal	0,02	0,8	1600	0,025
2 - Alvenaria de pedra calcária	0,4	2,3	2250	0,174
3 - Revs. Argamassa de cal	0,02	0,8	1600	0,025
Rsi				0,13
Espeçura total (m)	0,44			
Resistência térmica total - Rt(m ² .°C/W)				0,394
Coefficiente de transmissão térmica - U (W/m ² .°C)				2,538
SÓTÃO				
Rse				0,04
1 - Revs. Argamassa de cal	0,02	0,8	1600	0,025
2 - Alvenaria de pedra calcária	0,3	2,3	2250	0,130
3 - Revs. Argamassa de cal	0,02	0,8	1600	0,025
Rsi				0,13
Espeçura total (m)	0,34			
Resistência térmica total - Rt(m ² .°C/W)				0,35
Coefficiente de transmissão térmica - U (W/m ² .°C)				2,857

Quadro 5 - Caracterização construtiva das paredes exteriores por piso.

5.3.2.2 Paredes divisórias

As divisórias principais são constituídas por frontais que possuem uma armação de madeira embebida na alvenaria da parede, isto é, os espaços entre prumos e ripas são preenchidos com argamassa de cal e alvenaria de pedra calcária miúda.

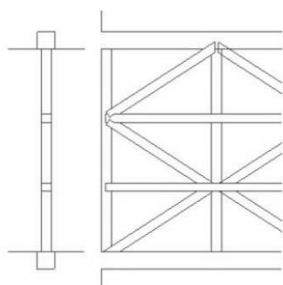


Figura 34 - Pormenor construtivo de um frontal tecido (Ramos, 2009).

Constituição - Paredes divisórias (Sistema de Frontais)	Espessura e(m)	Condutibilidade λ (W/(m.°C))	Densidade (Kg/m ³)	Resistência térmica R(m ² .°C/W)
Rsi				0,13
1 - Revs. Argamassa de cal	0,015	0,8	1600	0,019
2 - Alvenaria de pedra calcária	0,12	2,3	2250	0,052
3 - Revs. Argamassa de cal	0,015	0,8	1600	0,019
Rsi				0,13
Espessura total (m)				0,15
Resistência térmica total - Rt(m ² .°C/W)				0,35
Coeficiente de transmissão térmica - U (W/m ² .°C)				2,857

Quadro 6 - Caracterização construtiva das paredes divisórias - Sistema de frontais.

As divisórias secundárias, essencialmente utilizadas para dividir as instalações sanitárias dos quartos, são constituídas por tabiques simples formados por tábuas (costaneiras) que se fixam, em cima, às vigas do teto e, em baixo, às vigas do pavimento. Posteriormente são fixadas as fasquias sobre a estrutura, com a forma trapezoidal de forma a permitir a retenção da argamassa de reboco (Ramos, 2009).

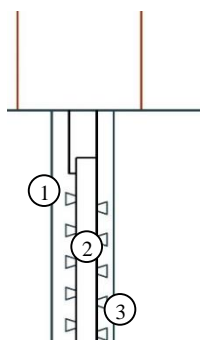


Figura 35 - Pormenor construtivo de parede de tabique (Ramos, 2009).

Constituição - Paredes divisórias (Sistema de Tabique)	Espessura e(m)	Condutibilidade λ (W/(m.°C))	Densidade (Kg/m ³)	Resistência térmica R(m ² .°C/W)
Rsi				0,13
1 - Revs. Argamassa de cal	0,02	0,8	1600	0,025
2 - Tábuas madeira	0,02	0,18	520	0,111
3 - Revs. Argamassa de cal	0,02	0,8	1600	0,025
Rsi				0,13
Espessura total (m)				0,06
Resistência térmica total - Rt(m ² .°C/W)				0,421
Coeficiente de transmissão térmica - U (W/m ² .°C)				2,375

Quadro 7 - Caracterização construtiva das paredes em tabique.

5.3.2.3 Pavimentos interiores

Os pavimentos interiores são constituídos por um soalho realizado por tábua de solho corrido. Na parte inferior, o teto é realizado por tábuas de forro aplainadas somente na face visível e pregadas às vigas do pavimento.

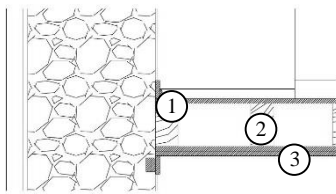


Figura 36 - Pormenor construtivo dos pavimentos interiores (Ramos, 2009).

Constituição - Pavimentos interiores (ITE54)	Espessura e(m)	Condutibilidade λ (W/(m.°C))	Densidade (Kg/m ³)	Resistência térmica R(m ² .°C/W)
Rse				0,17
1 - Pavimento de madeira	0,03			
2 - Caixa de ar fracamente ventilada	0,18			0,520
3 - teto de madeira	0,02			
Rsi				0,1
Espessura total (m)				0,23
Resistência térmica total - Rt(m ² .°C/W)				0,79
Coeficiente de transmissão térmica - U (W/m ² .°C)				1,266

Quadro 8 - Caracterização construtiva dos pavimentos interiores.

5.3.2.4 Piso térreo

No piso térreo salienta-se a utilização de grés cerâmico como revestimento, muito característico daquela época construtiva. Para as camadas inferiores admitiu-se uma solução corrente de betão pobre e betonilha.

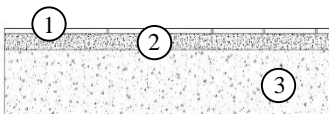


Figura 37 - Pormenor construtivo do piso térreo.

Constituição - Piso Térreo	Espessura e(m)	Condutibilidade λ (W/(m.°C))	Densidade (Kg/m ³)	Resistência térmica R(m ² .°C/W)
Rsi				0,17
1 - Grés cerâmico	0,01	1,3	2300	0,008
2 - Betonilha	0,07	0,41	1200	0,171
3 - Betão pobre	0,1	1,13	2000	0,088
Rse				0,04
Espessura total (m)				0,18
Resistência térmica total - Rt(m ² .°C/W)				0,477
Coeficiente de transmissão térmica - U (W/m ² .°C)				2,096

Quadro 9 - Caracterização construtiva do piso térreo.

5.3.2.5 Cobertura

O edifício possui cobertura inclinada sobre desvão não-habitado e habitado. A maior área de cobertura é sobre desvão não-habitado e é constituída por revestimento de telha cerâmica sobre estrutura de madeira e por uma esteira simples que consiste no teto do sótão. Nos alçados noroeste e sudoeste o edifício possui cobertura inclinada sobre o sótão, que se caracteriza por ser revestida a telha cerâmica pelo exterior e por tábuas de forro aplainadas na face interior visível pregadas às vigas.

Desvão não habitável

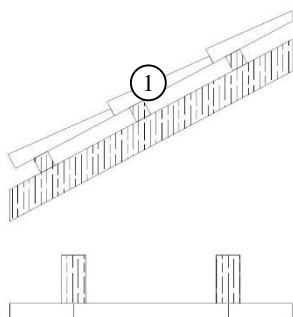


Figura 38 - Pormenor construtivo da cobertura inclinada em desvão não-habitável.

Constituição - Cobertura inclinada	Espessura e(m)	Condutibilidade λ (W/(m.°C))	Densidade (Kg/m ³)	Resistência térmica R(m ² .°C/W)
Rse				0,04
1 - Telha cerâmica	0,025	0,77	2000	0,032
Rsi				0,1
Espessura total (m)	0,025			
Resistência térmica total - Rt(m ² .°C/W)				0,172
Coefficiente de transmissão térmica - U (W/m ² .°C)				5,814

Quadro 10 - Caracterização construtiva da cobertura inclinada sobre desvão não-habitável.

Desvão habitável

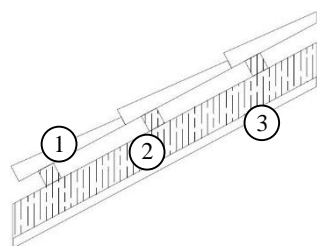


Figura 39 - Pormenor construtivo da cobertura inclinada em desvão habitável.

Constituição - Cobertura inclinada desvão-habitável	Espessura e(m)	Condutibilidade λ (W/(m.°C))	Densidade (Kg/m ³)	Resistência térmica R(m ² .°C/W)
Rse				0,04
1 - Telha cerâmica	0,025	0,77	2000	0,032
2 - Caixa de ar fracamente ventilada	0,18			0,220
3 - Teto de madeira	0,02	0,18	520	0,111
Rsi				0,1
Espessura total (m)	0,225			
Resistência térmica total - Rt(m ² .°C/W)				0,504
Coefficiente de transmissão térmica - U (W/m ² .°C)				1,986

Quadro 11 - Caracterização construtiva da cobertura inclinada sobre desvão habitável.

Teto do sótão

O teto do sótão é constituído por uma esteira simples em madeira sem isolamento térmico. A esteira simples consiste num sistema de tábuas pregadas às vigas rematado por uma aba junto às paredes o teto.

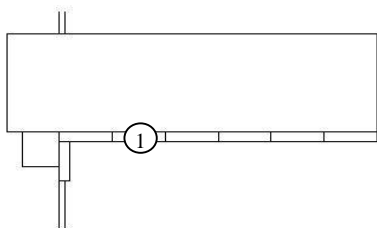


Figura 40 - Pormenor construtivo esteira simples (Ramos, 2009).

Constituição - Teto do sótão	Espessura e(m)	Condutibilidade λ (W/(m.°C))	Densidade (Kg/m ³)	Resistência térmica R(m ² .°C/W)
Rse				0,17
1 - Madeira de pinho	0,03	0,18	520	0,167
Rsi				0,1
Espessura total (m)		0,03		
Resistência térmica total - Rt(m ² .°C/W)				0,437
Coeficiente de transmissão térmica - U (W/m ² .°C)				2,288

Quadro 12 - Caracterização construtiva do teto do sótão.

5.3.2.7 Vãos envidraçados

Os vãos envidraçados são constituídos por caixilharia de madeira de carvalho pintada e vidro simples incolor.

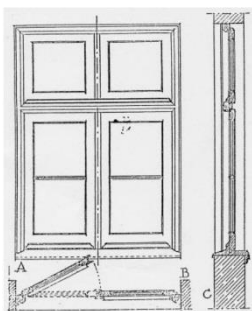


Figura 41 - Caixilharia de madeira antiga com vidro simples.

Constituição - Vãos envidraçados	
1 - Vidro Simples Incolor 3 mm	
2 - Caixilharia madeira	
Transmitância luminosa – TL	0,898
Fator solar – g	0,837
Coeficiente de transmissão térmica vidro - Uw (W/m ² .°C)	5,894
Coeficiente de transmissão térmica caixilharia - U (W/m ² .°C)	3,633

Quadro 13 - Características dos vãos envidraçados.

5.4 Software de simulação dinâmica - Energy Plus e Design Builder

O EnergyPlus é um programa de simulação de energia em edifícios, desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos na década de 70, largamente utilizado no mundo, que pode ser utilizado com diferentes interfaces e ferramentas de análise de resultados. Este programa permite desenvolver estudos de eficiência energética em edifícios existentes ou em fase de projeto. No estudo desenvolvido foi utilizada uma interface gráfica denominada DesignBuilder. No DesignBuilder é feita toda a modelação geométrica e implementação de dados, numa primeira fase, estando na segunda fase, que corresponde à parte de cálculo, envolvido o EnergyPlus. O DesignBuilder é um programa cuja interface é bastante intuitiva e fácil de trabalhar, oferecendo uma elevada quantidade de bibliotecas com pré-definições que facilitam a implementação de dados no programa, tais como, dados exteriores ao edifício (por

exemplo dados climatéricos), horários de utilização de diversos tipos de zona de diversos tipos de edifícios, dados referentes ao tipo de construção e material, às aberturas do edifício (janelas, portas, etc.), à iluminação e a equipamentos de climatização. Com este software é possível obter dados sobre os consumos energéticos, as emissões de carbono, o conforto dos ocupantes, bem como o estado do edifício em análise, de acordo com os respetivos regulamentos de construção nacionais e padrões de certificação (DesignBuilder, 2005).

Seguidamente, são descritos os diversos passos para utilização do programa, com vista à simulação dinâmica de um edifício antigo da baixa de Coimbra.

5.4.1 Procedimento básico

A realização de um estudo de simulação dinâmica com recurso ao Design Builder pode dividir-se em 3 partes:

- Modelação geométrica;
- Definição das características técnicas;
- Simulação dinâmica.

O primeiro passo é criar um novo projeto no Design Builder e introduzir a localização do edifício, como representado na *figura 42*. O software dispõe de uma lista bastante vasta de países e cidades mundiais, organizados sob a forma de templates que incluem características típicas da localização escolhida, nomeadamente temperaturas, condições climatéricas, período de duração das estações de aquecimento e arrefecimento, entre outras.

