U.PORTO

FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

CERTIFICAÇÃO ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS EXISTENTES

Estudo Sobre a Melhoria do Desempenho Térmico das Paredes Exteriores e Respectiva Análise Técnico-Económica

PEDRO MIGUEL RAMOS DA SILVA CARVALHO BORGES

Relatório de Projecto submetido para satisfação parcial dos requisitos do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES CIVIS

Orientador: Professora Doutora **Maria Helena Póvoas Corvacho**

FEVEREIRO DE 2009

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2008/2009

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

http://www.fe.up.pt

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2007/2008 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2008*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

Há, verdadeiramente, duas coisas diferentes: saber e crer que se sabe.
A ciência consiste em saber; em crer que se sabe está a ignorância.
Hipócrates

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Prof. Maria Helena Corvacho a orientação científica deste trabalho. Pela confiança depositada, conhecimentos transmitidos e sobretudo pela motivação ao longo da sua execução, o meu profundo reconhecimento.

Ao Professor Nuno Simões pela acessibilidade e pelos esclarecimentos prestados.

A todos os meus amigos, pelo companheirismo, empenho, tolerância, disponibilidade e sobretudo pelos muitos momentos de humor ao longo do meu percurso escolar.

À Dra. Susana Pereira pela amizade e revisão dos textos.

À minha família, em especial aos meus pais, pela compreensão, entusiasmo e pela insuperável paciência.

A todos muito obrigado.

RESUMO

Com o crescente aumento do preço da energia para níveis cada vez mais elevados, e as noticias sobre as evoluções climáticas a serem cada vez mais alarmantes, a União Europeia propôs-se implementar um conjunto de políticas energéticas através das quais pretende simultaneamente reduzir a sua dependência dos combustíveis fósseis e diminuir as emissões de carbono para a atmosfera. Um dos sectores em que se propôs intervir para alcançar estes objectivos, foi na construção civil. Pretende-se melhorar a eficiência energética dos edifícios a construir e a reabilitar, quer se trate de edifícios de habitação, quer de serviços. Estas politicas foram transpostas para a legislação portuguesa através do Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE), o qual pretende regulamentar o processo de certificação energética aquando da construção, venda ou arrendamento dos edifícios e em todos os grandes edifícios públicos ou frequentemente visitados pelo público.

Este trabalho insere-se no âmbito da certificação energética de edifícios existentes, que estejam no âmbito do Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE). A classificação inerente à certificação energética de edifícios, deve ser efectuada com base num método de cálculo de desempenho energético detalhado preconizado no RCCTE. No entanto, a sua aplicação a edifícios existentes poderá enfrentar inúmeros obstáculos e pode resultar em custos muito elevados, justificando-se deste modo, a aplicação de um modelo de cálculo simplificado que facilitará o processo de levantamento dimensional, bem como a definição dos parâmetros de caracterização térmica dos edifícios.

Para além da atribuição de uma classe energética, a certificação energética de edifícios existentes destina-se a proporcionar ao proprietário informações sobre medidas de melhoria de desempenho energético, com viabilidade económica, que este pode implementar para reduzir as suas despesas energéticas e simultaneamente, melhorar a eficiência energética do seu edifício. Neste estudo são propostas medidas de melhoria de desempenho energético de envolvente exterior, nomeadamente no que respeita a soluções de isolamento térmico de paredes exteriores, sendo analisada a viabilidade económica deste tipo de intervenções, bem como a sua influência na melhoria do conforto térmico e na eficiência energética dos edifícios.

PALAVRAS-CHAVE: certificação energética, simplificações, paredes exteriores, isolamento, viabilidade económica.

ABSTRACT

The increasing energy prices to ever higher levels, and the news on alarming climate change, the European Union proposed to implement a set of energy policies to reduce the carbon emissions into the atmosphere. One of the sectors in which it proposed to intervene to achieve these goals, was in building construction. It seeks to improve the energy efficiency of buildings to build or to rehabilitate, whether of buildings for housing or services. These policies were translated into Portuguese legislation through the system National Certification of Energy and Interior Air Quality in Buildings (SCE), which aims to regulate the process of energy certification in the construction, sale or rental of buildings and all major public buildings or frequently visited by the public

This work is related with the energy certification of existing buildings that are under the Regulation of the characteristics of thermal performance of buildings (RCCTE). The energy rating to be assign to the buildings should be based on the calculation method detailed by RCCTE. However, its application to existing buildings may have to face many obstacles and can result in very high costs, which favors, the application of a simplified calculation model that will facilitate the process of dimensional survey and the defining of the parameters of Thermal characterization of the buildings.

Besides the assignment of a class energy, the energy certification of existing buildings gives the owner information on measures to enhance energy performance, with economic viability, it can implement to reduce their energy costs and simultaneously, improve efficiency energy of its building. In this study are proposed measures to improve energy performance of surrounding external of the buildings, particularly as regards the strengthening of thermal insulation for exterior walls, being analyzed the economic viability of such interventions and their influence on improving the thermal comfort and energy efficiency of building.

KEYWORDS: energy certification, simplifications, exterior walls, insulation, economic viability.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS i

RESUMO iii

ABSTRACT v

1. INTRODUÇÃO 1

1.1. ÂMBITO DE ESTUDO E ENQUADRAMENTO GERAL 1

1.2. OBJECTIVOS 2

1.3. ESTRUTURAÇÃO DO TEXTO 3

2. ESTADO DA ARTE 5

2.1. A CONSERVAÇÃO DE ENERGIA EM PORTUGAL 5

2.2. A EVOLUÇÃO DA LEGISLAÇÃO 7

2.3. A DIRECTIVA 2002/91/CE 8

2.4. A LEGISLAÇÃO NACIONAL 9

2.5. O SISTEMA NACIONAL DE CERTIFICAÇÃO ENERGÉTICA E DA QUALIDADE DO AR INTERIOR NOS EDIFÍCIOS (SCE) 10

2.5.1. O PROCESSO DE CERTIFICAÇÃO ENERGÉTICA 10

2.5.1.1. Etapas da Certificação. 10

2.5.1.2. As Classes de Desempenho Energético em Edifícios do Sector Residencial 11

2.5.1.3. Cálculo do Desempenho Energético 12

2.5.1.4. A Calendarização da Aplicação do Sistema Nacional de Certificação Energética (SCE) 13

2.5.2. O CERTIFICADO ENERGÉTICO 14

2.5.2.1. Informação Contida num Certificado Energético 14

2.5.2.2. Utilidade do Certificado Energético 14

2.6. A CERTIFICAÇÃO ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS EXISTENTES 15

2.6.1. A PROBLEMÁTICA DOS EDIFÍCIOS EXISTENTES 16

2.6.2. METODOLOGIA PARA A CERTIFICAÇÃO ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS EXISTENTES. 18

2.6.3. A NOTA TÉCNICA RELATIVA AO DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS EXISTENTES. 18

2.6.4. AS REGRAS DE SIMPLIFICAÇÃO 19

2.6.4.1. Levantamento Dimensional 20

2.6.4.2. Perdas pela Envolvente 21

2.6.4.3. Vãos Envidraçados 21
2.6.4.4. Inércia Térmica. 22
2.6.4.5. Sistemas de Climatização e Preparação de AQS 23
2.6.5. Fases para a Emissão do Certificado Energético de Edifícios Existentes. 24
2.6.5.1. Visita / Inspecção ao Local 24
2.6.5.2. Recolha de Informação Base. 24
2.6.5.3. Aplicação da Metodologia de Cálculo preconizada no Decreto-lei nº 80 (com possibilidade de introduzir as Simplificações previstas na Nota Técnica 01). 24
2.6.5.4. Identificação de Medidas de Melhoria.. 25
2.6.5.5. Elaboração do Relatório Síntese de Peritagem / Certificado Energético.... 25
2.7. MEDIDAS DE MELHORIA DE DESEMPENHO ENERGÉTICO 26
2.7.1. A REABILITAÇÃO ENERGÉTICA DA ENVOLVENTE DE EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS 26
2.7.2. ASPECTOS DE ENVOLVENTE DOS EDIFÍCIOS QUE AFECTAM O SEU DESEMPENHO ENERGÉTICO 27
2.7.2.1. Inércia Térmica 28
2.7.2.2. Isolamento Térmico Insuficiente nos Elementos Opacos da Envolvente 28
2.7.3.3. Existência de Pontes Térmicas na Envolvente do Edifício. 28
2.7.2.4. Condensações 29
2.7.2.5. Baixo Desempenho Térmico de Vãos Envidraçados e Portas exteriores 29
2.7.2.6. Falta de Protecções Solares adequadas nos Vãos Envidraçados. 30
2.7.2.7. Ventilação não Controlada 30
2.7.3. A REABILITAÇÃO ENERGÉTICA DAS PAREDES EXTERIORES 30
2.7.3.1. Soluções de Isolamento Térmico Exterior 33
2.7.3.2. Soluções de Isolamento Térmico Interior 36
2.7.3.3. Soluções de Isolamento Térmico na Caixa-de-Ar de Paredes Duplas. 37
2.7.4. COMPORTAMENTO HIGROTÉRMICO DAS PAREDES DE ENVOLVENTE EXTERIOR 38
2.7.4.1. Generalidades 38
2.7.4.2. Factores que Influenciam a escolha do Isolamento Térmico 39
2.7.4.3. Isolamentos Térmicos usados na Reabilitação de Edifícios. 39
2.7.4.4. Certificação e Selecção Exigencial de Isolantes Térmicos. 40
2.7.5. IMPORTÂNCIA DO POTENCIAL SOBREAQUECIMENTO DERIVADO DO AUMENTO DO NÍVEL DE ISOLAMENTO TÉRMICO 41

3. BASE DE DADOS 43

3.1. CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA 43

3.1.1. IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS 44
3.1.1.1. Envolvente Exterior 44
3.1.1.2. Envolvente Interior 45
3.1.2. IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE VENTILAÇÃO 45
3.1.3. IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS VÃOS ENVIDRAÇADOS 46
3.1.4. IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO E PREPARAÇÃO DE AQS 46
3.1.5. IDENTIFICAÇÃO DAS CLASSES DE INÉRCIA 47
3.2. OUTRAS CONSIDERAÇÕES A DESTACAR 47
3.2.1. ÁREAS 47
3.2.1.1. Área útil de Pavimento 47
3.2.1.2. Área de Parede da Envolvente exterior 47
3.2.1.3. Área de cobertura (envolvente exterior e interior). 47
3.2.1.4. Área de portas 47
3.2.2. PERDAS DE CALOR POR CONDUÇÃO ATRAVÉS DA ENVOLVENTE 47
3.2.2.1. Coeficiente de Redução de Perdas 47
3.2.2.2. Pontes Térmicas e Elementos em Contacto com o Solo 48

4. ESTUDO DE SENSIBILIDADE 49
4.1. OBJECTIVO 49
4.2. AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS ATRAVÉS DO MÉTODO SIMPLIFICADO 49
4.2.1. ANÁLISE DAS NECESSIDADES DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO (NIC), ARREFECIMENTO (NVC) E PREPARAÇÃO DE ÁGUAS QUENTES SANITÁRIAS (NAC) 50
4.2.2. ANÁLISE DAS PERDAS TÉRMICAS 51
4.2.3. ANÁLISE DAS NECESSIDADES NOMINAIS GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA (NTC) 53
4.2.4. CLASSIFICAÇÃO ENERGÉTICA DOS EDIFÍCIOS 55
4.3. ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÓMICA DAS MEDIDAS DE MELHORIA DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DAS PAREDES EXTERIORES 56
4.3.1. OBJECTIVOS 56
4.3.2. ANÁLISE DO CUSTO GLOBAL 57
4.3.2.1. Custo Global 57
4.3.2.2. Custo Inicial 58
4.3.2.3. Custo de Exploração 58
4.3.2.4. Período de Retorno 59

4.3.3. PERDAS TÉRMICAS DURANTE A ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO 60

4.3.3.1. Coeficiente de Transmissão Térmica (U) 60

4.3.3.2. Graus Dias de Aquecimento (GD) 61

4.3.4. ANÁLISE TÉCNICO ECONÓMICA DE QUATRO SOLUÇÕES DE ISOLAMENTO TÉRMICO DE PAREDES EXTERIORES 62

4.3.4.1. Custo das Soluções de Isolamento Térmico 64

4.3.4.2. Análise do Retorno e da Poupança das Soluções de Isolamento de Paredes Exteriores. 66

4.4. A INFLUÊNCIA DAS MEDIDAS DE MELHORIA DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DAS PAREDES EXTERIORES NA CLASSIFICAÇÃO ENERGÉTICA DOS EDIFÍCIOS 79

4.4.1. GENERALIDADES 79

4.4.2. ESTRATÉGIA DE ABORDAGEM 79

4.4.3. ANÁLISE DAS NIC, NVC E NAC APÓS O ISOLAMENTO TÉRMICO DAS PAREDES EXTERIORES 84

4.4.4. ANÁLISE DAS PERDAS TÉRMICAS APÓS O ISOLAMENTO DAS PAREDES EXTERIORES 86

4.4.5. ANÁLISE DAS NTC APÓS O ISOLAMENTO DAS PAREDES EXTERIORES 87

4.4.6. CLASSIFICAÇÃO ENERGÉTICA DOS EDIFÍCIOS APÓS O ISOLAMENTO DAS PAREDES EXTERIORES 89

4.4.7. ALARGAMENTO DO ISOLAMENTO TÉRMICO ÀS COBERTURAS EXTERIORES 89

4.4.7.1. Objectivo 89

4.4.7.2. Estratégia de Abordagem. 90

4.4.7.3. Análise das Nic após o Isolamento das Paredes e Coberturas exteriores. 92

4.4.7.4. Análise das Perdas Térmicas após o Isolamento das Paredes e Coberturas Exteriores 93

4.4.7.5. Análise das Ntc e correspondente Classificação Energética dos Edifícios após o Isolamento das Paredes e Coberturas Exteriores 94

4.5. ANÁLISE CRÍTICA DOS RESULTADOS 95

5. CONCLUSÕES 97

5.1. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS 97

5.2. PERSPECTIVAS DE FUTURO SOBRE O TEMA 98

6. BIBLIOGRAFIA 101

7. ANEXOS 105

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2.1 – Desagregação dos consumos finais de energia em Portugal....6
Fig. 2.2 – Desagregação dos consumos de energia eléctrica em Portugal. 6
Fig. 2.3 – Distribuição dos consumos de energia no sector residencial. 7
Fig. 2.4 – Etapas do processo de certificação energética 11
Fig. 2.5 – Escala de classificação de desempenho energético 12
Fig. 2.6 – Calendarização da aplicação do SCE....13
Fig. 2.7 – Página de rosto do certificado energético Português (Edifícios de Habitação)....15
Fig. 2.8 – Distribuição dos edifícios existentes por ano de construção 17
Fig. 2.9 – Valores de eficiência dos sistemas de aquecimento e de arrefecimento indicados na nota técnica 01 23
Fig. 2.10 – Estado geral de conservação dos edifícios em Portugal 27
Fig. 2.11 – Revestimento independente descontínuo com isolante térmico na caixa-de-ar 33
Fig. 2.12 – Sistema de isolamento térmico compósito exterior com revestimento espesso 34
Fig. 2.13 – Sistema de isolamento térmico compósito exterior com revestimento delgado....34
Fig. 2.14 – Sistema de isolamento térmico por elementos descontínuos pré-fabricados 35
Fig. 2.15 – Solução de rebocos isolantes 35
Fig. 2.16 – Painéis Isolantes pré fabricados: Sistema Directo e Sistema Perfilado 36
Fig. 2.17 – Contra-fachada com isolante na caixa-de-ar 37
Fig. 2.18 – Aplicação de Isolamento térmico no interior da caixa-de-ar de uma parede dupla já concluída 38
Fig. 2.19 – Percentagem de horas com desconforto, no Verão, para uma habitação situada em Évora, com ventilação mínima, em função de variados níveis de isolamento da envolvente e factores solares dos envidraçados 42
Fig. 4.1 – Caracterização das Nic dos edifícios da amostra. 50
Fig. 4.2 – Caracterização das Nvc dos edifícios da amostra. 50
Fig. 4.3 – Caracterização das Nac dos edifícios da amostra. 50
Fig. 4.4 – Análise das perdas térmicas pela envolvente exterior....51
Fig. 4.5 – Análise das perdas térmicas totais. 52
Fig. 4.6 – Caracterização das patologias identificadas nos edifícios da amostra 52
Fig. 4.7 – Caracterização das Ntc dos edifícios da amostra. 53
Fig. 4.8 – Caracterização geral dos sistemas de preparação das AQS dos edifícios da amostra....53
Fig. 4.9 – A influência das Nic, Nvc e Nac no cálculo das Ntc. 53
Fig. 4.10 – Classificação energética dos edifícios na sua situação original. 55

Fig. 4.11 – Variação do custo global associado ao isolamento térmico de um elemento construtivo em função do respectivo coeficiente de transmissão térmica 57

Fig. 4.12 – Variação média anual da taxa de inflexão, de acordo com o Eurostat 58

Fig. 4.13 – Estimativa da evolução do preço médio de aquisição de energia eléctrica para consumos domésticos. 59

Fig. 4.14 – Determinação do período de retorno do investimento efectuado 59

Fig. 4.15 – Parede simples de pedra. 62

Fig. 4.16 – Parede simples de tijolo furado 63

Fig. 4.17 – Parede dupla de tijolo furado 63

Fig. 4.18 – Custo global acumulado para a parede simples de pedra com sistema fachada ventilada 66

Fig. 4.19 – Custo global acumulado para a parede simples de pedra com sistema ETICS. 67

Fig. 4.20 – Custo global acumulado para a parede simples de pedra com painéis isotérmicos perfilados 68

Fig. 4.21 – Custo global acumulado para a parede simples de pedra com painéis isotérmicos directos 68

Fig. 4.22 – Custo global acumulado para a parede simples de alvenaria de tijolo furado com fachada ventilada. 70

Fig. 4.23 – Custo global acumulado para a parede simples de alvenaria de tijolo furado com sistema ETICS 71

Fig. 4.24 – Custo global acumulado para a parede simples de tijolo furado com painéis isotérmicos perfilados 72

Fig. 4.25 – Custo global acumulado para a parede simples de tijolo furado com painéis isotérmicos directos. 72

Fig. 4.26 – Custo global acumulado para a parede dupla de tijolo furado com sistema Fachada Ventilada. 74

Fig. 4.27 – Custo global acumulado para a parede dupla de tijolo furado com sistema ET 75

Fig. 4.28 – Custo global acumulado para a parede dupla de tijolo furado com painéis isotérmicos perfilados 76

Fig. 4.29 – Custo global acumulado para a parede dupla de tijolo furado com painéis isotérmicos directos 76

Fig. 4.30 – Variação das Nic em função dos níveis de qualidade térmica exigido para as paredes exteriores 79

Fig. 4.31 – Variação das Ntc em função dos níveis de qualidade térmica exigido para as paredes exteriores 80

Fig. 4.32 – Variação da razão Ntc/Nt em função dos níveis de qualidade térmica exigido para as paredes exteriores 80

Fig. 4.33 – Variação da espessura de isolamento térmico no sistema fachada ventilada, em função do nível de qualidade térmica exigido para as paredes exteriores 81

Fig. 4.34 – Variação da espessura de isolamento térmico no sistema ETICS, em função do nível de qualidade térmica exigido para as paredes exteriores. 82

Fig. 4.35 – Variação da espessura de isolamento térmico nos painéis isotérmicos perfilados, em função do nível de qualidade térmica exigido para as paredes exteriores 82

Fig. 4.36 – Variação da espessura de isolamento térmico nos painéis isotérmicos directos, em função do nível de qualidade térmica exigido para as paredes exteriores 83

Fig. 4.37 – Caracterização das Nic dos edifícios na situação original e após o isolamento das paredes 84

Fig. 4.38 – Caracterização das Nvc dos edifícios na situação original e após o isolamento das paredes 85

Fig. 4.39 – Caracterização das Nac dos edifícios na situação original e após o isolamento das paredes 85

Fig. 4.40 – Caracterização das perdas térmicas pelas paredes na situação original e após o seu isolamento. 86

Fig. 4.41 – Caracterização das perdas térmicas pela envolvente exterior na situação original e após o isolamento das paredes 86

Fig. 4.42 – Caracterização geral da amostra em termos de perdas térmicas pela envolvente exterior após o isolamento das paredes exteriores 86

Fig. 4.43 – Caracterização geral da amostra em termos de perdas térmicas totais após o isolamento das paredes exteriores 86

Fig. 4.44 – Caracterização das Ntc dos edifícios na situação original e após o isolamento das paredes 87

Fig. 4.45 – Análise da redução das Nic no cálculo das Ntc após o isolamento das paredes. 88

Fig. 4.46 – Classificação energética dos edifícios após o isolamento das paredes exteriores 89

Fig. 4.47 – Variação das Nic em função do nível de qualidade térmica exigido de paredes e coberturas exteriores 90

Fig. 4.48 – Variação das Ntc em função do nível de qualidade térmica de paredes e coberturas exteriores. 90

Fig. 4.49 – Variação da razão Ntc/Nt em função do nível de qualidade térmica de paredes e coberturas exteriores 91

Fig. 4.50 – Caracterização das Nic na situação original e após o isolamento das paredes ou simultaneamente das paredes e coberturas exteriores 92

Fig. 4.51 – Caracterização das perdas térmicas pela envolvente na situação original e após o isolamento das paredes ou simultaneamente das paredes e coberturas exteriores 93

Fig. 4.52 – Caracterização geral das perdas térmicas totais, após o isolamento das paredes e coberturas exteriores 93

Fig. 4.53 – Caracterização das Ntc na situação original e após o isolamento das paredes ou simultaneamente das paredes e coberturas exteriores 94

Fig. 4.54 – Classificação energética dos edifícios após o isolamento das paredes e coberturas exteriores 95

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 – Definição de edifícios novos e existentes para efeitos do SCE. 16

Quadro 2.2 – Estado de conservação dos edifícios, por época de construção. 26

Quadro 2.3 – Principais vantagens e desvantagens dos sistemas de isolamento pelo exterior 31

Quadro 2.4 – Principais vantagens e desvantagens dos sistemas de isolamento pelo interior. 32

Quadro 2.5 – Principais isolantes térmicos utilizados na reabilitação térmica de paredes exteriores 39

Quadro 2.6 – Exigências de desempenho de materiais isolantes térmicos referentes à certificação ACERMI.....40

Quadro 2.7 – Níveis mínimos de aptidão de materiais isolantes térmicos em sistemas de isolamento térmico pelo interior (paredes exteriores). 41

Quadro 2.8 – Níveis mínimos de aptidão de materiais isolantes térmicos em sistemas de isolamento térmico pelo exterior (paredes exteriores). 41

Quadro 3.1 – Identificação e caracterização das soluções construtivas de paredes exteriores. 44

Quadro 3.2 – Identificação e caracterização das soluções construtivas de coberturas exteriores 44

Quadro 3.3 – Identificação e caracterização das soluções construtivas de paredes interiores 45

Quadro 3.4 – Identificação e caracterização das soluções construtivas de pavimentos interiores.....45

Quadro 3.5 – Identificação do sistema de ventilação 45

Quadro 3.6 – Caracterização dos vãos envidraçados 46

Quadro 3.7 – Identificação e caracterização dos sistemas de climatização e preparação de AQS 46

Quadro 3.8 – Identificação das classes de inércia.....47

Quadro 4.1 – Apresentação das necessidades energéticas e consequente classificação energética dos edifícios.....55

Quadro 4.2 – Níveis de Qualidade Térmica da envolvente opaca 61

Quadro 4.3 – Coeficientes de transmissão térmica de referência em Portugal (adaptação do regulamento Português).....61

Quadro 4.4 – Dados climáticos de inverno para a zona climática em estudo 62

Quadro 4.5 – Aplicabilidade das soluções de isolamento térmico aos sistemas construtivos de paredes exteriores estudados. 63

Quadro 4.6 – Custo base das soluções de reforço térmico. 64

Quadro 4.7 – Características técnicas do isolante para reforço térmico exterior de fachadas 65

Quadro 4.8 – Preços de venda do isolamento para reforço térmico exterior de fachadas.....65

Quadro 4.9 – Características técnicas dos transformados de pladur para isolamento interior das fachadas 65

Quadro 4.10 – Preços de venda dos transformados de pladur para o reforço térmico interior das fachadas 66

Quadro 4.11 – Espessuras do isolante térmico (*e*) e respectivo coeficiente de transmissão térmica da parede simples de pedra com sistema Fachada Ventilada (*U*) 66

Quadro 4.12 – Espessuras do isolante térmico (*e*) e respectivo coeficiente de transmissão térmica da parede simples de pedra com sistema ETICS. 67

Quadro 4.13 – Espessuras do isolante térmico (*e*) e respectivo coeficiente de transmissão térmica da parede simples de pedra com Painéis Isotérmicos Perfilados (*U)*..... 67

Quadro 4.14 – Espessuras do isolante térmico (*e*) e respectivo coeficiente de transmissão térmica da parede simples de pedra com Painéis Isotérmicos Directos (*U).* 68

Quadro 4.15 – Período de retorno do investimento na aplicação de isolantes térmicos em paredes simples de pedra com sistemas de reforço térmico pelo exterior e interior (N1 a N3) e poupança relativamente a N0. 69

Quadro 4.16 – Espessuras do isolante térmico (*e*) e respectivo coeficiente de transmissão térmica da parede simples de tijolo furado com sistema fachada ventilada (*U*)..... 70

Quadro 4.17 – Espessuras do isolante térmico (*e*) e respectivo coeficiente de transmissão térmica da parede simples de tijolo com sistema ETICS (*U*)..... 71

Quadro 4.18 – Espessuras do isolante térmico (*e*) e respectivo coeficiente de transmissão térmica da parede simples de tijolo com painéis isotérmicos perfilados (*U*) 71

Quadro 4.19 – Espessuras do isolante térmico (*e*) e respectivo coeficiente de transmissão térmica da parede simples de tijolo com painéis isotérmicos directos (*U*)..... 72

Quadro 4.20 – Período de retorno do investimento na aplicação de isolantes térmicos em paredes simples de tijolo com sistemas de reforço térmico pelo exterior e interior (N1 a N3) e poupança relativamente a N0. 73

Quadro 4.21 – Espessuras do isolante térmico (*e*) e respectivo coeficiente de transmissão térmica da parede dupla de tijolo com sistema fachada ventilada (*U*)..... 74

Quadro 4.22 – Espessuras do isolante térmico (*e*) e respectivo coeficiente de transmissão térmica da parede dupla de tijolo com sistema ETICS (*U*). 75

Quadro 4.23 – Espessuras do isolante térmico (*e*) e respectivo coeficiente de transmissão térmica da parede dupla de tijolo com painéis isotérmicos perfilados (*U*)..... 75

Quadro 4.24 – Espessuras do isolante térmico (*e*) e respectivo coeficiente de transmissão térmica da parede dupla de tijolo com painéis isotérmicos directos (*U*)..... 76

Quadro 4.25 – Período de retorno do investimento na aplicação de isolantes térmicos em paredes duplas de tijolo com sistemas de reforço térmico pelo exterior e interior (N1 a N3) e poupança relativamente a N0..... 77

Quadro 4.26 – Coeficiente de transmissão térmica de referência para zonas opacas verticais segundo o RCCTE 84

Quadro 4.27 – Coeficiente de transmissão térmica das paredes exteriores para o nível de qualidade de reforço térmico adoptado..... 84

Quadro 4.28 – Caracterização das Ntc após o isolamento das paredes exteriores..... 87

Quadro 4.29 – Coeficiente de transmissão térmica de referência para zonas opacas verticais e horizontais segundo o RCCTE. 91

Quadro 4.30 – Coeficiente de transmissão térmica de paredes e coberturas exteriores para o nível de qualidade de reforço térmico adoptado. 92

Quadro 4.31 – Valores das Nic dos edifícios após o Isolamento das paredes e coberturas exteriores 92

Quadro 4.32 – Valores das Ntc dos edifícios após o Isolamento das paredes e coberturas exteriores 94

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Ai – área do elemento que separa o espaço útil interior do espaço não útil

Au – área do elemento que separa o espaço não útil do ambiente exterior

CO_2 – dióxido de carbono

E_{ren} – contribuição de sistemas de águas quentes sanitárias com recurso a energias renováveis

E_{solar} – contribuição de sistemas de colectores solares de produção de águas quentes sanitárias

FF – factor de forma

Fpu – factor de conversão de energia primária em energia útil

F_f – factor de sombreamento dos elementos verticais

F_g – fracção de envidraçado

F_h – factor de horizonte

F_0 – factor de sombreamento dos elementos horizontais

F_s – factor de obstrução

F_w – factor de correcção da selectividade angular dos envidraçados

$Vg\perp$ - factor solar do vão envidraçado

GD – Graus-dias

MAQS – Consumo médio diário de águas quentes sanitárias

Na – limite máximo para os valores das necessidades de energia para águas quentes sanitárias

Nac – necessidades nominais anuais de energia útil estimadas para a produção de águas quentes sanitárias

nd – número anual de dias de consumo de águas quentes sanitárias

Ni – valor limite das necessidades nominais de energia útil para o aquecimento

Nic – necessidades nominais anuais de energia útil estimadas para o aquecimento

Nt – limite máximo para o valor das necessidades globais de energia primária

Ntc – necessidades globais anuais nominais específicas de energia primária

Nv – valor limite das necessidades nominais de energia útil para o arrefecimento

Nvc – necessidades nominais anuais de energia útil estimadas para o arrefecimento

R – razão que define a classificação energética

U – coeficiente de transmissão térmica superficial

z – diferença de cota entre o pavimento e o terreno

η – eficiência nominal do equipamento

ψ – coeficiente de transmissão térmica linear

τ – coeficiente de redução de perdas

ADENE – Agência para a Energia

ALTENER – programa da Comissão Europeia para as energias alternativas

AQS – águas quentes sanitárias

CEN – Comité Europeu de Normalização

EPA-ED – Energy Performance Assessment for Existing Dwellings

GEE – gases que provocam o efeito de estufa

IEE – Intelligent Energy Europe

IMPACT – Improving Energy Performances Assessments and Certification Schemes by Tests

INETI – Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação

ITeCons – Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico em Ciências da Construção

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

E4 – Eficiência Energética e Energias Endógenas

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização de Edifícios

SCE – Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios

1
INTRODUÇÃO

1.1. ÂMBITO DE ESTUDO E ENQUADRAMENTO GERAL

A gestão dos recursos de energia é hoje um dos principais desafios que, a nível mundial, a sociedade moderna enfrenta. O desenvolvimento económico prevalecente nas últimas décadas caracterizou-se pela utilização muito intensa de energia produzida a partir de recursos de origem fóssil. A natureza finita desses recursos naturais, e o impacto ambiental da sua produção e consumo, alertaram o mundo para a necessidade de mudança dessas premissas de suporte ao modelo de desenvolvimento. Diversos estudos científicos têm vindo a alertar-nos para o facto de as temperaturas globais poderem aumentar de 1,4º C (se as emissões de CO_2 estabilizarem rapidamente – cenário optimista) a um máximo de 5,8 ºC, se não forem controladas imediatamente as taxas de poluição (cenário pessimista). As consequências do aquecimento global, tais como a desertificação, migração das populações, erosão da costa marítima, perda de biodiversidade, entre outros, são alarmantes e podem tornar-se catastróficas. Aliada a esta realidade surgem ainda as evidências da globalização que hoje nos demonstram a interdependência de factores até há pouco olhados como independentes, tais como o acesso e a utilização de energia e o desenvolvimento económico, o combate à pobreza, as preocupações ambientais e climáticas, entre outros. [1]

Novos caminhos têm que ser encontrados para viabilizar a manutenção dos padrões de vida das sociedades desenvolvidas e as justas aspirações dos países em desenvolvimento, sem contudo comprometer o futuro das gerações vindouras. Neste sentido, a União Europeia adoptou um conjunto importante e significativo de medidas, que visam modificar e reduzir os consumos de energia, por motivos éticos e sociais, estratégicos e principalmente económicos.

Uma dessas medidas passa pela optimização dos consumos energéticos no sector doméstico, apresentada pela Directiva nº 2002/91/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro, relativa ao desempenho energético dos edifícios [2]. Na União Europeia os edifícios são responsáveis por cerca de 40% dos consumos globais de energia, o que despertou a necessidade de se adoptarem um conjunto de medidas que visassem a promoção da melhoria da eficiência energética dos edifícios (EEE), através da promoção da utilização racional da energia, desde a preparação das águas quentes sanitárias (AQS), passando pela iluminação e pelos equipamentos energéticos. A melhoria da envolvente dos edifícios é também fundamental, devido ao grande impacto que esta tem sobre os consumos de energia necessários para assegurar o conforto térmico. É necessário iniciar uma nova revolução energética, com o objectivo estratégico de incentivar o uso de fontes de energia renovável (sol, vento, água), para a produção de energia necessária ao desenvolvimento e subsistência das populações do mundo. [3]

A Directiva Europeia foi transposta em 2006 para a ordem jurídica nacional através de um pacote legislativo composto por três Decretos-Lei:

- O Decreto-Lei n.º 78/2006 de 4 de Abril, Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE);
- O Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 Abril, Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios (RSECE);
- O Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 Abril, Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE).

Foi também implementado um sistema de certificação energética, de forma a permitir aos utentes, comprovar a correcta aplicação da regulamentação térmica e da qualidade do ar interior em vigor para o edifício e para os seus sistemas energéticos, bem como obter informação sobre o desempenho energético em condições nominais de utilização, no caso dos novos edifícios ou, no caso de edifícios existentes, em condições reais ou aferidos para padrões de utilização típicos.

Desta forma, os consumos energéticos nos edifícios, são um factor de comparação credível aquando da compra ou arrendamento de um imóvel, sendo o certificado energético a face visível da aplicação dos regulamentos (RCCTE e/ou RSECE).

É portanto no domínio da Térmica, da Eficiência Energética e da Certificação Energética dos Edifícios, que este estudo se encontra inserido.

1.2. OBJECTIVOS

Esta dissertação insere-se no âmbito da certificação energética de edifícios existentes, adoptando-se o método de cálculo simplificado definido pela Nota Técnica 01 [4] que resulta do esforço conjunto desenvolvido pela ADENE, pelo LNEC, ITeCons, INETI, entre outros.

O objectivo principal inerente a este trabalho passa pela exploração do método de cálculo simplificado de desempenho energético de edifícios existentes, o qual se baseia no método normalizado e detalhado definido no Decreto-Lei n.º 80/2006, e que possibilita uma redução nos custos do processo de peritagem sem que ao mesmo tempo fique comprometida a veracidade da classificação energética atribuída ao edifício ou fracção em questão.

Em termos gerais, essa exploração consiste na aplicação do método simplificado a um conjunto de edifícios habitacionais existentes que não disponham de sistema de climatização ou cujo sistema de climatização tenha uma potência térmica igual ou inferior a 25 kW, como definido na alínea a) do ponto 1 do artigo 2º do Despacho n.º 10250/2008 [5], com o intuito de avaliar as suas necessidades energéticas e consequentemente a sua classificação energética. Numa segunda fase, novamente no âmbito do processo de certificação energética de edifícios existentes, será efectuado um estudo de viabilidade económica das propostas de medidas de melhoria de desempenho energético de envolvente exterior, nomeadamente ao nível das paredes exteriores. Finalmente, será verificada a influência que as medidas de melhoria de desempenho energético das paredes exteriores, terão sobre a classificação energética dos edifícios, ou seja, será verificado se as intervenções promovidas ao nível das paredes exteriores, serão capazes de reduzir as necessidades energéticas dos edifícios ao ponto de melhorar a sua classificação energética.

1.3. ESTRUTURAÇÃO DO TEXTO

No *primeiro capítulo*, faz-se um breve enquadramento ao tema em estudo, sendo estabelecidos os objectivos inerentes ao trabalho e definida a estratégia adoptada para os atingir.

No *segundo capítulo*, de carácter meramente descritivo, é efectuado o enquadramento político e legal da certificação energética dos edifícios, num contexto Europeu e Português. É dada especial atenção ao processo de certificação energética de edifícios existentes, nomeadamente à metodologia simplificada de avaliação do desempenho energético dos edifícios , descrevendo-se as simplificações, que no âmbito da nota técnica, poderão ser adoptadas de modo a facilitar o processo de certificação energética. Neste capítulo são ainda apresentadas soluções de reabilitação energética da envolvente vertical opaca dos edifícios, que podem ser adoptadas como medidas de melhoria a apresentar no certificado energético, campo este que se reveste de especial importância na certificação energética de edifícios existentes.

No *terceiro capítulo*, é caracterizada a amostra que serviu de base de dados a este trabalho. São definidos, para todos os edifícios que compõem a amostra, os parâmetros mais importantes para o preenchimento das folhas de cálculo do método simplificado de desempenho energético de edifícios existentes, bem como outras considerações adoptadas na aplicação da referida metodologia, nomeadamente no que respeita a áreas e perdas de calor por condução através da envolvente.

No *quarto capítulo*, são analisados e discutidos os resultados referentes à aplicação da metodologia simplificada de desempenho energético aos edifícios da amostra em estudo. Em primeiro lugar, efectua-se a avaliação energética dos edifícios na sua situação original, nomeadamente no que respeita às suas necessidades e consequente classificação energética. Seguidamente, é efectuado um estudo de viabilidade económica das intervenções de melhoria de desempenho energético das paredes exteriores (reforço térmico), sendo posteriormente avaliado o impacto destas medidas na classificação energética dos edifícios em estudo. Na fase final deste capítulo, propõem-se uma intervenção numa área superior de envolvente exterior (paredes e coberturas), analisando-se novamente o impacto deste tipo de intervenções na classificação energética dos edifícios.

No *quinto capítulo* é efectuada uma reflexão sobre o estudo desenvolvido e são apresentadas algumas perspectivas de futuro sobre o tema.

2
ESTADO DA ARTE

2.1. A CONSERVAÇÃO DE ENERGIA EM PORTUGAL

A preocupação com a utilização racional de energia nos edifícios surgiu no período posterior à primeira crise internacional do petróleo, em 1973. O aumento significativo do custo da energia, acrescido da constatação de que as suas fontes não são ilimitadas e do impacto ambiental relativo à sua utilização, fomentaram iniciativas, medidas e pesquisas que estimulassem a eficiência energética. Desde então, muitos países passaram a adoptar medidas legais e regulamentações com o objectivo de estabelecer certos níveis mínimos de desempenho térmico para os edifícios, os quais têm sido gradativamente alteradas, de modo a acompanhar a evolução do conhecimento referente ao tema.

Em Portugal, a primeira regulamentação, denominada por Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), entrou em vigor no início de 1991. A intenção principal desse regulamento foi a de melhorar as condições de conforto no interior dos edifícios, que eram, em geral, tradicionalmente insatisfatórias, encorajando a obtenção desse conforto sem o gasto excessivo de energia. Apesar de apresentar exigências relativamente pouco severas, se comparado com os regulamentos de outros países europeus da mesma época, foi um dos primeiros que levou em consideração o conforto no Verão, impondo também limites às necessidades anuais de arrefecimento para prevenir o sobreaquecimento e reduzir a necessidade de condicionamento artificial de ar. Posteriormente, em 1998, surgiu o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE), nos quais foram estabelecidas exigências de concepção e instalação de sistemas, tendo em vista a sua racionalização energética.

Mais de uma dezena de anos passados, verifica-se que o RCCTE constituiu um marco significativo na melhoria da qualidade da construção em Portugal, havendo hoje uma prática quase generalizada de aplicação de isolamento térmico nos edifícios, incluindo nas zonas de clima mais ameno, mesmo para além do que o RCCTE exige, numa prova de que o referido regulamento conseguiu atingir e mesmo superar os objectivos a que se propunha. Entretanto, alguns dos pressupostos do RCCTE, tal como definido em 1990, têm vindo a alterar-se. Enquanto que no final da década de 1980 eram poucos os edifícios que dispunham de meios activos de controlo das condições ambientes interiores, verifica-se actualmente uma penetração muito significativa de equipamentos de climatização, com um número significativo de edifícios novos a preverem equipamentos de aquecimento, mesmo no sector residencial e com um cada vez maior recurso a equipamentos de ar condicionado, sobretudo os de pequena dimensão, quer no sector residencial quer nos edifícios de serviços, dando portanto lugar a consumos reais para controlo do ambiente interior dos edifícios, o que se tem traduzido num crescimento dos consumos de energia no sector dos edifícios bastante acima da média nacional. [6]

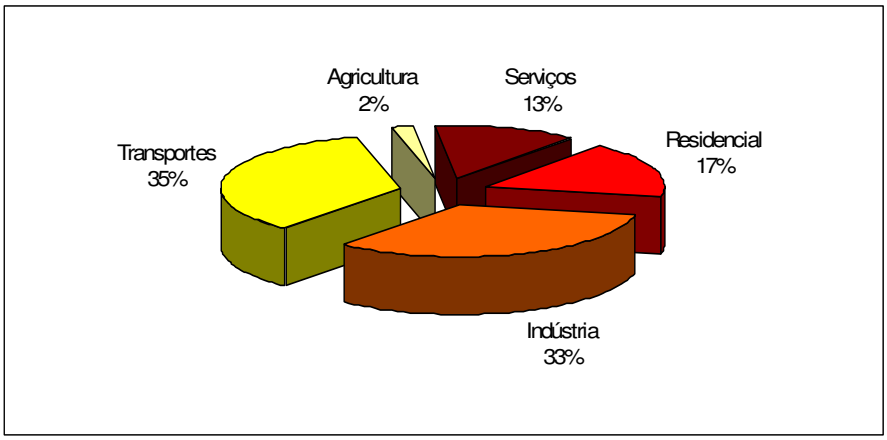


Fig. 2.1 – Desagregação dos consumos finais de energia em Portugal. [7]

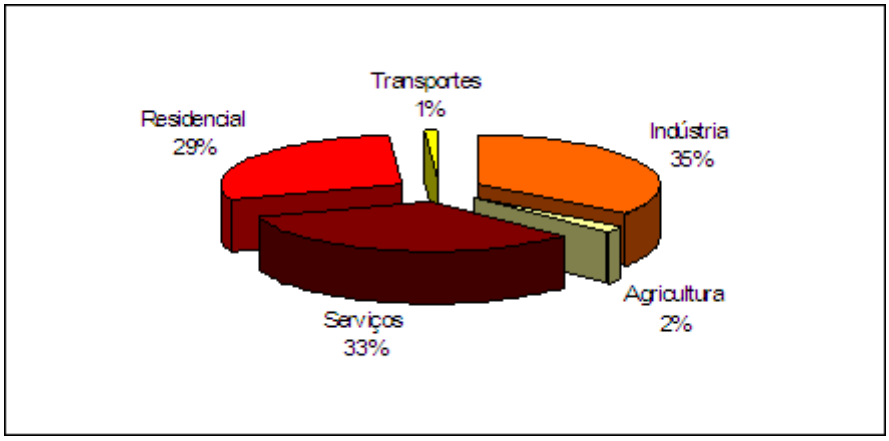


Fig. 2.2 – Desagregação dos consumos de energia eléctrica em Portugal. [7]

Segundo dados de 2005, disponibilizados pela Direcção-Geral de Energia e Geologia (DGEG), em Portugal os sectores doméstico e de serviços correspondem a 29% do consumo final de energia e a 60% do consumo nacional de electricidade (figura 2.1 e 2.2). Para além disso, verificou-se entre 1990 e 2004, naqueles dois sectores, uma taxa de crescimento média anual do consumo final de energia de 1,9% e 8,6%, respectivamente.

Relativamente aos consumos de energia nos edifícios residenciais, tal como podemos verificar pela observação da figura 2.3, estima-se que tenham a seguinte distribuição aproximada: cozinhas e águas quentes sanitárias – 50%, iluminação e equipamentos – 25% e climatização (aquecimento e arrefecimento) – 25% [8]. Note-se que estes valores representam uma ordem de grandeza porventura grosseira, quando referidos a sectores populacionais ou áreas regionais específicas.

É notório o peso correspondente à preparação das águas quentes sanitárias, onde a energia solar térmica pode ter um impacto muito importante. No sector doméstico, a água quente é utilizada essencialmente em duches e banhos de imersão e na lavagem de louça e roupa. Os equipamentos convencionais mais comuns utilizados no aquecimento da água são os esquentadores, caldeiras murais e os termoacumuladores a gás e eléctricos.

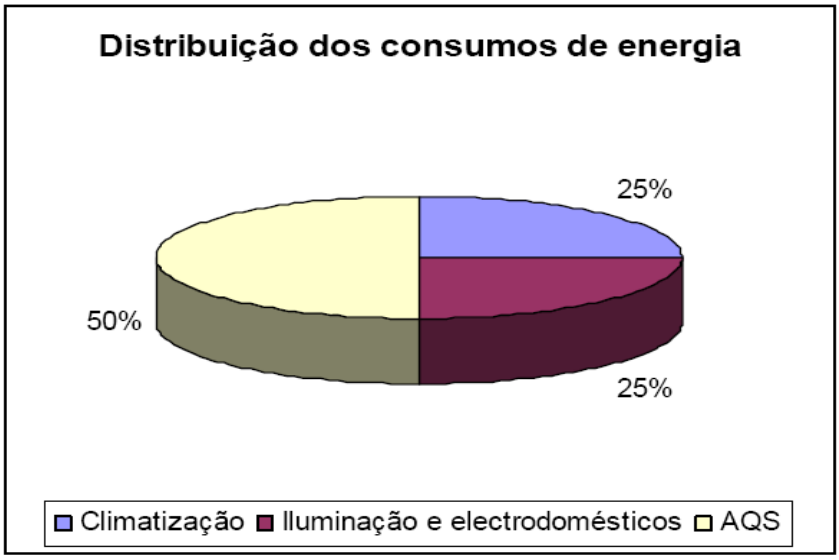


Fig. 2.3 – Distribuição dos consumos de energia no sector residencial. [8]

O consumo excessivo de energia no sector dos edifícios é um problema comum ao conjunto dos 25 países que compõem a União Europeia, sendo estes responsáveis por mais de 40% dos consumos finais de energia. A situação é de tal forma alarmante que se prevê que dentro de 20 a 30 anos a União Europeia possa estar a cobrir 70% das suas necessidades energéticas com produtos importados. [3]

Foi neste contexto de consumos crescentes, que a Comissão Europeia definiu o sector residencial como um dos sectores fundamentais de intervenção a nível da promoção da eficiência energética, e em particular nos aspectos relacionados com a energia eléctrica e as correspondentes emissões de gases que contribuem para o aquecimento global ou efeito de estufa (GEE). Portugal, sendo um dos 25 estados membros, obrigou-se naturalmente a satisfazer compromissos neste sentido, aquando da subscrição do Protocolo de Quioto, tendo o correspondente esforço de redução das emissões de CO_2, ser feito por todos os sectores consumidores de energia, nomeadamente pelo dos edifícios.

2.2. A EVOLUÇÃO DA LEGISLAÇÃO

A 29 de Abril de 1998, juntamente com os restantes Estados-Membros da União Europeia, Portugal assinou o Protocolo de Quioto, fixado em Dezembro de 1997 na 3.ª Conferência das Partes Aderentes à Convenção Quadro das Nações Unidas para as Alterações Climáticas. Neste tratado internacional foram estabelecidos quantitativamente os compromissos assumidos pela maior parte dos países signatários, relativos à redução da emissão dos gases que provocam o efeito de estufa, e que são consensualmente considerados a causa do aquecimento global. Este protocolo obriga Portugal a limitar, até 2008-2012, o crescimento das emissões de GEE a 27% relativamente aos níveis do ano de 1990 e ainda a desenvolver políticas e medidas nacionais para combater as alterações climáticas. [9]

Uma das principais fontes de emissão de CO_2, o gás mais representativo dos GEE, é a queima de combustíveis fósseis essenciais na produção da energia eléctrica. Consequentemente, para reduzir as emissões de GEE é fundamental diminuir o consumo de energia. Durante a conversão de energia em calor, frio, movimento ou luz, ocorre inevitavelmente o desperdício da mesma.

Esse desperdício dá-se em duas fases distintas, na fase de transformação, em que parte da energia primária é desperdiçada, e durante a fase de utilização, quando a energia final disponibilizada aos consumidores nem sempre é devidamente aproveitada. A optimização do consumo de energia através da implementação de estratégias e medidas para combater o desperdício que ocorre tanto na sua transformação como na sua utilização, poderá designar-se por eficiência energética.

Para Portugal, os desafios inerentes às metas acordadas no Protocolo de Quioto representam uma óptima oportunidade para reduzir a dependência energética do exterior, nomeadamente das fontes primárias de origem fóssil, e diminuir a factura energética nacional. Através da aprovação do Programa E4 (Eficiência Energética e Energias Endógenas), foi reforçada a importância da melhoria da eficiência energética, tanto ao nível de transformação da energia primária como ao nível da gestão da utilização da energia final, e da promoção das energias endógenas, com destaque para as energias renováveis, como ferramentas fundamentais à política energética nacional. [10]

Como foi referido anteriormente, o sector dos edifícios é responsável pelo consumo de grandes quantidades de energia final na fase da utilização, no entanto, por meio da escolha, aquisição e utilização adequada dos equipamentos e através da utilização de soluções construtivas apropriadas, podem ser alcançadas poupanças significativas de energia, mantendo ou melhorando o nível de conforto dos utilizadores. Contudo, enquanto que a fase de conversão de energia primária em energia secundária depende de um número limitado de agentes, o uso final dessa energia depende de todos os cidadãos, logo, a aplicação de medidas de melhoria da gestão desse uso é muito complexa.

De forma a colocar em prática a implementação de medidas de melhoria da eficiência energética dos edifícios, criou-se um pacote de políticas nacionais e internacionais de normalização e regularização. No plano europeu, as actividades levadas a cabo pela União Europeia relativas à eficiência energética dos edifícios, de forma a cumprir as metas acordadas no Protocolo de Quioto, resultaram na elaboração da Directiva 2002/91/CE relativa ao desempenho energético dos edifícios [2]. A nível nacional, na Resolução do Conselho de Ministros n.º59/2001 [9] fora já prevista a revisão das normas técnicas relativas ao consumo de energia do parque habitacional e dos edifícios de serviços com a finalidade de melhorar o desempenho energético dos mesmos, nomeadamente a revisão dos regulamentos térmicos e energéticos, ou seja, do Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) e do Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização de Edifícios (RSECE).

2.3. A DIRECTIVA 2002/91/CE

A Directiva 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho Europeu [2] tem como objectivo geral a promoção da melhoria do desempenho energético dos edifícios. Este documento estabelece um conjunto de princípios gerais e objectivos que se pretendem alcançar através de um sistema de requisitos mínimos de desempenho energético, atribuindo a cada Estado-Membro a responsabilidade da transposição das referidas directrizes para legislação nacional que se enquadre com a sua realidade específica. Sem dispensar a consulta do documento na sua íntegra, faz-se em seguida, de uma forma sumária, referência aos aspectos mais importantes contidos na directiva.

Em suma, os objectivos da directiva 2002/91/CE são:

- Enquadramento geral para uma metodologia de cálculo do desempenho energético integrado dos edifícios.

No anexo da directiva são estabelecidas algumas directrizes para o cálculo do desempenho energético dos edifícios. No entanto, cada Estado-Membro, a nível nacional ou regional estabelece o seu próprio método de cálculo.

- *Aplicação de requisitos mínimos para o desempenho energético dos novos edifícios.*

Para edifícios novos, a directiva impõe que cada Estado-Membro estabeleça requisitos mínimos de eficiência energética para alguns dos parâmetros da metodologia de cálculo.

- *Aplicação de requisitos mínimos para o desempenho energético dos edifícios existentes.*

Cabe a cada Estado-Membro estabelecer requisitos mínimos para alguns parâmetros da metodologia de cálculo, que representem uma melhoria da eficiência energética de edifícios existentes de grandes dimensões, regra geral com mais de 1000 m^2, sujeitos a renovações importantes.

- *A certificação energética dos edifícios.*

Os Estados-Membros devem assegurar que seja fornecido ao proprietário, comprador ou arrendatário um certificado de desempenho energético, aquando da construção, venda ou arrendamento de um edifício. O certificado energético deve conter recomendações de medidas que representem uma melhoria do desempenho energético e que sejam em simultâneo economicamente rentáveis.

- *Inspecção regular de caldeiras.*

Os Estados-Membros devem garantir a inspecção de caldeiras com a devida regularidade, consoante a potência nominal e a idade da caldeira, e o tipo de combustível consumido pela mesma.

- *Inspecção de sistemas de ar condicionado.*

Os Estados-Membros devem garantir a inspecção e avaliação do desempenho de sistemas de ar condicionado com potência nominal útil superior a 12 kW.

- *Formação de peritos e inspectores qualificados e independentes.*

Os Estados-Membros devem assegurar que os processos de certificação e de inspecção sejam efectuados de forma independente por peritos qualificados e/ou acreditados, actuando a título individual ou ao serviço de organismos públicos ou privados.

2.4. A LEGISLAÇÃO NACIONAL

Em Portugal, a directiva comunitária foi transposta através de três documentos legislativos publicados a 4 de Abril de 2006: o Decreto-Lei n.º78/2006, em que foi estabelecido o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE); o Decreto-Lei n.º79/2006, que corresponde a uma revisão do existente Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) e o Decreto-Lei n.º80/2006 que corresponde a uma revisão do existente Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE).

O novo RCCTE tem como objectivo controlar os consumos energéticos nos edifícios através da imposição de regras na fase de projecto, para todos os edifícios de habitação e edifícios de serviços sem sistemas centralizados de climatização. Sumariamente, este regulamento baseia-se na definição de requisitos energéticos, não podendo os edifícios abrangidos exceder os valores máximos estabelecidos para as necessidades nominais de energia útil para o aquecimento, arrefecimento e produção de água quente sanitária, bem como para as necessidades globais de energia primária, devendo simultaneamente respeitar um conjunto de características mínimas de referência das propriedades térmicas da sua envolvente. Pretende-se, desta forma, que as exigências de conforto térmico e de

produção de água quente sanitária sejam satisfeitas sem o dispêndio excessivo de energia e que as situações de patologias relacionadas com as condensações superficiais ou internas e suas consequências sejam minimizadas [11].

Face ao aumento da procura de sistemas de climatização, ao aumento do grau de exigência de conforto e ao consequente crescimento dos consumos de energia fez-se a revisão do RSECE. O novo documento estabelece como objectivos a definição de exigências de conforto e higiene consoante as funções dos edifícios, o melhoramento da eficiência energética global dos edifícios, a imposição de regras aos sistemas de climatização e a monitorização com regularidade das práticas da manutenção dos sistemas de climatização. Este regulamento aplica-se a todos os edifícios ou fracções autónomas não residenciais existentes com área útil superior a um dado valor limite estabelecido e a todos os edifícios ou fracções autónomas novos dotados de sistemas de climatização com potência instalada ou projectada superior a 25 kW [12].

O SCE, por sua vez, tem como objectivo assegurar a aplicação do RCCTE e do RSECE no que diz respeito às condições de eficiência energética, à utilização de sistemas de energias renováveis e ainda às condições de garantia da qualidade do ar interior, regular a certificação do desempenho energético e da qualidade do ar interior nos edifícios e promover a identificação de medidas correctivas ou de melhoria de desempenho aplicáveis aos edifícios e respectivos sistemas energéticos nomeadamente caldeiras e equipamentos de ar condicionado, tanto no que diz respeito ao desempenho energético como relativamente à qualidade do ar interior [13].

A gestão do SCE está atribuída à Agência para a Energia (ADENE) [14] e a emissão dos certificados de desempenho energético deve ser realizada por um perito qualificado nos termos definidos no RCCTE e no RSECE, de acordo com o imposto pela Directiva 2002/91/CE.

2.5. O SISTEMA NACIONAL DE CERTIFICAÇÃO ENERGÉTICA E DA QUALIDADE DO AR INTERIOR NOS EDIFÍCIOS (SCE)

2.5.1. O PROCESSO DE CERTIFICAÇÃO ENERGÉTICA

2.5.1.1. Etapas da Certificação

O processo de certificação energética envolve a actuação de um perito qualificado (PQ), o qual terá que verificar a conformidade regulamentar do edifício no âmbito do(s) regulamento(s) aplicáveis (RCCTE e/ou RSECE), classifica-lo de acordo com as classes de desempenho energético e eventualmente propor medidas de melhoria.

Em resultado da sua análise o perito pode emitir:

- *Declaração de Conformidade Regulamentar (DCR)*, após a verificação do projecto do edifício ou fracção autónoma e que deverá ser integrada no processo de pedido de licenciamento ou de autorização de construção;
- *Certificado Energético e da Qualidade do Ar Interior (CE)*, após a verificação da obra concluída, e que será utilizado no processo de pedido de licenciamento/autorização de utilização ou no caso de edifícios existentes, para venda ou aluguer do imóvel.

Embora sejam documentos distintos, a declaração de conformidade regulamentar e o certificado energético obtêm-se através do mesmo processo de base, funcionando a DCR como um "pré-certificado". Na prática, uma DCR tem o mesmo formato e tipo de conteúdos que um CE, com algumas diferenças a nível de apresentação final (nome e número do documento). A informação contida na DCR tem um carácter provisório, pois baseia-se em elementos e dados de projecto

(incluindo a classificação energética). Essa informação passa a definitiva com a emissão do CE, após a verificação do perito qualificado no final da obra. O processo de certificação dos edifícios existentes não carece da apresentação da DCR, apresentando-se de forma definitiva o CE.

Na figura 2.4 estão esquematizadas as fases de intervenção do perito nas várias etapas da vida de um edifício (projecto, construção e utilização). As intervenções relativas ao novo certificado energético após auditoria energética periódica e as inspecções periódicas apenas se aplicam a edifícios abrangidos pelo RSECE.

Fig. 2.4 – Etapas do processo de certificação energética. [14]

2.5.1.2. As Classes de Desempenho Energético em Edifícios do Sector Residencial

A classificação energética estabelecida no Despacho n.º 10250/2008 [5], que define o Modelo dos Certificados de Desempenho Energético e da Qualidade do Ar Interior, encontra-se, no que se refere aos edifícios existentes no âmbito deste trabalho, resumida no presente texto.

A classificação energética para os edifícios ou fracções de edifícios é definida através do quociente entre as necessidades nominais globais anuais de energia primária (Ntc) e o respectivo valor máximo regulamentar (Nt), designado por razão R = Ntc/Nt. A cada classe energética corresponde um intervalo de valores de R, de acordo com o apresentado na figura 2.5. A classe designada por A+ corresponde à menor razão R, logo à maior eficiência energética pois a energia global que se estima ser necessária é sobejamente inferior ao limite regulamentar. No oposto da tabela, a classe G corresponde a uma razão R elevada e consequentemente a um pior desempenho energético.

Note-se ainda pela observação da figura 2.5 que, nos edifícios novos a classificação energética conduzirá sempre a uma razão R inferior à unidade, isto é, às classes A+, A, B ou B- de forma a que o comportamento térmico da fracção ou edifício seja regulamentar. Já a classificação energética de edifícios existentes leva a uma razão R qualquer, daí a importância de esta estar acompanhada de sugestões para a melhoria do desempenho energético do edifício, no sentido de se promover a eficiência energética do mesmo e consequentemente melhorar a sua classificação energética.

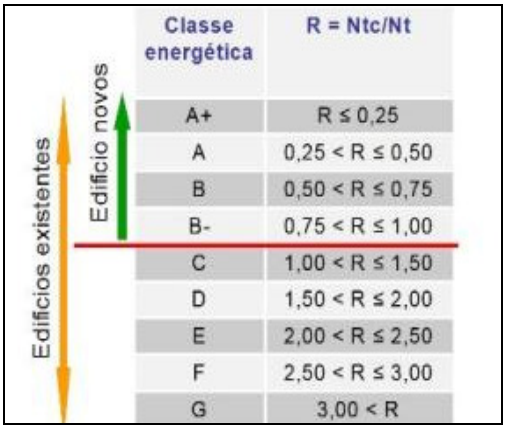


Fig. 2.5 – Escala de classificação de desempenho energético. [5]

2.5.1.3. Cálculo do Desempenho Energético

De acordo com o RCCTE definido no Decreto-Lei n.º 80/2006 [11], a caracterização térmica dos edifícios faz-se através da quantificação dos seguintes índices fundamentais:

- Necessidades nominais anuais de energia útil estimadas para o aquecimento (Nic);
- Necessidades nominais anuais de energia útil estimadas para o arrefecimento (Nvc);
- Necessidades nominais anuais de energia útil estimadas para a produção de águas quentes sanitárias (Nac);
- Necessidades globais anuais nominais específicas de energia primária (Ntc);
- Coeficientes de transmissão térmica superficiais (U) e lineares (ψ) da envolvente do edifício;
- Classe de inércia térmica;
- Factor solar dos vãos envidraçados;
- Taxa de renovação de ar.

O cálculo do valor das necessidades anuais globais de energia primária estimadas (Ntc) faz-se através da soma ponderada das necessidades para o aquecimento (Nic), para o arrefecimento (Nvc) e para a preparação de águas quentes sanitárias (Nac), de acordo com a seguinte expressão:

$$Ntc = 0{,}1 \cdot \left(\frac{Nic}{\eta i} \right) \cdot Fpui + 0{,}1 \cdot \left(\frac{Nvc}{\eta v} \right) \cdot Fpuv + Nac \cdot Fpua \quad [\text{Kgep/m}^2\text{.ano}] \qquad (1)$$

Em que os factores Fpu fazem a conversão entre a energia útil e a energia primária (electricidade ou combustíveis sólidos, líquidos ou gasosos) para os sistemas de aquecimento, arrefecimento e produção de águas quentes sanitárias (AQS) e ηi e ηv são as eficiências nominais dos equipamentos usados respectivamente para os sistemas de aquecimento e arrefecimento.

As necessidades nominais de aquecimento calculam-se somando ao longo do Inverno as perdas de calor que ocorrem através da envolvente do edifício (envidraçados, paredes, cobertura e pavimento) e devido à renovação do ar por ventilação natural ou mecânica e descontando os ganhos de calor úteis resultantes da energia libertada pelos sistemas de iluminação, pelos equipamentos, pelos ocupantes e a energia solar obtida através dos vãos envidraçados. As necessidades nominais de arrefecimento

dependem dos ganhos totais brutos, que são a soma das seguintes parcelas: os ganhos pela envolvente opaca, pelos vãos envidraçados e os ganhos internos. As necessidades de energia para a produção de água quente sanitária correspondem à quantidade de energia útil despendida com o sistema de apoio responsável pela produção, à qual pode ser subtraída energia assegurada por sistemas de colectores solares (E_{solar}) ou outras formas de energia renováveis (E_{ren}).

O valor limite máximo regulamentar para as necessidades globais de energia primária (Nt) determina-se através da seguinte expressão:

$$Nt = 0{,}9 \cdot (0{,}01 \cdot Ni + 0{,}01 \cdot Nv + 0{,}15 \cdot Na) \quad [\text{Kgep/m}^2\text{.ano}] \tag{2}$$

As necessidades máximas para o aquecimento (Ni) dependem dos parâmetros factor de forma (FF) da fracção e graus-dias (GD) do clima local. As necessidades máximas para o arrefecimento (Nv) dependem da zona climática em que se insere a fracção. As necessidades máximas para a produção de AQS (Na) dependem da área útil de pavimento, do consumo médio diário de AQS (MAQS) e do número anual de dias de consumo de AQS (nd).

2.5.1.4. A Calendarização da Aplicação do Sistema Nacional de Certificação Energética (SCE)

A calendarização relativa à implementação do SCE estabelece três prazos de aplicação, de acordo com a tipologia, finalidade e área útil dos edifícios [15]:

- A primeira fase, a partir de 1 de Julho de 2007, abrange os novos edifícios destinados à habitação com área útil superior a 1000 m^2 e os edifícios de serviços, novos ou que sejam objecto de grandes obras de remodelação, cuja área útil seja superior aos limites mínimos estabelecidos no RSECE;
- A segunda fase abrange, a partir de 1 de Julho de 2008, todos os edifícios novos independentemente da sua área ou fim;
- A terceira fase, com início a 1 de Janeiro de 2009, alarga a aplicação do SCE a todos os edifícios, nos termos do disposto no Decreto-Lei n.º 78/2006.

Fig. 2.6 – Calendarização da aplicação do SCE. [15]

Note-se que, o prazo de validade dos certificados energéticos para os edifícios cujo regulamento aplicável é apenas o RCCTE é de 10 anos.

2.5.2. O CERTIFICADO ENERGÉTICO

O Certificado Energético, tal como foi referido anteriormente, será obrigatório para:

- Todos os novos edifícios a construir ou aqueles sujeitos a grandes intervenções de reabilitação, nos termos do RSECE e do RCCTE;
- Edifícios de serviços existentes, sujeitos a auditorias periódicas, conforme especificado no RSECE;
- Edifícios existentes, para habitação e para serviços, aquando da celebração de contratos de venda ou aluguer.

2.5.2.1. Informação Contida num Certificado Energético

Um certificado energético contém diversas informações tais como, a identificação do imóvel e do perito de qualidade, etiqueta de desempenho energético, validade do certificado, descrição sucinta do imóvel, descrição das soluções adoptadas, resumo/síntese das medidas de melhoria, entre outros campos que são específicos do edifício considerado. [14]

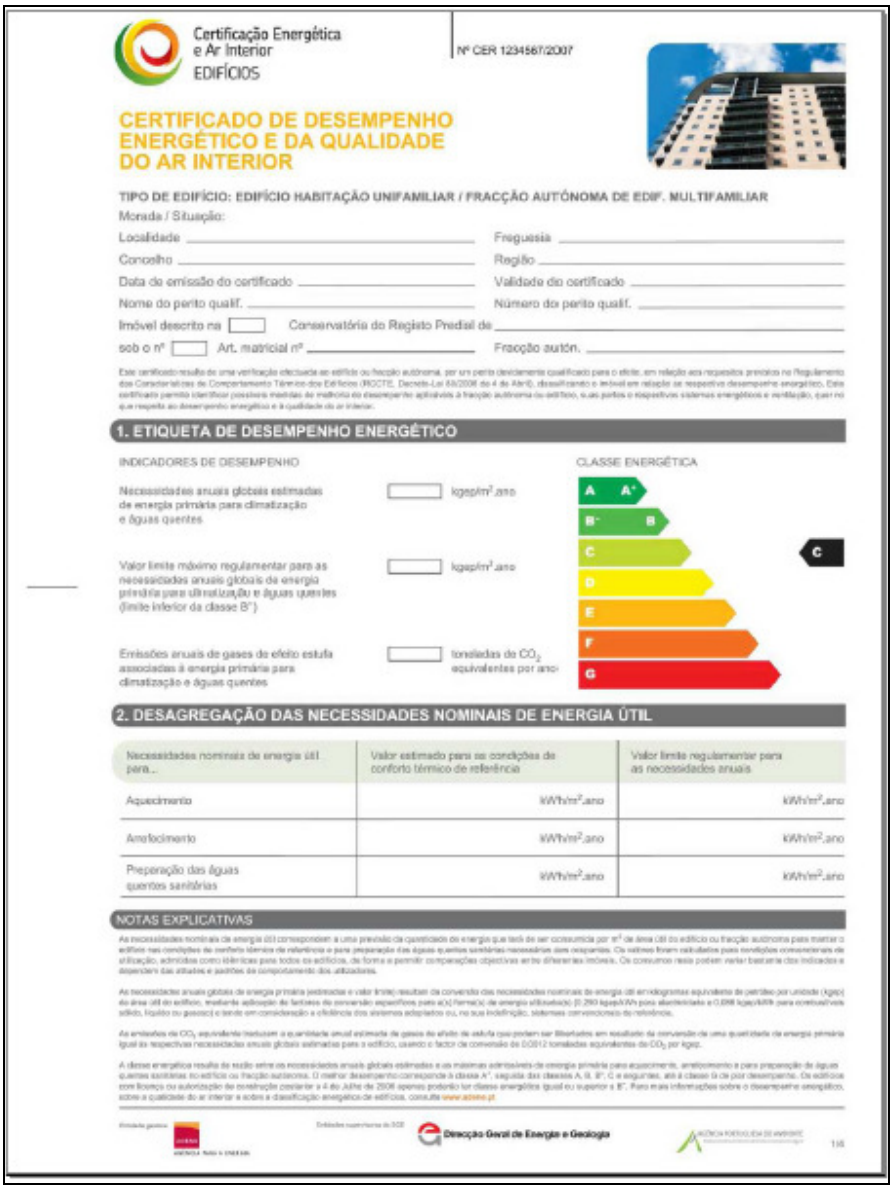
2.5.2.2. Utilidade do Certificado Energético

A certificação energética permite, aos utentes, comprovar a correcta aplicação da regulamentação térmica e da qualidade do ar interior em vigor para o edifício e para os seus sistemas energéticos, bem como obter informação sobre o desempenho energético em condições nominais de utilização, no caso dos novos edifícios ou, no caso de edifícios existentes, em condições reais ou aferidos para padrões de utilização típicos.