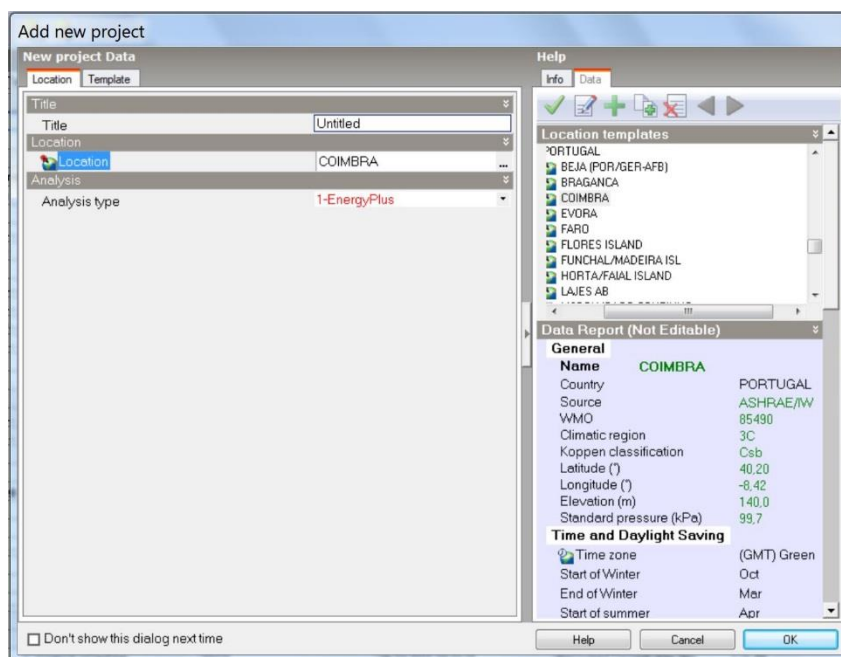


Figura 42 - Janela de iniciação de projeto novo no Design Builder.

Segue-se a modelação geométrica do edifício em estudo com ajuda das ferramentas que o Design Builder põe à disposição. É possível importar plantas para se efetuar a montagem do edifício sobre estas, facilitando o trabalho da definição da geometria. Após a importação das plantas é fundamental dispô-las na orientação correta, sendo que este é um fator preponderante nos cálculos efetuados pelo Energy Plus. Depois, basta definir-se espessuras e altura quer das paredes exteriores quer das interiores. Este processo fica concluído após a representação geométrica das coberturas e das aberturas (portas e janelas). Na *figura 43* pode visualizar-se um modelo geométrico concluído no Design Builder.

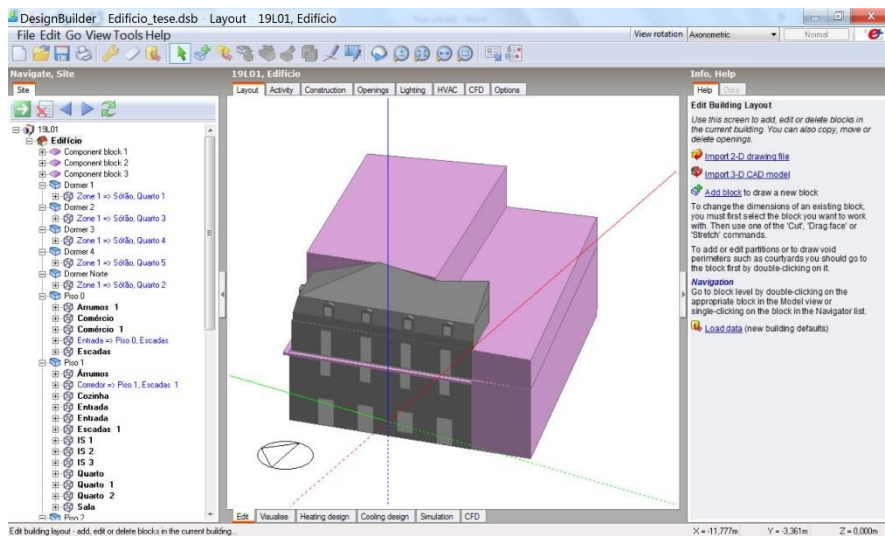


Figura 43 - Modelo geométrico concluído no Design Builder.

A forma como a interface do Design Builder está desenvolvida permite fazer a definição das características técnicas do edifício de forma sequencial e bastante intuitiva, estando organizada por separadores (Activity, Construction, Openings, Lighting, HVAC, entre outros). Cada separador dispõe de templates pré-definidos que podem ser selecionados.

No separador “Activity” define-se a atividade para cada divisão do edifício com a ajuda de templates que ao serem selecionadas associam automaticamente fatores como a ocupação, requisitos de temperatura, renovação de ar, iluminação e equipamentos. Os dados podem ser editados de modo a fazer-se uma adequação ao edifício em estudo. Na *figura 44* pode observar-se a seleção de atividade para um quarto.

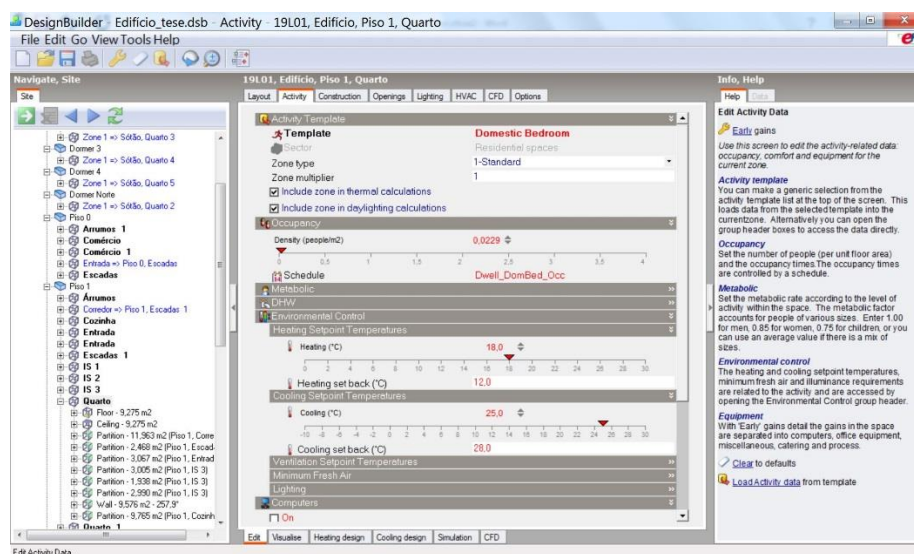


Figura 44 - Seleção de atividade para um quarto no Design Builder.

O separador “Construction” visa definir as características construtivas da envolvente opaca do edifício (figura 45) e dita o seu desempenho energético, tendo grande impacto nas necessidades de aquecimento e arrefecimento. Para além de templates pré-definidas o Design Builder possui uma lista de materiais de construção e permite ainda introduzir materiais novos para a definição das características construtivas.

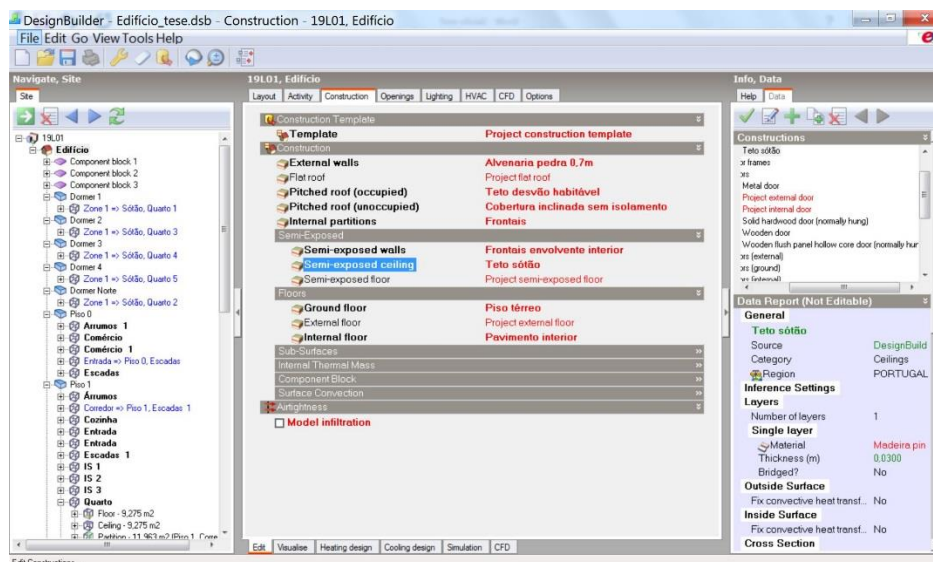


Figura 45 - Separador “Construction” no Design Builder.

A figura 46 mostra a janela de edição da caracterização construtiva de uma parede exterior, sendo possível observar a definição das diferentes camadas do elemento e os respetivos materiais constituintes.

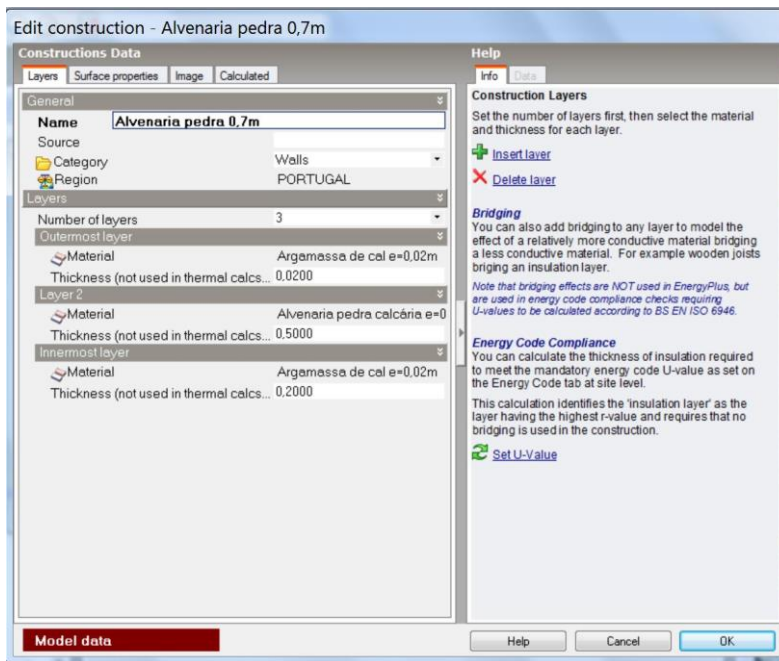


Figura 46 - Definição das camadas das paredes exteriores no Design Builder.

O software apresenta ainda as propriedades de cada material bem como as propriedades globais da solução construtiva, nomeadamente o coeficiente de transmissão térmica, a densidade e a resistência térmica (figura 47).

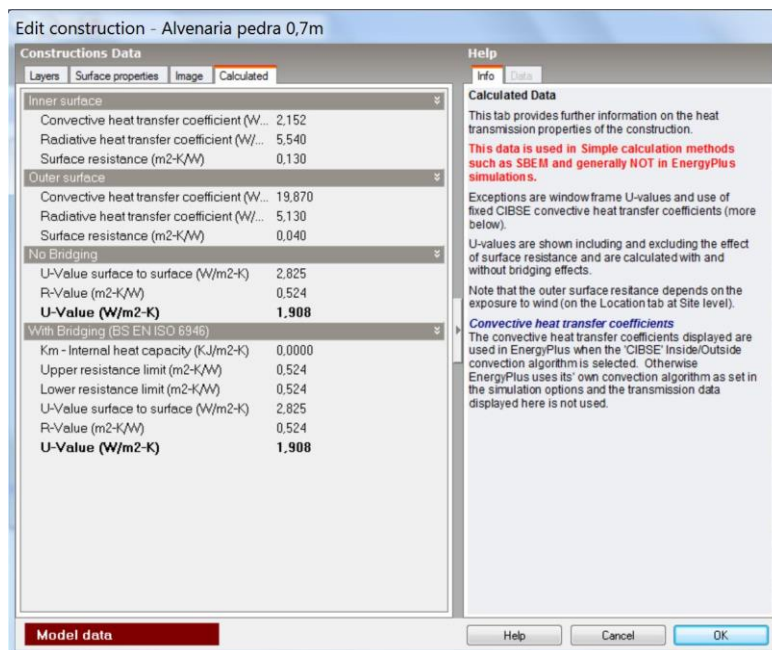


Figura 47 - Propriedades globais de uma parede exterior no Design Builder.

Segue-se a caracterização das aberturas, isto é, dos vãos envidraçados do edifício. Esta operação é efetuada através do separador “Openings” (figura 48) que, à semelhança do separador “Constructions”, disponibiliza templates e materiais para uma caracterização mais personalizada. Neste separador é ainda possível selecionar o tipo de sombreamento.

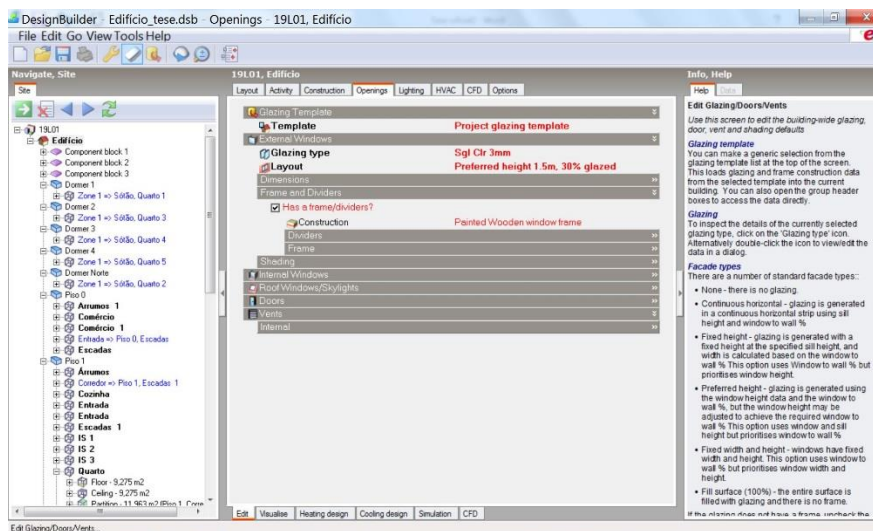


Figura 48 - Separador "Openings" no Design Builder.