Desta forma, os consumos energéticos nos edifícios, em condições nominais de utilização, são um factor de comparação credível aquando da compra ou aluguer de um imóvel, permitindo aos potenciais compradores ou arrendadores aferir a qualidade do imóvel no que respeita ao desempenho energético e à qualidade do ar interior.

Nos edifícios existentes, o certificado energético proporciona informação sobre as medidas de melhoria de desempenho energético e da qualidade do ar interior, com viabilidade económica, que o proprietário pode implementar para reduzir as suas despesas energéticas, bem como para assegurar uma boa qualidade do ar interior, isento de riscos para a saúde pública que seja potenciador do conforto e da produtividade. [14]

Na figura 2.7, é apresentada a página de rosto do modelo de Certificado Energético facultado pela ADENE para os edifícios de habitação. No Anexo A.1 pode ser consultado esse documento na sua totalidade.


Certificação Energética e Ar Interior
EDIFÍCIOS

Nº CER 1234567/2007

CERTIFICADO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO E DA QUALIDADE DO AR INTERIOR

TIPO DE EDIFÍCIO: EDIFÍCIO HABITAÇÃO UNIFAMILIAR / FRACÇÃO AUTÓNOMA DE EDIF. MULTIFAMILIAR

Morada / Situação:
Localidade — Freguesia
Concelho — Região
Data de emissão do certificado — Validade do certificado
Nome do perito qualif. — Número do perito qualif.
Imóvel descrito na — Conservatória do Registo Predial de
sob o nº — Art. matricial nº — Fracção autón.

1. ETIQUETA DE DESEMPENHO ENERGÉTICO

INDICADORES DE DESEMPENHO — CLASSE ENERGÉTICA

Necessidades anuais globais estimadas de energia primária para climatização e águas quentes — kgep/m².ano

Valor limite máximo regulamentar para as necessidades anuais globais de energia primária para climatização e águas quentes (limite inferior da classe B⁻) — kgep/m².ano

Emissões anuais de gases de efeito estufa associadas à energia primária para climatização e águas quentes — toneladas de CO_2 equivalentes por ano

A A⁺ B⁻ B C D E F G — C

2. DESAGREGAÇÃO DAS NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA ÚTIL

Necessidades nominais de energia útil para...	Valor estimado para as condições de conforto térmico de referência	Valor limite regulamentar para as necessidades anuais
Aquecimento	kWh/m².ano	kWh/m².ano
Arrefecimento	kWh/m².ano	kWh/m².ano
Preparação das águas quentes sanitárias	kWh/m².ano	kWh/m².ano

NOTAS EXPLICATIVAS

Direcção-Geral de Energia e Geologia

Fig. 2.7 – Página de rosto do certificado energético Português (Edifícios de Habitação). [14]

2.6. A CERTIFICAÇÃO ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS EXISTENTES

Como já foi referido, a directiva comunitária relativa ao desempenho energético dos edifícios introduziu o conceito de eficiência energética na caracterização dos edifícios, ao obrigar os Estados-Membros a implementar um sistema de certificação do desempenho energético aquando da construção, venda ou arrendamento dos edifícios e em todos os grandes edifícios públicos ou frequentemente visitados pelo público. Esta medida tem como finalidade principal fornecer aos cidadãos informação acerca do desempenho energético dos edifícios e integra-se no objectivo mais geral da sensibilização dos cidadãos para a problemática da emissão dos gases que contribuem para o efeito de estufa e para as alterações climáticas.

Para os edifícios novos ou para edifícios existentes sujeitos a grandes intervenções de reabilitação, a certificação energética permite comprovar a correcta aplicação da regulamentação térmica, isto é, a efectiva implementação dos requisitos mínimos de desempenho energético. No entanto, para os

edifícios existentes, a certificação energética serve outra finalidade, a de obter uma classe energética e proporcionar informação acerca das medidas de melhoria de desempenho energético, com viabilidade económica, que o proprietário pode implementar para no futuro reduzir as suas despesas energéticas e, simultaneamente, melhorar a eficiência energética do edifício. [13]

De acordo com o apresentado no quadro 2.1, o SCE estabelece, para efeitos de certificação, a seguinte definição para edifícios novos e existentes.

Quadro 2.1 – Definição de edifícios novos e existentes para efeitos do SCE. [14]

Edifício	Definição para efeitos do SCE
Existente	Edifício cuja data de entrada do pedido de licenciamento ou autorização de construção de edificação na entidade licenciadora é anterior à entrada em vigor do SCE (1 de Julho de 2007 para edifícios com mais de 1000 m^2 e 1 de Julho de 2008 para edifícios com menos de 1000 m^2). Na prática, um edifício existente não tem de estar já construído nas datas referidas.
Novo	Edifício cuja data de entrada do pedido de licenciamento ou autorização de construção de edificação na entidade licenciadora é posterior à entrada em vigor do SCE (1 de Julho de 2007 para edifícios com mais de 1000 m^2 e 1 de Julho de 2008 para edifícios com menos de 1000 m^2).

2.6.1. A PROBLEMÁTICA DOS EDIFÍCIOS EXISTENTES

A aplicação da última fase de certificação energética, em vigor desde 1 de Janeiro de 2009, será a grande "prova de fogo" do SCE. Estima-se que anualmente sejam emitidos cerca de 200 mil certificados energéticos, pelo que é necessário que o sistema se prepare de forma a responder eficazmente a todo este volume de solicitações. A eficácia que se pede ao SCE, a partir de 1 de Janeiro de 2009, aquando da aplicação da certificação energética aos edifícios existente, implica obviamente a publicação de uma metodologia simplificada relativamente aquela que se aplica aos novos edifícios. É de salientar a importância destas simplificações, principalmente nos edifícios mais antigos, pela dificuldade em obter dados que caracterizem a construção em estudo. O objectivo desta metodologia simplificada consiste em criar um conjunto de abordagens que visem a simplificação, uniformizando procedimentos e estipulando regras de observação.

A classificação energética dos edifícios novos ou sujeitos a grandes remodelações determina-se através do método de cálculo de desempenho energético normalizado no RCCTE [11], que requer a determinação de um amplo conjunto de parâmetros de caracterização térmica, o que exige um conhecimento detalhado das características da fracção autónoma ou edifício em análise.

Enquanto que nos edifícios novos a maioria dos dados necessários ao cálculo, pode ser obtida facilmente com base em dados de projecto, nos edifícios existentes, na maior parte das vezes, isso não

se verifica. A aplicação do método detalhado aos edifícios existentes pode ser condicionada por diversos factores, nomeadamente:

- Ausência parcial ou total dos dados relativos ao projecto;
- Desconhecimento dos proprietários relativamente às soluções e aos sistemas existentes no edifício;
- Dificuldades inerentes ao levantamento geométrico detalhado do edifício;
- Dificuldades inerentes à identificação das soluções construtivas e dos rendimentos dos sistemas de climatização e produção de AQS instalados na edificação.

Consequentemente, a certificação dos edifícios existentes apresenta dificuldades acrescidas em relação aos novos e pode resultar num processo bastante mais oneroso do que no caso de edifícios novos. Este problema toma dimensões ainda maiores quando se trata de edifícios antigos ou edifícios que foram sendo sujeitos a sucessivas ampliações ou remodelações.

O processo inerente à certificação dos edifícios existentes, que vai desde o encontro inicial com o proprietário, à vistoria para levantamento dos diversos parâmetros, ao cálculo e à análise das oportunidades de melhoria do desempenho energético, tem um custo tanto mais elevado quanto maior for a sua duração e complexidade. Naturalmente que, nestas condições, e tendo em conta a obrigatoriedade do processo, a aplicação integral do método detalhado preconizado no Decreto-Lei n.º80/2006 a edifícios existente conduziria a custos, por vezes, incomportáveis para os proprietários. Considerou-se então que seria de máxima importância o desenvolvimento de uma abordagem alternativa que se baseie no RCCTE e que permita a redução significativa dos custos associados à certificação.

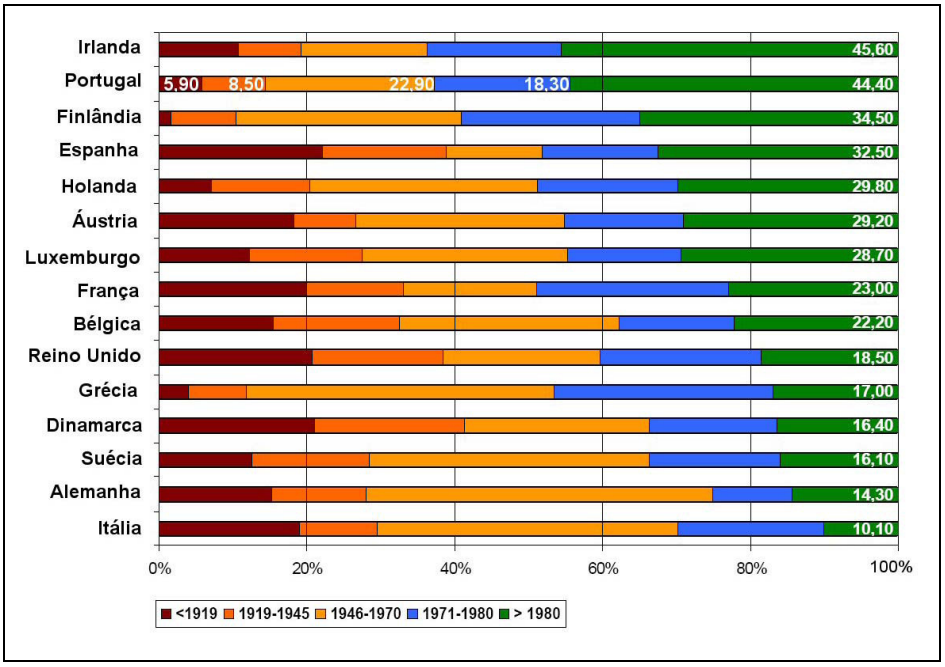


Fig. 2.8 – Distribuição dos edifícios existentes por ano de construção. [16,17]

A definição de uma metodologia alternativa deverá ter em conta o parque habitacional dos edifícios existentes. Na Figura 1.1 apresenta-se um gráfico com a distribuição dos edifícios existentes em diversos países da Europa em função do seu ano de construção. Verifica-se que Portugal é o segundo país, a seguir à Irlanda, com maior percentagem de edifícios construídos depois de 1980.

2.6.2. METODOLOGIA PARA A CERTIFICAÇÃO ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS EXISTENTES

O Despacho n.º 10250/2008 [5], com o propósito de superar as dificuldades que advêm da aplicação da legislação definida anteriormente, ao caso dos edifícios existentes, veio legitimar a necessidade da implementação de um método de cálculo distinto para os mesmos. Nesse documento está definido:

"Para o caso de edifícios existentes ou fracções de edifícios existentes [...], a determinação do valor de Ntc que irá definir a respectiva classificação energética poderá ser efectuado de acordo com as metodologias estabelecidas no Decreto-Lei n.º 80/2006, de 4 de Abril, ou, por opção do respectivo perito qualificado e nos casos em que seja aplicável, de acordo com as simplificações estabelecidas em nota técnica ou informativa a publicar pela ADENE, [...]. Nestes casos, o cálculo de Nt, será efectuado de acordo com o definido no artigo 15º do Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril, tendo em conta eventuais adaptações ou simplificações previstas na nota técnica ou informativa acima mencionada." [5]

Definiu-se que a abordagem a adoptar na elaboração dessa nota técnica, seria a da simplificação do método através da apresentação de formas alternativas e opcionais de determinação de alguns dos parâmetros da metodologia que caracterizam os edifícios, mantendo as bases do cálculo das necessidades globais de energia Ntc, e do respectivo valor máximo Nt inalteradas. Esta decisão poderá levantar algumas dúvidas no que respeita à possibilidade de obtenção da mesma classificação energética por parte de um edifício novo e um edifício existente, mesmo que num sejam respeitados os limites máximos de necessidades de energia de acordo com a legislação em vigor e no outro não. Relembre-se que os edifícios novos ou sujeitos a grandes remodelações estão abrangidos pelo RCCTE, logo nunca poderão ultrapassar os limites máximos das necessidades nominais de energia útil de aquecimento, arrefecimento e de produção de AQS. No entanto, no caso de edifícios existentes essa condição não se aplica. A verdade é que a metodologia actual de certificação energética, classifica os edifícios maioritariamente em função dos seus consumos energéticos e não especificamente de acordo com a avaliação do seu conforto térmico. Isto deve-se ao facto de na expressão (1) relativa ao cálculo das necessidades anuais globais de energia primária Ntc, a parcela referente ao AQS ser a que apresenta mais importância, já que as parcelas correspondentes às necessidades energéticas, no Inverno Nic e no Verão Nvc, são afectadas do factor 0,1. Neste sentido, é possível aumentar a classe energética de um edifício existente, cuja envolvente apresenta um desempenho térmico insuficiente, através da instalação de sistemas de painéis solares ou até somente de um sistema de produção de AQS mais eficientes.

De facto, a metodologia actual de certificação energética, revela algumas lacunas no que respeita à compatibilização do conforto térmico habitacional com a eficiência energética dos sistemas. Esta questão será analisada mais à frente neste trabalho, aquando da avaliação da influência da melhoria de desempenho energético das paredes exteriores sobre a classificação energética dos edifícios.

No Anexo A.2 podem ser consultadas as folhas de cálculo do método simplificado, cedidas pelo ITecons.

2.6.3. A NOTA TÉCNICA RELATIVA AO DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS EXISTENTES

A Nota Técnica 01 [4] define a certificação energética de edifícios existentes no âmbito do RCCTE [11] e resulta do esforço conjunto desenvolvido por várias entidades, nomeadamente pela ADENE, pelo LNEC, ITeCons e INETI, no sentido de desenvolver um método de cálculo de desempenho energético de edifícios existentes, que se baseie no método normalizado e detalhado definido no Decreto-Lei n.º 80/2006 [11] e que possibilite uma redução nos custos do processo de peritagem sem

que ao mesmo tempo fique comprometida a veracidade da classificação energética atribuída ao edifício ou fracção em questão.

O objectivo desta nota técnica, passa por propor aos peritos qualificados formas alternativas e simplificadas de cálculo/obtenção de vários parâmetros da metodologia, de forma a facilitar o processo de peritagem de edifícios existentes. Os parâmetros sobre os quais incide o método simplificado são relativos a:

- Levantamento geométrico;
- Definição dos coeficientes de transmissão térmica (U e ψ);
- Determinação do coeficiente de redução de perdas (τ),
- Quantificação das pontes térmicas;
- Quantificação das perdas por elementos em contacto com o solo;
- Avaliação das condições de sombreamento;
- Cálculo do factor solar do envidraçado;
- Determinação da classe da inércia térmica do edifício;
- Contribuição dos sistemas de colectores solares;
- Número de renovações horárias interiores para o caso da ventilação mecânica;
- Potências eléctricas dos ventiladores instalados;
- Eficiências dos sistemas de aquecimento, arrefecimento e produção de AQS.

Tal como a presente nota técnica recomenda, "devem os peritos qualificados recorrer sempre à melhor informação ao seu dispor, ou seja, aquela que melhor reflicta a realidade construída e os equipamentos e sistemas instalados" Tal como se refere no ponto 3 da Nota Técnica 01 [4]:

"Na ausência de melhor informação para determinado índice ou parâmetro necessário ao cálculo, poderá o PQ recorrer a valores constantes de elementos ou fontes de referência. Em última instância e nas situações em que não seja possível aplicar o previsto nos dois pontos anteriores, pode o perito qualificado, …, aplicar as regras de simplificação apresentadas na nota técnica."

2.6.4. AS REGRAS DE SIMPLIFICAÇÃO

Neste ponto será apresentado o conjunto de regras de simplificação[1] aplicáveis à certificação energética de edifícios existentes, que têm como objectivo não só possibilitar a redução do tempo dispendido pelo perito qualificado nas várias etapas do processo, mas também produzir resultados que se aproximem, tanto quanto possível, dos obtidos pelo método detalhado, mas de forma conservadora, de modo a não favorecer a classificação energética.

As regras de simplificação que se apresentam de seguida são parte integrante da nota técnica [4] publicada pela ADENE que define o método de cálculo para a certificação energética de edifícios existentes no âmbito do RCCTE e que podem ser aplicadas caso o perito não disponha da informação necessária à determinação dos índices e parâmetros de caracterização térmica, ou caso o custo da obtenção dessa informação não se justifique (por exemplo, em edifícios existentes com baixo valor comercial). As regras de simplificação estão agrupadas em cinco partes:

- *Levantamento dimensional* – é possibilitada a consideração de um conjunto de simplificações na obtenção das características dimensionais do edifício ou fracção autónoma que conduzem a uma redução significativa do tempo dispendido no levantamento das mesmas.

[1] Apenas as que se inserem no âmbito deste trabalho.

- *Perdas pela envolvente* – é permitido dispensar a obtenção de alguns parâmetros térmicos, com base no agravamento de outros, dispensando assim o levantamento de diversos elementos, os quais nem sempre seriam de obtenção fácil.
- *Vãos envidraçados* – é introduzida a possibilidade da consideração de valores pré definidos do produto $F_s.F_g.F_w$ em função de graus de sombreamento evitando, desta forma, a avaliação exaustiva do sombreamento induzido por obstruções do horizonte, palas horizontais e palas verticais.
- *Inércia Térmica* – é dispensado o cálculo pormenorizado dos parâmetros que permitem o cálculo da referida inércia.
- *Sistemas de climatização e preparação das AQS* – a avaliação da eficiência dos referidos equipamentos, será efectuada em função da idade do equipamento.

2.6.4.1. Levantamento Dimensional

Neste segmento serão fundamentadas as regras de simplificação que pretendem facilitar a forma de proceder ao levantamento dimensional e que estão estabelecidas no Anexo I da nota técnica [4]. Mesmo aplicando as regras de simplificação, todas as medições relacionadas com o levantamento dimensional, devem ser feitas pelo interior, o que vai de encontro ao estabelecido no Decreto-Lei n.º 80/2006 [11].

a) Área Útil de Pavimento

- Ignorar áreas de pavimento associadas a reentrâncias e saliências com profundidade inferior a 1,0 m;
- Ignorar áreas de pavimento associadas a recuados e avançados com profundidade inferior a 1,0 m;
- Se a medição da área de pavimento for efectuada contabilizando a área de contacto das paredes divisórias com os pavimentos, deve-se diminuir o valor da área total em 10%.

b) Pé-Direito

- Em caso em caso de pé-direito variável deverá ser adoptado um valor médio aproximado, estimado em função das áreas de pavimento associadas.

c) Área de Parede da envolvente exterior

- Contabilizar, na sua totalidade, as paredes em contacto com o solo, considerando para efeitos de cálculo o coeficiente de transmissão térmica da parede da envolvente exterior adjacente. Nesta situação, deverá assumir-se que a respectiva perda linear é nula.

d) Área de Coberturas Inclinadas (exterior e interior)

- Ignorar áreas de cobertura associadas a reentrâncias e saliências com profundidade inferior a 1,0 m;
- Ignorar áreas de cobertura associadas a recuados e avançados com profundidade inferior a 1,0 m;
- Se se tratar de uma cobertura inclinada (inclinação superior a 10º) a medição pode ser efectuada na horizontal. Neste caso deve-se agravar o valor da área em 25%.

e) Área de Pavimentos (exterior e interior)

- Ignorar áreas de pavimento associadas a reentrâncias e saliências com profundidade inferior a 1,0 m;
- Ignorar áreas de pavimento associadas a recuados e avançados com profundidade inferior a 1,0 m.

f) Área de Portas

- Ignorar áreas de portas cuja área envidraçada seja inferior a 25%;
- Estas áreas consideram-se incluídas na restante envolvente vertical.

2.6.4.2. Perdas pela Envolvente

a) Paredes em Contacto com o Terreno

- Caso tenha sido contabilizada, na sua totalidade, a área de parede em contacto com o solo na área de parede de envolvente exterior, considerar Ψ=0 W/m.ºC.

b) Pavimento em Contacto com o Terreno

- Se a cota do pavimento for inferior à do terreno exterior considerar Ψ=1,5 W/m.ºC. Caso contrário utilizar Ψ=2,5 W/m.ºC.

c) Pontes Térmicas Lineares

- Considerar apenas o desenvolvimento linear total das ligações de fachadas com pavimentos, cobertura ou varanda e utilizar um valor convencional de Ψ=0,75 W/m.ºC (desprezar as ligações de fachada com caixa de estore, padieira, ombreira ou peitoril e as ligações entre duas paredes verticais).

d) Pontes Térmicas Planas

- Ignorar a determinação das áreas das pontes térmicas planas;
- Caso a solução construtiva não garanta a ausência de pontes térmicas planas (isolamento térmico contínuo pelo exterior; paredes exteriores em alvenaria de pedra; ...), deverá majorar-se o valor de U da zona corrente em 35%.

e) Coeficiente de Redução de Perdas

- De forma a reduzir o tempo dispendido durante o levantamento dimensional, dispensa-se totalmente o cálculo de Ai e Au, ao atribuir-se um valor convencional de τ=0,75 a todos os espaços não úteis.

2.6.4.3. Vãos Envidraçados

Definiu-se uma simplificação relativa aos factores associados aos vãos, necessários para o cálculo das necessidades de aquecimento e de arrefecimento, nomeadamente:

a) Factor solar do Envidraçado

A simplificação relativa a este parâmetro permite que se considerem apenas duas hipóteses, ou vidro simples corrente ($g_{\perp} v$=0,85) ou vidro duplo corrente ($g_{\perp} v$=0,75). Esta simplificação é indispensável, já que a espessura do vidro é difícil de determinar, assim como a espessura da caixa-de-ar nas soluções de vidros duplos e o tipo de vidro utilizado.

b) Condições de Sombreamento

Como a avaliação das condições de sombreamento depende de um número grande de factores, procurou-se estabelecer uma simplificação que permita a avaliação expedita das condições de sombreamento e, para isso estabelecem-se três níveis de sombreamento correspondentes a três valores distintos do produto $F_s.F_g.F_w$, os quais foram designados por "sem sombreamento", "sombreamento normal/standard", e "fortemente sombreado".

Uma vez que a metodologia de cálculo inerente ao RCCTE [11] difere do Inverno para o Verão e como a situação favorável no Inverno é o aumento dos ganhos solares, enquanto que no Verão é a sua redução, sentiu-se a necessidade de separar as duas situações (Inverno e Verão), mantendo a avaliação por níveis, mas ajustando os valores do produto $F_s.F_g.F._w$ a cada uma das realidades de sombreamento.

i) Inverno

- Todos os envidraçados orientados a Norte e envidraçados nas restantes orientações sem obstruções do horizonte e sem palas, são classificados como "Sem sombreamento" e poderá aplicar-se $F_s.F_g.F_w$=0,57;
- Os envidraçados não orientados a Norte com obstruções do horizonte e/ou palas que conduzam a ângulos de sombreamento inferiores a 45º, são classificados como "Sombreamento normal/standard" e poderá aplicar-se $F_s.F_g.F._w$ =0,28;
- Os envidraçados não orientados a Norte com obstruções do horizonte e/ou palas que conduzam a ângulos de sombreamento claramente superiores a 45° são classificados como "Fortemente sombreados" e poderá aplicar-se $F_s.F_g.F._w$ =0,17.

ii) Verão

- A situação "sem sombreamento" deve ser aplicada nos vãos orientados a norte e nos vão que não têm palas horizontais independentemente da existência ou não de palas verticais ($F_s.F_g.F._w$ =0,57);
- O "sombreamento normal/standard" aplica-se aos envidraçados com palas (horizontais e verticais) que conduzam a ângulos de sombreamento inferiores a 45º, desde que tenham palas horizontais e não estejam orientados a Norte ($F_s.F_g.F._w$ =0,50);
- O vão "fortemente sombreado" é aquele cujas palas (horizontais ou verticais) conduzam a um ângulo claramente superior a 45º, desde que tenha palas horizontais e não esteja orientado a Norte ($F_s.F_g.F._w$ =0,45).

2.6.4.4. Inércia Térmica

No caso de não existirem cálculos devidamente justificados da classe de inércia térmica interior da fracção autónoma em estudo podem-se considerar, em geral, as três situações seguintes:

a) Inércia térmica FORTE

Características a verificar cumulativamente na fracção autónoma:

- Pavimento e tecto de betão armado ou pré-esforçado;
- Revestimento de tecto em estuque ou reboco;
- Revestimento de piso cerâmico, pedra, parquet, alcatifa tipo industrial sem pêlo (não se incluem soluções de pavimentos flutuantes);
- Paredes interiores de compartimentação em alvenaria com revestimentos de estuque ou reboco;
- Paredes exteriores de alvenaria com revestimentos interiores de estuque ou reboco;
- Paredes da envolvente interior (caixa de escadas, garagem, ...) em alvenaria com revestimentos interiores de estuque ou reboco;

Nota: Nenhuma das soluções em cima referidas inclui isolamento térmico pelo interior.

b) Inércia térmica FRACA

Características a verificar cumulativamente na fracção autónoma:

- Tecto falso em todas as divisões ou pavimento de madeira ou esteira leve (cobertura);
- Revestimento de piso do tipo flutuante ou pavimento de madeira;
- Paredes de compartimentação interior em tabique ou gesso cartonado ou sem paredes de compartimentação.

c) Inércia térmica MÉDIA

No caso de não se verificarem os requisitos acima indicados que permitem definir uma classe de inércia térmica FORTE ou FRACA, a inércia térmica interior da fracção em estudo deve considerar-se MÉDIA.

d) Decisão do tipo de Inércia

i) Na dúvida entre o tipo de inércia FORTE ou MÉDIA, devem os peritos qualificados optar pela inércia MÉDIA.
ii) Na dúvida entre o tipo de inércia MÉDIA ou FRACA, devem os peritos qualificados optar pela inércia FRACA.
iii) A aplicação das regras de simplificação de classificação da inércia térmica interior acima apresentadas exige discernimento por parte de perito qualificado face a circunstâncias particulares pouco comuns que podem ser encontradas em situações reais.

2.6.4.5. Sistemas de Climatização e Preparação de AQS

No âmbito do cálculo das necessidades nominais globais de energia primária (Ntc), poderão os PQ aplicar os valores de eficiência dos sistemas de aquecimento e de arrefecimento indicados na figura seguinte.

Tipo de Sistema	Idade do equipamento (Anos)		
	0 – 9	10 – 19	> 20
Climatização			
Resistência Eléctrica	1,00	1,00	1,00
Caldeira a combustível gasoso	0,87	0,83	0,79
Caldeira a combustível líquido	0,80	0,76	0,72
Caldeira a combustível sólido	0,60	0,60	0,60
Bomba de calor (aquecimento)	4,00	3,25	2,50
Bomba de calor (arrefecimento)	3,00	2,75	2,50
Máquina frigorífica (ciclo de compressão)	3,00	2,75	2,50
Máquina frigorífica (ciclo de absorção)	0,80	0,65	0,65
Sistemas de AQS			
Termoacumulador eléctrico	0,70	0,70	0,70
Termoacumulador a gás	0,60	0,57	0,54
Caldeira mural	0,72	0,69	0,66
Esquentador a gás	0,40	0,39	0,38

Fig. 2.9 - Valores de eficiência dos sistemas de aquecimento e de arrefecimento indicados na nota técnica 01. [4]

Notas:

i) Poderão ser considerados outros valores que não os apresentados, desde que devidamente justificados;
ii) O PQ poderá aumentar a eficiência dos equipamentos de produção de águas quentes sanitárias em 0,1 desde que comprove a existência de isolamento na tubagem, que cumpra o definido no Decreto-Lei n.º 80/2006;

iii) Caso não seja possível determinar o ano de fabrico do equipamento, deverá ser considerado o ano de construção da fracção autónoma;
iv) Caso tenham de ser considerados sistemas por defeito, esses sistemas, bem como os valores das suas eficiências, serão os indicados no Decreto-Lei n.º 80/2006.

2.6.5. FASES PARA A EMISSÃO DO CERTIFICADO ENERGÉTICO DE EDIFÍCIOS EXISTENTES

O SCE define quatro etapas fundamentais no processo de certificação energética de edifícios existentes, as quais são seguidamente apresentadas. [13]

2.6.5.1. Visita / Inspecção ao Local

- Deve ser realizada obrigatoriamente, pelo menos, uma visita ao local
- A visita deve contemplar:
    -Levantamento dimensional ou verificação de informação de projecto eventualmente disponível
    -Recolha de fotografias para:
    - Elaboração de relatório fotográfico;
        - Fotografia para constar na 1º página de CE;
- Identificação/Caracterização de diversos aspectos necessários ao cálculo, como por exemplo:
    -Dispositivos de admissão de ar;
    -Palas e obstruções do horizonte;
    -Análise geométrica geral do edifício;
    -Cor da fachada exterior;
    -Vãos envidraçados;
    -Sistemas;
    -Ventilação;
    -Inércia térmica;
    -Soluções construtivas;
- Identificação de oportunidades de melhoria.

2.6.5.2. Recolha de Informação Base

- O PQ deve desenvolver esforços para recolher a informação útil sobre as soluções construtivas e sistemas instalados;
- Solicitar ao proprietário toda a informação disponível e de acesso imediato sobre o edifício ou fracção autónoma em estudo, como por exemplo:
    - Peças escritas e desenhadas;
    - Projectos de especialidades (térmica; estruturas; águas e esgotos; etc);
    - Fichas de Habitação;
    - Fichas técnicas e catálogos de equipamentos;
    - Cópia de registos nas finanças e conservatória;
- A procura de informação não deve ser limitativa ou condicionar o trabalho do PQ e deve ser feita numa perspectiva de equilíbrio entre rigor e custo.

2.6.5.3. Aplicação da Metodologia de Cálculo preconizada no Decreto-lei nº 80 (com possibilidade de introduzir as Simplificações previstas na Nota Técnica 01)

As simplificações que poderão ser introduzidas na metodologia de cálculo definida no Decreto-Lei nº 80, têm como objectivo principal promover formas alternativas e simplificadas de cálculo/obtenção de

vários parâmetros da metodologia, de forma a facilitar o processo de peritagem de edifícios existentes, mantendo as bases do cálculo das necessidades globais de energia (Ntc), e do respectivo valor máximo (Nt) inalteradas. Contudo, a aplicação das simplificações da nota técnica devem atender a um conjunto de critérios definidos na mesma, tal como se referiu anteriormente neste trabalho.

2.6.5.4. Identificação de Medidas de Melhoria

Refira-se que se trata da fase mais importante no processo de certificação energética de edifícios existentes. Note-se que, no seguimento do que já foi referido anteriormente neste trabalho, a principal finalidade da certificação energética dos edifícios existentes, para além da obtenção de uma classe energética, consiste em proporcionar informação acerca das medidas de melhoria de desempenho energético, com viabilidade económica, que o proprietário pode implementar de modo a que reduzir as despesas energéticas do seu edifício. Neste sentido é muito importante que o PQ cumpra de forma minuciosa a seguinte abordagem:

- O PQ deve sempre procurar identificar oportunidades de melhoria durante o seu trabalho de peritagem, em particular durante a sua visita ao local.
- Estratégia de abordagem:
    1º Passo: Identificação e correcção de possíveis patologias;
    2º Passo: Intervenção nas soluções construtivas de envolvente, com os objectivos de melhorar o conforto térmico e reduzir ou limitar as necessidades energéticas;
    3º Passo: Optimização dos consumos pela utilização de sistemas energéticos mais eficientes.
- A melhoria de classe energética deve ser uma consequência da estratégia de abordagem e não um objectivo por si.
- Os pressupostos utilizados pelo PQ no estudo das medidas de melhoria devem ser registados/explicitados no certificado e no relatório.
- Deve ser dada prioridade ao estudo de medidas de melhoria com melhor viabilidade económica, embora não esteja restrito a essas.
- A apresentação de medidas de melhoria no certificado energético não é obrigatória, mas será certamente um factor de distinção de qualidade de trabalho entre os peritos qualificados.
- Na elaboração do Certificado energético e na descrição detalhada de cada medida de melhoria, o perito qualificado deve indicar o máximo possível de informação útil e orientadora para o proprietário, no caso de este a querer implementar.

2.6.5.5. Elaboração do Relatório Síntese de Peritagem / Certificado Energético

Na fase final do processo de certificação, o PQ deve proceder da seguinte forma:

- O perito qualificado deve sempre elaborar um relatório síntese do trabalho que desenvolveu na certificação energética do edifício ou fracção autónoma.
- Esse relatório será solicitado em contexto de fiscalização pelo SCE.
- O relatório deve agregar informação recolhida e ou produzida pelo perito qualificado durante o processo de peritagem, que permita evidenciar aspectos como:
    - Identificação de envolventes;
    - Localização dos espaços úteis e não úteis;
    - Caracterização das diferentes soluções construtivas;
    - Ventilação natural / mecânica;
    - Sistemas de climatização, AQS e aproveitamento de energias renováveis;

- Cálculos técnicos e atribuição de classificação energética;
- Identificação e estudo de oportunidades de melhoria.

- O processo termina com a emissão do Certificado Energético, no qual se apresenta a classe energética do edifício estudado bem como uma breve descrição das medidas de melhoria propostas e o referente investimento necessário. Será também apresentada a eventual melhoria de classe energética, no caso de implementação das medidas de melhoria propostas.

2.7. MEDIDAS DE MELHORIA DE DESEMPENHO ENERGÉTICO

Durante o processo de certificação energética, deverão os PQ ter em particular atenção a identificação e caracterização de oportunidades de melhoria de desempenho energético do edifício ou fracção, registando as mesmas no respectivo certificado energético a emitir. Neste âmbito, a actuação dos PQ deverá privilegiar, respectivamente e pela ordem apresentada, o estudo de medidas de melhoria de desempenho energético de:

i) Envolvente exterior opaca (Paredes, coberturas e pavimentos exteriores);
ii) Envidraçados;
iii) Sistemas de climatização;
iv) Sistemas de preparação de águas quentes sanitárias (AQS);
v) Sistemas de aproveitamento de energias renováveis;
vi) Sistemas de ventilação.