O separador “Lighting” refere-se à iluminação e através de templates pré-definidas o software associa automaticamente o desempenho da iluminação e os respetivos consumos de energia a cada divisão do edifício consoante os valores típicos para o país selecionado (figura 49).

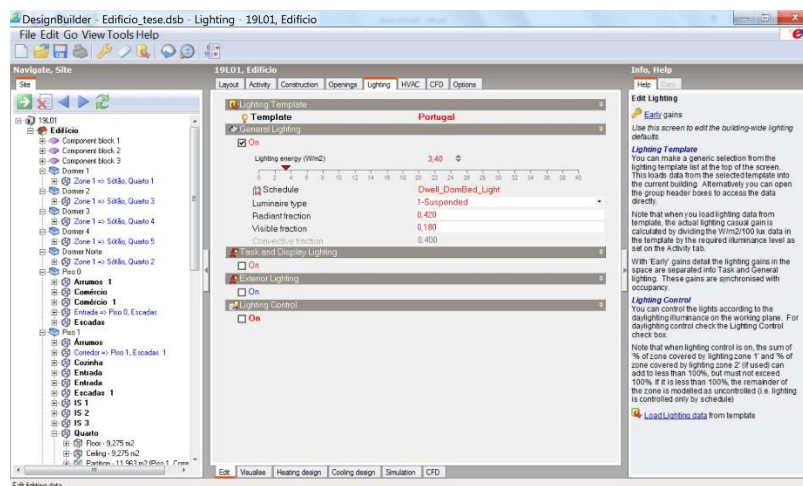


Figura 49 - Separador "lighting" no Design Builder.

Para a conclusão da parte de definição das características técnicas é necessário definir o tipo de sistema AVAC através do separador “HVAC” (figura 50). Aqui podem ser definidos os principais parâmetros de ventilação, aquecimento, arrefecimento e preparação de águas quentes sanitárias (AQS).

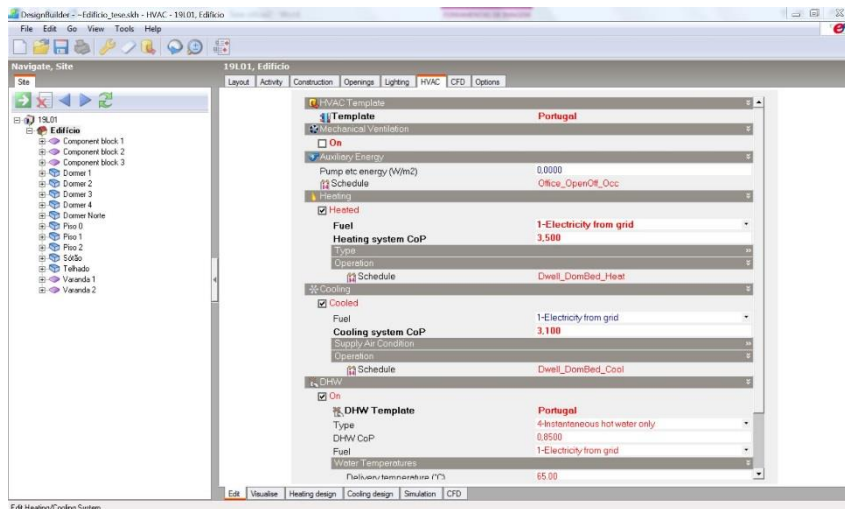


Figura 50 - Separador "HVAC" no Design Builder.

Após a modelação do edifício estar completa, o desempenho energético do edifício pode ser determinado através de simulações dinâmicas para o período de tempo pretendido. O programa sugere alguns períodos de simulação (anual, semana típica de verão, verão completo, entre outros) e permite seleccionar um período à escolha do utilizador (*figura 51*). Antes de se efetuar uma simulação dinâmica é fundamental que se seleccione o tipo de dados que se pretendem (ganhos internos, consumos energéticos, dados relativos ao conforto, entre outros) e como devem ser apresentados (intervalos mensais e anuais, diários, horários, etc).

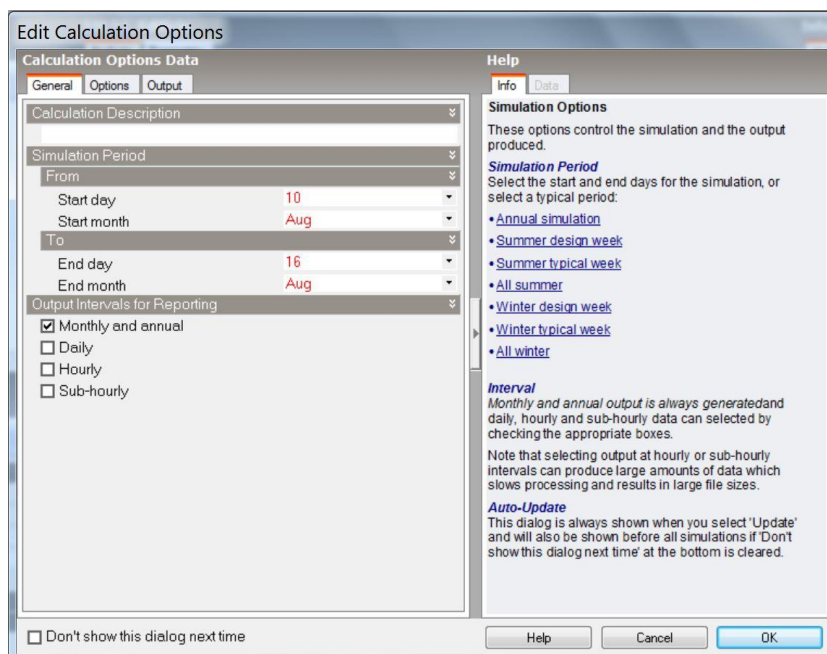


Figura 51 - Seleção do período de simulação dinâmica no Design Builder.

6. ANÁLISE DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DO EDIFÍCIO

6.1 Necessidades energéticas atuais do edifício

Após a modelação do edifício no Design Builder estar completa, efetuou-se uma simulação dinâmica para avaliação das necessidades energéticas atuais do caso de estudo no período de um ano. O diagnóstico incidu, essencialmente, sobre o consumo energético, os ganhos solares e a produção de CO₂. As necessidades energéticas são apresentadas em energia elétrica para um sistema AVAC, tendo como base uma unidade de produção térmica com permuta ar-ar, cuja classe de eficiência B foi determinada pelos requisitos mínimos do REH, sendo o rendimento de aquecimento (COP) de 3,5 e o rendimento de arrefecimento (EER) de 3,1.

Segundo o *quadro 14*, obtido através de simulação dinâmica no Design Builder, as necessidades energéticas globais atuais do edifício são de 21647,49 KWh/ano, isto é, 72,31 KWh/m².ano, tendo em conta que o edifício tem uma área útil de 299,4 m². A maior fatia pertence às necessidades de aquecimento com 7234,93 KWh/ano (33,42%). Ainda assim, cerca de 25% das necessidades energéticas do edifício são para arrefecimento. Os restantes consumos (iluminação, AQS e outros equipamentos) representam 40,98% das necessidades globais, destacando o facto de mais de metade das necessidades energéticas globais do edifício serem para aquecimento e arrefecimento.

	Necessidades energéticas (KWh/ano)	Necessidades energéticas por unidade de área condicionada (Kwh/m ² .ano)	Contributo percentual
Aparelhos eléctricos	3892,58	13,00	17,98%
Iluminação	2392,74	7,99	11,05%
Aquecimento	7234,93	24,17	33,42%
Arrefecimento (Ar condicionado)	5540,01	18,51	25,59%
AQS (Gás)	2587,23	8,64	11,95%
Necessidades Globais	21647,49	72,31	100,00%

Quadro 14 - Necessidades energéticas do edifício em situação atual.

Fez-se uma análise dos ganhos térmicos anuais devidos à iluminação, equipamentos, ocupação e ganhos solares pelas janelas exteriores, como representado no *quadro 15* e na *figura 52*. A principal parcela responsável pelos ganhos térmicos é a dos ganhos solares pelas janelas exteriores que representa 76,47% dos ganhos totais com 30681,24 KWh/ano. Estes valores podem ser justificados pelo facto de a fachada onde se situa o maior número de vãos envidraçados ser orientada a sudoeste.

	Ganhos KWh/ano	Contributo percentual
Iluminação	2392,74	5,96%
Equipamentos	3892,58	9,70%
Ocupação	3154,55	7,86%
G. solares	30681,24	76,47%
Total	40121,11	100,00%

Quadro 15 – Ganhos térmicos em condições atuais.

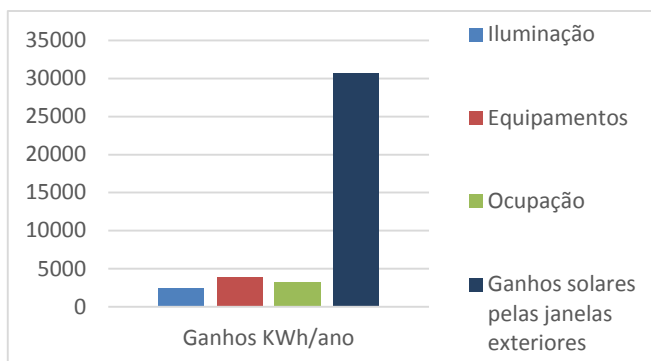


Figura 52 – Ganhos térmicos em condições atuais.

Um dos grandes desafios atuais da sociedade é a redução das emissões de GEE dos quais o CO₂ assume particular importância. Foi nesse sentido que se efetuou a avaliação do impacto ambiental do edifício em estudo. A simulação dinâmica no Design Builder revelou que a utilização do edifício gera a libertação de 14828,53 Kg de CO₂ por ano.

6.2 Propostas de reabilitação

Face aos resultados obtidos através da simulação dinâmica, torna-se fundamental definir medidas de reabilitação que visem a diminuição das necessidades energéticas anuais do edifício. Para este efeito, optou-se por propor intervenções ao nível da envolvente exterior, nomeadamente ao nível das paredes exteriores, vãos envidraçados e cobertura.

6.2.1 Reabilitação térmica das paredes exteriores

A arquitetura do edifício é à partida uma limitação na formulação da proposta de isolamento térmico das paredes exteriores. Trata-se de um edifício com valor patrimonial e com uma arquitetura exterior dotada de pormenores nas fachadas exteriores que têm de ser preservados. Estes factos impossibilitam a colocação de isolamento térmico pelo exterior, inviabilizando assim a solução mais eficiente que permitiria aproveitar a grande inércia térmica das paredes de alvenaria de pedra. Deste modo, optou-se pelo reforço do isolamento térmico pelo interior recorrendo à execução de uma contra fachada de gesso cartonado. A escolha desta solução teve como base o equilíbrio entre redução do espaço interior e eficiência. Face às outras soluções disponíveis (contra fachada de alvenaria de tijolo e painéis isolantes pré-fabricados) a contra fachada de gesso cartonado com isolamento térmico e caixa de ar representa a melhor solução porque, apesar de ter maior impacto na redução da área útil interior do que os painéis isolantes pré-fabricados, é mais eficiente que estes e tem menor impacto no espaço interior do que a solução de contra fachada de alvenaria de tijolo. A solução adotada encontra-se descrita e caracterizada com detalhe no *quadro 16*.

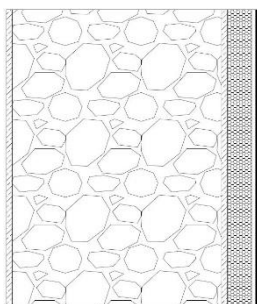


Figura 53 - Pormenor construtivo da proposta de reabilitação das paredes exteriores.

Constituição Paredes Exteriores	Espessura (m)	Condutibilidade λ (W/(m.°C))	Densidade (Kg/m ³)	Resistência térmica R(m ² .°C/W)
PISO 0				
Rse				0,04
1 - Revs. Argamassa de cal	0,02	0,8	1600	0,025
2 - Alvenaria de pedra calcária	0,70	2,3	2250	0,304
3 - Revs. Argamassa de cal	0,02	0,8	1600	0,025
4 - Isol. Térmico XPS	0,08	0,037	40	2,162
5 - Caixa de ar	0,015			0,170
6 - Gesso cartonado	0,0125	0,25	900	0,050
Rsi				0,13
Espessura total (m)	0,82			
Resistência térmica total - Rt(m ² .°C/W)	2,906			
Coeficiente de transmissão térmica - U (W/m ² .°C)	0,344			
PISO 1				
Rse				0,04
1 - Revs. Argamassa de cal	0,02	0,8	1600	0,025
2 - Alvenaria de pedra calcária	0,65	2,3	2250	0,283
3 - Revs. Argamassa de cal	0,02	0,8	1600	0,025
4 - Isol. Térmico XPS	0,08	0,037	40	2,162
5 - Caixa de ar	0,015			0,170
6 - Gesso cartonado	0,0125	0,25	900	0,050
Rsi				0,13
Espessura total (m)	0,69			
Resistência térmica total - Rt(m ² .°C/W)	2,885			
Coeficiente de transmissão térmica - U (W/m ² .°C)	0,347			
PISO 2				
Rse				0,04
1 - Revs. Argamassa de cal	0,02	0,8	1600	0,025
2 - Alvenaria de pedra calcária	0,4	2,3	2250	0,174
3 - Revs. Argamassa de cal	0,02	0,8	1600	0,025
4 - Isol. Térmico XPS	0,08	0,037	40	2,162
5 - Caixa de ar	0,015			0,170
6 - Gesso cartonado	0,0125	0,25	900	0,050
Rsi				0,13
Espessura total (m)	0,44			
Resistência térmica total - Rt(m ² .°C/W)	2,776			
Coeficiente de transmissão térmica - U (W/m ² .°C)	0,360			

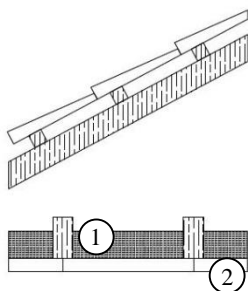
Constituição Paredes Exteriores	Espessura e(m)	Condutibilidade λ (W/(m.°C))	Densidade (Kg/m ³)	Resistência térmica R(m ² .°C/W)
SÓTÃO				
Rse				0,04
1 - Revs. Argamassa de cal	0,02	0,8	1600	0,025
2 - Alvenaria de pedra calcária	0,3	2,3	2250	0,130
3 - Revs. Argamassa de cal	0,02	0,8	1600	0,025
4 - Isol. Térmico XPS	0,08	0,037	40	2,162
5 - Caixa de ar	0,015			0,170
6 - Gesso cartonado	0,0125	0,25	900	0,050
Rsi				0,13
Espessura total (m)	0,34			
Resistência térmica total - Rt(m ² .°C/W)				2,732
Coeficiente de transmissão térmica - U (W/m ² .°C)				0,366

Quadro 16 - Caracterização da solução de reabilitação das paredes exteriores.