2.7.1. A REABILITAÇÃO ENERGÉTICA DA ENVOLVENTE DE EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS

A nível internacional, o parque habitacional português é dos mais novos, senão o mais recente da União Europeia, tendo menos de metade dos alojamentos em edifícios anteriores a 1919 que a média europeia, e quase o dobro da percentagem de edifícios construídos nas últimas duas décadas. Esta diminuição do peso dos edifícios antigos, não se deve a destruições massivas, como em alguns países da Europa, mas sim ao seu desaparecimento, ocorrido por demolição ou por elevada degradação. [18]

Quanto ao estado de degradação, cerca de 40% dos edifícios existentes exibem necessidades de reparação ou encontram-se muito degradados. Esta conjuntura é mais evidente nos edifícios antigos, onde somente 20% não apresentam necessidades de reparação (figura 2.10).

Quadro 2.2 – Estado de conservação dos edifícios, por época de construção (Fonte INE, Censos 2001).

Época de construção	Sem necessidades de reparação	Com necessidades de reparação			
		Pequenas reparações	Reparações médias	Grandes reparações	Muito degradado
Antes de 1919	20%	25%	22%	18%	15%
De 1919 a 1960	33%	31%	20%	11%	5%
De 1961 a 1980	59%	27%	10%	3%	1%
De 1981 a 1990	76%	18%	4%	1%	0%
De 1991 a 2001	88%	9%	2%	1%	0%
Total	59%	22%	10%	5%	3%

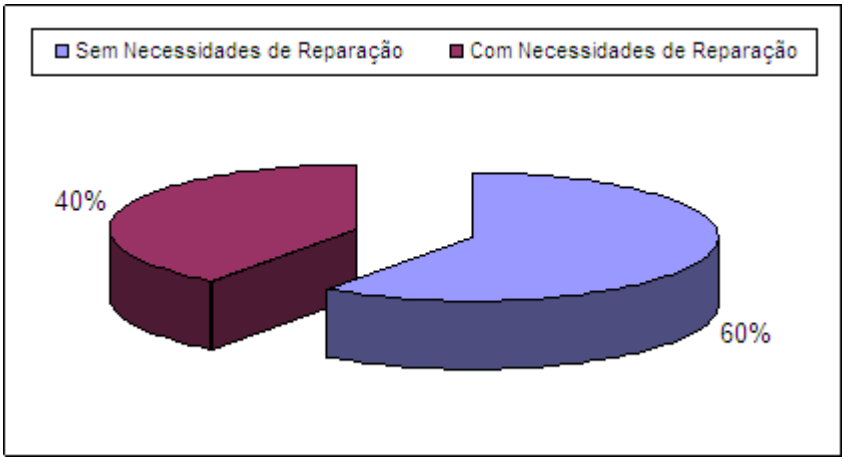


Fig. 2.10 – Estado geral de conservação dos edifícios em Portugal (Fonte INE, Censos 2001).

As intervenções necessárias, visam melhorar as características de habitabilidade dos edifícios, sendo que, tendo praticamente todos eles sido construídos antes da existência de regulamentação térmica de edifícios (referente ao desempenho térmico da sua envolvente), apresentam uma deficiente qualidade térmica e energética, que se traduz, essencialmente, em envolventes com um isolamento térmico insatisfatório.

A reabilitação térmica e energética de edifícios constitui assim numa das vias mais promissoras para a correcção de situações de inadequação funcional, proporcionando a melhoria da qualidade térmica e das condições de conforto dos seus habitantes, permitindo reduzir o consumo de energia para aquecimento, arrefecimento, ventilação e iluminação, contribuindo também para o objectivo estratégico de redução das necessidades energéticas do nosso País e possibilitando, em muitas situações, a correcção de certas patologias ligadas principalmente à presença de humidade e à degradação do aspecto nos edifícios.

Note-se que, pela sua importância e complexidade, as intervenções de reabilitação implicam um completo e pormenorizado estudo de todas as soluções passíveis de serem aplicadas, de modo a obter o máximo benefício dessa intervenção.

No texto que se segue, abordam-se e sistematizam-se em termos genéricos os problemas relacionados com a energia na envolvente exterior dos edifícios existentes.

2.7.2. Aspectos de Envolvente dos Edifícios que afectam o seu Desempenho Energético

A inclusão de medidas de eficiência energética num edifício, não deve apenas considerar o seu grau de deterioração, devido ao envelhecimento natural dos materiais ou à falta de manutenção, mas também devido às características actuais dos edifícios. É importante referir que essas mesmas características podem conduzir a uma redução do seu desempenho térmico e a consumos de energia elevados, quer na estação fria, quer na estação quente.

Neste sentido, seguidamente efectua-se uma breve caracterização das características dos edifícios que podem afectar o seu desempenho energético.

2.7.2.1. Inércia Térmica

O conceito de inércia térmica aplicado à envolvente exterior de um edifício pretende traduzir a capacidade dos elementos construtivos que a constituem de retardar e atenuar a transmissão ao ambiente interior de uma dada solicitação térmica exterior (normalmente associada à variação de temperatura e sobretudo resultante da radiação solar), sendo factores determinantes a sua capacidade de armazenamento e de restituição de calor [18]. A inércia térmica é uma característica própria dos materiais pesados e densos, como, por exemplo, os tijolos maciços e a pedra. As paredes com uma estrutura pesada têm uma elevada capacidade térmica, funcionando como reservatórios de calor e amortecedores térmicos, ou seja, amortecem e contrariam os picos climáticos exteriores, algo que uma estrutura isolante, mais leve, não consegue fazer. Nas casas com este tipo de paredes podem arejar-se as divisões mesmo que esteja frio no exterior, porque, uma vez fechada a janela, a temperatura interna restabelece-se quase imediatamente. No Verão, a mesma capacidade para absorver o calor mantém mais fresco o ambiente interior, tal como se pode constatar quando se entra numa casa antiga com espessas paredes de pedra, capazes de transmitir uma sensação de bem-estar, embora a pedra tenha uma reduzidíssima capacidade de isolamento térmico.

2.7.2.2. Isolamento Térmico Insuficiente nos Elementos Opacos da Envolvente

A quantidade de calor necessária para manter uma habitação à temperatura de conforto depende também, em larga escala, do seu nível de isolamento térmico que previne a transferência de calor por condução entre o interior e o exterior de um edifício [19]. Um edifício mal isolado acarreta maiores custos com o aquecimento, pois consome mais energia: no Inverno arrefece rapidamente podendo ocorrer condensações no seu interior, e no Verão aquece mais e num curto espaço de tempo. Por esta razão é essencial diminuir as perdas e os ganhos de calor utilizando técnicas de isolamento adequadas nos edifícios. Pequenas intervenções de melhoria no isolamento de edifícios podem conduzir a economias energéticas avultadas, evitando custos desnecessários no aquecimento e na refrigeração de espaços

2.7.2.3. Existência de Pontes Térmicas na Envolvente do Edifício

As pontes térmicas são pontos localizados na envolvente do edifício onde há maior perda de calor em relação às restantes áreas dos elementos da envolvente. Este fenómeno aumenta o consumo de energia para aquecimento e pode causar danos na envolvente do edifício, reduzindo a sua durabilidade. Existem pontes térmicas em vigas e pilares, pois estes elementos maciços têm coeficientes de transmissão térmica superiores aos das paredes exteriores onde estão inseridos. Também podem ocorrer pontes térmicas na intersecção de paredes e pavimentos interiores com paredes exteriores, porque as superfícies internas têm aí menores áreas que as superfícies externas correspondentes, permitindo assim um maior fluxo de calor. O mesmo pode acontecer à volta de janelas e portas, porque a sua superfície interna tem menor distância ao ambiente exterior, bem como no contacto das paredes e pavimentos com o terreno (paredes enterradas e pavimentos térreos). Uma instalação deficiente do isolamento térmico, pode originar a ocorrência de fendas e descontinuidade nos materiais de isolamento térmico, originando assim a ocorrência de pontes térmicas. O isolamento térmico só é completamente eficiente se cobrir totalmente a superfície a ser isolada. As descontinuidades do isolamento devem ser evitadas, pois são pontos preferenciais de transferência de calor entre o ambiente interior e o exterior. A forma mais eficiente de garantir a continuidade do isolamento térmico

e de evitar as pontes térmicas é através de soluções em que o isolamento térmico é aplicado pelo exterior, tal como analisaremos mais a frente neste trabalho.[19]

2.7.2.4. Condensações

Se uma casa for insuficientemente ventilada, o vapor de água em excesso não poderá ser totalmente removido e tende a condensar quando atinge qualquer ponto com uma temperatura abaixo do ponto de orvalho do ar interior (condensação superficial). Deste modo, uma ponte térmica aumenta consideravelmente o risco de ocorrência de condensações superficiais, com a consequente formação de patologias, nomeadamente bolores e manchas e pode originar a degradação de estuques e rebocos.

A condensação também pode ocorrer internamente na estrutura da envolvente dos edifícios, especialmente quando atinge uma camada relativamente fria e impermeável (condensação interna). A condensação interna pode provocar danos na envolvente do edifício, que afectem a sua durabilidade. Por outro lado, a humidade aumenta significativamente a condutividade térmica da maioria dos materiais isolantes, diminuindo a sua eficiência.

O risco de condensação pode ser prevenido ou minimizado diminuindo a produção de vapor de água nas actividades domésticas e melhorando a taxa de ventilação por forma a reduzir a quantidade de vapor de água existente no ambiente interior, aquecendo os espaços, por forma a aumentar a temperatura do ar interior e, consequentemente, diminuindo a humidade relativa, e reforçando o isolamento térmico da envolvente do edifício por forma a aumentar a temperatura da sua superfície e interna. A inclusão de barreiras ao vapor associadas aos materiais isolantes térmicos ajuda a evitar o risco de condensação interna. Quando necessárias, as barreiras ao vapor devem ser colocadas o mais próximo possível dos paramentos interiores.[18]

2.7.2.5. Baixo Desempenho Térmico de Vãos Envidraçados e Portas exteriores

As superfícies vidradas desempenham um papel muito importante no domínio da eficiência térmica do edifício. Se, por um lado, podem contribuir para a entrada de calor sem custos, por outro, podem ser saídas através das quais o calor se dissipa, quando não são construídas e montadas de uma forma apropriada. A intervenção ao nível das janelas deve ser feita com o intuito de reduzir as infiltrações de ar não-controladas, aumentar a captação de ganhos solares no Inverno, reforçar a protecção da radiação solar durante o Verão e melhorar as condições de ventilação natural. Estima-se que entre 25 % a 30% das nossas necessidades de aquecimento são devidas a perdas de calor com origem nos envidraçados. Os factores mais importantes na avaliação das janelas são os seguintes:

- A área da superfície envidraçada;
- O tipo de vidro utilizado;
- O tipo de caixilharia

O isolamento térmico de uma janela depende da qualidade do vidro e do tipo de caixilharia utilizado. As janelas que possuem vidros duplos têm maior capacidade de isolamento do que os vidros simples, já que o espaço entre os dois vidros serve para reduzir a perda de calor. Geralmente, quanto maior este espaço, mais isolante é o vidro. Para prevenir a entrada de calor em excesso no Verão, o vidro exterior pode ser reflector. As janelas de vidro duplo reduzem quase a metade a perda de calor comparativamente com os vidros simples.[19, 20]

2.7.2.6. Falta de Protecções Solares adequadas nos Vãos Envidraçados

Estes sistemas revestem-se de uma importância vital ao nível da eficiência energética de um edifício. De facto, estes têm por objectivo controlar a entrada da luz solar e bloquear a luz directa do sol durante o Verão enquanto permitem a penetração da luz do sol durante o Inverno. A protecção das janelas pode ser realizada através de unidades fixas, devendo ter uma dimensão adequada, tendo em conta quer os requisitos de Inverno quer os de Verão. [19]

2.7.2.7. Ventilação não Controlada

A ventilação não controlada, cria maiores necessidades energéticas em aquecimento no Inverno, ou inversamente, ventilação insuficiente, conduzindo a maiores níveis de humidade relativa no Inverno e sobreaquecimento no Verão, e o consequente desconforto dos ocupantes, fenómenos de condensação e baixo nível de qualidade do ar interior.

A melhor escolha consiste na exploração da ventilação natural, sempre que possível, fazendo uso da pressão e depressão causada pela acção do vento na superfície exterior do edifício.

No primeiro caso (pressão), é utilizado o princípio do efeito de tiragem: o ar quente, que é mais leve do que o ar frio, tende a subir e a arrastar ar frio. As diferenças de temperatura entre as diferentes divisões da casa produzem ventilação, permitindo a mudança do ar, desde que hajam aberturas para o exterior que permitam a entrada de ar novo. O outro fenómeno (depressão) pode ser explorado com mais frequência: quando um edifício é fustigado pelo vento, a parede directamente exposta ao vento é sujeita a uma forte pressão, enquanto a parede do lado oposto, é envolvida numa depressão. A diferença de pressão entre os dois lados é suficiente para gerar uma ventilação natural entre as divisões.

Os sistemas de ventilação forçada (ou mecânica) permitem a permuta de ar entre os espaços em que não seja possível utilizar a ventilação directamente a partir do exterior. A permuta do ar é proporcionada por condutas de ventilação forçada ligadas aos espaços interiores através de extractores (destinados a extrair o ar parado ou poluído) e ventiladores (para injectar ar fresco). Regra geral, os sistemas centralizados de aquecimento e ar condicionado (AVAC), mais comuns nos grandes edifícios de serviços, incluem uma ventilação forçada. [21]

2.7.3. A REABILITAÇÃO ENERGÉTICA DAS PAREDES EXTERIORES

Para responder às crescentes exigências de conforto higrotérmico, que estão intimamente associadas às preocupações com o consumo de energia e protecção ambiental, é necessário isolar termicamente a envolvente dos edifícios, de modo a minimizar as trocas de calor com o exterior, com consequente redução das necessidades de aquecimento/arrefecimento e diminuição dos riscos de ocorrência de condensações.

A maior parte da área da envolvente exterior dos edifícios corresponde à área das paredes exteriores – fachadas e empenas. É através das paredes exteriores que se processa a maior parte das trocas térmicas entre os ambientes interior e exterior, pelo que o estudo cuidado do comportamento térmico das soluções construtivas, a adoptar na envolvente vertical, é fundamental para que se reduza o consumo de energia nas operações de manutenção do conforto térmico dos ocupantes, com todos os benefícios ambientais daí resultantes. [18, 19]. O reforço do isolamento térmico das paredes exteriores pode ser concretizado através de três grandes opções, caracterizadas pela posição relativa do isolante térmico a aplicar:

- Isolamento térmico exterior
- Isolamento térmico interior;
- Isolamento térmico em caixa-de-ar (limitado ao caso de paredes duplas).

Cada uma destas opções admite ainda vários tipos de soluções, mediante o tipo de parede em que se irá intervir. No caso de paredes constituídas apenas por um só pano (paredes simples), o reforço do isolamento térmico pode ser realizado pelo exterior ou pelo interior. O reforço do isolamento térmico pelo exterior, desde que não seja inviabilizado por constrangimentos de ordem arquitectónica, constitui em geral a melhor solução, dado que as vantagens superam nitidamente os inconvenientes, em comparação com a solução de isolamento pelo interior. Por outro lado, nas intervenções de reabilitação de edifícios, é normal a necessidade de refazer o reboco das paredes exteriores, pelo que é oportuno considerar esta hipótese. Através da consulta de bibliografia referente aos sistemas de isolamento térmico pelo exterior, é possível enumerar as suas principais vantagens e inconvenientes em comparação com os seus congéneres aplicados pelo interior, que se sistematizam seguidamente através dos quadros 2.3 e 2.4 [22-26].

Quadro 2.3 – Principais vantagens e desvantagens dos sistemas de isolamento pelo exterior. [22-26]

Vantagens	Inconvenientes
A probabilidade de ocorrência de pontes térmicas fica praticamente limitada à ligação fachada/vãos envidraçados e à existência de varandas.	Custo unitário em média superior ao sistema de isolamento térmico pelo interior, podendo aumentar substancialmente com a pormenorização adequada do sistema.
Maior protecção da envolvente exterior face às solicitações climáticas exteriores.	Técnica de execução delicada, efectuada normalmente por equipas especializadas e com condições climáticas apropriadas.
Incremento da inércia térmica (interior) com eventuais benefícios em termos de conforto interior e eficiência energética, sobretudo para regimes de aquecimento contínuo e com ganhos solares significativos.	A durabilidade e desempenho dos sistemas de fixação (excluindo os ETICS) necessitam de ser cuidadosamente avaliadas atendendo à gravidade da eventual queda de um elemento de revestimento exterior.
Sem necessidade de abandono dos habitantes do interior do edifício.	A generalidade dos sistemas possui uma resistência ao choque reduzida (particularmente os ETICS) requerendo disposições construtivas específicas para a sua utilização ao nível dos pisos inferiores, susceptíveis de actos de vandalismo.
Conjugação da reabilitação do desempenho térmico da fachada com a sua melhoria estética, permitindo a correcção de possíveis patologias existentes.	Uma inércia térmica (interior) elevada pode revelar-se como um factor prejudicial para edifícios com sistemas de aquecimento intermitente.
Em situações de reabilitação é garantida a manutenção de área útil interior.	Risco de ocorrência de condensações internas na interface do material isolante térmico com a camada exterior, que poderão estar relacionadas com o desenvolvimento de fungos e algas que dão origem a manchas.

Quadro 2.4 – Principais vantagens e desvantagens dos sistemas de isolamento pelo interior. [22-26]

Vantagens	Inconvenientes
Aplicação e desempenho futuro não afectados pelas condições climáticas exteriores.	Potenciador de situações de ponte térmica em diversas configurações construtivas, requerendo disposições específicas de correcção.
Possibilidade da manutenção da identidade arquitectónica da fachada, bem como de uma intervenção individualizada num ou mais fogos de um edifício residencial colectivo.	Parede exterior mais susceptível a solicitações de natureza térmica decorrentes sobretudo da variação da radiação solar (incluindo o fenómeno de choque térmico).
Solução construtiva pouco dispendiosa nas vertentes matéria-prima e execução (não necessita de recorrer a andaimes para a sua aplicação) – em média cerca de metade do custo da solução de isolamento térmico pelo exterior.	Parede exterior mais susceptível à acção da água de precipitação.
Eventual menor dispêndio de energia no aquecimento interior em regimes do tipo descontínuo (típicos no segmento residencial em Portugal).	A inércia térmica (interior) é reduzida em consequência da inutilização da parede exterior como massa de armazenamento térmico.
Permite em alguns tipos de soluções a integração de tubagens sem deterioração do pano de parede (o que acontece na generalidade das soluções tradicionais em alvenaria dupla ou em alvenaria simples com isolamento térmico pelo exterior).	Implica o abandono dos habitantes do interior do edifício. Poderá não permitir a manutenção de ornamentos interiores em edifícios antigos.
O isolamento sonoro entre compartimentos poderá ser melhorado (dependendo do tipo de sistema) pela diminuição da transmissão sonora por via marginal, para além do incremento do isolamento a ruídos aéreos provenientes do exterior garantido pela fachada. (sobretudo no caso de não existirem vãos envidraçados)	Em operações de reabilitação verifica-se uma perda de área útil interior que, embora possa ser considerada reduzida, acarreta sempre uma diminuição do valor do imóvel.
Quando combinados com determinados elementos de revestimento (ex. gesso cartonado) permitem aumentar significativamente a resistência ao fogo, podendo ser por exemplo utilizados para a protecção ao fogo de estruturas metálicas.	Maior risco de ocorrência de condensações na interface entre o material isolante térmico e o pano exterior de parede face às demais soluções de isolamento, implicando a eventual utilização de uma barreira pára-vapor na face quente (interior) do material isolante.

A selecção da melhor solução de reforço de isolamento térmico torna-se assim uma metodologia complexa, na qual é muito importante a compatibilização de todos os parâmetros, fenómenos e experiências anteriores. Neste sentido, é fundamental a caracterização de todas as hipóteses de reforço de isolamento térmico, de modo a minimizar os riscos associados à aplicação de cada uma delas.

2.7.3.1. Soluções de Isolamento Térmico Exterior

Têm sido desenvolvidos diversos sistemas de isolamento térmico de fachadas pelo exterior que são de utilização corrente em diversos países europeus, quer na reabilitação de edifícios cuja envolvente vertical apresente índices de isolamento térmico insatisfatórios, infiltrações ou aspecto degradado, quer em novas construções. Estes sistemas constituem uma óptima solução, tanto do ponto de vista energético como do ponto de vista construtivo. [18, 19]

De um modo geral, os sistemas de isolamento pelo exterior são constituídos por uma camada de isolamento térmico aplicada sobre o suporte e um paramento exterior para protecção, em particular, das solicitações climáticas e mecânicas.

Podemos classificar os sistemas de isolamento de fachadas pelo exterior em três grandes famílias:

i) Revestimentos independentes com interposição de um isolante térmico no espaço de ar

O sistema de Fachada Ventilada assume-se, actualmente, como uma das soluções mais eficientes na resolução de problemas de isolamento térmico dos edifícios, ao mesmo tempo que permite conceber projectos de elevada qualidade estética e funcional. A Fachada Ventilada pode ser definida como um sistema de protecção e revestimento exterior de edifícios, caracterizado pelo afastamento entre a parede do edifício e o revestimento, criando, assim, uma câmara-de-ar em movimento. O adjectivo "ventilada" deriva, exactamente, desta câmara-de-ar que permite a ventilação natural e contínua da parede do edifício, através do efeito de chaminé (o ar entra frio pela parte inferior e sai quente pela parte superior). Em climas frios, este fluxo faz com que a água condensada na parte traseira do acabamento seque. Em climas quentes, a circulação de ar arrefece as capas interiores da construção, e desta forma reduz a necessidade de energia refrigerante. Deste modo, com o "arejamento" da parede, evitam-se as comuns humidades e condensações características das fachadas tradicionais e, consequentemente, consegue-se um maior conforto térmico que se traduz numa economia acentuada nos custos de climatização, tanto no Inverno como no Verão.

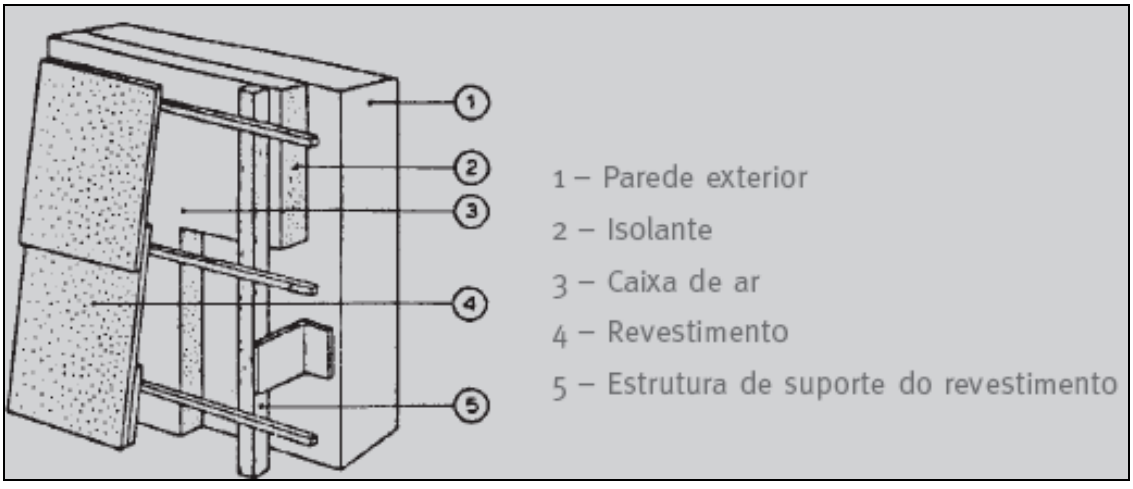


Fig. 2.11 – Revestimento independente descontínuo com isolante térmico na caixa-de-ar. [18]

ii) Sistemas compósitos de isolamento térmico pelo exterior (ETICS)

Nas soluções deste tipo de isolamento térmico, correntemente designadas por ETICS, uma camada isolante composta por placas de um isolante térmico fixadas contra a parede por colagem, por fixação mecânica ou por ambos os processos, recebem em obra um revestimento exterior contínuo armado, como camada de protecção contra os agentes atmosféricos.

Existem dois subtipos de ETICS, que se distinguem pela espessura do revestimento aplicado:

a) Nos sistemas com revestimento espesso, utilizam-se normalmente placas de poliestireno expandido moldado (EPS) ou de lã mineral (MW) na camada de isolamento térmico e um revestimento de ligante mineral armado com uma rede metálica.

b) Nos sistemas com revestimento delgado, que é mais usual do que o anterior, utilizam-se sobretudo placas de poliestireno expandido moldado (EPS) e um revestimento de ligante sintético ou misto armado com uma rede de fibra de vidro protegida contra o ataque dos álcalis do cimento. De forma a melhorar a resistência mecânica do revestimento em zonas sujeitas a acções mecânicas mais severas (por exemplo, em paredes localizadas em pisos térreos de acesso público) é adicionada àquela rede uma outra reforçada do mesmo material.

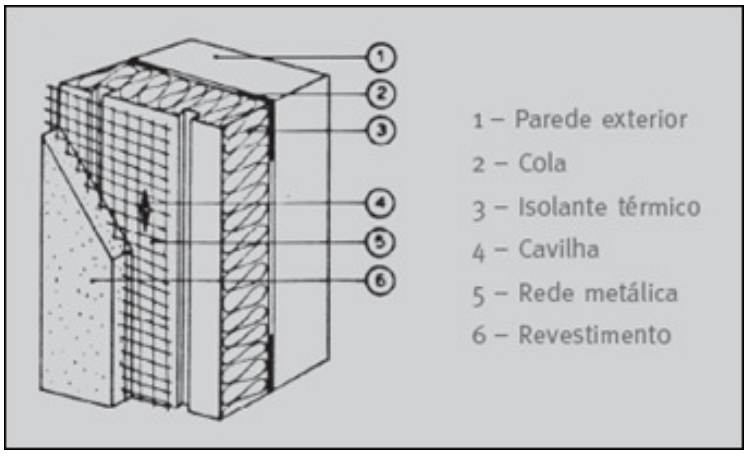


Fig. 2.12 – Sistema de isolamento térmico compósito exterior com revestimento espesso. [18]

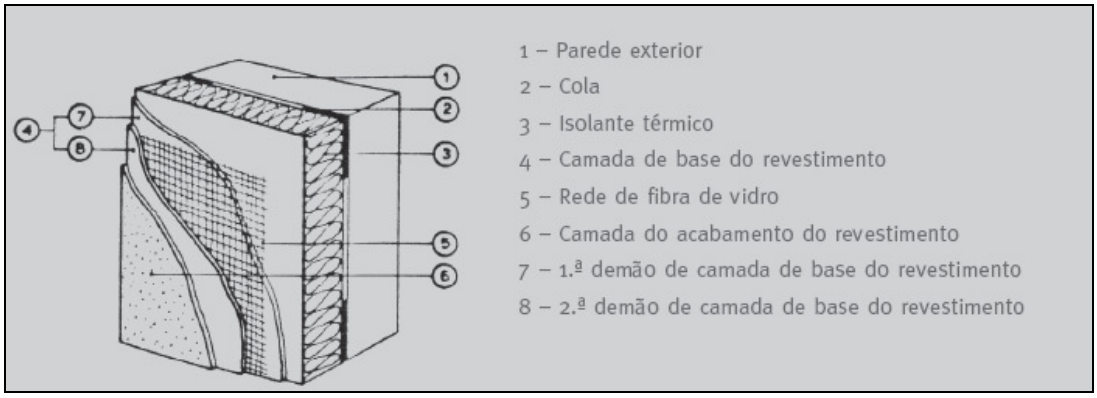


Fig. 2.13 – Sistema de isolamento térmico compósito exterior com revestimento delgado. [18]

iii) Revestimentos isolantes – nomeadamente, revestimentos prefabricados isolantes descontínuos e rebocos isolantes.

Os sistemas de isolamento térmico por elementos descontínuos prefabricados ("vêtures") são obtidos a partir de elementos previamente produzidos em fábrica, constituídos por um material isolante em placa (quase sempre poliestireno expandido) e por um revestimento (de natureza metálica, mineral ou orgânica). Em virtude de o isolante e o revestimento serem prefabricados, a aplicação em obra destes sistemas é feita numa única operação, apresentando, no entanto, algumas dificuldades de adaptação a pontos singulares das fachadas, como por exemplo, os vãos. Relativamente aos sistemas de isolamento térmico por revestimentos de elementos descontínuos com isolante na caixa de ar, dispensam da existência da estrutura de fixação intermédia e da lâmina de ar entre o revestimento e o isolante e em relação aos sistemas por revestimento sobre o isolante (ETICS), dispensam a execução de camadas sucessivas, que obrigam à manutenção da totalidade dos andaimes em obra durante mais tempo. A solução de rebocos isolantes justifica entretanto uma observação. Esta solução consiste em revestimentos constituídos por argamassas que incorporam grânulos dum isolante térmico (por exemplo, de poliestireno expandido) de diâmetro muito pequeno por forma a reduzir a sua condutibilidade térmica em relação à das argamassas de rebocos tradicionais. Esta solução, é em geral 2 ou 3 vezes menos eficiente que as outras soluções de reabilitação térmica, embora seja de mais fácil aplicação. Assim, esta solução não é por isso em geral suficiente para garantir por si só o nível de isolamento térmico adequado às paredes a reabilitar e não dispensará, na maior parte dos casos, a aplicação de outras medidas em simultâneo. Este facto leva a que os rebocos isolantes sejam considerados apenas soluções de complemento de isolamento térmico.

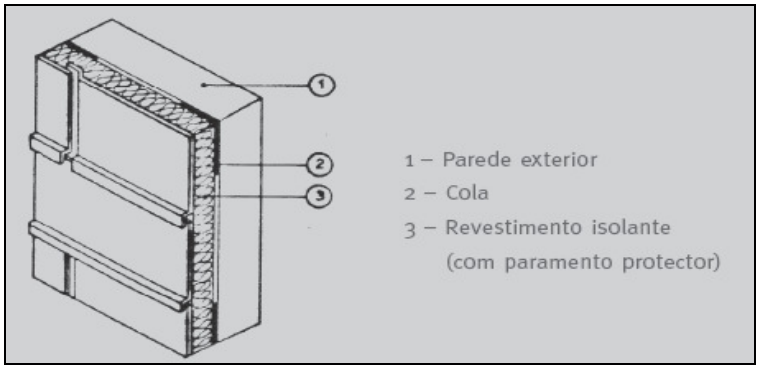


Fig. 2.14 – Sistema de isolamento térmico por elementos descontínuos pré-fabricados. [18]

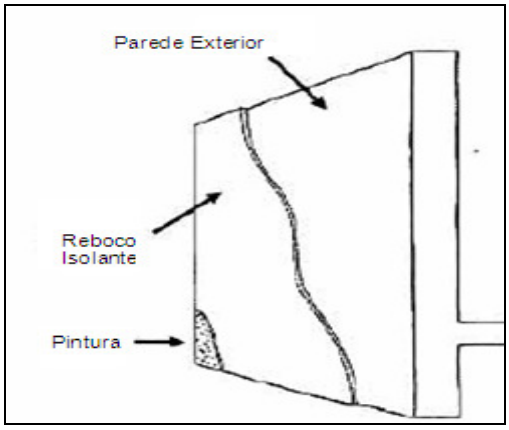


Fig. 2.15 - Solução de rebocos isolantes. [18]

2.7.3.2. Soluções de Isolamento Térmico Interior

Este tipo de soluções, poderá ser uma opção eficiente em edifícios que não tenham uma ocupação permanente, ou em situações de recuperação de edifícios, nas quais a aplicação do isolamento térmico pelo exterior pode implicar algumas dificuldades anteriormente apresentadas. No entanto, é importante referir que o isolamento térmico colocado do lado exterior é sempre o mais recomendado. [18, 19]

Para este tipo de isolamento existem diversas soluções, nomeadamente:

i) Painéis isolantes prefabricados

Em relação aos painéis isolantes prefabricados, a solução mais correntemente utilizada realiza-se através de painéis com a altura do andar que associam um paramento de gesso cartonado e uma camada de isolamento térmico com placas de poliestireno expandido moldado (EPS) ou extrudido (XPS), coladas no tardoz (parte de trás) das placas de paramento. Estes painéis podem ser colados directamente contra o paramento interior da parede a reabilitar ou ser-lhe fixados através duma estrutura de apoio, que define uma caixa-de-ar intermédia. Tal como no caso das soluções de isolamento térmico pelo exterior com base em revestimentos independentes descontínuos, quando essa estrutura é de madeira, convirá que a madeira seja tratada para impedir o seu ataque por agentes biológicos na eventualidade de ocorrer o seu humedecimento devido a infiltrações de água da chuva através da parede exterior ou a condensações. Trata-se de uma excelente solução não só devido às propriedades térmicas inerentes ao sistema, mas também devido a todas as vantagens que um sistema pré-fabricado pode proporcionar numa situação de isolamento pelo interior.

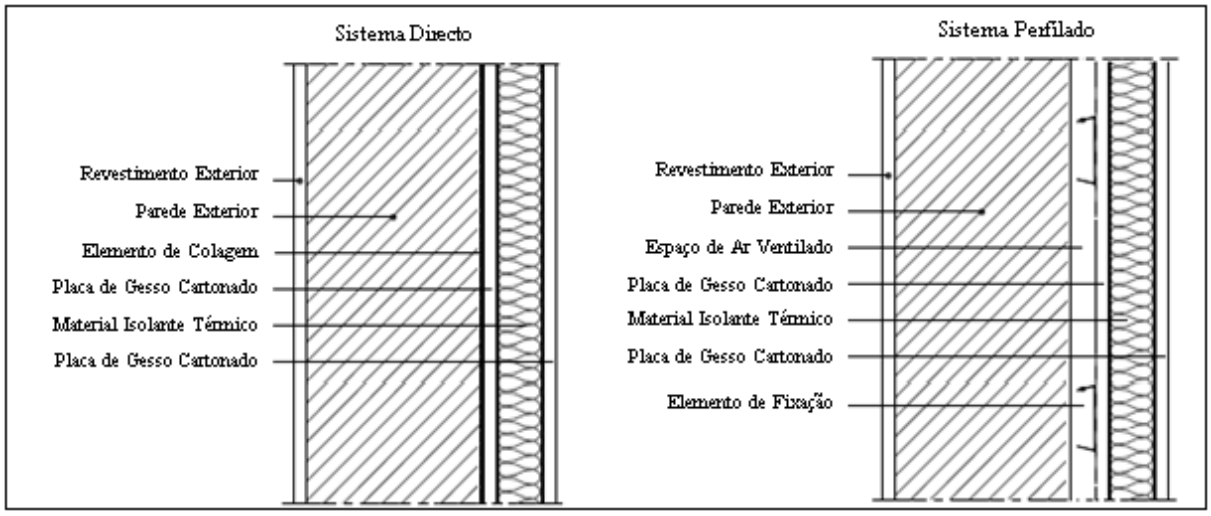


Fig. 2.16 – Painéis Isolantes pré fabricados: Sistema Directo e Sistema Perfilado. [18, 19]

ii) Execução de uma contra-fachada no lado interior da parede a reabilitar

Consiste numa solução baseada na execução de uma contra-fachada no lado interior da parede a reabilitar. São duas as soluções que têm sido mais utilizadas na sua concretização: um pano de alvenaria leve (contra-fachada de alvenaria) ou um forro de placas de gesso cartonado com a respectiva estrutura de apoio fixada à parede, em que o isolante térmico é aplicado desligado da placa de gesso cartonado (contra-fachada de gesso cartonado). Embora qualquer uma das soluções reduza a área útil dos comportamentos adjacentes, a segunda é em geral preferível por ser a que menos afecta a área e a consequente funcionalidade dos espaços. É recomendável, sempre que for viável, deixar uma caixa de ar entre a parede preexistente e o isolante térmico disposto no tardoz da contra fachada com a

função de proteger o isolante do eventual acesso da água da chuva que porventura atravesse aquela parede.

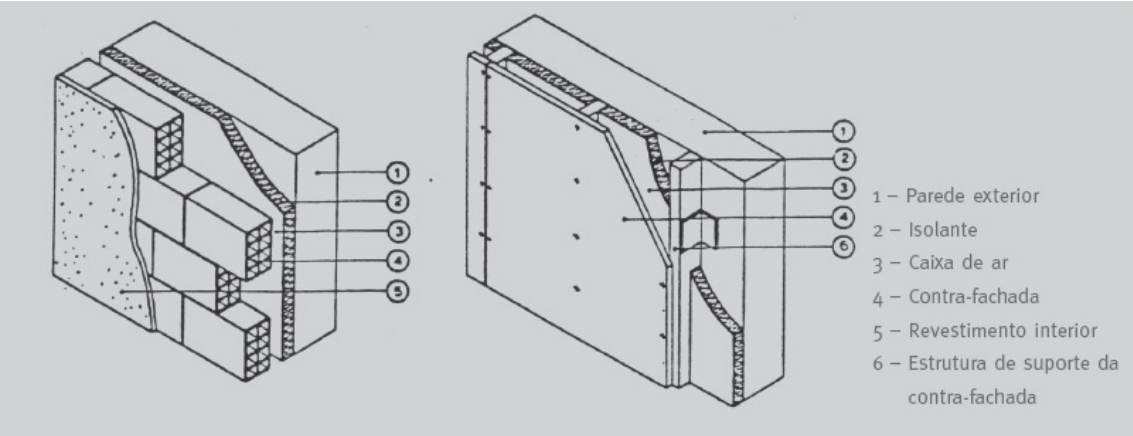


Fig. 2.17 – Contra-fachada com isolante na caixa-de-ar. [18]

Actualmente, no que respeita aos sistemas de isolamento pelo interior é mais usual a primeira solução, painéis isolantes pré-fabricados, relativamente ao sistema tradicional de contra-fachada leve. De facto, a crescente aposta na pré-fabricação na construção, associada ao desenvolvimento dos processos construtivos e tecnológicos, tornam este tipo de soluções cada vez mais comuns. Note-se que o sistema de painéis isolantes pré fabricados permite a existência de um espaço de ar entre a fachada pré-existente e o isolamento térmico aplicado no tardoz da contra-fachada de gesso cartonado, ao contrário do que acontece nos sistemas de contra-fachada tradicionais, em que o isolante fica directamente fixado à fachada pré-existente, ficando sujeito à acção da humidade proveniente do exterior, degradando-se. Por outro lado como se tratam de soluções de reforço térmico pelo interior, pede-se a maior rapidez possível ao processo uma vez que este tipo de soluções implica a desocupação do espaço, o que causa muitos inconvenientes aos utilizadores do mesmo. Este aspecto poderá ser decisivo na opção pelos painéis isolantes prefabricados, juntamente com a maior organização e menor sujidade que esta solução envolve.

2.7.3.3. Soluções de Isolamento Térmico na Caixa-de-Ar de Paredes Duplas

O reforço do isolamento térmico das paredes duplas é possível de ser realizado por incorporação de materiais isolantes soltos ou de espumas injectadas na caixa de ar, permitindo manter o aspecto exterior e interior das mesmas e reduzir ao mínimo as operações de reposição dos respectivos paramentos, que ficam limitadas à vedação dos furos de injecção. Apesar da aparente facilidade de execução deste tipo de soluções, note-se que a eficácia das mesmas é muito questionável, em virtude de todo o conjunto de limitações técnicas que as envolvem.

Essas limitações estão associadas, por exemplo, ao facto da caixa de ar poder ter uma espessura pequena ou apresentar-se preenchida com argamassa ou detritos, que em qualquer dos casos pode dificultar a aplicação homogénea do isolante térmico ao longo da parede, pelo que a qualidade da execução deverá ser assegurada por aplicadores especializados. Deste modo, a formulação da espuma de poliuretano deverá ser criteriosa, de forma a obter as características desejadas. Note-se que a caixa-de-ar ficará totalmente preenchida com o isolante térmico, criando-se assim uma ponte entre o elemento exterior e interior, que pode conduzir à transferência de humidade. Por outro lado, a pressão

de injecção deverá ser controlada para evitar a ocorrência de deformações na parede e garantir o completo preenchimento da caixa-de-ar. O número e a distribuição dos furos de injecção também deverá ser adequado e deverão ser realizados furos adicionais ou observação endoscópica para verificar esse preenchimento. No caso dos isolantes a granel (soltos), para além do já referido, a sua aplicação deverá ser realizada de forma a evitar assentamentos, que poderão originar espaços vazios, constituindo pontes térmicas ou falta de isolante.

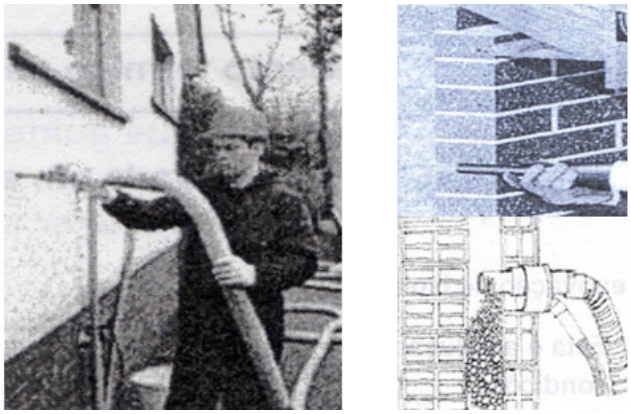


Fig. 2.18 – Aplicação de Isolamento térmico no interior da caixa-de-ar de uma parede dupla já concluída.

Pelas limitações apresentadas, este tipo de solução é quase sempre preterido, optando-se também nas paredes duplas pelo reforço térmico pelo exterior ou interior da parede

2.7.4. O COMPORTAMENTO HIGROTÉRMICO DAS PAREDES DE ENVOLVENTE EXTERIOR

2.7.4.1. Generalidades

Em Portugal, os hábitos de isolar a envolvente dos edifícios ou fracções, só começaram a ser criados na década de 1990 com a implementação do primeiro regulamento sobre as características do comportamento térmico dos edifícios. Até então, a colocação de isolamento na envolvente era deixada ao critério de cada proprietário, não se encontrando enraizada a ideia de que era necessário isolar os edifícios para assim poupar em energia. O reforço da protecção térmica que pode concretizar-se através do incremento / aumento do isolamento térmico dos elementos da envolvente assume assim uma importância acrescida no que respeita à eficiência energética dos edifícios, tanto para as condições de inverno em que as perdas de energia calorífica para o exterior obrigam a um fornecimento adicional de energia de aquecimento, como para as condições de verão em que os ganhos de calor do exterior obrigam a um fornecimento interno de energia para o arrefecimento. [1]

Note-se que, o uso de isolamento não só limita o fluxo de energia. Várias razões podem ser apontadas para se usar o isolamento, nomeadamente:

- Conservação de energia;
- Protecção pessoal e conforto;
- Manutenção da temperatura a um valor constante;
- Redução das variações de temperatura e flutuações;
- Prevenção da condensação e da corrosão;
- Protecção ao fogo;
- Protecção ao congelamento;

- Redução do ruído e vibração;
- Estética.

2.7.4.2. Factores que Influenciam a escolha do Isolamento Térmico

A escolha de um determinado tipo de isolamento térmico a aplicar na envolvente opaca dos edifícios envolve a conjugação de vários factores, sendo fundamental verificar, se o material que estamos a seleccionar, tem um bom comportamento (características técnicas) para o tipo de aplicação prevista. Por outro lado, a correcta escolha do tipo de material isolante a aplicar, não é por si só suficiente, para que se atinjam todos os benefícios do reforço térmico. A eficiência de um processo de reforço de isolamento térmico é muito condicionada pela localização do isolante no elemento construtivo. Na generalidade dos casos, pode-se afirmar que o isolamento térmico deve ser colocado no interior da caixa de ar de uma parede dupla, sempre junto do pano interior da parede, deixando-se um espaço de ar entre o isolante e o pano exterior. Nas paredes simples o isolante deve ser deixado preferencialmente pelo lado exterior.

O material de isolamento térmico para edifícios deve ser um material impermeável à água mas permeável ao vapor da água, para que o edifício esteja protegido, mas não asfixiado, ou seja, é muito importante que o deixemos respirar. E a razão é simples: no interior de qualquer construção são produzidos vapores que conduzem a uma acumulação de água, se forem impedidos de sair através de uma camada impermeabilizante (a impedir a respectiva difusão para o exterior), o vapor não encontra outra via senão a do retorno para o interior, ou seja, produz condensações. Quando falamos em materiais de isolamento para edifícios, ambientalmente correctos, temos que os considerar segundo a sua eficácia no que respeita à vida útil da construção, bem como, e não menos importante, segundo o ciclo de vida do próprio material. [27]

2.7.4.3. Isolamentos Térmicos usados na Reabilitação de Edifícios

Após a consulta de referências bibliográficas da especialidade, é possível apontar no quadro seguinte, os tipos de isolantes térmicos mais comummente aplicados nas diversas soluções de reabilitação Térmica das paredes exteriores. [18, 19]

Quadro 2.5 – Principais isolantes térmicos utilizados na reabilitação térmica de paredes exteriores. [18,19]

Solução de Reforço Térmico	Isolamento Térmico	Forma
Fachada Ventilada	EPS; MW	Placas
ETICS	EPS; XPS; PUR; MW	Placas
Rebocos Isolantes	EPS; VA; LWA	Grânulos
Painéis Isotérmicos	EPS; XPS; PUR; MW	Placas
Contra Fachada Interior	EPS; XPS; PUR; MW	Placas
Injecção de Isolamento na caixa-de-ar[2]	EPS; VA; LWA;	Grânulos
	PUR	Espuma

[2] Limitado às paredes duplas.

Tal como se pode verificar pela análise do quadro 2.5, existem diversos tipos de isolamento disponíveis no mercado e, por vezes, a selecção do tipo de isolamento mais adequado pode tornar-se um trabalho difícil, tornando-se necessário a conjugação de todos os factores importantes.

2.7.4.4. Certificação e Selecção Exigencial de Isolantes Térmicos

Em consequência da Directiva Produtos Construção (DPC) [28] foram criadas diversas normas europeias (ratificadas em 2001) relativas às diferentes famílias de materiais isolantes térmicos, que precisam as características e classes de desempenho a definir pelos seus fabricantes, sendo o seu conhecimento obrigatório no espaço europeu para integração do material numa obra. Assim, para um determinado material isolante térmico (e para cada espessura), terão que ser declaradas a resistência térmica (R), o coeficiente de condutibilidade térmica (λ) e a reacção ao fogo. Com cariz opcional poderão ser discriminadas outras características técnicas como a tolerância dimensional, a compressibilidade sobre carga, a estabilidade dimensional, a absorção de água e a permeabilidade ao vapor de água, ou ainda outras com interesse para uma utilização específica (ex. coeficiente de absorção sonora).

A comprovação da conformidade pode ser emitida pelo fabricante (exceptuado em situações em que o risco o justifique, tal como a reacção ao fogo para isolantes térmicos a aplicar em sistemas de isolamento térmico pelo exterior), o que implica que a marcação CE poderá não garantir as propriedades de um produto.

Em Portugal foi proposta em 1997 por Pinto [29] uma adaptação da certificação ACERMI ("Association pour la Certification des Matériaux Isolants"), referente à certificação e selecção exigencial de isolantes térmicos (quadro 2.6).

Quadro 2.6 – Exigências de desempenho de materiais isolantes térmicos referentes à certificação ACERMI. [29]

Exigência de Desempenho	Símbolo
Resistência Térmica	R
Compressibilidade	I
Estabilidade dimensional	S
Comportamento à água	O
Comportamento mecânico	L
Permeabilidade ao vapor de água	E

No Quadro 2.7 são definidos os níveis mínimos (níveis de 1 a 5 progressivamente mais exigentes) de aptidão dos materiais isolantes térmicos a aplicar em sistemas de isolamento térmico pelo interior. Por sua vez na Quadro 2.8, apresentam-se os valores recomendados no caso dos sistemas de isolamento térmico pelo exterior. [29]

Quadro 2.7 – Níveis mínimos de aptidão de materiais isolantes térmicos em sistemas de isolamento térmico pelo interior (paredes exteriores) [29]

Solução	Exigência de Desempenho				
	I	S	O	L	E
Complexo pré-fabricado ou sistema executado em obra	1	2	2	3	2 OU 3[3]

Quadro 2.8 – Níveis mínimos de aptidão de materiais isolantes térmicos em sistemas de isolamento térmico pelo exterior (paredes exteriores) [29]

Solução	Exigência de Desempenho				
	I	S	O	L	E
Revestimento delgado sobre poliestireno expandido	2	4	3	4	2
Revestimento independente descontínuo	1	1	2	3	1

Refira-se a propósito que a qualidade dos sistemas do tipo directo pode ser certificada por organismos acreditados para o efeito, dos quais em França o CSTB ("Centre Scientifique et Technique du Bâtiment") é um exemplo através da certificação CSTBat.

2.7.5. Importância do Potencial Sobreaquecimento Derivado do Aumento do Nível de Isolamento Térmico

Estando este estudo directamente relacionado com o reforço térmico da envolvente exterior, torna-se necessário alertar que, a tendência para a prescrição de restrições cada vez mais rigorosas para o isolamento da envolvente nos edifícios nas regulamentações europeias, provoca um aumento da espessura do isolamento que é benéfica numa situação típica de Inverno (quanto menor for o coeficiente de transmissão térmica, menores serão as perdas pela envolvente, e consequentemente, menor o gasto com necessidades energéticas de aquecimento), mas que no Verão, no caso de uma envolvente fortemente isolada, pode dificultar a dissipação do calor para o exterior, causando um aumento da temperatura interior acima do limite de conforto.

Neste estudo, o facto de se estar a aumentar o isolamento da envolvente opaca para níveis elevados poderia conduzir então a um potencial sobreaquecimento no Verão.

Segundo o estudo efectuado por Chvatal [30], no caso dos edifícios habitacionais, torna-se necessário controlar os ganhos solares pois quando estes são muito altos, o aumento do isolamento da envolvente pode resultar no aumento do desconforto no Verão, tal como se pode observar pelo exemplo apresentado na Figura 2.19.

[3] Exigência para zonas I3 do RCCTE [11] e de forte higrometria.

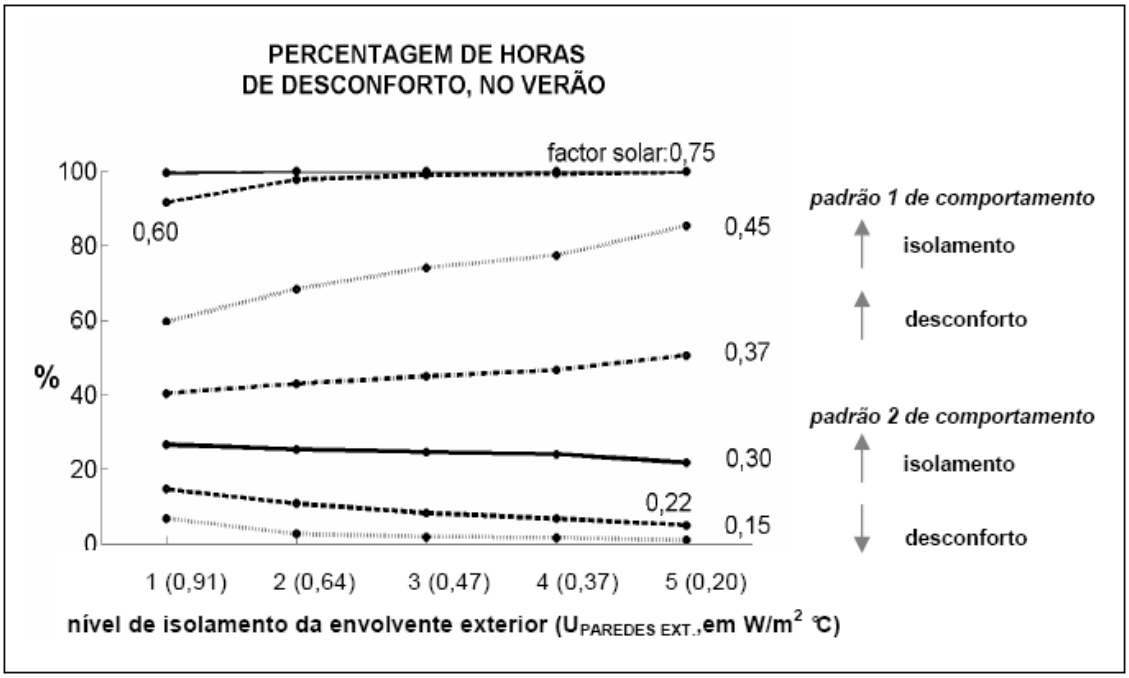


Fig. 2.19 – Percentagem de horas com desconforto, no Verão, para uma habitação situada em Évora, com ventilação mínima, em função de variados níveis de isolamento da envolvente e factores solares dos envidraçados. [30]

No caso de existirem condições adequadas para a ventilação natural o risco de sobreaquecimento é bastante reduzido, facto que se presumiu na análise das fracções que constituem a base de dados.

O conforto nos edifícios habitacionais pode ser obtido de forma natural desde que as taxas de ganhos internos não sejam muito elevadas, pois uma envolvente altamente isolada pode trazer economia de energia para o Inverno, sem elevação do sobreaquecimento no Verão, caso haja adequado controlo dos ganhos solares nesse período.

3
BASE DE DADOS

3.1. CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA

O estudo de sensibilidade deste trabalho baseia-se numa amostra constituída por cinco moradias unifamiliares construídas entre a década de 1940 e 1990, seleccionadas de modo a representarem a evolução das tecnologias construtivas em Portugal, nomeadamente no que respeita a paredes exteriores.

A caracterização de cada uma das habitações unifamiliares que compõem a amostra implicou, em primeiro lugar, o requerimento a todos os proprietários de toda a documentação de projecto existente. Tal acção revelou a dificuldade anteriormente referida neste trabalho, no que respeita à aplicação da metodologia de desempenho energético a edifícios existentes, pela escassez de documentação de projecto disponível. A ajuda dos proprietários, no que respeita à caracterização construtiva, foi assim fundamental para a aplicação da referida metodologia.

Não tendo sido possível ter acesso a todas as peças desenhadas dos edifícios, e de modo a facilitar o processo de aplicação da metodologia apresentada, foram realizados desenhos esquemáticos (plantas) para cada um deles (ver Anexo A.3). O interesse em obter estes desenhos está sobretudo relacionado com a delimitação das envolventes (exterior; interior e em contacto com o terreno), bem como os diferentes tipos de espaço (útil e não útil) e a orientação do edifício. No referido Anexo A.3 é ainda possível consultar uma breve descrição dos edifícios que compõem a amostra em estudo, no que respeita aos itens localização, altitude, ano de construção, tipologia, área útil, pé direito médio, etc., recomendando-se a sua consulta no sentido de se conhecer melhor os edifícios alvo de estudo.

Neste capítulo efectua-se uma caracterização dos edifícios no que diz respeito aos parâmetros que se consideraram mais importantes para a aplicação da metodologia simplificada de avaliação do desempenho energético de edifícios existentes, nomeadamente:

- Identificação e caracterização das soluções construtivas:
  - Envolvente exterior
  - Envolvente interior;
- Identificação e caracterização do sistema de ventilação;
- Identificação e caracterização dos vãos envidraçados;
- Identificação e caracterização dos sistemas de climatização e preparação de AQS
- Caracterização classes de inércia

3.1.1. IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS

3.1.1.1. Envolvente Exterior

Quadro 3.1 – Identificação e caracterização das soluções construtivas de paredes exteriores.

Edifício	Solução Construtiva de Parede Exterior	U (W/m2.ºC)
Edifício 1	Paredes simples de alvenaria de tijolo (20 cm) sem isolamento térmico.	1,39
Edifício 2	Paredes simples de alvenaria de pedra (30 cm) sem isolamento térmico.	2,18
Edifício 3	Paredes duplas de alvenaria de tijolo (11cm + 11cm) sem isolamento térmico na caixa-de-ar.	0,96
Edifício 4	Paredes duplas de alvenaria de tijolo (15cm + 11cm) sem isolamento térmico na caixa-de-ar.	1,09
Edifício 5	Paredes duplas de alvenaria de tijolo e pedra (28cm + 7cm) sem isolamento térmico na caixa-de-ar.	1,53

Quadro 3.2 – Identificação e caracterização das soluções construtivas de coberturas exteriores

Edifício	Solução Construtiva de Cobertura Exterior	U ($W/m^2.ºC$)
Edifício 1	A cobertura é inclinada com um desvão não útil. A esteira é constituída por uma laje aligeirada com vigotas pré esforçadas e blocos cerâmicos. Não possui isolamento térmico no desvão.	1,94
Edifício 2	A cobertura é inclinada com um desvão útil. É constituída por asnas de madeira com ripas onde apoia telha. Não possui isolamento térmico no desvão.	2,73
Edifício 3	A cobertura é inclinada com um desvão não útil. A esteira é constituída por uma laje aligeirada com vigotas pré esforçadas e blocos cerâmicos. Não possui isolamento térmico no desvão.	1,94
Edifício 4	A cobertura é inclinada com um desvão não útil. A esteira é constituída por uma laje aligeirada com vigotas pré esforçadas e blocos cerâmicos. Não possui isolamento térmico no desvão.	1,94
Edifício 5	A cobertura é inclinada com um desvão não útil. A esteira é constituída por uma laje aligeirada com vigotas pré esforçadas e blocos cerâmicos. Não possui isolamento térmico no desvão.	1,94

3.1.1.2. Envolvente Interior

Quadro 3.3 – Identificação e caracterização das soluções construtivas de Paredes interiores.

Edifício	Solução Construtiva de Paredes interiores	U ($W/m^2.ºC$)
Edifício 1	Paredes duplas de alvenaria de tijolo (7 cm) sem isolamento térmico.	1,78
Edifício 2	-	-
Edifício 3	-	-
Edifício 4	Paredes duplas de alvenaria de tijolo (11cm + 11cm) sem isolamento térmico na caixa-de-ar.	0,84
Edifício 5	-	-

Quadro 3.4 – Identificação e caracterização das soluções construtivas de pavimentos interiores.

Edifício	Solução Construtiva de Pavimentos interiores	U (W/m2.ºC)
Edifício 1	Pavimento aligeirado cerâmico sem isolamento térmico	1,49
Edifício 2	Pavimento em soalho apoiado em vigas de madeira cruzadas sem qualquer tipo de revestimento	1,55
Edifício 3	Pavimento aligeirado cerâmico sem isolamento térmico	1,09
Edifício 4	Pavimento aligeirado cerâmico sem isolamento térmico	1,49
Edifício 5	Pavimento aligeirado cerâmico sem isolamento térmico	1,49

3.1.2. IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE VENTILAÇÃO

Quadro 3.5 – Identificação do sistema de ventilação.

Edifício	Ventilação	Cumpre NP 1037 – 1
Edifício 1	Natural	Não
Edifício 2	Natural	Não
Edifício 3	Natural	Não
Edifício 4	Natural	Não
Edifício 5	Natural	Não

3.1.3. IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS VÃOS ENVIDRAÇADOS

Quadro 3.6 – Caracterização dos vãos envidraçados

Edifício	Envidraçados					
	Vidro			U (W/m^2.ºC)		
	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
Edifício 1	Simples incolor $g^{\perp}$ = 0,85	Simples incolor $g^{\perp}$ = 0,85	-	4,10	6	
Edifício 2	Duplo incolor $g^{\perp}$ = 0,75	Simples incolor $g^{\perp}$ = 0,85	-	2,60	5,10	
Edifício 3	Simples incolor $g^{\perp}$ = 0,85	Simples incolor $g^{\perp}$ = 0,85	Simples incolor $g^{\perp}$ = 0,85	4,10	6	6,20
Edifício 4	Simples incolor $g^{\perp}$ = 0,85	-	-	3,40	-	-
Edifício 5	Simples incolor $g^{\perp}$ = 0,85	-	-	3,40	-	-

3.1.4. IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO E PREPARAÇÃO DE AQS

Quadro 3.7 – Identificação e caracterização dos sistemas de climatização e preparação de AQS.

Edifício	Sistemas de Climatização e Preparação de AQS					
	Sistema de Aquecimento		Sistema de Arrefecimento		Sistema de Preparação de AQS	
	Equipamento	η*i*	Equipamento	η*v*	Equipamento	ηa
Edifício 1	Resistência Eléctrica*	1	Máquina Frigorífica*(COP)	3	Termoacumulador eléctrico	0,70
Edifício 2	Resistência Eléctrica*	1	Máquina Frigorífica*(COP)	3	Termoacumulador eléctrico	0,70
Edifício 3	Caldeira mural a combustível Líquido	0,72	Máquina Frigorífica*(COP)	3	Caldeira mural a combustível Líquido	0,72
Edifício 4	Resistência Eléctrica*	1	Máquina Frigorífica*(COP)	3	Termoacumulador eléctrico	0,70
Edifício 5	Resistência Eléctrica*	1	Máquina Frigorífica*(COP)	3	Termoacumulador eléctrico	0,70

(*) – Sistemas considerados por defeito, de acordo com o indicado pelo Decreto-Lei nº 80/2006 [11].

3.1.5. IDENTIFICAÇÃO DAS CLASSES DE INÉRCIA

Quadro 3.8 – Identificação das classes de inércia.

Edifício	Inércia Térmica
Edifício 1	Fraca
Edifício 2	Fraca
Edifício 3	Média
Edifício 4	Forte
Edifício 5	Forte

3.2. OUTRAS CONSIDERAÇÕES A DESTACAR

Refira-se que a aplicação do método simplificado de avaliação do desempenho energético dos edifícios da amostra, implicou a adopção das simplificações propostas pela nota técnica, nomeadamente no que respeita ao Levantamento dimensional e à quantificação das perdas de calor por condução através da envolvente, as quais se apresentam seguidamente.

3.2.1. ÁREAS

3.2.1.1. Área útil de pavimento

- Foram Ignoradas as áreas de pavimento associadas a reentrâncias e saliências com profundidade inferior a 1m;
- Foram Ignoradas as áreas de pavimento associadas a recuados e avançados com profundidade inferior a 1 m;

3.2.1.2. Área de parede da envolvente exterior

- Contabilizou-se, na área de parede exterior, as paredes em contacto com o solo;
- A adopção desta regra de simplificação pressupõe que seja assumida a respectiva perda linear igual a 0.

3.2.1.3. Área de cobertura (envolvente exterior e interior)

- Foram ignoradas asas áreas de cobertura associada a reentrâncias e saliências com profundidade inferior a 1 m;
- Foram ignorar as áreas de cobertura associadas a recuados e avançados com profundidade inferior a 1m;

3.2.1.4. Área de portas

- Foram ignoradas as áreas de portas (interiores e exteriores) cuja área envidraçada seja inferior a 25%, considerando-as incluídas na restante envolvente vertical exterior;
- As portas (interiores e exteriores) cuja área envidraçada seja superior a 25% foram tratadas como vãos envidraçados.

3.2.2. PERDAS DE CALOR POR CONDUÇÃO ATRAVÉS DA ENVOLVENTE

3.2.2.1. Coeficiente de Redução de Perdas

- Foi atribuído um valor convencional de 0,75 a todos os espaços não aquecidos.

3.2.2.2. Pontes Térmicas e Elementos em Contacto com o Solo

- *Pontes térmicas planas:* Foi ignorada a determinação das áreas das pontes térmicas planas. Nos casos em que a solução construtiva não garanta a ausência de pontes térmicas planas (isolamento térmico contínuo pelo exterior; paredes exteriores em alvenaria de pedra;…), majorou-se o valor de U da zona corrente em 35%;
- *Pavimentos em contacto com o solo:* Nas situações em que a cota do pavimento for inferior à do terreno exterior, considera-se Ψ= 1,5 [W/m.°C]. Nestas situações ignora-se a parcela de perda linear correspondente à parede em contacto com o solo, sendo que se deve quantificar a perda como perda de calor superficial, considerando o U da parede adjacente. Caso contrário, Ψ= 2,5 [W/m.°C];
- *Paredes em contacto com o solo:* Caso tenha sido contabilizada, na sua totalidade, a área de parede em contacto com o solo na área de parede de envolvente exterior, considerar Ψ=0 [W/m.°C];
- *Pontes térmicas lineares:* Apenas se considerou o desenvolvimento linear total das ligações de fachadas com pavimentos, coberturas ou varandas, utilizando-se um valor convencional de Ψ= 0,75 [W/m.°C]. Despreza-se assim as ligações de fachadas com caixa de estore, padieira, ombreira ou peitoril e as ligações entre duas paredes verticais.

4
ESTUDO DE SENSIBILIDADE

4.1. OBJECTIVO

Como se estabeleceu nos capítulos anteriores, a utilização de uma metodologia simplificada para o cálculo do desempenho energético de edifícios existentes, é indispensável e deve ter por objectivo a redução do tempo de peritagem através da diminuição dos dados introduzidos no método de cálculo normalizado, descrito no Decreto-Lei n.º 80/2006 [11].

Numa primeira fase deste estudo de sensibilidade, aplicou-se o método simplificado a cada um dos edifícios da amostra em estudo, de modo a classificar o desempenho energético dos mesmos. Seguidamente, e no enquadramento das soluções de reabilitação energética das paredes exteriores apresentadas na secção 2.7.3, efectua-se um estudo de viabilidade económica das referidas intervenções. Termina-se este estudo de sensibilidade, com a aplicação das medidas de melhoria de desempenho energético de paredes exteriores ao método simplificado, analisando-se eventuais mudanças nas necessidades energéticas e consequentemente na classificação energética dos edifícios em estudo.

A presente análise de sensibilidade é realizada com base numa amostra de cinco moradias unifamiliares, brevemente caracterizadas no capítulo anterior deste trabalho.

4.2. AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS ATRAVÉS DO MÉTODO SIMPLIFICADO

O estudo de sensibilidade deste trabalho inicia-se com a aplicação da metodologia simplificada de desempenho energético aos edifícios da amostra. O objectivo de tal aplicação passa por avaliar a qualidade térmica dos mesmos, bem como os consumos de energia reais ou aferidos para padrões de utilização típicos, culminando este processo com a atribuição de uma classe energética a cada um dos edifícios em estudo.

A classe energética a atribuir aos edifícios, depende do valor da relação entre as necessidades anuais globais de energia primária, Ntc, e o valor limite destas, Nt. Por sua vez, a obtenção destes valores, implica o conhecimento das necessidades nominais de aquecimento, Nic, das necessidades nominais de arrefecimento, Nvc, das necessidades de energia para a preparação das Águas Quentes Sanitárias (AQS) e os respectivos valores limites Ni, Nv e Na. Deste modo, procede-se seguidamente à caracterização dos edifícios da amostra, no que respeita aos parâmetros acima mencionados.

4.2.1. Análise das Necessidades de Energia Útil para Aquecimento (Nic), Arrefecimento (Nvc) e Preparação de Águas Quentes Sanitárias (Nac)

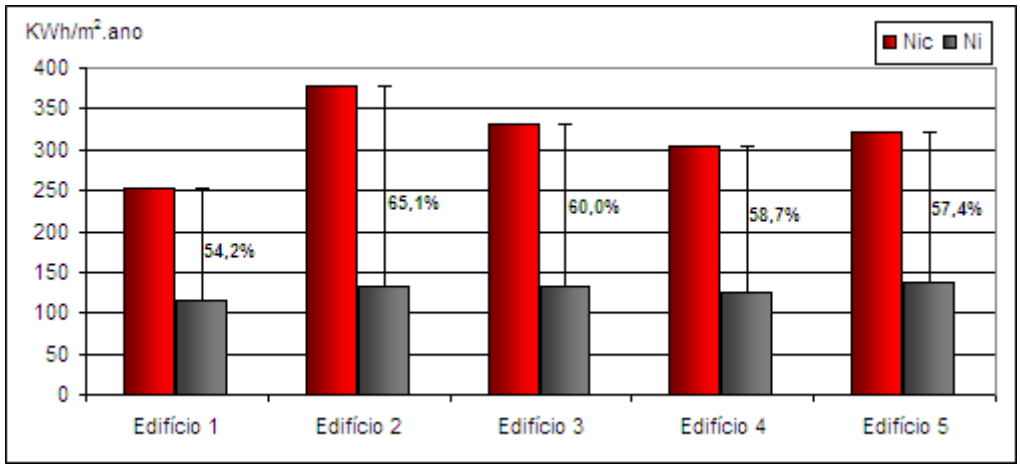


Fig. 4.1 - Caracterização das Nic dos edifícios da amostra.