6.2.2 Reabilitação térmica da cobertura

A cobertura tem duas zonas distintas que necessitam de isolamento térmico, ambas localizadas no sótão: a esteira do teto e a cobertura inclinada sobre o desvão habitável.

Na esteira do teto propõe-se a colocação de isolamento térmico na face superior. Como referenciado no capítulo 4, esta é a melhor solução entre as várias hipóteses por ser mais eficiente, mais económica, por não roubar espaço útil, por aproveitar o facto de o desvão não-habitado não necessitar de ser aquecido no inverno e ainda contribuir para um melhor desempenho na estação quente face à dissipação de calor permitida pela ventilação do desvão.

**Figura 54** - Pormenor construtivo da proposta de reabilitação térmica da esteira.

Constituição – Esteira do teto do sótão	Espessura e(m)	Condutibilidade λ (W/(m.°C))	Densidade (Kg/m ³)	Resistência térmica R(m ² .°C/W)
Rse				0,17
1- Lã de rocha	0,1	0,04	90	2,5
2 - Madeira de pinho	0,03	0,18	520	0,167
Rsi				0,1
Espessura total (m)	0,03			
Coeficiente de transmissão térmica - U (W/m ² .°C)				2,937
				0,340

Quadro 17 - Caracterização da solução de reabilitação da cobertura – Esteira do teto.

Na cobertura inclinada sobre o desvão habitável optou-se pela colocação de isolamento térmico pelo interior. A solução é composta por teto em gesso cartonado com revestimento total da caixa de ar com lã de rocha.

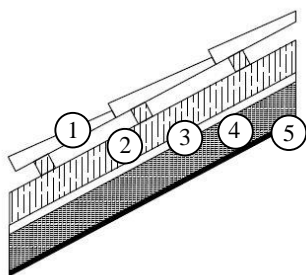


Figura 55 - Pormenor construtivo da porposta de reabilitação da cobertura inclina sobre o desvão habitado.

Constituição - Cobertura inclinada desvão habitável	Espessura e(m)	Condutibilidade de λ (W/(m.°C))	Densidade (Kg/m ³)	Resistência térmica R(m ² .°C/W)
Rse				0,04
1 - Telha cerâmica	0,025	0,77	2000	0,032
2 - Caixa de ar fracamente ventilada	0,18			0,220
3 - Teto de madeira	0,02	0,18	520	0,111
4 - Lã de rocha	0,1	0,04	90	2,500
5 - Gesso cartonado	0,0125	0,25	900	0,050
Rsi				0,1
Espessura total (m)	0,3375			
Resistência térmica total - Rt(m ² .°C/W)				3,054
Coeficiente de transmissão térmica - U (W/m ² .°C)				0,327

Quadro 18 - Caracterização da solução de reabilitação da cobertura - Desvão habitável.

6.2.3 Reabilitação térmica dos vãos envidraçados

Nos vãos envidraçados propõe-se a substituição do vidro simples por uma solução de vidro duplo. No que diz respeito à caixilharia, entendeu-se que o melhor seria substituir-se a velha caixilharia de madeira por uma caixilharia de PVC folheada a madeira. O PVC tem melhor comportamento térmico que a madeira e é bastante mais barato. O acabamento folheado a madeira permite preservar a aparência tradicional deste tipo de edifícios. A solução encontra-se descrita no *quadro 19*.

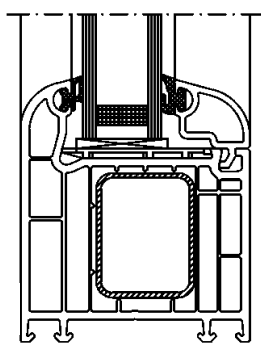


Figura 56 - Seção de caixilharia de PVC com vidro duplo.

Constituição - Vãos envidraçados	
1 - Vidro Duplo	
Vidro incolor 6 mm	
Caixa de ar 6 mm	
Vidro incolor 13 mm	
2 - Caixilharia PVC	
Transmitância luminosa – TL	0,781
Fator solar – g	0,604
Coeficiente de transmissão térmica vidro - Uw (W/m ² .°C) - (ITE50)	3,094
Coeficiente de transmissão térmica caixilharia - U (W/m ² .°C) - (ITE50)	1,652

Quadro 19 - Caracterização da solução de reabilitação dos vãos envidraçados.

Propõem-se ainda a aplicação de elementos de sombreamento pelo interior dos vãos envidraçados de forma a respeitar-se a arquitetura exterior do edifício, à semelhança da opção tomada na proposta de reabilitação térmica das paredes exteriores. A solução proposta baseia-se num sistema de cortina de rolo com uma opacidade média (blackouts). A fração de tempo em que os dispositivos de proteção solar móveis se encontram totalmente ativados (F_{mv}) na

estação de arrefecimento foi determinado segundo o REH, tendo sido considerado para a fachada noroeste um F_{mv} de 0,4 e para a fachada sudoeste um F_{mv} de 0,7.

6.3 Resultados pós-reabilitação

6.3.1 Situação pós-reabilitação – Necessidades energéticas

Depois de definidas as soluções de reabilitação térmica efetuaram-se simulações dinâmicas para a aplicação de cada uma das soluções individualmente e para a aplicação das soluções de forma combinada. Efetuaram-se 4 combinações diferentes:

- Paredes exteriores + Cobertura;
- Paredes exteriores + Envidraçados;
- Cobertura + Envidraçados;
- Paredes exteriores + Cobertura + Envidraçados.

Os resultados das simulações são apresentados nos tópicos seguintes.

6.3.1.1 Paredes exteriores

Após a realização de uma simulação dinâmica no Design Builder, verificou-se que a solução adotada resultaria numa redução das necessidades energéticas globais para 16468,58 KWh/ano, ou seja, 55,01 KWh/m².ano. As necessidades de aquecimento passariam a representar apenas 22,68% das necessidades globais e deixaria de ser a parcela com maior peso no consumo energético.

	Necessidades energéticas (KWh/ano)	Necessidades energéticas por unidade de área condicionada (KWh/m ² .ano)	Contributo percentual
Aparelhos elétricos	3892,58	13,00	23,64%
Iluminação	2392,74	7,99	14,53%
Aquecimento	3734,68	12,48	22,68%
Arrefecimento	3861,35	12,90	23,45%
AQS	2587,23	8,64	15,71%
Necessidades Globais	16468,58	55,01	100,00%

Quadro 20 - Necessidades energéticas após reabilitação térmica das paredes exteriores.

A redução das necessidades energéticas seria bastante expressiva e atingiria uma diminuição de cerca de 40% das necessidades de aquecimento e arrefecimento. As necessidades energéticas globais sofreriam uma variação de cerca de 24% face aos resultados da simulação dinâmica do edifício antes de qualquer intervenção (*quadro 21*).

Necessidades aquecimento + arrefecimento (KWh/m ² .ano)	Varição	Necessidades energéticas Globais (KWh/m ² .ano)	Varição
25,38	-40,53%	55,01	-23,92%

Quadro 21 - *Varição das necessidades energéticas após reabilitação térmica das paredes exteriores.*

A produção de CO₂ também verificaria uma redução significativa atingindo uma variação de 23,92%, como representado no *quadro 22*.

Produção de CO ₂ (Kg/ano)		
Pré-reabilitação	Pós-reabilitação	Varição
14828,53	11280,98	-23,92%

Quadro 22 - *Varição da produção de CO₂ após reabilitação das paredes exteriores.*

6.3.1.2 Cobertura

A aplicação da solução de isolamento térmico na cobertura permitiria, segundo a simulação dinâmica, reduzir as necessidades energéticas globais do edifício para 20609,17 KWh/ano e 68,84 KWh/m².ano. Com a aplicação desta medida de reabilitação as necessidades de aquecimento passariam a ter um peso de 31,12%, que apesar de ser inferior aos 33,42% iniciais continuaria a ser a parcela com maior contributo percentual nas necessidades energéticas globais do edifício (*quadro 23*).

	Necessidades energéticas (KWh/ano)	Necessidades energéticas por unidade de área condicionada (KWh/m ² .ano)	Contributo percentual
Aparelhos elétricos	3892,58	13,00	18,89%
Iluminação	2392,74	7,99	11,61%
Aquecimento	6412,56	21,42	31,12%
Arrefecimento	5324,06	17,78	25,83%
AQS	2587,23	8,64	12,55%
Necessidades Globais	20609,17	68,84	100,00%

Quadro 23 - *Necessidades energéticas após reabilitação térmica da cobertura.*

As necessidades de aquecimento e arrefecimento poderiam ser reduzidas apresentando uma variação de 8,15%, assim como as necessidades energéticas globais uma variação de 4,80%, face aos resultados obtidos antes de qualquer intervenção (*quadro 24*).

Necessidades aquecimento + arrefecimento (KWh/m ² .ano)	Varição	Necessidades energéticas Globais (KWh/m ² .ano)	Varição
39,20	-8,15%	68,84	-4,80%

Quadro 24 - *Varição das necessidades energéticas após reabilitação térmica da cobertura.*

A produção de CO₂ sofreria um decréscimo de 4,80% como representado no *quadro 25*.

Produção de CO ₂		
Pré-reabilitação	Pós-reabilitação	Variação
14828,53	14117,28	-4,80%

Quadro 25 - Variação da produção de CO₂ após reabilitação da cobertura.

6.3.1.3 Vãos envidraçados

Como representado no *quadro 26*, a substituição de vidro simples por vidro duplo e da caixilharia de madeira antiga por caixilharia em PVC e a instalação de blackouts como elementos de sombreamento sem aplicação de outra medida de reabilitação térmica no edifício, resultaria numa redução pouco expressiva das necessidades energéticas globais do edifício para 20576,29 KWh/ano, ou seja, 68,73 KWh anuais por área condicionada. As necessidades de aquecimento e arrefecimento continuariam a ser as parcelas com maior peso nas necessidades globais do edifício com 21,95 KWh/m².ano (31,93%) e 17,15 KWh/m².ano (24,95%), respetivamente.

	Necessidades energéticas (KWh/ano)	Necessidades energéticas por unidade de área condicionada (KWh/m ² .ano)	Contributo percentual
Aparelhos elétricos	3892,58	13,00	18,92%
Iluminação	2392,74	7,99	11,63%
Aquecimento	6569,88	21,95	31,93%
Arrefecimento	5133,86	17,15	24,95%
AQS (Gás)	2587,23	8,64	12,57%
Necessidades Globais	20576,29	68,73	100,00%

Quadro 26 - Necessidades energéticas após substituição dos vãos envidraçados.

A aplicação desta medida de reabilitação térmica de forma isolada, revela ser bastante semelhante à aplicação da medida de reabilitação da cobertura, do ponto de vista dos resultados obtidos, uma vez que as necessidades de aquecimento e arrefecimento sofreriam uma redução de apenas 8,39% e as necessidades energéticas globais uma redução de 4,95% (*quadro 27*).

Necessidades aquecimento + arrefecimento (KWh/m ² .ano)	Variação	Necessidades energéticas Globais (KWh/m ² .ano)	Variação
39,10	-8,39%	68,73	-4,95%

Quadro 27 - Variação das necessidades energéticas após substituição dos vãos envidraçados.

No *quadro 28*, encontra-se representada a variação na produção de CO₂ resultante da satisfação das necessidades energéticas globais do edifício antes e depois da aplicação da medida de reabilitação dos vãos envidraçados de forma isolada. A variação apresentada demonstra o potencial de uma redução em cerca de 5% da produção de CO₂.

Produção de CO ₂		
Pré-reabilitação	Pós-reabilitação	Variação
14828,53	14094,76	-4,95%

Quadro 28 - Variação da produção de CO₂ após substituição dos vãos envidraçados.

Ao nível do controlo dos ganhos solares pelas janelas exteriores, o impacto seria bastante positivo sendo possível reduzir os ganhos internos para 10526,17 KWh/ano e diminuir o peso dos ganhos solares para apenas 10,38%, passando da situação de parcela com maior contributo percentual (pré-reabilitação) para parcela com menor contributo percentual (pós-reabilitação), como demonstram o *quadro 29* e a *figura 57*.