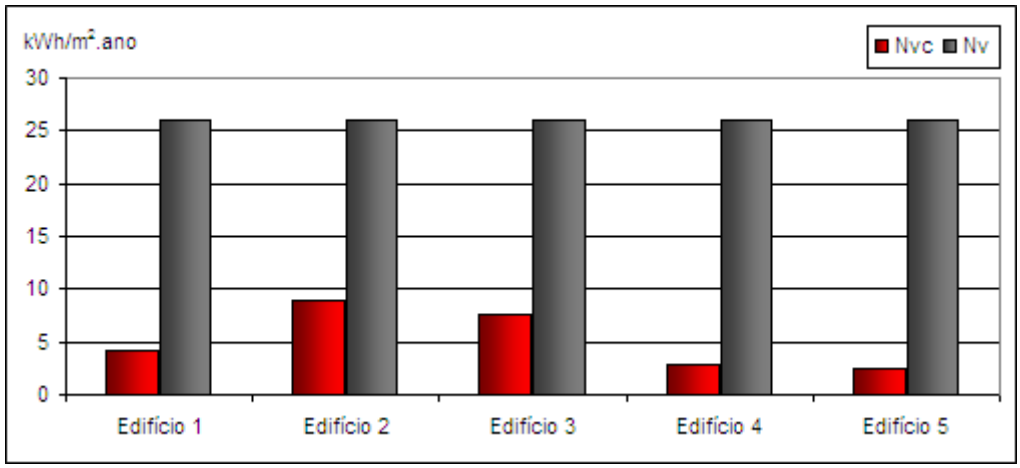


Fig. 4.2 - Caracterização das Nvc dos edifícios da amostra.

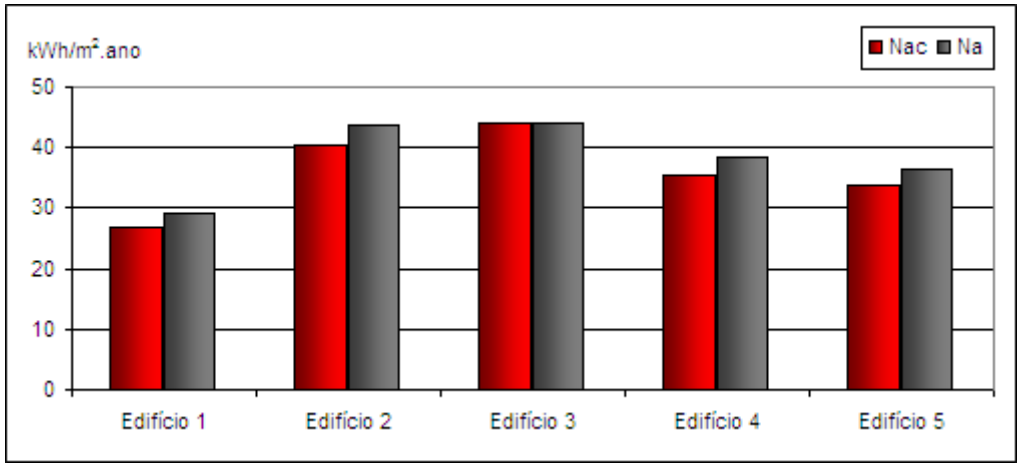


Fig. 4.3 - Caracterização das Nac dos edifícios da amostra.

Os requisitos apresentados pelo RCCTE [11], nomeadamente no que respeita aos artigos nº 5,6 e 7, impõem a limitação das necessidades de energia útil para aquecimento, arrefecimento e preparação das águas quentes sanitárias, para os novos edifícios ou para edifícios sujeitos a grandes obras de remodelação ou alteração, cujo custo seja superior a 25% do valor do edifício. Para os edifícios existentes, o RCCTE não impõe o cumprimento de tais limites, muito embora o respeito dos mesmos constituirá um forte indício para o seu eficiente desempenho energético. Neste sentido, justifica-se a análise das referidas necessidades de energia útil, por comparação com os valore limites das mesmas.

Pela observação das figuras 4.1, 4.2 e 4.3, verifica-se que apenas são ultrapassados os limites das necessidades de energia útil para aquecimento, Nic, sendo cumpridos os restantes limites impostos pelo RCCTE, no que respeita às necessidades de energia útil para arrefecimento, Nvc, e para a preparação das águas quentes sanitárias, Nac. Note-se que, para qualquer edifício da amostra, as Nic são superiores a 250 [kWh/m^2 ano], o que significa que em termos percentuais é necessário a redução das Nic entre 54% a 65% (mediante o edifício em estudo), de modo a que se cumpram os valores limites estabelecidos pelo regulamento (figura 4.1).

Os elevados valores praticados pelas Nic, estão directamente relacionados com as elevadas perdas térmicas, nomeadamente pela envolvente exterior, tal como analisaremos de seguida. No entanto, refira-se desde já que as elevadas perdas térmicas se devem principalmente à insuficiência de isolamento térmico na referida envolvente, patologia comum nos edifícios mais antigos.

No que respeita às Nvc, verifica-se que os valores praticados pelos edifícios se situam muito abaixo dos limites impostos para as mesmas, Nv, o que nos permite concluir que os edifícios em estudo não revelam problemas de sobreaquecimento (figura 4.2). O mesmo não acontece na análise efectuada às Nac, verificando-se uma grande proximidade aos respectivos limites, Na, muito embora não os cheguem a ultrapassar (figura 4.3). Este facto alerta-nos não só para o peso que as AQS podem representar nas necessidades energéticas de um edifício habitacional, como também para a importância da utilização de sistemas eficientes na preparação das mesmas.

4.2.2. Análise das Perdas Térmicas

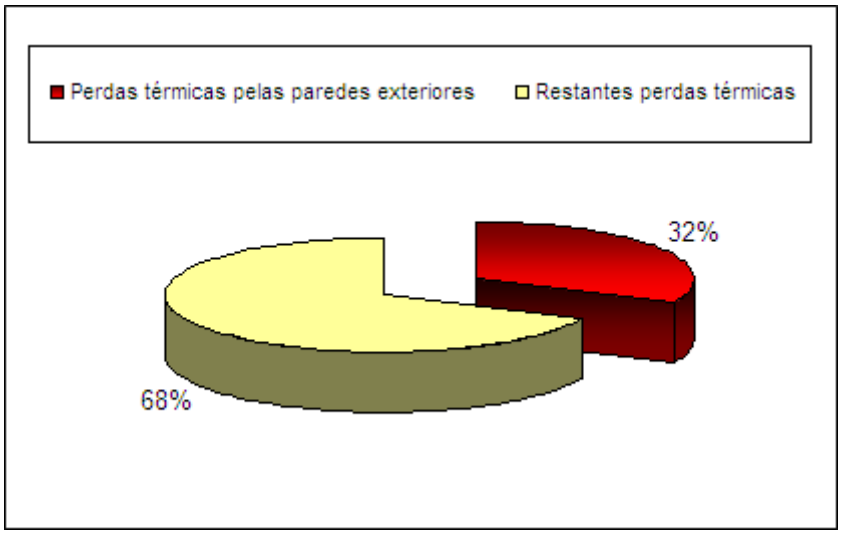


Fig. 4.4 – Análise das perdas térmicas pela envolvente exterior.

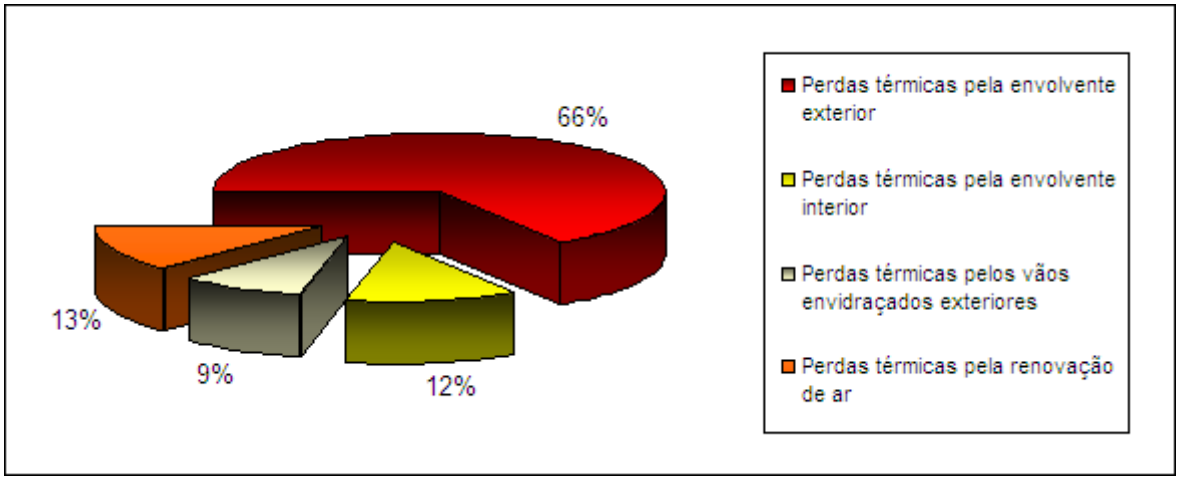


Fig. 4.5 – Análise das perdas térmicas totais.

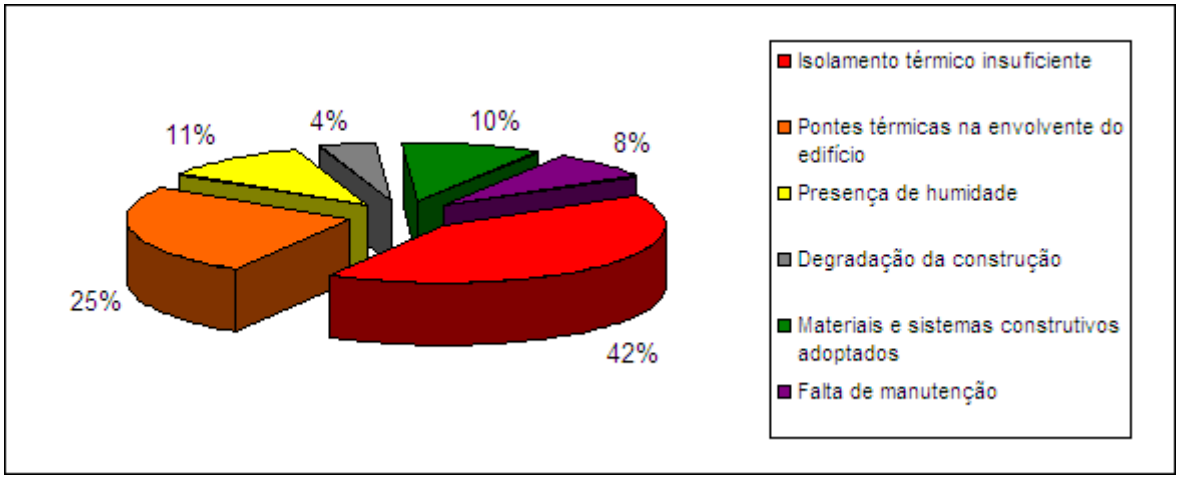


Fig. 4.6 - Caracterização das patologias identificadas nos edifícios da amostra.

Ao se analisar a amostra no seu todo, verifica-se que a envolvente exterior é responsável por mais de metade da percentagem total de perdas térmicas, 66%, logo seguida pelas perdas associadas à renovação de ar, envolvente interior e vãos envidraçados exteriores, com 13%, 12% e 9%, respectivamente (figura 4.5). Entre os diversos factores que podem afectar o desempenho energético da envolvente exterior dos edifícios, como sejam a degradação da construção, materiais e sistemas, falta de manutenção, entre outros, podem referir-se principalmente os seguintes (figura 4.6):

- Isolamento térmico insuficiente nos elementos opacos da envolvente;
- Existência de pontes térmicas na envolvente do edifício;
- Presença de humidade (afectando o desempenho energético e a durabilidade).

Relativamente à caracterização das perdas térmicas pela envolvente exterior, verifica-se que as paredes exteriores dos edifícios representam cerca de 30 % das perdas térmicas, sendo que os restantes 70 % ficam reservados às perdas térmicas pelas coberturas, pontes térmicas lineares e perdas por pavimentos em contacto com o solo (figura 4.4). As paredes exteriores contribuem assim de forma significativa para as perdas da envolvente exterior, pelo que é importante apostar na sua reabilitação energética (tal como em toda a envolvente exterior), que passa sobretudo nos edifícios mais antigos (objecto de

estudo neste trabalho), pelo reforço térmico das mesmas. Este trabalho segue nesse sentido, ou seja, seguidamente serão sugeridas propostas de melhoria de desempenho energético das paredes exteriores para os edifícios em estudo, sendo avaliada a viabilidade económica de cada uma das medidas, no âmbito do processo de certificação energética de edifícios existentes.

4.2.3. Análise das Necessidades Nominais Globais de Energia Primária (Ntc)

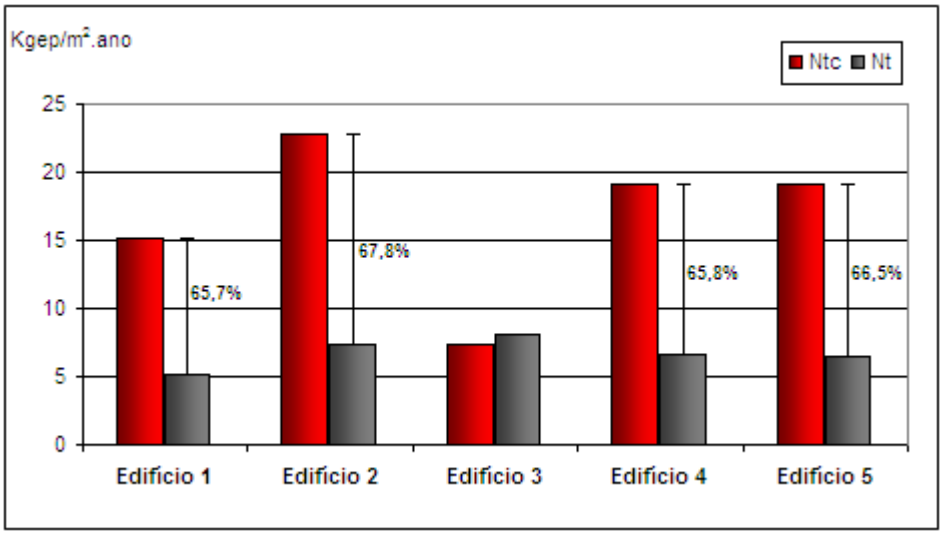


Fig. 4.7 - Caracterização das Ntc dos edifícios da amostra.

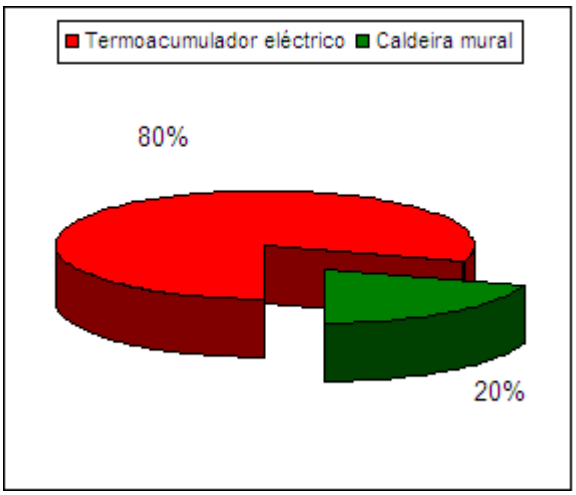


Fig. 4.8 – Caracterização geral dos sistemas de preparação das AQS dos edifícios da amostra.

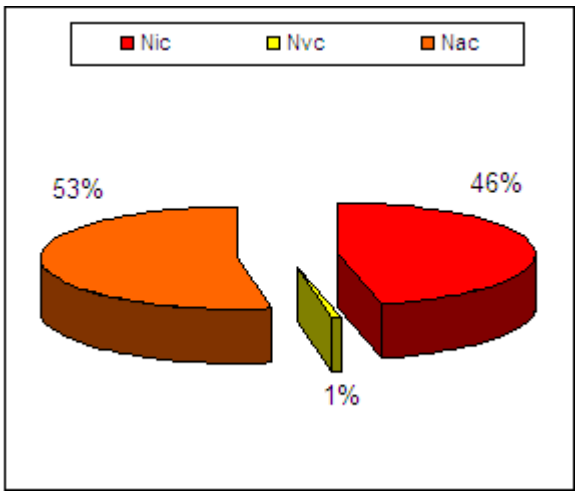


Fig. 4.9 – A influência das Nic, Nvc e Nac no cálculo das Ntc.

Para os novos edifícios, o RCCTE [11], impõe requisitos relativamente ao cumprimento dos valores limites para as necessidades nominais globais de energia primária (Ntc ≤ Nt). Neste sentido, os novos edifícios obterão uma classificação energética situada entre as classes A^+ e B^-. Para os edifícios existentes não é exigido o cumprimento dos limites das referidas necessidades, o que implica que os mesmos possam ser classificados num intervalo de classes que vai desde A^+ até G. No entanto, fica

desde já implícita a importância do cumprimento dos limites das necessidades nominais globais de energia primária, com vista à obtenção de uma melhor classificação energética.

Pelos resultados apresentados, verifica-se que na generalidade dos edifícios as Ntc são muito superiores aos limites estabelecidos para as mesmas, Nt, com a excepção do edifício 3 (figura 4.7). Neste sentido, a generalidade dos edifícios caracterizam-se por uma baixa eficiência energética, sendo classificados como tal. Note-se que é necessário reduzir entre 65% a 70% as Ntc, de modo a que as mesmas atinjam os valores máximos permitidos pelo RCCTE [11].

De facto, nas últimas décadas, o sector residencial Português fica marcado pelas crescentes necessidades de conforto térmico (principalmente devido ao aquecimento do ambiente e preparação das AQS), que surgem muitas vezes associadas a aparelhos consumidores de energia. A situação é ainda mais grave dada a multiplicidade de pequenas e grandes ineficiências resultantes quer dos próprios equipamentos consumidores utilizados, quer dos procedimentos e hábitos de utilização desses equipamentos. Obviamente que, os edifícios mais antigos não estavam preparados para responder de forma eficiente a este nível de conforto mais elevado, pelo que para além do acréscimo do investimento efectuado, as famílias terão de contar com um maior consumo de energia.

Através da figura 4.9, verifica-se que as Nac assumem uma importância muito significativa no cálculo das Ntc. De facto, e apesar das elevadas percentagens de perdas térmicas verificadas nos edifícios em estudo, as Nic são menos influentes do que as Nac no cálculo das Ntc. Tal facto está directamente relacionado com o factor de ponderação atribuído às referidas necessidades de energia útil, na fórmula de cálculo das Ntc. A importância acrescida atribuída às Nac por comparação com as Nic e Nvc, é justificada pela maior regularidade de utilização dos equipamentos de preparação das águas quentes sanitárias, ao longo dos meses do ano, ao contrário dos equipamentos de aquecimento e arrefecimento do ambiente, cuja utilização não é tão regular quanto deveria ser, limitando-se a meses específicos do ano (períodos mais frios e mais quentes).

Neste sentido, a redução acentuada dos consumos energéticos, depende maioritariamente do investimento em sistemas eficientes de preparação de AQS, devendo promover-se os sistemas de energia renovável. Repare-se que a maioria das habitações em estudo utiliza um termoacumulador eléctrico na preparação das AQS (figura 4.8), que não sendo um equipamento energeticamente muito eficiente, contribuirá para o aumento das Nac e consequentemente das Ntc. Note-se também que o edifício 3, como sendo o único em que as Ntc são inferiores aos limites impostos para as mesmas, Nt, tem a particularidade de utilizar uma caldeira mural como equipamento de preparação das AQS, o qual em termos energéticos é bastante mais eficiente que o termoacumulador eléctrico, contribuindo de forma decisiva para o alto desempenho energético da referida habitação.

Uma vez que um dos objectivos deste trabalho, consiste em analisar a influência da melhoria do desempenho energético das paredes exteriores sobre a eficiência energética dos edifícios, é importante realçar que o edifício 3, mesmo não possuindo isolamento térmico na envolvente, consegue obter valores de Ntc na ordem do que é actualmente exigido aos novos edifícios. Deste modo, nesta primeira abordagem ao desempenho energético dos edifícios, é desde já perceptível que o processo de certificação energética valoriza todo o tipo de sistemas cuja fonte energética não seja electricidade, em detrimento do conforto térmico habitacional. Deste modo, prevê-se que as intervenções que promovam a qualidade construtiva da envolvente dos edifícios, terão uma influência muito pouco significativa na melhoria da classificação energética.

4.2.4. CLASSIFICAÇÃO ENERGÉTICA DOS EDIFÍCIOS

Quadro 4.1 – Apresentação das necessidades energéticas e consequente classificação energética dos edifícios.

Necessidades Energéticas	Edifício 1	Edifício 2	Edifício 3	Edifício 4	Edifício 5
Nic	251,58	377,58	330,99	304,75	321,17
Ni	115,11	131,82	132,32	126	136,81
Nvc	4,18	8,98	7,51	2,88	2,51
Nv	26	26	26	26	26
Nac	26,82	40,36	44,03	35,59	33,72
Na	29,05	43,73	44,06	38,56	36,53
Ntc	15,11	22,74	7,42	19,19	19,12
Nt	5,19	7,32	8,05	6,57	6,4
Nic/Ni	2,19	2,86	2,5	2,42	2,35
Nvc/Nv	0,16	0,35	0,29	0,11	0,1
Nac/Na	0,92	0,92	1	0,92	0,92
Ntc/Nt	2,91	3,11	0,92	2,92	2,99
CE	F	G	B⁻	F	F

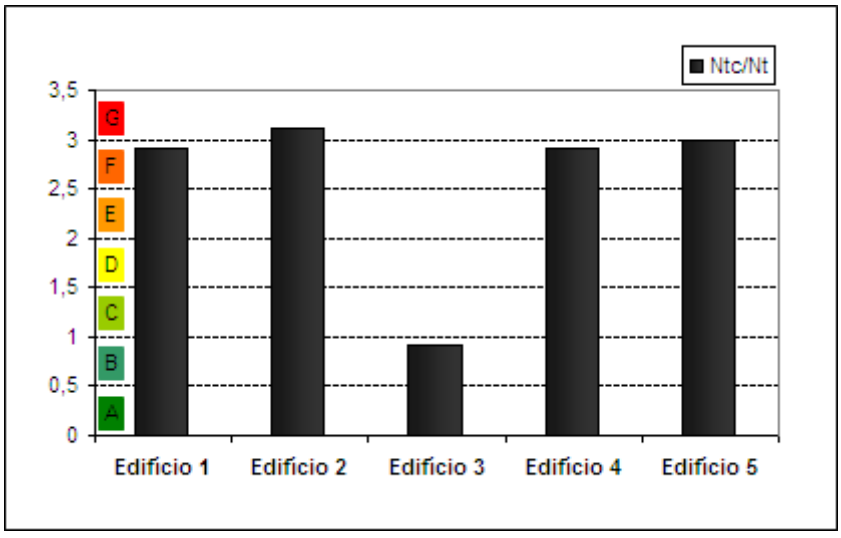


Fig. 4.10 - Classificação energética dos edifícios na sua situação original.

Pela interpretação dos resultados apresentados através do quadro 4.1, conclui-se que as elevadas Ntc praticadas pela generalidade dos edifícios em estudo, muito acima dos limites estabelecidos para as mesmas, Nt, contribuem para o baixo desempenho energético dos edifícios, pelo que são maioritariamente classificados nas duas últimas classes de desempenho energético, F ou G (figura

4.10). O edifício 3 é a única excepção, com um desempenho energético elevado, obtendo uma classificação energética B^-, dentro do que é actualmente exigido pela regulamentação em vigor aos novos edifícios.

Note-se que os edifícios em estudo são anteriores à implementação do primeiro RCCTE, pelo que as perdas pela envolvente devido ao insuficiente isolamento térmico da mesma, agravam de forma muito significativa as necessidades de aquecimento do edifício. Se a este facto juntarmos a reduzida eficiência energética dos sistemas de preparação das AQS, que na generalidade dos casos fica a cargo de um termoacumulador eléctrico, as necessidades de energia primária disparam (quadro 4.1).

Fica assim demonstrada a necessidade da aposta na reabilitação energética do parque edificado mais antigo, tornando-os mais independentes, reduzindo a factura energética e apostando simultaneamente em melhores condições de conforto.

A eficiente reabilitação implica um diagnóstico aprofundado do estado de conservação do edifício em causa. Interessa avaliar as anomalias existentes, identificar as suas causas e definir todos os aspectos em que é necessário intervir.

Para uma caracterização energética dos edifícios mais completa, sugere-se a consulta do Anexo A.4, no qual se apresentam os quadros resumo resultantes da aplicação do método simplificado aos edifícios na sua situação original

4.3. ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÓMICA DAS MEDIDAS DE MELHORIA DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DAS PAREDES EXTERIORES

4.3.1 OBJECTIVOS

A certificação energética de edifícios existentes destina-se a proporcionar ao proprietário informações sobre medidas de melhoria de desempenho energético, com viabilidade económica, que pode implementar para reduzir as suas despesas energéticas, e simultaneamente, melhorar a eficiência energética do seu edifício. Sendo o parque edificado português, principalmente no que respeita aos edifícios mais antigos, caracterizado na sua generalidade pelo baixo nível de qualidade construtiva e naturalmente pela reduzida eficiência energética, as medidas de melhoria de desempenho energético são vistas como um meio eficaz para a aposta na reabilitação energética das habitações.

Pelos resultados apresentados na avaliação energética dos edifícios da amostra, verificou-se que a generalidade dos edifícios em estudo apresenta uma baixa eficiência energética. Deste modo, neste trabalho, pretende-se verificar até que ponto as intervenções de melhoria de desempenho energético das paredes exteriores, conseguirão reduzir as necessidades energéticas dos edifícios, melhorando a sua eficiência energética. Contudo, e uma vez que as intervenções na envolvente dos edifícios envolvem investimentos bastante significativos, torna-se necessário avaliar a viabilidade económica desse mesmo investimento. Repare-se que este tipo de análise poderá ser decisiva na implementação das medidas de melhoria propostas no certificado energético, visto que se informa o proprietário acerca do retorno do investimento e da poupança conseguida com o mesmo.

O período de poupança inicia-se a partir do momento em que os custos do investimento inicial de uma solução termicamente superior sejam inferiores à poupança acumulada, que a diferença de consumos energéticos entre as diferentes soluções construtivas proporciona.

Note-se ainda que, a resistência térmica das soluções de reforço térmico das paredes exteriores, são especialmente condicionadas pela espessura dos isolantes térmicos que fazem parte da sua composição. Deste modo, é importante avaliar para cada uma das soluções, a espessura de isolante

térmico mais vantajosa do ponto de vista económico, sendo para tal necessário conhecer o custo global associado, que resulta da composição dos custos iniciais (cuja composição se verá mais adiante) com os custos de exploração (consumo de energia). É de realçar, que o custo crescente da energia pode fazer com que o investimento inicial seja mais rapidamente amortizado, e numa perspectiva de custo global, mais económico.

4.3.2. ANÁLISE DO CUSTO GLOBAL

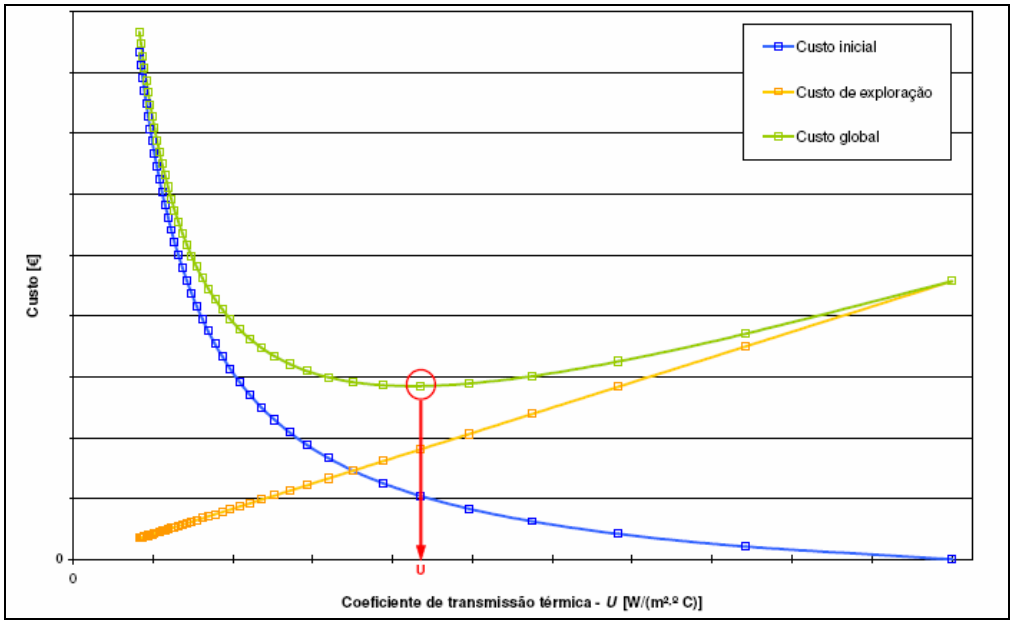


Fig. 4.11 - Variação do custo global associado ao isolamento térmico de um elemento construtivo em função do respectivo coeficiente de transmissão térmica. [8]

"A redução do coeficiente de transmissão térmica, resultante do aumento da espessura de isolamento térmico, corresponde a um crescente investimento inicial e por seu lado a menores consumos energéticos durante a exploração da habitação. A partir do valor mínimo da curva de custos globais é possível identificar o valor do coeficiente de transmissão térmico que traduz a espessura de isolamento térmico economicamente mais vantajosa." [8]

Nos próximos pontos, é apresentada a definição dos diferentes custos associados ao incremento de isolamento da envolvente opaca, assim como as diferentes considerações adoptadas.

4.3.2.1. Custo Global

Tal como foi referido no texto anterior, o custo global resulta da composição dos custos iniciais (aplicação da solução de reabilitação) com os custos de manutenção da solução adoptada e de exploração (consumo de energia). No presente documento optou-se por excluir os custos de manutenção para não aumentar em demasia o nível de complexidade.

O custo global pode obter-se da seguinte forma:

$$Cglobal = Cinicial + C\,\text{exp}\,loração \quad [€] \tag{3}$$

4.3.2.2. Custo Inicial

O custo inicial é o custo que corresponde à solução de reabilitação térmica implementada. Este factor é especialmente condicionado pela espessura de isolante térmico aplicado, no caso dos elementos que constituem a parte opaca da envolvente do edifício, e pelo tipo de solução de reabilitação escolhido, qualquer que seja o elemento intervencionado.

Os custos unitários das soluções de reabilitação utilizados neste estudo pretendem representar os valores médios de mercado (incluindo encargos com mão-de-obra), pelo que devem ser analisados com a devida precaução.

4.3.2.3. Custo de Exploração

Os custos de exploração variam em função do tipo de sistemas instalados para aquecimento e/ou arrefecimento, dos rendimentos desses equipamentos e das necessidades de aquecimento e arrefecimento. No presente estudo consideraram-se apenas os consumos energéticos para aquecimento do ambiente interior, admitindo-se o recurso a sistemas eléctricos com uma eficiência nominal de 100%.

As projecções económicas feitas pelas entidades especializadas alcançam poucos anos no futuro e frequentemente verificam-se afastadas da realidade (basta lembrar as projecções do PIB ou do preço do petróleo). Daí que para este estudo foi necessário proceder a previsões mais ou menos grosseiras do preço da energia para um horizonte temporal de 25 anos. Para essa previsão, e dado que são inúmeros os factores que podem fazer variar os preços da energia procedeu-se à indexação da variação desse preço à taxa de variação anual da inflação com base em dados dos últimos anos.

Fig. 4.12 - Variação média anual da taxa de inflexão, de acordo com o Eurostat. [31]

Na Figura 4.12, é apresentada a variação anual da taxa de inflação em Portugal nos últimos anos (1990 - 2007), segundo o INE (Instituo Nacional de Estatística). A partir da análise do gráfico verifica-se uma tendência de normalização nos últimos dez anos da taxa de inflação, rondando os 2,5% – 3%. Assim, para as projecções efectuadas tendo um horizonte temporal de 25 anos, considerou-se uma taxa de crescimento anual do preço da energia de 2,5%.

De salientar que esta previsão não está desfasada da evolução no passado do preço da energia. Para tal dá-se o exemplo da tarifa da energia eléctrica que se apresenta na figura seguinte.

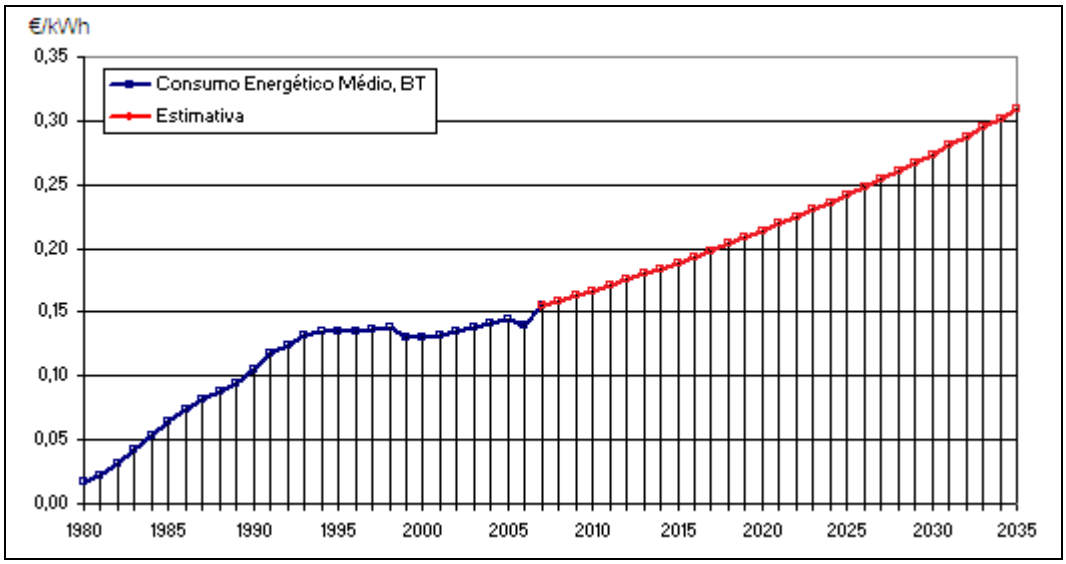


Fig. 4.13 - Estimativa da evolução do preço médio de aquisição de energia eléctrica para consumos domésticos.