	Ganhos KWh/ano	Contributo percentual
Iluminação	2392,74	27,73%
Equipamentos	3892,58	36,98%
Ocupação	3147,86	29,91%
G. solares	1092,99	10,38%
Total	10526,17	100,00%

Quadro 29 – Ganhos térmicos após substituição dos vãos envidraçados.

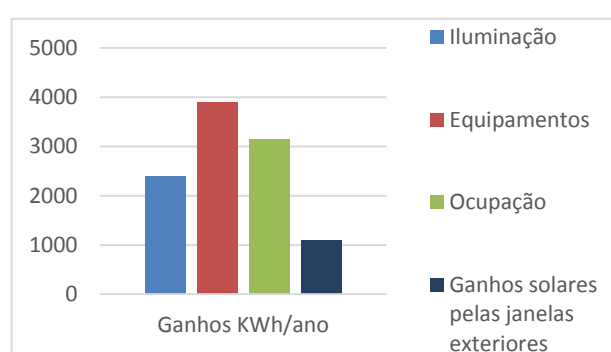


Figura 57 - Ganhos térmicos após substituição dos vãos envidraçados.

Segundo o *quadro 30*, a aplicação da medida de reabilitação dos vãos envidraçados poderia permitir uma redução dos ganhos solares pelas janelas exteriores na ordem dos 96,5% e uma redução próxima de 73% dos ganhos térmicos globais. Uma vez que a maioria dos vãos envidraçados do edifício se encontram orientados a sudoeste e que por essa razão se encontram bastante expostos à luz solar direta, a utilização de elementos de sombreamento pelo interior (blackouts) no verão diminui consideravelmente os ganhos solares nesta estação e justifica a grande variação dos ganhos globais determinada pelo software. De realçar que os elementos de sombreamento cumprem o disposto no REH, como anteriormente referido no ponto 6.2.3, tendo sido considerados tempos em que os dispositivos de proteção solar móveis se encontram totalmente ativados (F_{mv}) de 0,4 para a fachada noroeste e de 0,7 para a fachada sudoeste para a estação de arrefecimento. Na estação de aquecimento foi considerado que os dispositivos de sombreamento estão totalmente desativados durante todo esse período, dada a importância que os ganhos solares pelas janelas exteriores têm na redução das necessidades de aquecimento nessa estação.

Ganhos solares pelas janelas exteriores (KWh/ano)		
Pré-reabilitação	Pós-reabilitação	Variação
30681,24	1092,99	-96,44%
Ganhos globais (KWh/ano)		
Pré-reabilitação	Pós-reabilitação	Variação
40121,11	10526,17	-73,76%

Quadro 30 - Variação dos ganhos após substituição dos vãos envidraçados.

6.3.1.4 Combinações das soluções

Depois de conhecer-se o impacto das medidas de reabilitação térmica individualmente, decidiu-se estudar o impacto da sua combinação. Conjugando as medidas permite a obtenção de melhores resultados do ponto de vista da eficiência energética, ao ponto de ser possível reduzir-se as necessidades de aquecimento e arrefecimento até 63% e as necessidades energéticas globais até 37,17%. A combinação das três medidas de reabilitação térmica revelou ser a melhor opção do ponto de vista da redução das necessidades energéticas do edifício em estudo.

Combinar as medidas de reabilitação da cobertura e dos vãos envidraçados revela ser a opção menos vantajosa do ponto de vista da redução das necessidades energéticas, ficando muito aquém dos resultados das restantes combinações. Os resultados de todas as combinações encontram-se descritos no *quadro 31*.

Combinação	Necessidades aquecimento + arrefecimento (KWh/m ² .ano)	Variação	Necessidades energéticas Globais (KWh/m ² .ano)	Variação
Paredes ext. + Cobertura	21,34	50,00%	50,97	29,51%
Paredes ext. + Envidraçados	19,80	53,61%	49,44	31,63%
Cobertura + Envidraçados	35,59	16,61%	65,23	9,79%
Paredes ext. + Cob. + Env.	15,79	63,00%	45,43	37,17%

Quadro 31 - Necessidades energéticas e suas variações após aplicação de combinações de medidas de reabilitação.

De uma forma geral, também é possível aproveitar a combinação das medidas de reabilitação para se obter uma maior redução da produção de CO₂. Com a combinação das três medidas é possível reduzir-se até valores próximos de 37,2%, como indicado no *quadro 32*. Como maiores necessidades energéticas representam maior produção de CO₂, reabilitar a cobertura e os envidraçados de forma combinada volta a ser a opção menos vantajosa com uma redução de apenas 9,8%.

Produção de CO ₂ (Kg/ano)			
Combinação	Pré-reabilitação	Pós-reabilitação	Variação
Paredes ext. + cobertura		10452,81	29,51%
Paredes ext. + envidraçados	14828,53	10138,1	31,63%
Cobertura + envidraçados		13375,56	9,80%
Paredes ext. + cobertura + envidraçados		9315,75	37,18%

Quadro 32 - Produção de CO₂ e sua variação após aplicação de combinações de medidas de reabilitação.

6.3.1.5 Resumo dos resultados

No *quadro 33*, apresentam-se as necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento de forma separada e para cada proposta de reabilitação, com a particularidade de os resultados serem apresentados em energia elétrica e energia térmica. É possível observar que os melhores resultados podem ser obtidos com a proposta “Paredes exteriores + Cobertura + Envidraçados” e os piores resultados com a proposta de substituição dos vãos envidraçados de forma isolada.

Proposta de Reabilitação	Necessidades de aquecimento (KWh/ano)	Necessidades de arrefecimento (KWh/ano)	Nic (KWh/ano)	Nvc (KWh/ano)
Pré-reabilitação	7234,93	5540,01	25322	17174
Paredes Ext.	3734,68	3861,35	13071	11970
Cobertura	6412,56	5324,06	22443	16504
Envidraçados	6569,88	5133,86	22994	15914
Paredes Ext. + Cob.	2852,4	3534,63	9983	10957
Paredes Ext. + Env.	2954,26	2973,33	10339	9217
Cobertura + Envidraçados	5753,83	4899,98	20138	15189
Paredes Ext. + Cob. + Env.	2105,45	2621,63	7369	8127

Quadro 33- Resumo das necessidades energéticas obtidas com a aplicação das medidas de reabilitação propostas.

6.3.2 Análise custo/benefício

A seleção da melhor intervenção de reabilitação necessita de uma análise cuidada da relação custo/benefício. Esta análise requer uma estimativa dos custos de investimento, da poupança energética em termos económicos e do tempo de retorno.

6.3.2.1 Estimativa de custos

6.3.2.1.1 Custo de investimento

Efetuiu-se um estudo de mercado a fim de se determinar o custo das soluções de reabilitação. No *quadro 34* encontra-se o custo estimado por m² para as soluções de reabilitação das paredes exteriores, cobertura e vãos envidraçados, acompanhado da respetiva descrição.

Tipo de intervenção		Caracterização	Custo (€/m ²)	
Reabilitação das paredes exteriores		Fornecimento e montagem de contra fachada, constituída por: 1 placa de gesso laminado Standart (normal) com 13mm de espessura; Isolamento com XPS wallmate CW 80mm; Estrutura de suporte e todos os trabalhos necessários a um bom acabamento.	36,04	
Reabilitação da cobertura	Isolamento térmico da esteira	Fornecimento e assentamento de manta em lã de rocha 1.20m de largura e 100mm de espessura sem revestimento, Rocterm refª MN230 com 25/30kg/m ³ , aplicado na horizontal na esteira do teto.	6,78	
	Teto sobre desvão habitável	Fornecimento e montagem de teto falso interior constituído por: 1 placa de gesso laminado Standart (normal) com 13mm de espessura; Isolamento com lã de rocha de 100mm de espessura; Estrutura de suporte e todos os trabalhos necessários a um bom acabamento.	34,38	
Substituição dos vãos envidraçados e aplicação de elementos de sombreamento		Fornecimento e aplicação de caixilharia em PVC folheada a madeira com vidro duplo 6mm incolor + 6mm caixa de ar + 13 mm incolor	441,04	466,04
		Fornecimento e aplicação de blackouts	25,00	

Quadro 34 - Custo das soluções de reabilitação por m².

O custo de investimento de cada uma das soluções de reabilitação propostas é determinado consoante a respetiva área de aplicação, tal como indicado no *quadro 35*.

Solução de reabilitação	Área (m ²)	Custo do investimento	
Paredes exteriores	462,36	16.663,45 €	
Envidraçados	53,17	24.779,35 €	
Cobertura	Esteira	83,52	566,27 €
	Cob. inclinada	29,21	1.004,24 €
			1.570,51 €

Quadro 35 - Áreas de aplicação de cada solução de reabilitação e respetivos custos de investimento.

No *quadro 36* encontram-se formuladas as propostas de reabilitação finais acompanhadas do respetivo custo de investimento e do impacto que cada uma tem na redução das necessidades energéticas globais do edifício em estudo.

A intervenção na cobertura de forma isolada constitui a proposta que requer menor custo de investimento, mas também é a que tem menor impacto na redução das necessidades energéticas globais. A proposta mais dispendiosa é a que combina as três medidas de reabilitação (paredes exteriores, cobertura e vãos envidraçados), sendo também a que mais contribui para a redução das necessidades energéticas. Olhando apenas para a relação custo de investimento/redução das necessidades energéticas, constata-se que a proposta de reabilitação dos vãos envidraçados de

forma isolada é a menos vantajosa, pois requer mais de metade do investimento necessário na proposta “Paredes exteriores + Cobertura + Envidraçados”, a que mais contribui para a redução das necessidades energéticas, para se obter apenas 8,39% de redução das necessidades de aquecimento e arrefecimento.

Proposta de Reabilitação	Custo do investimento	Necessidades aquecimento + arrefecimento (KWh/ano)	Redução das necessidades aquecimento + arrefecimento
Pré-reabilitação	-	12774,94	-
Paredes Ext.	16.663,45 €	7596,03	40,53%
Cobertura	1.570,51 €	11736,62	8,15%
Envidraçados	24.779,35 €	11703,74	8,39%
Paredes Ext. + Cob.	18.233,96 €	6387,03	50,00%
Paredes Ext. + Env.	41.442,80 €	5927,59	53,61%
Cobertura + Envidraçados	26.349,86 €	10653,81	16,61%
Paredes Ext. + Cob. + Env.	43.013,31 €	4727,08	63,00%

Quadro 36 - Propostas de reabilitação finais, seus custos de investimento e contributo para a redução das necessidades energéticas.

6.3.2.1.2 Avaliação económica

A avaliação económica das propostas de reabilitação consiste, essencialmente, na determinação da poupança gerada na despesa de energia elétrica consumida pelo edifício, após a sua aplicação. O processo de avaliação económica requer o conhecimento prévio do custo médio da energia elétrica em Portugal e da sua taxa de crescimento anual, para posterior determinação da despesa anual e da despesa no horizonte temporal definido, antes e depois da aplicação das propostas de reabilitação. A diferença entre a despesa no horizonte temporal, antes e depois da aplicação das propostas, determina a poupança económica em energia elétrica.

O preço da energia elétrica por KWh depende, segundo a ERSE (Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos), do comercializador escolhido devido à liberalização do mercado. Posto isto, considerou-se que o preço médio da eletricidade para utilizadores domésticos em 2015 é de 0,2279 €/KWh, segundo dados do PORDATA (Base de Dados Portugal Contemporâneo). De acordo com a mesma fonte, admitiu-se que a taxa de crescimento anual do preço da eletricidade se situa nos 2,2%. Admitiu-se um horizonte temporal de 30 anos, período durante o qual se prevê a manutenção do bom desempenho da reabilitação efetuada. No *quadro 37* apresentam-se as poupanças geradas pela aplicação das propostas de reabilitação.

Proposta de Reabilitação	Necessidades de aquecimento + arrefecimento (KWh/ano)	Consumo energético (€)			Poupança (€)
		Ano 0	Ano 30	Acumulado	
Pré-reabilitação	12774,94	2.911,41 €	5.592,81 €	127.474,68 €	-
Paredes Ext.	7596,03	1.731,14 €	3.325,51 €	75.796,95 €	51.677,73 €
Cobertura	11736,62	2.674,78 €	5.138,24 €	117.113,81 €	10.360,87 €
Envidraçados	11703,74	2.667,28 €	5.123,84 €	116.785,72 €	10.688,96 €
Paredes Ext. + Cob.	6387,03	1.455,60 €	2.796,21 €	63.732,95 €	63.741,73 €
Paredes Ext. + Env.	5927,59	1.350,90 €	2.595,07 €	59.148,43 €	68.326,25 €
Cobertura + Env.	10653,81	2.428,00 €	4.664,19 €	106.309,00 €	21.165,69 €
P. Ext. + Cob. + Env.	4727,08	1.077,30 €	2.069,49 €	47.169,15 €	80.305,54 €

Quadro 37 - Poupança económica gerada pela aplicação das propostas de reabilitação.

Os resultados revelam que é possível obter-se uma poupança de 80.305,54 € em 30 anos com a reabilitação simultânea das paredes exteriores, cobertura e vãos envidraçados. A reabilitação da cobertura de forma isolada é a solução que gera menos poupança em 30 anos, representando apenas 12,9% da maior poupança. Apesar disso, a poupança pode não ser o mais importante tendo em conta que se tratam de investimentos diferentes. É por isso fundamental que se estabeleça uma relação entre o investimento e a poupança gerada. Essa relação é estabelecida obtendo-se o tempo de retorno do investimento.

6.3.2.2 Rentabilidade / Tempo de retorno do investimento

Depois de determinadas as poupanças geradas por cada proposta de reabilitação, importa conhecer o tempo de retorno do investimento necessário para a sua obtenção. Através desta relação é possível tirar conclusões sobre os investimentos, nomeadamente, se são rentáveis ou não. Os tempos de retorno são apresentados para cada proposta de reabilitação no *quadro 38*.

Proposta de Reabilitação	Investimento	Poupança em 30 anos	Tempo de retorno (anos)
Paredes Ext.	16.663,45 €	51.677,73 €	10
Cobertura	1.570,51 €	10.360,87 €	5
Envidraçados	24.779,35 €	10.688,96 €	70
Paredes Ext. + Cob.	18.233,96 €	63.741,73 €	9
Paredes Ext. + Env.	41.442,80 €	68.326,25 €	18
Cobertura + Env.	26.349,85 €	21.165,69 €	37
Paredes Ext. + Cob. + Env.	43.013,31 €	80.305,54 €	16

Quadro 38 - Tempos de retorno dos investimentos relativos às propostas de reabilitação.

Segundo os dados apresentados, é notória a viabilidade da maioria das propostas de reabilitação, dado que a maioria permite recuperar o respetivo investimento em períodos bastante inferiores ao período de vida útil do edifício reabilitado. No entanto, existem duas propostas que revelam ser um mau investimento, sendo elas a reabilitação dos envidraçados de forma isolada com um tempo de retorno de 70 anos e a combinação “Cobertura + Envidraçados” com um tempo de retorno de 37 anos. Excluindo estas duas situações negativas, têm-se 5 hipóteses com períodos de retorno bastante atrativos, tendo em conta que 18 anos, obtido com a combinação da reabilitação das paredes exteriores e dos vãos envidraçados, é o pior cenário possível e ainda assim encontra-se bastante abaixo dos 30 anos de vida útil da reabilitação. A reabilitação exclusiva da cobertura consiste na proposta com o período de retorno mais curto, sendo possível recuperar o investimento em apenas cinco anos.

Apesar de a decisão sobre a solução de reabilitação a adotar caber única e exclusivamente aos consumidores, este estudo serve de linhas orientadoras para uma escolha mais assertiva. De facto, a tomada de decisão pode depender essencialmente de dois fatores: poder de investimento e poupança desejada. Da análise do *quadro 37*, podem retirar-se duas abordagens passíveis de ser aplicadas ao caso de estudo. Por um lado, se não existir grande capital disponível, a melhor opção passa por reabilitar unicamente a cobertura que é a solução que requer menos investimento, sendo portanto a abordagem economicamente mais viável. Por outro lado, se existe poder de investimento e se o foco está na poupança ou na eficiência energética, a melhor opção é reabilitar as paredes exteriores, a cobertura e os vãos envidraçados simultaneamente, garantindo assim a maior poupança em termos económicos e um maior contributo para a diminuição do impacto ambiental do edifício.

7. CONCLUSÃO

A eficiência energética é um tema que assume particular importância na atualidade e surge na medida em que é necessário fazer face às alterações climáticas reduzindo o consumo de energia de uma forma global. Ora, se o setor dos edifícios é um dos principais responsáveis pelo consumo de energia final na Europa representando, aproximadamente, 40% do consumo global de energia e 34% das emissões de CO₂ para a atmosfera, torna-se então um dos principais alvos de intervenção. Em Portugal, para além do peso do setor da habitação e de serviços no consumo de energia existe também a necessidade de colmatar os efeitos da elevada dependência energética do país. Por estas razões os edifícios são vistos como um dos sectores onde se poderão obter ganhos importantes ao nível dos consumos energéticos.

Nesta dissertação procurou-se provar que o investimento na reabilitação energética dos edifícios é viável, sendo portanto recuperável em prazos atrativos. O foco estabeleceu-se na reabilitação da envolvente de edifícios antigos, fundamentalmente por se caracterizarem pela falta de isolamento térmico. Efetivamente, após simulação dinâmica do caso de estudo constatou-se que a sua condição conduz a necessidades energéticas elevadas, principalmente as necessidades de aquecimento e arrefecimento. Apesar disso, os resultados da aplicação de medidas de reabilitação na envolvente exterior demonstram que é possível reduzir essas necessidades de forma acentuada. O objetivo principal foi atingido provando-se que investir na reabilitação energética de edifícios antigos tem uma excelente relação custo/benefício. Assim, existem condições para que a reabilitação deixe de ser vista como algo do futuro e passe a fazer parte do presente, constituindo uma oportunidade para o exercício da atividade do engenheiro civil.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADENE(2013).http://www2.adene.pt/pt-pt/SubPortais/SCE/Legislacao/Nacional/Paginas/Sistema_SCE.aspx. Agência para a energia (página internet oficial), Portugal.
- Almeida, M. (2012). *Reabilitação Energética de Edifícios - Perspetiva da Engenharia Civil*. 12^{as} Jornadas de Climatização, Lisboa.
- Boto, M. (2014). *Plano de Manutenção de Fachadas em Edifícios da Zona Costeira*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Fernando Pessoa, Porto.
- Brito, M. (2010). *Reabilitação de Fachadas e seu Contributo Energético*. Dissertação de Mestrado em Arquitetura, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- Campos, M. (2014). *Baixa Crúzia - Contributo para a reabilitação de uma área na Baixa de Coimbra*. Dissertação de Mestrado em Arquitetura, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.
- DesignBuilder (2005). <http://www.designbuilder.co.uk/content/view/154/226/>. *EnergyPlus Simulation*. Design Builder (página internet oficial), Reino Unido.
- DGEG (2004). *Reabilitação energética da envolvente de edifícios residenciais*. Direção Geral de Energia e Geologia.
- DGEG (2015). *A Energia em Portugal em 2013*. Direção Geral de Energia e Geologia.
- DGEG (2016). <http://www.dgeg.pt/>. Direção Geral de Energia e Geologia (página internet oficial), Portugal.
- Faria, F. (2013). *Análise dos sistemas construtivos portugueses*. Dissertação de Mestrado em Construção de Edifícios, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- Freitas, V. et al. (2012). *Manual de Apoio ao Projecto de Reabilitação de Edifícios Antigos*. Ordem dos Engenheiros da Região Norte. ISBN 978-972-99918-7-5
- Ganarra, R. (2011). *Avaliação do êxito do Protocolo de Quioto em Portugal*. Dissertação de Mestrado em Desenvolvimento e Cooperação Internacional, Instituto Superior de Economia e Gestão, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- Garcia, R. (2014). <http://www.publico.pt/ecosfera/noticia/portugal-ja-cumpriu-o-protocolo-de-quioto-1635328>. *Portugal já cumpriu o Protocolo de Quioto*. Jornal Público (página internet oficial).
- INE (2012). *Parque Habitacional em Portugal: Evolução na última década*. Instituto Nacional de Estatística, Portugal.
- INE (2013). *O Parque Habitacional e a sua Reabilitação- Análise e Evolução 2001-2011*. Instituto Nacional de Estatística, Portugal.
- INE (2015). *Intensidade Energética da Economia*. Instituto Nacional de Estatística.
- ITIC (2008). *O Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior dos Edifícios - Oportunidades para o sector da Construção Segmento Residencial*. Instituto Técnico para a Indústria da Construção
- Machado, R. (2014). *Reabilitação de Edifícios visando a Eficiência Energética*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade do Minho.

- Mendonça, P. (2005). *Sistemas de Fachada*. Tese de Doutoramento, Universidade do Minho.
- Norma Portuguesa, NP 1037-1 2002, *Ventilação e evacuação dos produtos da combustão dos locais com aparelhos a gás. Parte 1: Edifícios de habitação. Ventilação natural*.
- Paiva, J., Aguiar, J. et al. (2006). *Guia Técnico de Reabilitação Habitacional*. Vol.2. Instituto Nacional de Habitação e Laboratório de Engenharia Civil. Lisboa.
- Ramos, A. (2009). *Os custos do desenvolvimento sustentável para a engenharia, arquitetura e construção nos processos de reabilitação*. Tese de Doutoramento, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra.
- SCE (2013). *Certificação Energética e Ar Interior Edifícios*. Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de agosto, Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios, Portugal.
- Silva, V. (2013). *Reabilitação Energética de Edifícios Residenciais: Propostas de Intervenção numa perspetiva de otimização da relação custo/benefício*. Dissertação de Mestrado Construção e Reabilitação Sustentáveis, Universidade do Minho.
- Silva, P. (2013). *Avaliação e caracterização de medidas de melhoria energética na reabilitação de edifícios numa perspetiva custo-benefício. Seleção e caracterização de medidas de melhoria da envolvente de edifícios*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade do Minho.
- Simões, F. (2007). *Revestimento de paredes e isolamento térmico - Isolamento e Inércia*.
- UE (2010). *Directiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de Maio de 2010 relativa ao desempenho energético dos edifícios*.
- Veiga, C. (2011). *Análise Técnica e Económica de diferentes soluções passivas de eficiência energética de um edifício*. Dissertação de Mestrado em Energias Renováveis e Eficiência Energética, Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Bragança.
- Vilhena, A (2013). *Reabilitação habitacional e o setor da construção civil*. Instituto Nacional de estatística.

ANEXOS

Índice de anexos

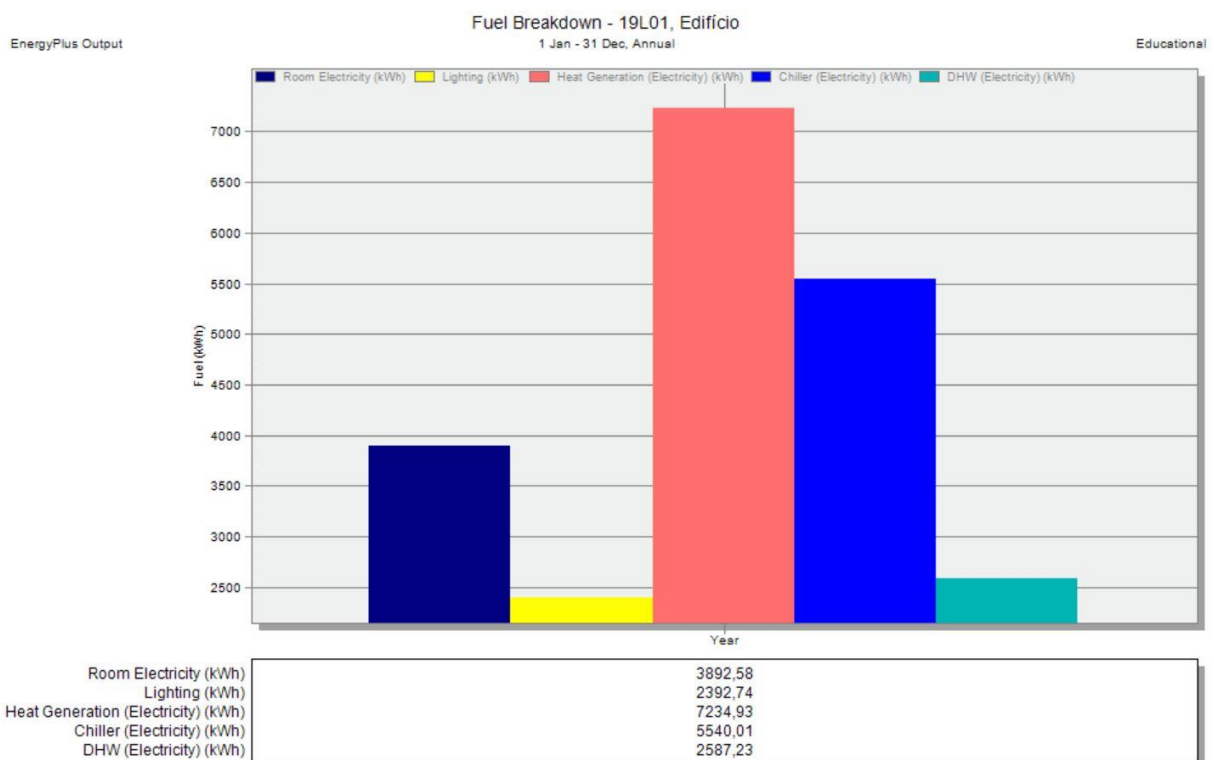
Anexo I – Resultados obtidos no Design Builder