Na figura 4.13, é apresentada a evolução do preço médio de aquisição de energia eléctrica para consumidores domésticos (baixa tensão) – tipo DC, entre 1985 e 2007 de acordo com o Eurostat [31], e as previsões de evolução do preço desta energia para o futuro. Ao adoptar-se o valor de 2,5% para a taxa de crescimento anual do preço da energia, verifica-se que esta não se distancia muito da tendência de evolução das tarifas dos últimos anos para este tipo de energia eléctrica. De realçar que os valores apresentados representam somente um cenário possível, não devendo por isso ser tomados como vinculativos.

4.3.2.4. Período de Retorno

A maior eficiência energética dos edifícios implica menores gastos por parte dos consumidores na factura energética anual. No entanto, só existe um benefício económico efectivo a partir do momento em que o custo do investimento inicial, nomeadamente, na melhoria das características térmicas da envolvente dos edifícios, é ultrapassado pelo custo do consumo acumulado de energia para aquecimento ou arrefecimento do ambiente interior.

O período de retorno corresponde ao ano *n* em que o custo global da solução reabilitada é ultrapassado pelo custo global da solução original (figura 4.14).

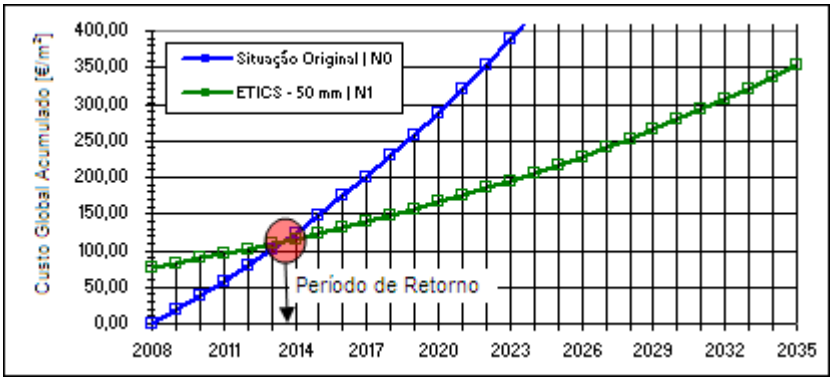


Fig. 4.14 - Determinação do período de retorno do investimento efectuado.

4.3.3. PERDAS TÉRMICAS DURANTE A ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO

A estimativa do consumo de energia durante a estação de aquecimento foi obtida de acordo com a metodologia proposta no Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), aprovado pelo Decreto-Lei n.º 80/2006, de 4 de Abril [11], para contabilização das perdas de calor por condução através dos elementos da envolvente exterior, em zona corrente, que é traduzida pela seguinte expressão:

$$Qext = 0{,}024 \cdot U \cdot A \cdot GD \quad [\text{kWh}] \tag{4}$$

em que:

- *Qext* – Perdas de calor pelas zonas correntes dos elementos construtivos em contacto com o exterior [kWh].
- *U* – Coeficiente de transmissão térmica do elemento da envolvente [W/(m²·º C)].
- *A* – Área do elemento da envolvente medida pelo interior [m²].
- *GD* – Número de graus-dias de aquecimento especificados para cada concelho no Anexo III do RCCTE [º C·dias].

4.3.3.1. Coeficiente de Transmissão Térmica (U)

O coeficiente de transmissão térmica de um elemento, é um parâmetro definidor do comportamento térmico de cada elemento de construção, que exprime o fluxo de calor que atravessa o elemento, por unidade de área e por ºC de diferença entre o exterior e o interior. Este coeficiente é representado pela letra U e a unidade é o W/m2.ºC.

O RCCTE apresenta para o coeficiente de transmissão térmica, dois valores a ter em conta aquando da execução de projectos:

- Umax – valores máximos admissíveis;
- Uref – valores de referência.

É importante referir que, no âmbito da certificação energética de edifícios existentes, o RCCTE [11] não obriga ao cumprimento dos valores máximos admissíveis para o coeficiente de transmissão térmica (Umáx), muito embora um projectista deva estar ciente da importância do cumprimento dos mesmos ao nível do controlo das condensações superficiais. Por outro lado, os valores de referência (Uref), que serão utilizados neste estudo, pretendem ser um indicativo sobre a qualidade mínima do ponto de vista térmico da envolvente dos edifícios.

Por forma a encontrar um critério objectivo que permita uma segmentação de patamares de qualidade térmica da envolvente dos edifícios, atendeu-se à Nota de Informação Técnica 001 do LFC [29], que define quatro níveis de qualidade térmica para o U dos elementos em função dos valores de referência (Uref) preconizados no RCCTE [11]. No quadro 4.2 é possível analisar os limites do coeficiente de transmissão térmica correspondentes a cada nível de qualidade térmica.

Quadro 4.2 – Níveis de Qualidade Térmica da envolvente opaca. [29]

Nível de Qualidade Térmica	Limites de U
N1	U=Uref
N2	U= 0,75 x Uref
N3	U= 0,6 x Uref
N4[3]	U= 0,5 x Uref

No quadro que se segue, apresentam-se os valores do coeficiente de transmissão térmica de referência dos diferentes elementos da envolvente opaca, em função da zona climática, definidos pelo Decreto-Lei nº 80/2006 [11]

Quadro 4.3 – Coeficientes de transmissão térmica de referência em Portugal (adaptação do regulamento Português). [11]

Elemento da Envolvente		Zona Climática		
		I1	I2	I3
Elementos exteriores em zonas corrente	Zonas opacas verticais	0,70	0,60	0,50
	Zonas opacas horizontais	0,50	0,45	0,80
Elementos interiores em zonas correntes	Zonas opacas verticais	1,40	1,20	1,0
	Zonas opacas horizontais	1,0	0,90	0,80

4.3.3.2. Graus Dias de Aquecimento (GD)

O número de graus-dias de aquecimento caracteriza a severidade de um clima durante a estação de aquecimento e é igual ao somatório das diferenças positivas registadas entre uma dada temperatura de base e a temperatura do ar exterior durante aquele período. As diferenças são calculadas com base nos valores horários da temperatura do ar (termómetro seco).

No RCCTE foi adoptado como temperatura de base o valor de 20º C, definindo-se a estação convencional de aquecimento como o período do ano com início no primeiro decêndio posterior a 1 de Outubro em que, para cada localidade, a temperatura média diária é inferior a 15º C e com termo no último decêndio anterior a 31 de Maio em que a referida temperatura ainda é inferior a 15º C.

Segue-se a apresentação dos dados climáticos de inverno para a zona climática onde os edifícios da amostra se inserem (quadro 4.4).

[3] Neste estudo assumiu-se como nível de qualidade máxima o nível N3 por se achar que o N4 conduzia a grandes espessuras de isolamento térmico.

Quadro 4.4 – Dados climáticos de inverno para a zona climática em estudo. [11]

Concelhos	Zona climática de Inverno	Número de graus-dias (GD) [º C·Dias]
Baião	I3	2150

De seguida, para cada uma das soluções de isolamento térmico, avalia-se a viabilidade económica das soluções de isolamento térmico das paredes exteriores, analisando-se o período que terá de decorrer até que o investimento seja recuperado, bem como a poupança para três horizontes temporais definidos.

4.3.4. Análise Técnico Económica de Quatro Soluções de Isolamento Térmico de Paredes Exteriores

A avaliação económica será efectuada para 4 soluções de reforço térmico de paredes exteriores, que se dividem em dois grandes grupos, nomeadamente:

- *Soluções pelo exterior:*
  - Sistema de fachada ventilada (PR.S1);
  - Sistema tipo ETICS (PR.S2);
- *Soluções pelo interior* [4] *:*
  - Painéis isotérmicos do tipo directos (PR.S3);
  - Painéis isotérmicos do tipo perfilados (PR.S4);

Note-se que os diferentes tipos de paredes dos edifícios constituintes da amostra em estudo, aquando da aplicação das soluções de reforço térmico, permitem resultados idênticos de desempenho energético, pelo que se torna desnecessária uma análise particular a todos eles.

As paredes utilizadas para esta análise são as de utilização mais frequente em Portugal para décadas específicas da evolução histórica das diferentes soluções construtivas de paredes exteriores. Deste modo, e no sentido de se direccionar esta análise, foram escolhidos três edifícios da amostra, com as seguintes soluções construtivas de paredes exteriores:

- Parede simples de Pedra (PR 1);

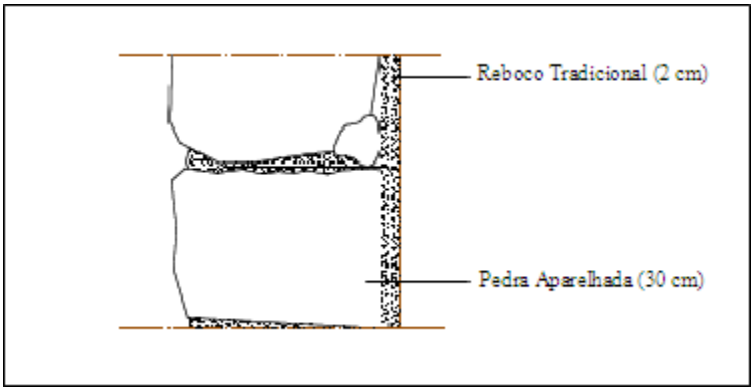


Fig. 4.15 - Parede simples de pedra.

[4] Deu-se preferência aos sistemas pré-fabricados.

- Parede simples de tijolo furado (PR 2);

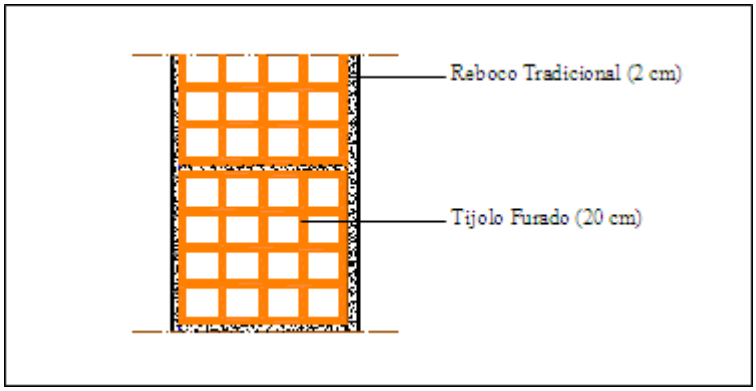


Fig. 4.16 - Parede simples de tijolo furado.

- Parede dupla de alvenaria de tijolo furado (PR 3);

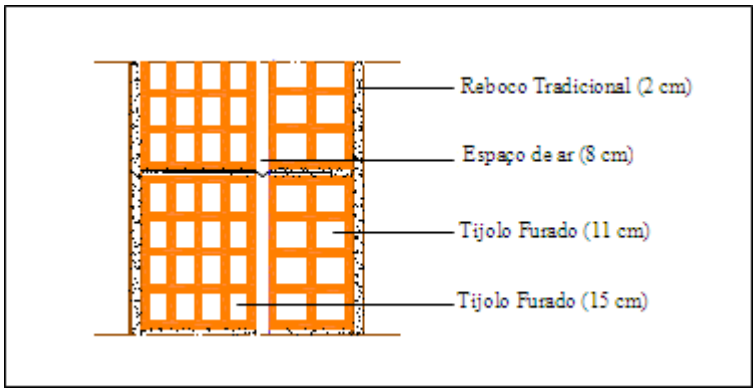


Fig. 4.17 - Parede dupla de tijolo furado.

No quadro que se segue é possível verificar a aplicabilidade de cada uma das soluções de reforço térmico propostas, às três soluções construtivas de paredes exteriores em estudo.

Quadro 4.5 – Aplicabilidade das soluções de isolamento térmico aos sistemas construtivos de paredes exteriores estudados.

	Isolamento Exterior		Isolamento Interior	
	Fachada Ventilada	ETICS	Sistema Directo	Sistema Perfilado
PR 1 – Parede de Pedra	X	X	X	X
PR 2 – Parede simples de alvenaria de tijolo	X	X	X	X
PR 3 – Parede dupla de alvenaria de tijolo	X	X	X	X

A eficiência energética de cada uma das soluções de reforço térmico, será verificada através de uma análise económica muito simples que permite avaliar rapidamente ao fim de quanto tempo um maior investimento inicial numa solução construtiva termicamente melhorada é recuperado. Deste modo, neste estudo, são fornecidos elementos que permitem uma escolha conscienciosa da melhor solução sob o ponto de vista técnico e económico.

A primeira etapa desta análise consistiu na determinação, para os vários factores analisados, dos consumos energéticos apresentados pelas paredes exteriores dos edifícios em análise, de modo a evidenciar o impacto energético efectivo de cada uma das soluções de reabilitação energética a adoptar. Para cada uma das soluções de reforço térmico, fez-se seguidamente variar a espessura do isolamento térmico, de modo a serem atingidos determinados níveis de qualidade térmica, os quais impõem limitações em termos de coeficientes de transmissão térmica para a envolvente vertical opaca dos edifícios. De seguida, efectuou-se o cálculo sobre a redução dos consumos energéticos anuais em relação à solução base, bem como o tempo de recuperação do investimento inicial associado a cada uma das soluções de reforço térmico.

O conhecimento objectivo do real impacto dos diversos factores analisados no comportamento térmico das paredes exteriores do edifício, permite aos projectistas e proprietários terem consciência dos valores em causa e optar esclarecidamente por uma metodologia de intervenção de reabilitação energética de paredes exteriores eficiente em termos energéticos e, ao mesmo tempo, viável em termos económicos.

4.3.4.1. Custo das Soluções de Isolamento Térmico

No âmbito do presente estudo, os custos de investimento inicial, resultantes das soluções de reforço térmico da envolvente exterior vertical opaca dos edifícios, foram definidos da seguinte forma:

$$Cinicial = Csol.base + Cisolamento \quad [€] \tag{5}$$

i) Custo da solução base

O custo da solução base, para cada solução de reforço térmico, foi obtido através da consulta de empresas especializadas neste tipo de aplicações. Note-se que os custos da solução base apresentados no quadro 2.6, pretendem representar os valores médios de mercado (incluindo encargos com mão-de-obra), pelo que devem ser analisados com a devida precaução.

Quadro 4.6 – Custo base das soluções de reforço térmico (IVA incluído). [32 - 36]

Solução	Custo Base [€/m^2]
Fachada Ventilada	95,70
ETICS	70,34
Painéis Isotérmicos Directos	19,84
Painéis Isotérmicos Perfilado	35,57

ii) Custo do Isolamento Térmico

É o custo do isolamento térmico que faz variar o custo inicial, visto que a cada espessura de isolamento utilizada, corresponde um preço diferente. Nos quadros seguintes, apresentam-se as respectivas características do tipo de isolante escolhido, bem como os preços de venda ao público fornecidos pelos fabricantes (IVA incluído), em função do tipo de aplicação proposta, ou seja:

- **Isolamento pelo Exterior**

Quadro 4.7 – Características técnicas do isolante para reforço térmico exterior de fachadas [32]

Isolamento Térmico	Condutibilidade Térmica (W/m.ºC)	Resistência à Compressão (kPa)	Resistência à difusão do vapor de água (μ)	Densidade Nominal (kg/m3)
EPS 150	0,035	150	30 - 70	-

Quadro 4.8 – Preços de venda do isolamento para reforço térmico exterior de fachadas [32]

Designação comercial	Espessura das placas (mm)	Preço de venda (€/m2)
EPS 150	30	4,10
	40	5,47
	50	6,84
	60	8,21
	70	9,57
	80	10,94
	90	82,65
	100	84,02

- **Isolamento pelo Interior**

Quadro 4.9 – Características técnicas dos transformados de pladur para isolamento interior das fachadas [36]

Transformados de Pladur	Reacção ao Fogo	Resistência térmica (m^2K/W)	Isolante		
			Espessura (mm)	Tipo	Densidade (Kg/m^3)
Isotérmicos (EPS) 10+30+10	B s1 d0	0,80	30	Poliestireno Expandido Tipo III	15
Isotérmicos (EPS) 10+40+10	B s1 d0	1,06	40		15
Isotérmicos (EPS) 10+50+10	B s1 d0	1,31	50		15
Isotérmicos (EPS) 10+60+10	B s1 d0	1,56	60		15
Isotérmicos (EPS) 10+70+10	B s1 d0	1,81	70		15

Quadro 4.10 – Preços de venda dos transformados de pladur para o reforço térmico interior das fachadas [36]

Painéis Transformados de Pladur	Preço de venda (€/m2)
Isotérmicos (EPS) 10+30+10	8,85
Isotérmicos (EPS) 10+40+10	10,17
Isotérmicos (EPS) 10+50+10	11,40
Isotérmicos (EPS) 10+60+10	12,62
Isotérmicos (EPS) 10+70+10	13,85

4.3.4.2. Análise do Retorno e da Poupança das Soluções de Isolamento de Paredes Exteriores

Para cada tipo de parede exterior em estudo, determina-se a espessura de isolante a aplicar a cada solução de reforço térmico, em função do nível de qualidade térmica exigido, avaliando-se posteriormente o retorno e a poupança que cada intervenção envolve.

a) Parede Simples de Pedra (PR 1)

- *Parede Simples de Alvenaria de Pedra com Sistema Fachada Ventilada (PR S1);*

Quadro 4.11 – Espessuras do isolante térmico (*e*) e respectivo coeficiente de transmissão térmica da parede simples de pedra com sistema Fachada Ventilada (*U*).

Níveis de Qualidade Térmica	e (mm)	U (W/m^2.ºC)
N0	0	2,18
N1	50	0,51
N2	70	0,39
N3	100	0,29

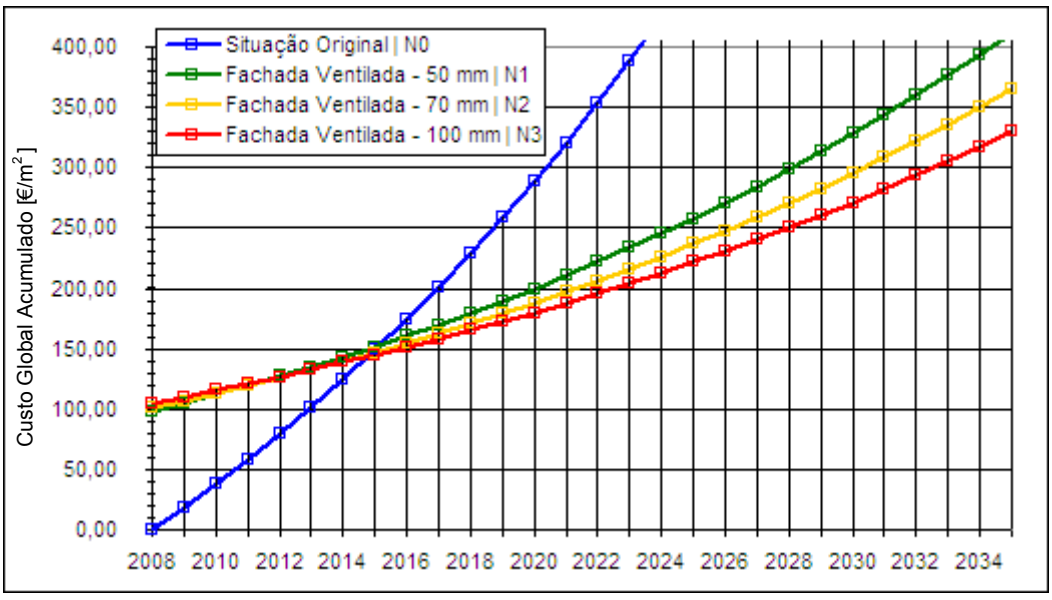


Fig. 4.18 – Custo global acumulado para a parede simples de pedra com sistema fachada ventilada.

- *Parede Simples de Alvenaria de Pedra com Sistema ETICS (PR S2);*

Quadro 4.12 – Espessuras do isolante térmico (*e*) e respectivo coeficiente de transmissão térmica da parede simples de pedra com sistema ETICS (*U).*

Níveis de Qualidade Térmica	e (mm)	U ($W/m^2.ºC$)
N0	0	2,18
N1	50	0,47
N2	70	0,37
N3	90	0,3

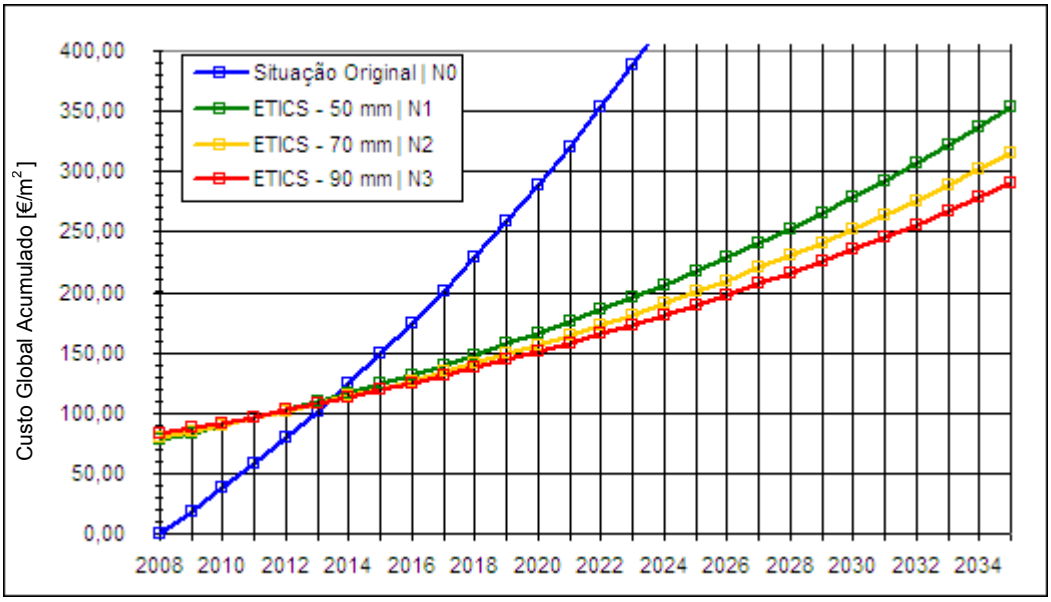


Fig. 4.19 - Custo global acumulado para a parede simples de pedra com sistema ETICS.

- *Parede Simples de Alvenaria de Pedra com Painéis Isotérmicos Perfilados (PR S3);*

Quadro 4.13 -Espessuras do isolante térmico (*e*) e respectivo coeficiente de transmissão térmica da parede simples de pedra com painéis isotérmicos perfilados (*U).*

Níveis de Qualidade Térmica	e (mm)	U (W/m2.ºC)
N0	0	2,18
N1	50	0,46
N2	70	0,36
N3	90	0,3

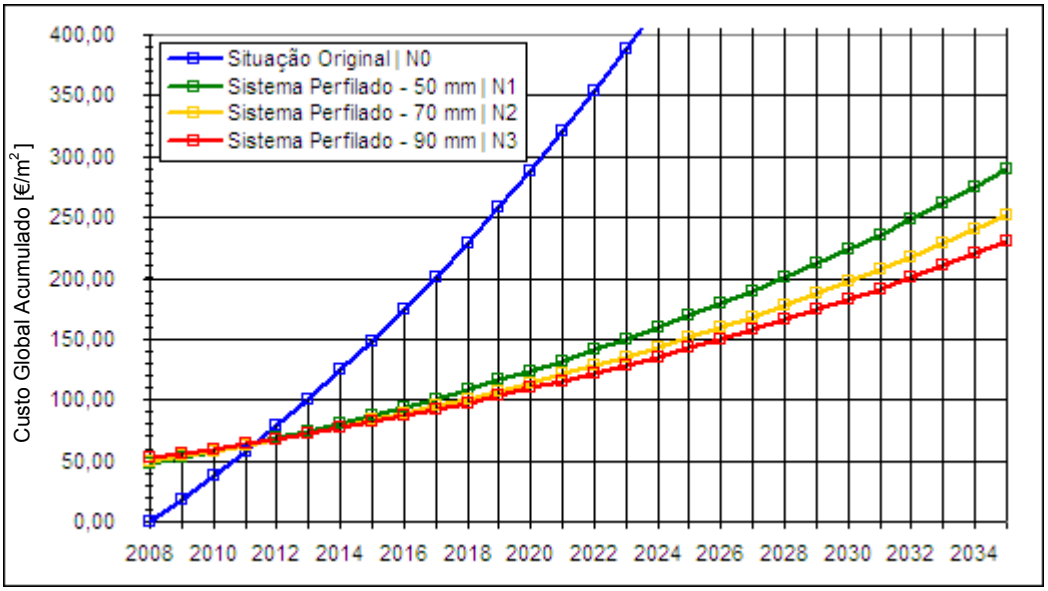


Fig. 4.20 - Custo global acumulado para a parede simples de pedra com painéis isotérmicos perfilados.

- *Parede Simples de Alvenaria de Pedra com Painéis Isotérmicos Directos (PR S4);*

Quadro 4.14 – Espessuras do isolante térmico (*e*) e respectivo coeficiente de transmissão térmica da parede simples de pedra com painéis isotérmicos directos (*U*).

Níveis de Qualidade Térmica	e (mm)	U (W/m2.ºC)
N0	0	2,18
N1	50	0,5
N2	70	0,39
N3	100	0,29

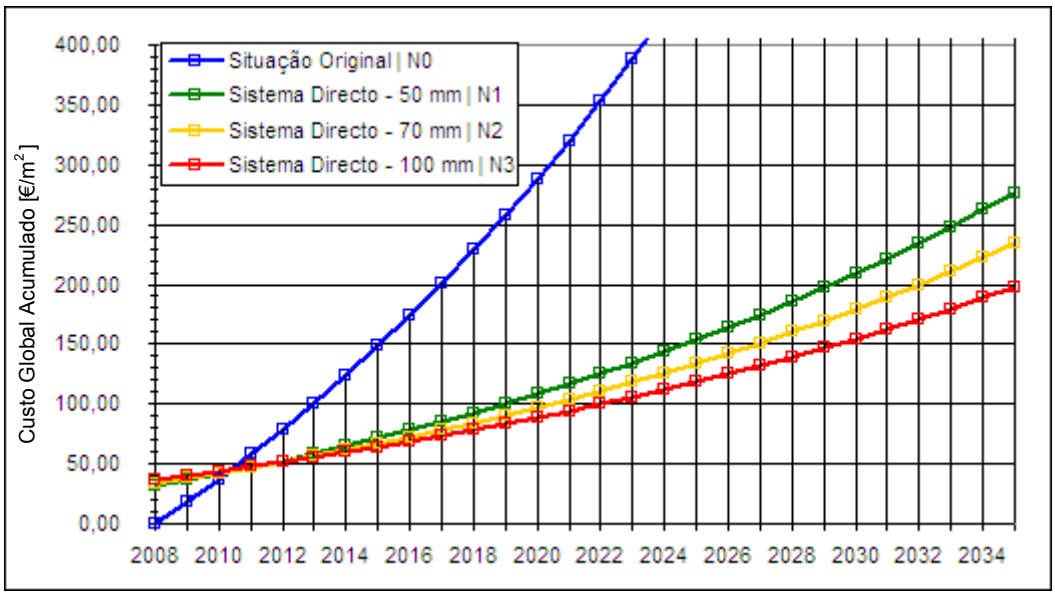


Fig. 4.21 - Custo global acumulado para a parede simples de pedra com painéis isotérmicos directos.

Quadro 4.15 – Período de retorno do investimento na aplicação de isolantes térmicos em paredes simples de pedra com sistemas de reforço térmico pelo exterior e interior (N1 a N3) e poupança relativamente a N0.

Solução	Nível de Qualidade Térmica	Período de Retorno relativamente a N0	Poupança relativamente a N0*		
			15 (anos)	20 (anos)	25 (anos)
		Anos	[€/m²]	[€/m²]	[€/m²]
Fachada Ventilada	N1	8	155,04	287,66	452,45
	N2	7	172,47	315,44	493,01
	N3	7	184,34	335,59	523,41
ETICS	N1	6	192,96	333,25	507,07
	N2	6	206,83	355,66	540,03
	N3	6	215,33	369,99	561,56
Painéis Isotérmicos Perfilados	N1	4	238,50	385,44	566,88
	N2	4	252,77	408,31	600,36
	N3	4	259,91	420,42	618,63
Painéis Isotérmicos Directos	N1	3	254,15	400,46	580,83
	N2	3	270,20	426,02	618,11
	N3	3	282,68	446,85	649,29

(*) Considerando um aquecimento contínuo das habitações durante o período de aquecimento.

Face aos resultados expostos conclui-se que:

- O período de retorno associado a qualquer uma das soluções de isolamento térmico é inferior a 10 anos, o que demonstra a grande eficiência destes sistemas nestas condições de aplicação (parede simples de pedra).
- As soluções de isolamento pelo interior (Painéis Isotérmicos Directos e Perfilados) permitem um retorno mais rápido do investimento, 4 a 5 anos, por comparação com as soluções de isolamento pelo exterior (Fachada Ventilada e ETICS), 6 a 8 anos. A principal explicação para este facto está relacionada com o menor investimento inicial requerido pelos sistemas de isolamento pelo interior.
- Note-se contudo que os cerca de 2 anos de acréscimo de retorno das soluções de isolamento térmico pelo exterior, relativamente às soluções interiores, não se consideraram muito

relevantes, até pelas inúmeras vantagens de natureza técnica que os sistemas de isolamento pelo exterior proporcionam relativamente aos sistemas interiores.

- Deste modo, o sistema ETICS, pela maior brevidade de retorno e consequentemente pela maior poupança que proporciona relativamente à fachada ventilada, assume-se como sendo a melhor solução de isolamento térmico a aplicar à parede simples de pedra, nas condições de estudo anteriormente apresentadas.
- Obviamente que, sendo a parede de alvenaria de pedra à vista, as soluções pelo exterior são afectadas por todas as condicionantes arquitectónicas inerentes a este tipo de aplicações. Neste sentido, os painéis isotérmicos perfilados assumem-se como uma alternativa muito eficiente. Repare-se que os painéis perfilados permitem a existência de um espaço de ar entre o isolante e a parede de suporte, o que se considera muito importante no sentido de preservar o material de isolamento térmico à acção da humidade exterior.
- Refira-se ainda que, para qualquer solução de isolamento térmico, o crescente nível de qualidade térmica, não se traduz numa melhoria significativa do período de retorno e consequentemente da poupança conseguida relativamente à situação original da parede de pedra.

b) Parede Simples de Alvenaria de Tijolo Furado (PR 2)

- *Parede Simples de Alvenaria de Tijolo Furado com Sistema Fachada Ventilada (PR.S1);*

Quadro 4.16 – Espessuras do isolante térmico (*e*) e respectivo coeficiente de transmissão térmica da parede simples de tijolo furado com sistema fachada ventilada (*U*).

Níveis de Qualidade Térmica	e (mm)	U (W/m^2.ºC)
N0	0	1,39
N1	40	0,51
N2	70	0,36
N3	90	0,3

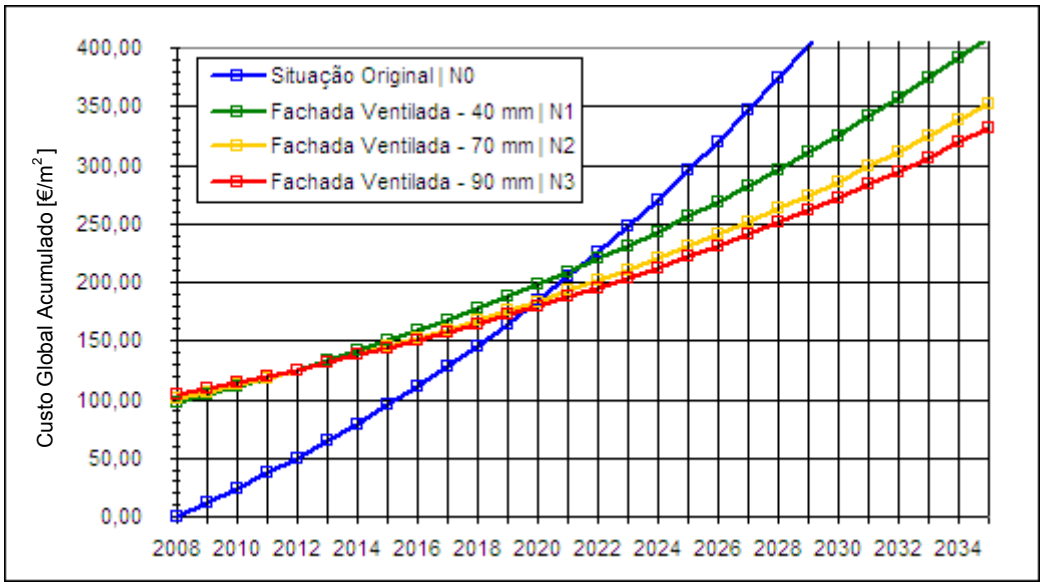


Fig. 4.22 - Custo global acumulado para a parede simples de alvenaria de tijolo furado com fachada ventilada.

- *Parede Simples de Alvenaria de Tijolo Furado com Sistema ETICS (PR.S2);*

Quadro 4.17 – Espessuras do isolante térmico (*e*) e respectivo coeficiente de transmissão térmica da parede simples de tijolo com sistema ETICS (*U*).

Níveis de Qualidade Térmica	e (mm)	U (W/m2.ºC)
N0	0	1,39
N1	40	0,47
N2	60	0,37
N3	80	0,31

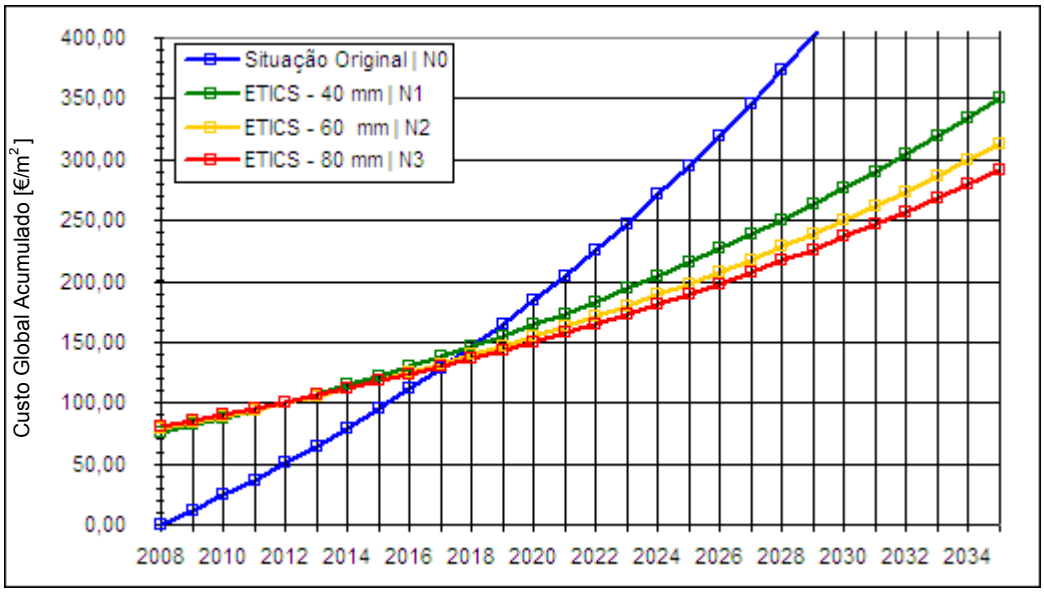


Fig. 4.23 - Custo global acumulado para a parede simples de alvenaria de tijolo furado com sistema ETICS.