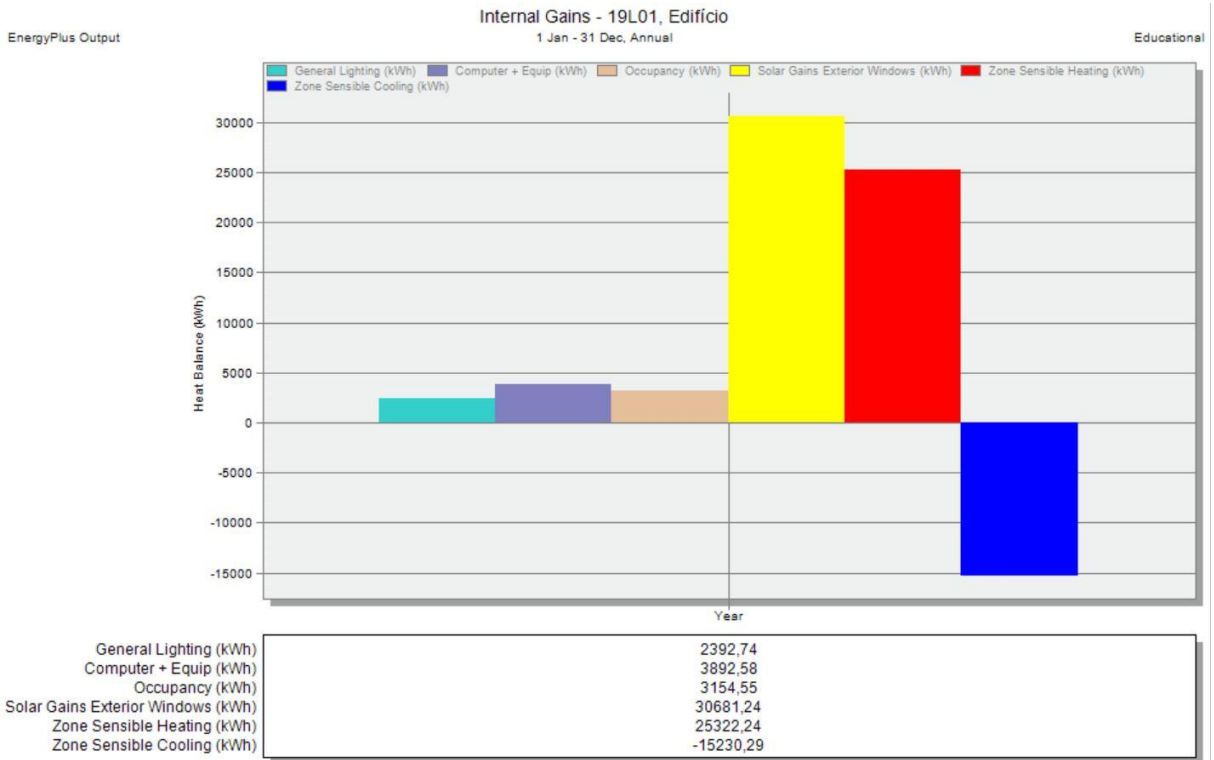
Anexo II – Plantas do edifício do caso de estudo

Anexo I - Resultados obtidos no Design Builder

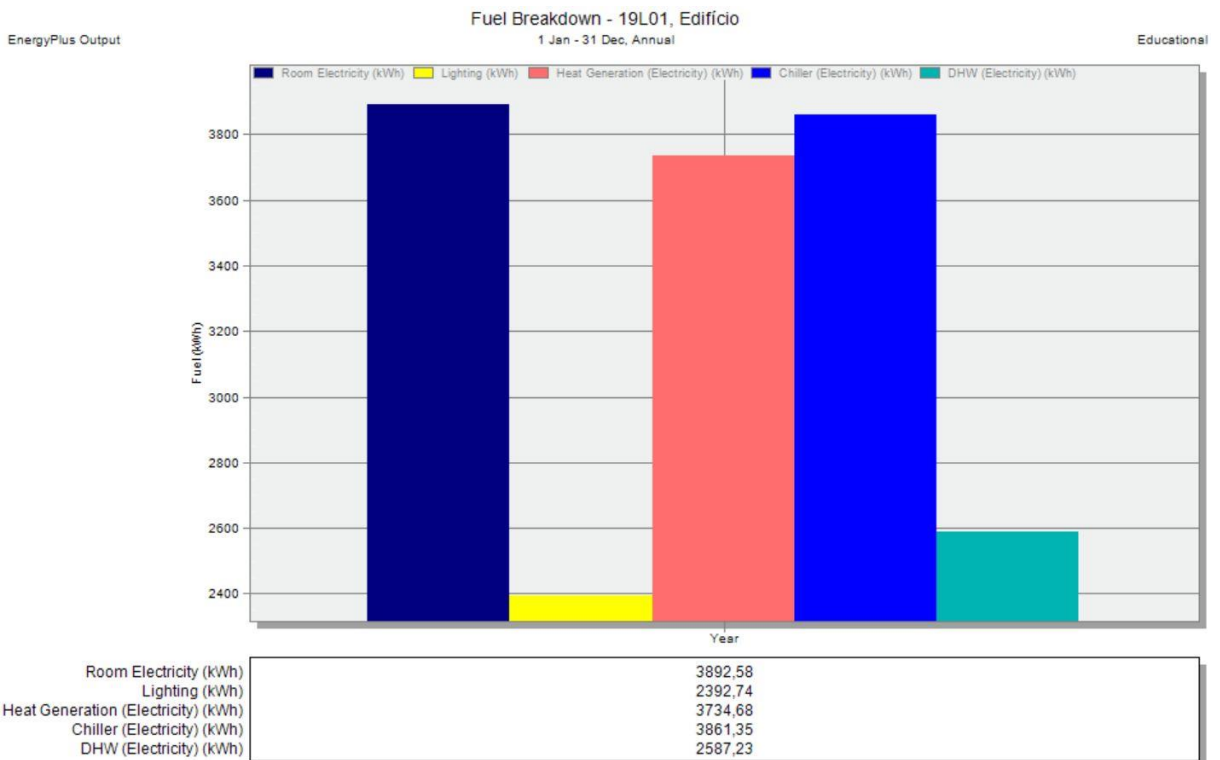
Neste anexo apresentam-se os dados resultantes das simulações dinâmicas efetuadas no Design Builder sob a forma de gráficos e tabelas fornecidos pelo próprio software. Estes dados foram a base do estudo efetuado nesta dissertação. Os outputs do software apresentados neste anexo resumem-se às necessidades energéticas do edifício após cada simulação e aos ganhos térmicos apenas nas situações pré-reabilitação e após a reabilitação dos vãos envidraçados.

Resultados pré-reabilitação

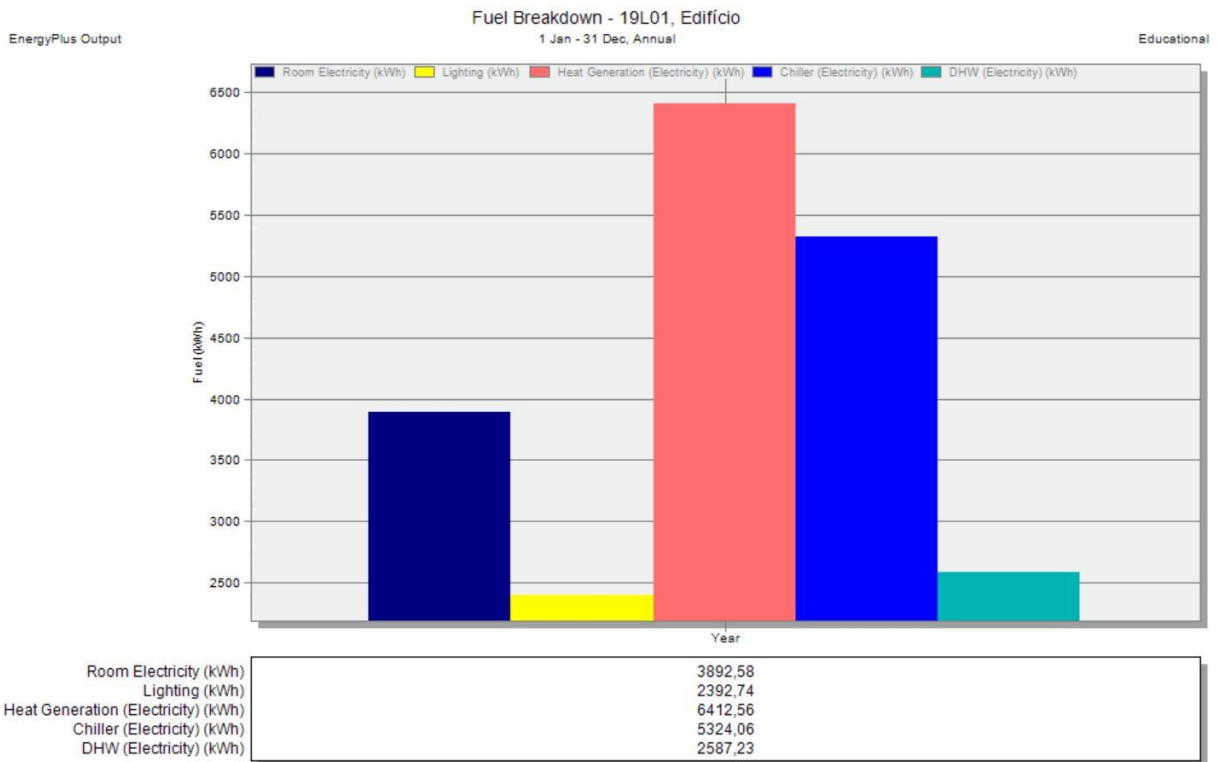




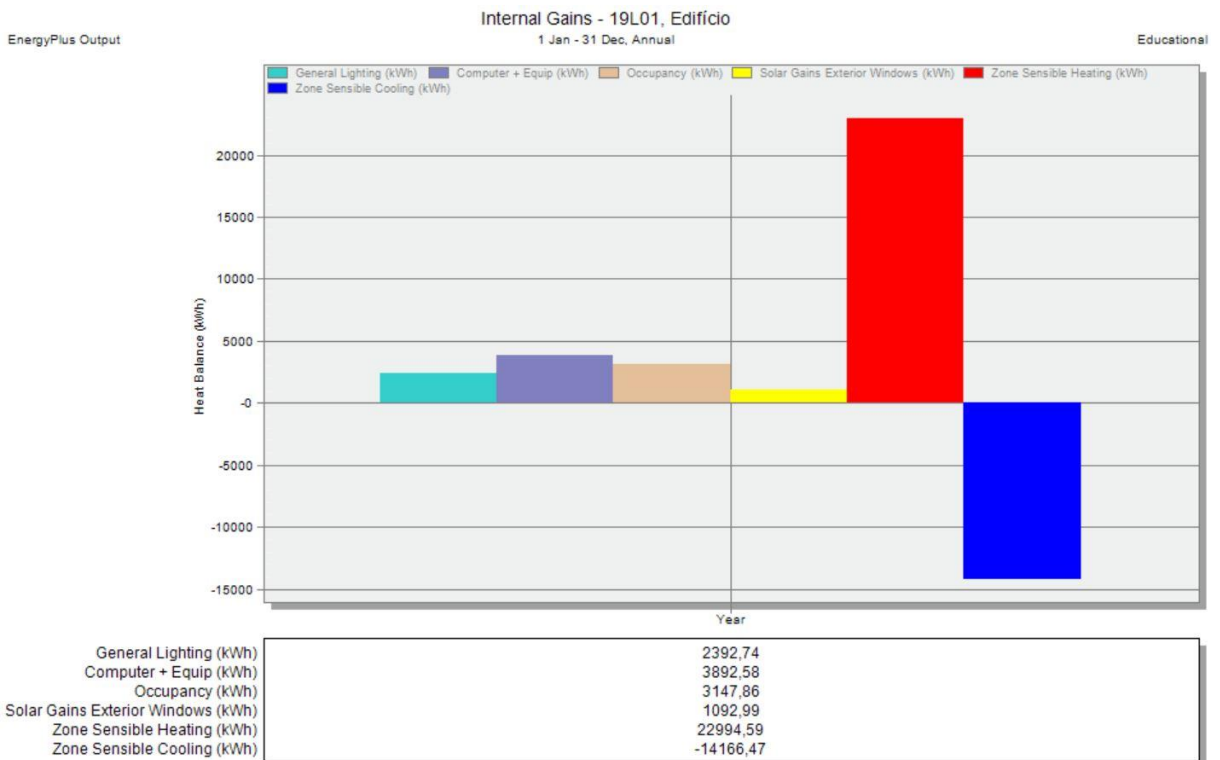
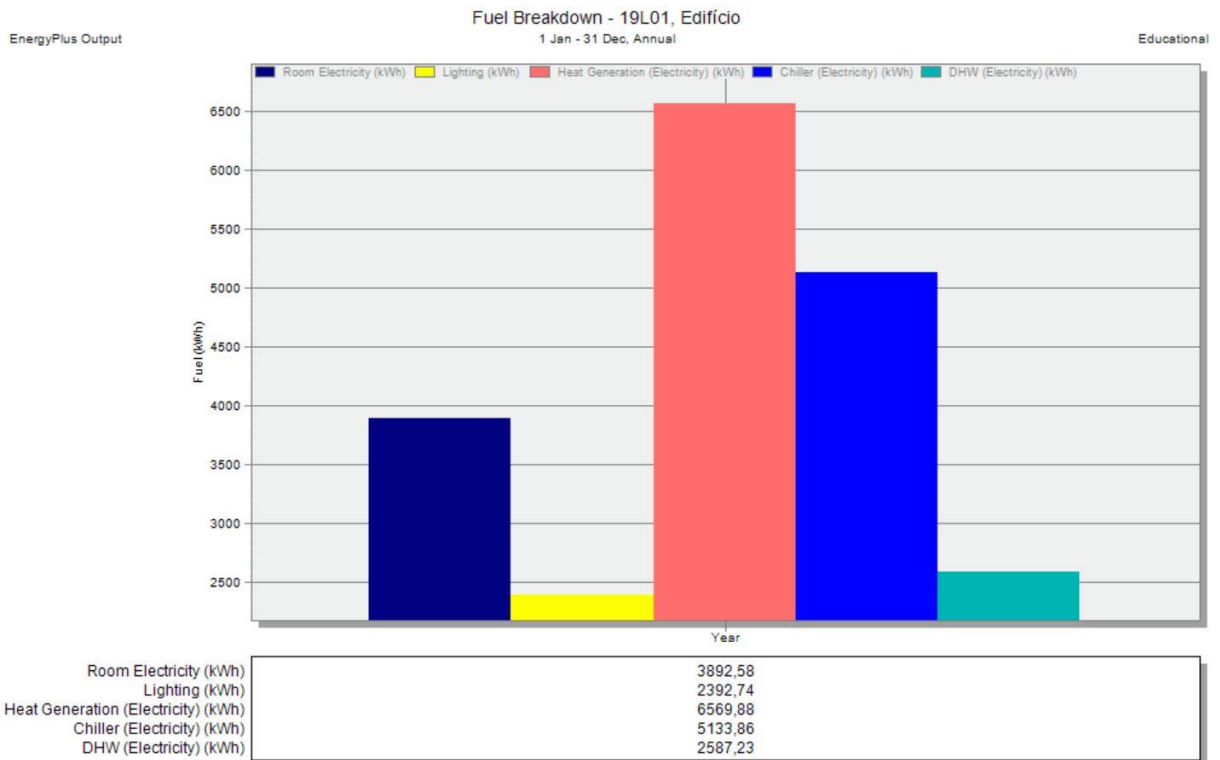
Resultados após reabilitação das paredes exteriores



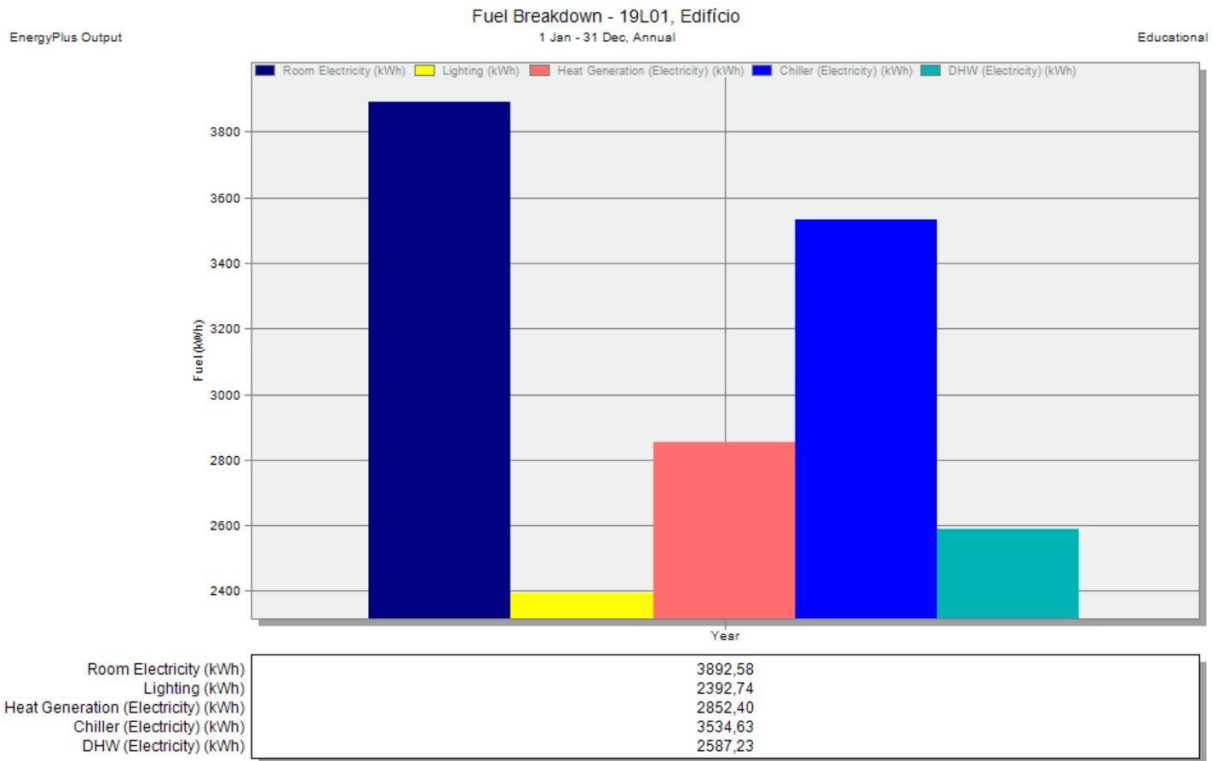
Resultados após reabilitação da cobertura



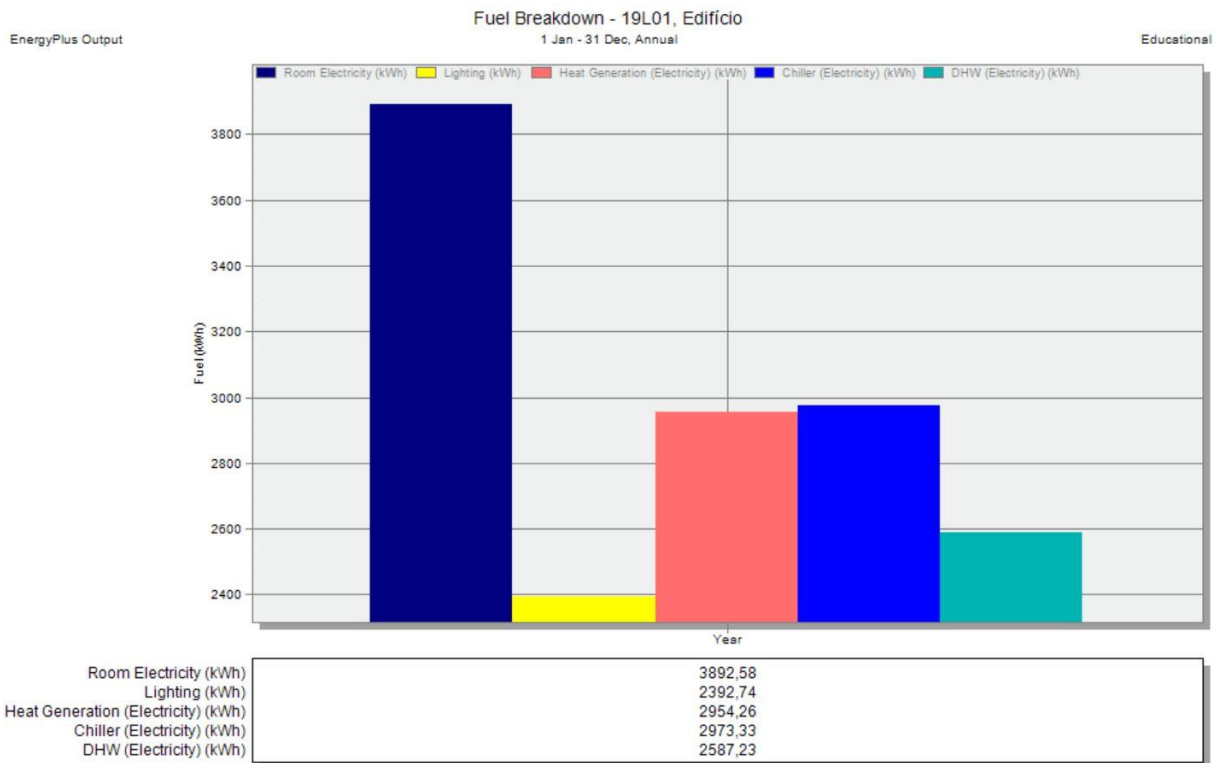
Resultados após reabilitação dos vãos envidraçados



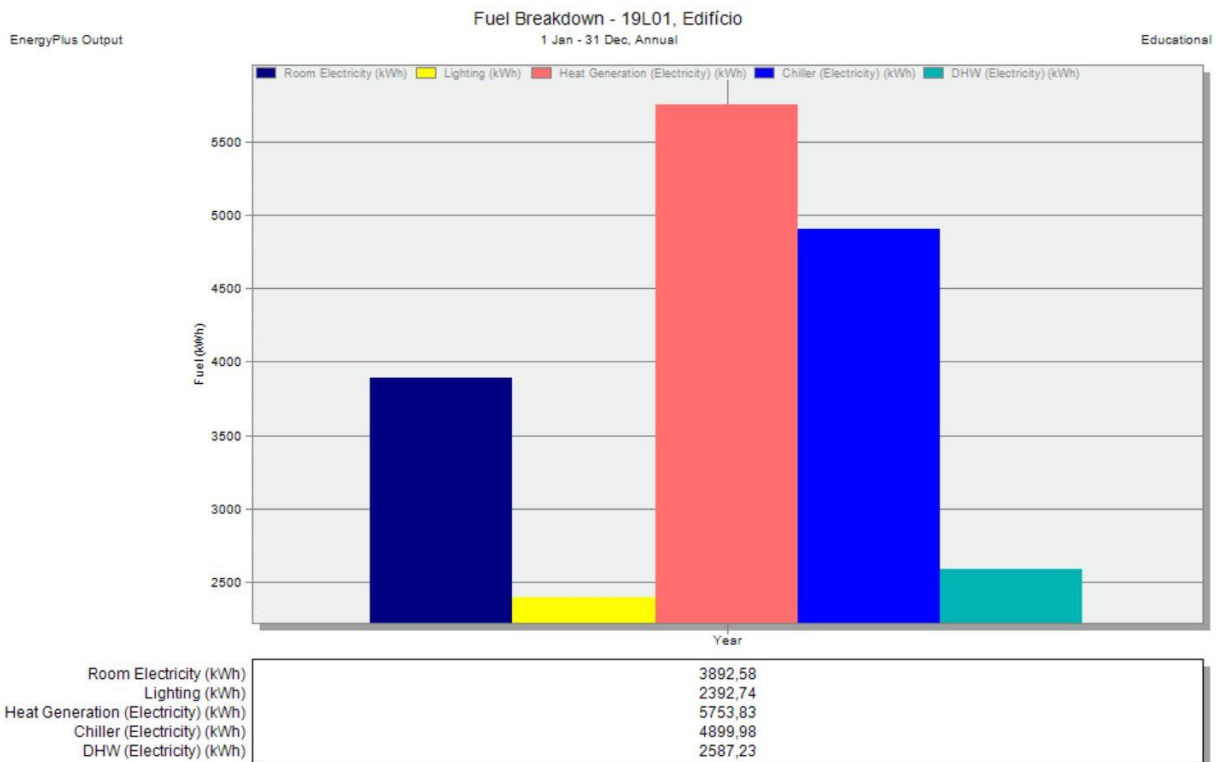
Resultados após reabilitação das paredes exteriores e da cobertura



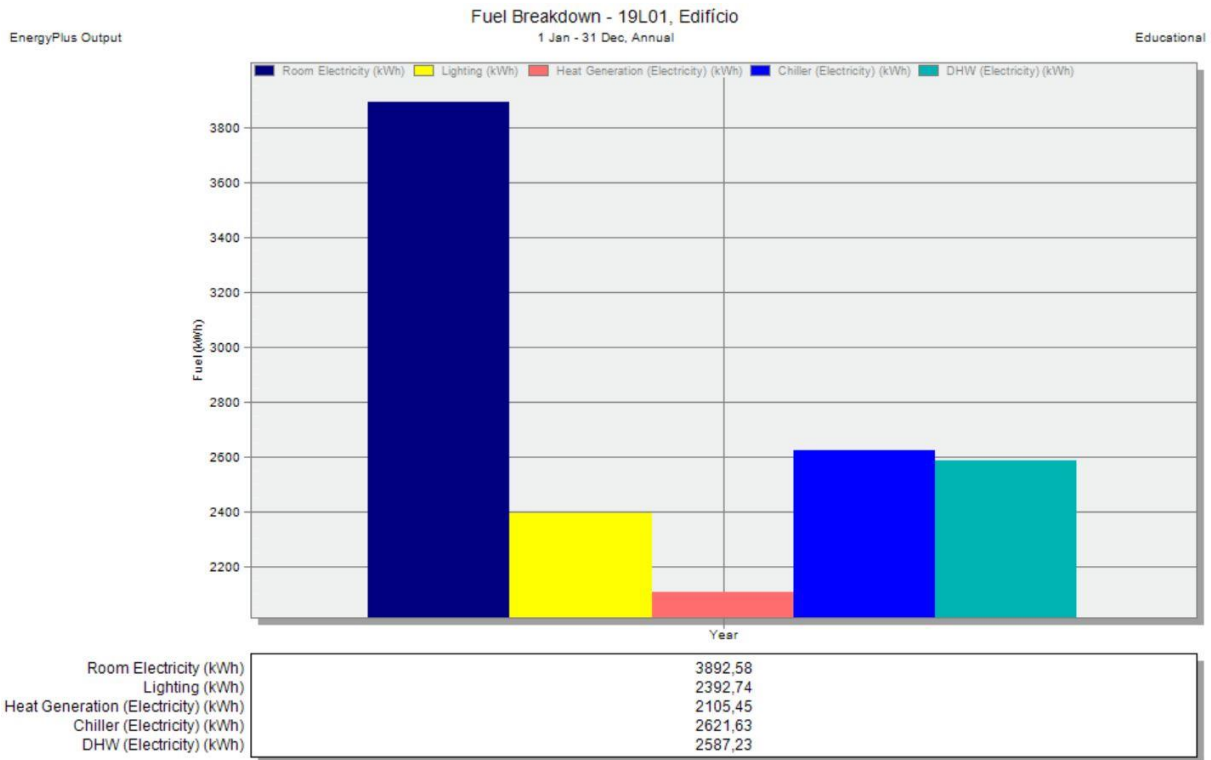
Resultados após reabilitação das paredes exteriores e dos envidraçados



Resultados após reabilitação da cobertura e dos envidraçados



Resultados após reabilitação das paredes exteriores, da cobertura e dos envidraçados



Anexo II – Plantas do edifício do caso de estudo

Neste anexo apresentam-se as plantas, alçados e corte do edifício utilizadas na modelação 3D no Design Builder.