- *Parede Simples de Alvenaria de Tijolo Furado com Painéis Isotérmicos Perfilados (PR.S3);*

Quadro 4.18 – Espessuras do isolante térmico (*e*) e respectivo coeficiente de transmissão térmica da parede simples de tijolo com painéis isotérmicos perfilados (*U*).

Níveis de Qualidade Térmica	e (mm)	U (W/m2.ºC)
N0	0	0,96
N1	40	0,46
N2	60	0,37
N3	80	0,3

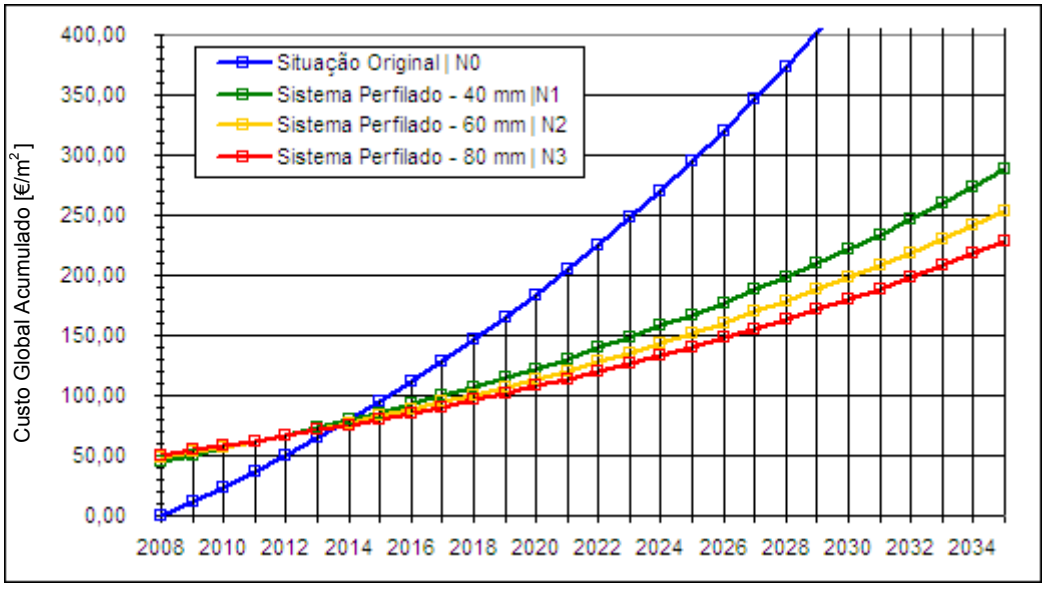


Fig. 4.24 - Custo global acumulado para a parede simples de tijolo furado com painéis isotérmicos perfilados.

- *Parede Simples de Alvenaria de Tijolo Furado com Painéis Isotérmicos Directos (PR.S4);*

Quadro 4.19 – Espessuras do isolante térmico (*e*) e respectivo coeficiente de transmissão térmica da parede simples de tijolo com painéis isotérmicos directos (*U*).

Níveis de Qualidade Térmica	e (mm)	U (W/m^2.ºC)
N0	0	0,96
N1	40	0,51
N2	60	0,39
N3	90	0,31

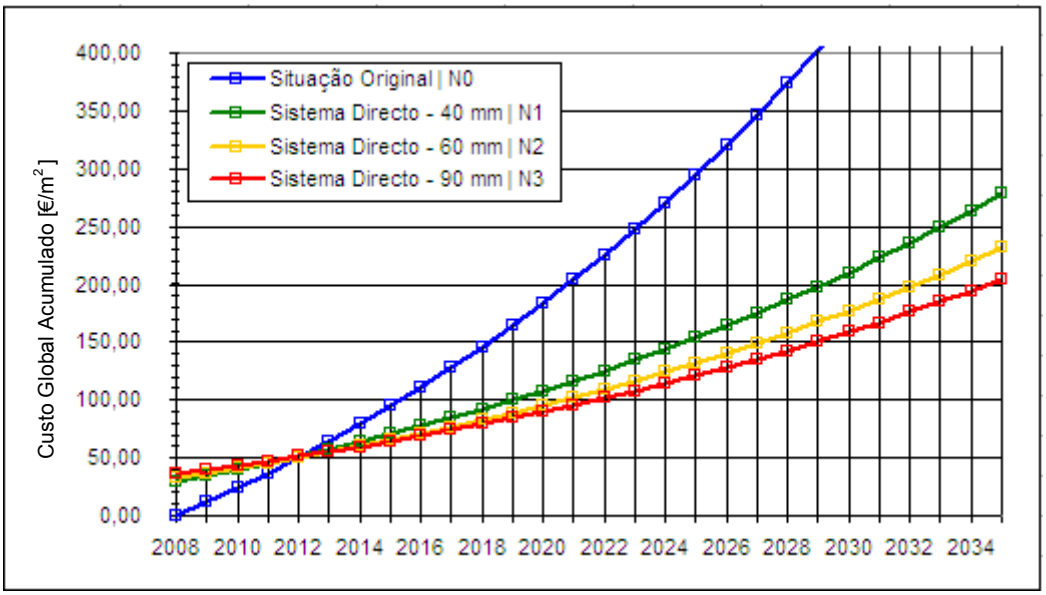


Fig. 4.25 - Custo global acumulado para a parede simples de tijolo furado com painéis isotérmicos directos.

Quadro 4.20 – Período de retorno do investimento na aplicação de isolantes térmicos em paredes simples de tijolo com sistemas de reforço térmico pelo exterior e interior (N1 a N3) e poupança relativamente a N0.

Solução	Nível de Qualidade Térmica	Período de Retorno relativamente a N0	Poupança relativamente a N0*		
			15 (anos)	20 (anos)	25 (anos)
		Anos	[€/m²]	[€/m²]	[€/m²]
Fachada Ventilada	N1	14	16,24	77,52	154,62
	N2	11	37,03	111,13	204,05
	N3	11	43,76	122,77	221,78
ETICS	N1	11	54,16	123,11	209,24
	N2	10	68,01	145,50	242,19
	N3	10	74,75	157,16	259,94
Painéis Isotérmicos Perfilados	N1	6	99,49	175,07	268,79
	N2	6	111,98	195,25	298,47
	N3	6	121,04	210,20	320,71
Painéis Isotérmicos Directos	N1	5	113,36	187,40	278,95
	N2	5	131,20	215,65	320,03
	N3	5	140,11	231,11	343,61

(*) Considerando um aquecimento contínuo das habitações durante o período de aquecimento.

Face aos resultados expostos conclui-se que:

- As soluções de isolamento pelo exterior implicam um retorno do investimento entre 10 a 14 anos, enquanto que as soluções de isolamento pelo interior permitem novamente um retorno mais rápido, 5 a 6 anos.
- Comparativamente aos resultados obtidos para a parede simples de pedra, o retorno do isolamento da parede simples de tijolo é mais alargado, nomeadamente no que respeita às soluções de isolamento pelo exterior (Fachada Ventilada e ETICS). A explicação para este acréscimo temporal, está directamente relacionada com o menor coeficiente de transmissão térmica da parede de tijolo face à parede de pedra, o que implica perdas térmicas inferiores e consequentemente menores gastos energéticos, prolongando-se o período de tempo necessário para a recuperação do investimento. Esta situação é mais notada nas soluções de isolamento pelo exterior, precisamente pela maior eficiência térmica que este tipo de soluções permite, por comparação com os sistemas de isolamento pelo interior.

- Note-se que as soluções de isolamento pelo interior permitem poupanças superiores às soluções exteriores. De facto, o menor investimento inicial e o retorno mais rápido, conferem-lhes vantagens económicas significativas, comparativamente às soluções exteriores, muito embora em termos de eficiência térmica nunca atinjam o desempenho proporcionado pelas soluções pelo exterior.
- Neste sentido, e não existindo condicionantes que impliquem necessariamente a opção por uma determinada solução, a escolha da solução de isolamento térmico mais adequada, implicará a ponderação entre a maior eficiência térmica conseguida pelos sistemas exteriores, e a maior poupança proporcionada pelos isolamentos interiores.
- No que respeita aos níveis de qualidade de cada uma das soluções de isolamento térmico, verifica-se que nos sistemas interiores a crescente exigência térmica não proporciona alterações significativas em termos de retorno e de poupança energética. Contudo, nos sistemas de isolamento pelo exterior, a opção por um nível de qualidade térmica superior implica uma redução do período de retorno e consequentemente um aumento da poupança, nomeadamente no sistema de Fachada Ventilada.

c)Parede Dupla de Alvenaria de Tijolo Furado (PR 3)

- *Parede Dupla de Alvenaria de Tijolo Furado com Sistema Fachada Ventilada (PR.S1);*

Quadro 4.21 – Espessuras do isolante térmico (*e*) e respectivo coeficiente de transmissão térmica da parede dupla de tijolo com sistema fachada ventilada (*U*).

Níveis de Qualidade Térmica	e (mm)	U (W/m2.ºC)
N0	0	0,96
N1	30	0,5
N2	50	0,39
N3	80	0,29

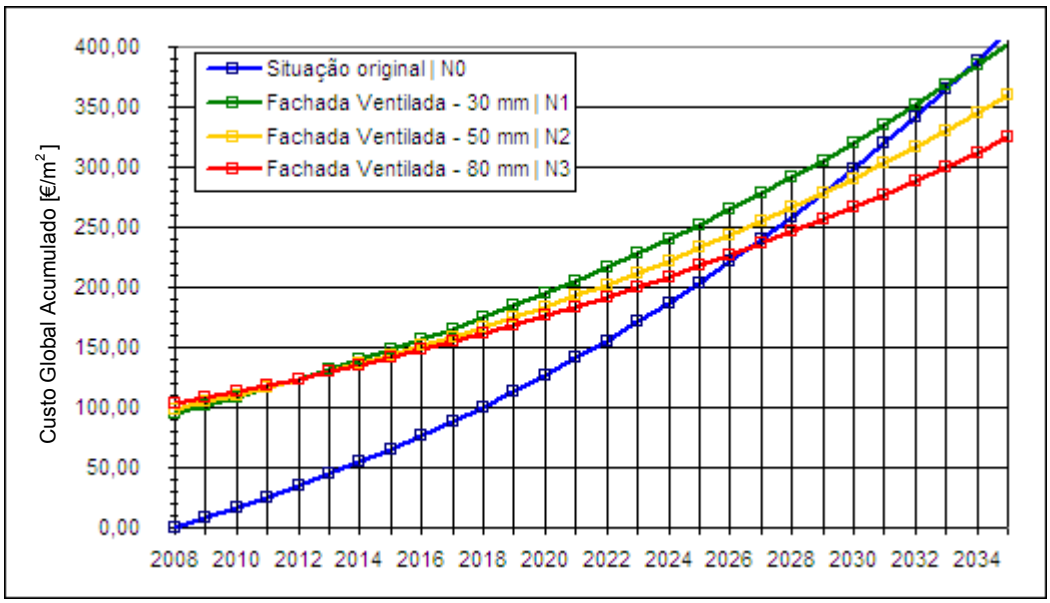


Fig. 4.26 - Custo global acumulado para a parede dupla de tijolo furado com sistema fachada ventilada.

- Parede Dupla de Alvenaria de Tijolo Furado com Sistema ETICS (PR.S2);

Quadro 4.22 – Espessuras do isolante térmico (*e*) e respectivo coeficiente de transmissão térmica da parede dupla de tijolo com sistema ETICS (*U*).

Níveis de Qualidade Térmica	e (mm)	U (W/m2.ºC)
N0	0	0,96
N1	30	0,47
N2	50	0,37
N3	70	0,3

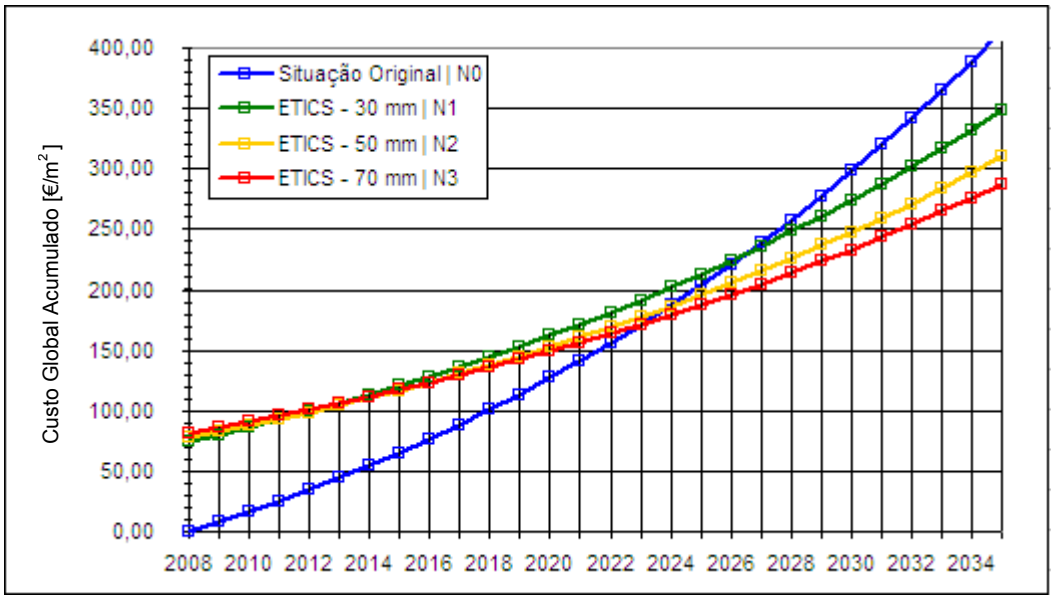


Fig. 4.27 - Custo global acumulado para a parede dupla de tijolo furado com sistema ETICS.

- Parede Dupla de Alvenaria de Tijolo Furado com Painéis Isotérmicos Perfilados (PR.S3);

Quadro 4.23 – Espessuras do isolante térmico (*e*) e respectivo coeficiente de transmissão térmica da parede dupla de tijolo com painéis isotérmicos perfilados (*U*).

Níveis de Qualidade Térmica	e (mm)	U (W/m2.ºC)
N0	0	0,96
N1	30	0,45
N2	50	0,36
N3	70	0,3

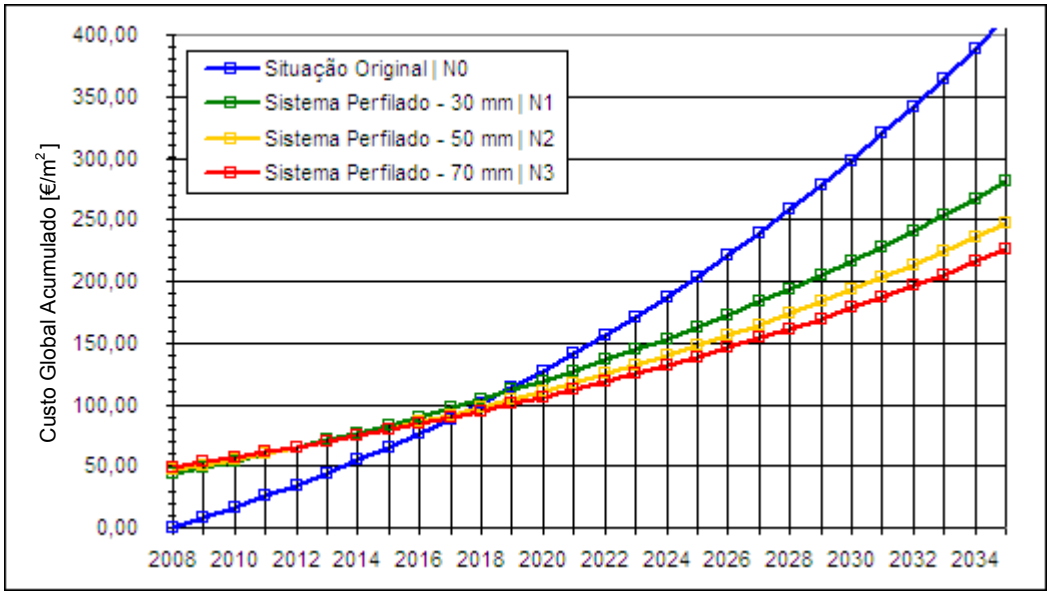


Fig. 4.28 - Custo global acumulado para a parede dupla de tijolo furado com painéis isotérmicos perfilados.

- Parede Dupla de Alvenaria de Tijolo Furado com Painéis Isotérmicos Perfilados (PR.S4);

Quadro 4.24 – Espessuras do isolante térmico (*e*) e respectivo coeficiente de transmissão térmica da parede dupla de tijolo com painéis isotérmicos directos (*U*).

Níveis de Qualidade Térmica	e (mm)	U (W/m^2.ºC)
N0	0	0,96
N1	30	0,5
N2	50	0,39
N3	80	0,29

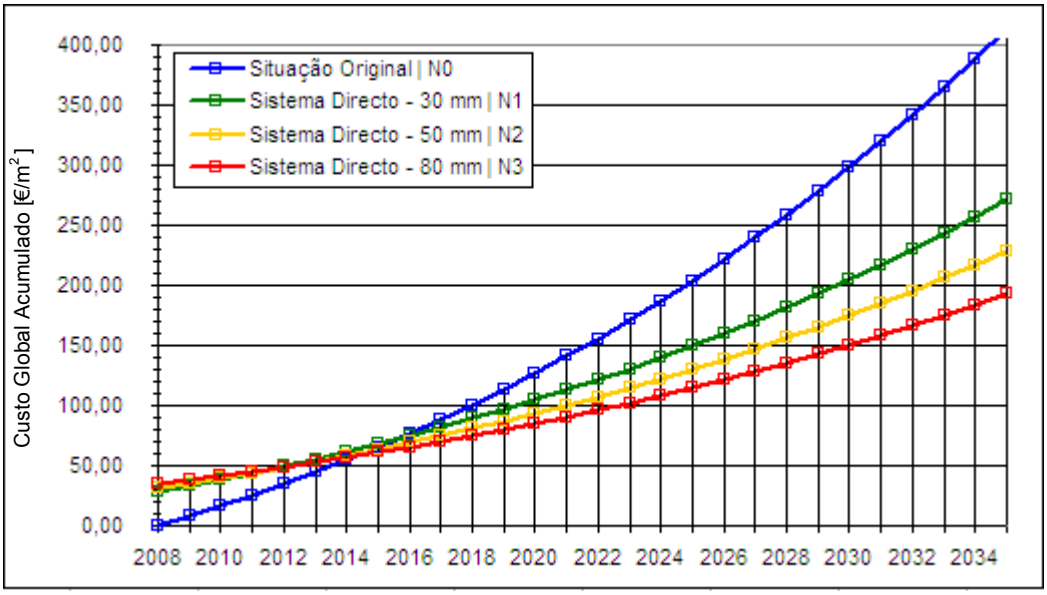


Fig. 4.29 - Custo global acumulado para a parede dupla de tijolo furado com painéis isotérmicos directos.

Quadro 4.25 – Período de retorno do investimento na aplicação de isolantes térmicos em paredes duplas de tijolo com sistemas de reforço térmico pelo exterior e interior (N1 a N3) e poupança relativamente a N0.

Solução	Nível de Qualidade Térmica	Período de Retorno relativamente a N0	Poupança relativamente a N0*		
			15 (anos)	20 (anos)	25 (anos)
		Anos	[€/m²]	[€/m²]	[€/m²]
Fachada Ventilada	N1	26	0,00	0,00	0,00
	N2	22	0,00	0,00	34,22
	N3	19	0,00	12,10	64,64
ETICS	N1	19	0,00	9,75	48,29
	N2	16	0,00	32,15	81,24
	N3	16	0,00	44,25	100,25
Painéis Isotérmicos Perfilados	N1	11	26,55	64,32	111,55
	N2	10	38,90	38,90	141,05
	N3	10	46,04	46,04	159,32
Painéis Isotérmicos Directos	N1	8	40,43	76,65	121,71
	N2	7	56,34	102,05	158,80
	N3	7	68,83	122,90	190,00

(*) Considerando um aquecimento contínuo das habitações durante o período de aquecimento.

Face aos resultados expostos conclui-se que:

- A parede dupla de tijolo implica um período de retorno entre os 16 a 26 anos, para as soluções de isolamento pelo exterior, e entre 7 a 11 anos para as soluções interiores.
- No seguimento do que já foi referido, a maior eficiência térmica associada à parede dupla de tijolo, comparativamente com as paredes simples de pedra e tijolo, implica necessariamente períodos de retorno mais alargados, uma vez que as necessidades energéticas serão muito inferiores. Neste sentido, é natural que os sistemas mais eficientes em termos de conforto térmico (Fachada Ventilada e ETICS), necessitem de um período de retorno muito mais alargado de que os sistemas menos eficientes (Painéis Isotérmicos).
- O facto do retorno decorrer num espaço temporal mais alargado do que até então se tinha verificado, atribui uma importância superior ao nível de qualidade térmica adoptado,

nomeadamente nas soluções de isolamento pelo exterior, devendo a escolha recair sobre um nível que permita um retorno dentro de um espaço de tempo que se considere razoável. Neste sentido, a escolha do nível N3 é a mais aceitável para as soluções de isolamento pelo exterior.

- Deste modo, e no sentido das soluções de isolamento pelo exterior poderem atingir retornos que não se enquadram no horizonte temporal definido como razoável, as soluções de isolamento pelo interior, pela maior rapidez de retorno e pelos valores de poupança que proporcionam, devem ser equacionadas em muitas situações. Todas as desvantagens que estão associadas ao isolamento pelo interior, nomeadamente a perda de inércia e a correcção das pontes térmicas, podem ser minimizadas através da implementação de outras soluções específicas, muito embora em termos de conforto térmico nunca consigam atingir os resultados inerentes às soluções de isolamento pelo exterior.

Em suma diria que:

O estudo apresentado comprova a viabilidade económica das intervenções de melhoria de desempenho energético das paredes exteriores. De facto, e apesar das intervenções ao nível da envolvente dos edifícios implicarem investimentos muito significativos, o retorno do mesmo não ultrapassa na generalidade dos casos, o período de tempo definido como razoável. Refira-se os casos das paredes simples de pedra e de tijolo, nas quais era possível apostar em soluções de isolamento pelo exterior ou interior, sem que o retorno ultrapassasse os 10 anos após a data do investimento.

Neste sentido, e numa altura em que se promove a eficiência energética dos edifícios, é importante verificar que a par da instalação de sistemas de climatização ou preparação de águas quentes sanitárias mais eficientes, a aposta na qualidade construtiva e no conforto térmico também deve ser implementada, tornando deste modo os edifícios mais saudáveis e independentes.

No que respeita à opção por sistemas pelo exterior ou interior, verifica-se que as soluções de isolamento pelo exterior são as mais eficientes em termos térmicos, sendo também aquelas que implicam um investimento inicial superior, o qual para determinadas aplicações e para determinadas exigências térmicas, poderá levar muitos anos até ser recuperado. Nestas circunstâncias, o isolamento pelo interior, principalmente pela maior rapidez de retorno e naturalmente pela maior economia que proporciona, deve ser adoptado.

No entanto, é importante referir que o factor custo ou poupança energética podem não ser os factores que mais pesam na decisão do proprietário. A opção pelo isolamento térmico exterior ou interior, bem como pelos diversos sistemas que constituem estes dois grupos de soluções, vem acompanhada por conjunto de condicionantes que podem influenciar a decisão final. Deste modo, é necessário a compatibilização de todas as condicionantes de cada sistema com o estudo técnico e económico, no sentido de escolher a solução que mais se adequa para cada caso em estudo.

A vertente técnico económica assume uma importância relativa neste trabalho, visto que a apresentação de propostas de melhoria de desempenho energético das paredes exteriores, inerentes ao processo de certificação energética de edifícios existentes, devem ser justificadas num relatório técnico, no qual deve estar detalhado o investimento que se propõe ao proprietário, nomeadamente em termos de custo, período de retorno, vantagens/condicionantes da proposta e eventual melhoria da classificação energética do edifício ou fracção, decorrente da aplicação das mesmas propostas de melhoria. É neste sentido que prossegue este trabalho, ou seja, seguidamente estudar-se-á a influência das medidas de melhoria de desempenho energético das paredes exteriores sobre a classificação energética das habitações unifamiliares que fazem parte da amostra em estudo.

4.4. A INFLUÊNCIA DAS MEDIDAS DE MELHORIA DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DAS PAREDES EXTERIORES NA CLASSIFICAÇÃO ENERGÉTICA DOS EDIFÍCIOS

4.4.1. GENERALIDADES

As medidas de melhoria de desempenho energético anteriormente apresentadas para as paredes exteriores dos edifícios em estudo, visam reduzir as despesas energéticas dos mesmos, sendo que a melhoria da classe energética surge como uma consequência dessa abordagem. Neste sentido, analisa-se a redução das necessidades de energia conseguida pela melhoria do desempenho energético das paredes exteriores, verificando-se a influência das mesmas na melhoria da classificação energética dos edifícios.

4.4.2. ESTRATÉGIA DE ABORDAGEM

O objectivo deste ponto do trabalho consiste em determinar qual o nível de qualidade térmica a adoptar para o reforço térmico das paredes exteriores. Neste sentido, é de todo o interesse avaliar a variação das necessidades de energia útil para aquecimento (figura 4.30) e das necessidades nominais globais de energia primária (figura 4.31), em função dos níveis de qualidade térmica exigidos.

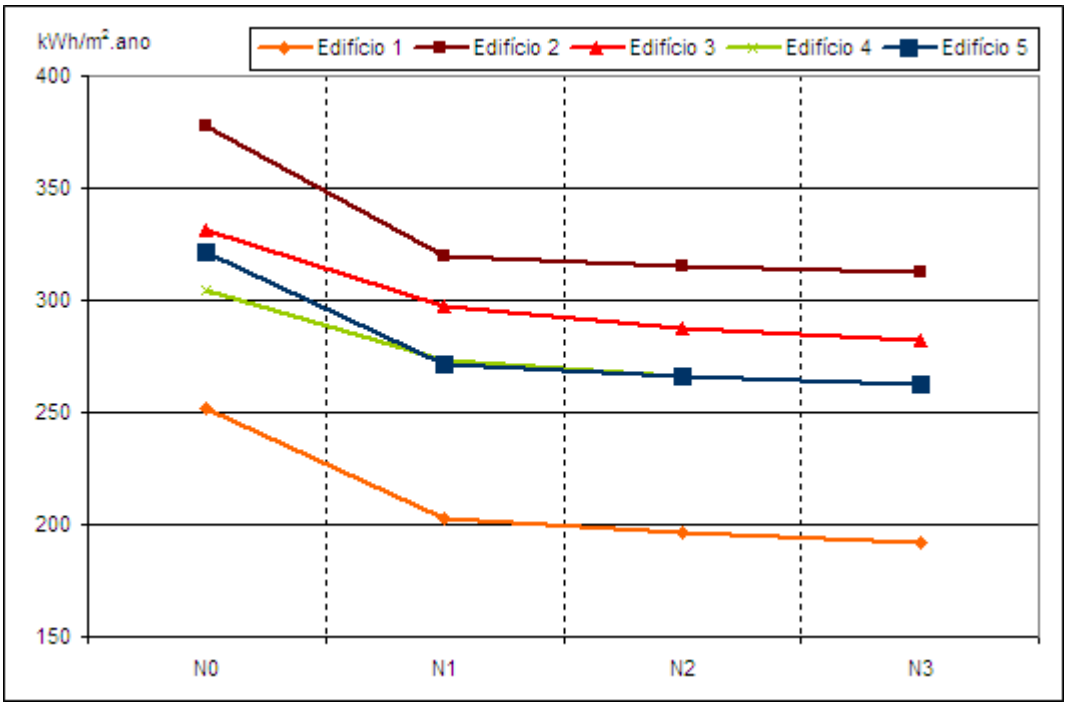


Fig. 4.30 - Variação das Nic em função dos níveis de qualidade térmica exigido para as paredes exteriores.

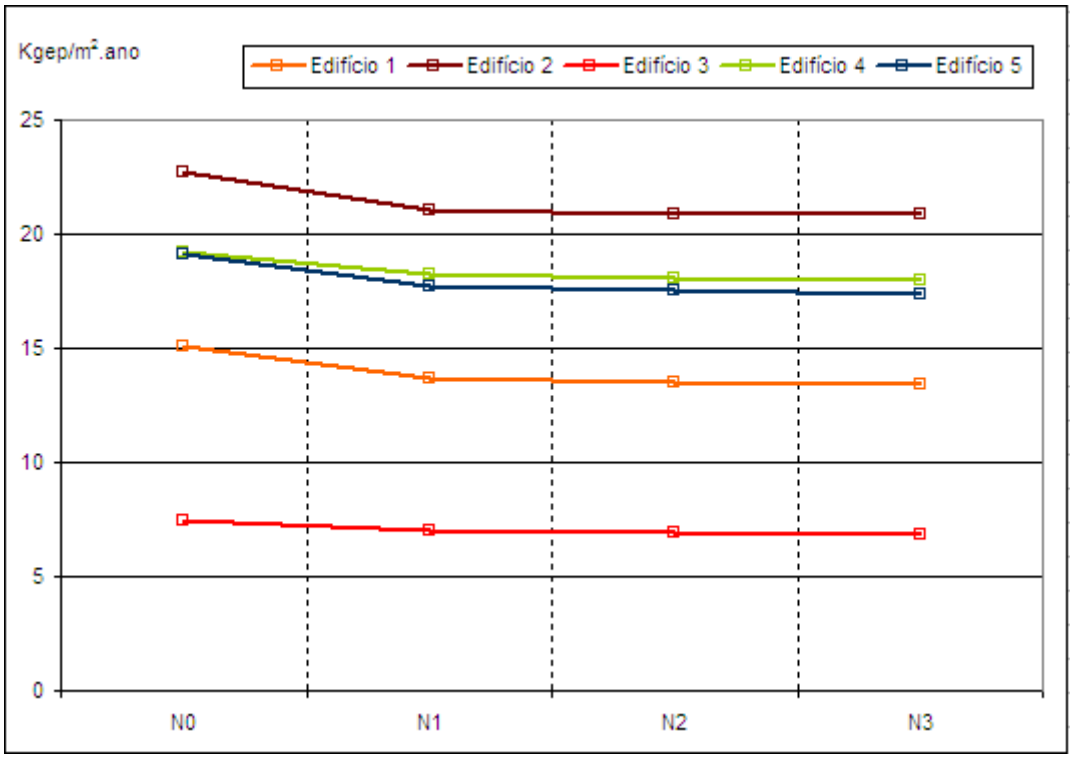


Fig. 4.31 - Variação das Ntc em função dos níveis de qualidade térmica exigido para as paredes exteriores.

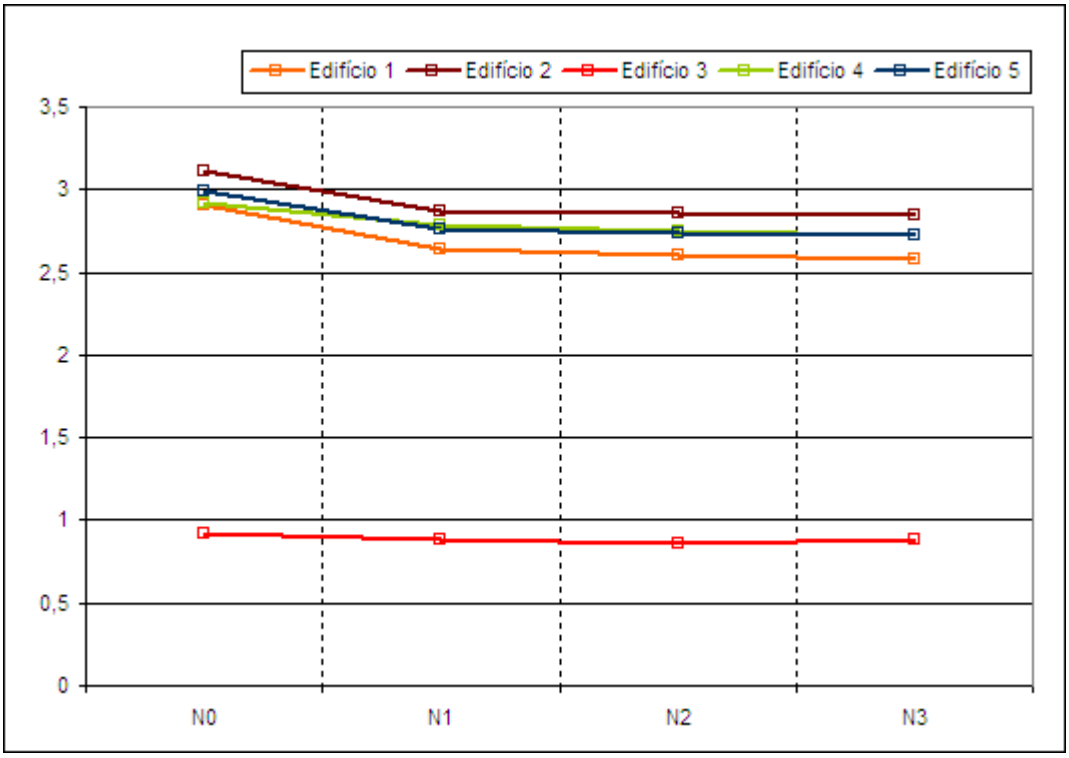


Fig. 4.32 - Variação da razão Ntc/Nt em função dos níveis de qualidade térmica exigido para as paredes exteriores.

Pela análise das figuras 4.30 e 4.31, verifica-se que a variação mais acentuada das necessidades energéticas, decorre na passagem do nível N0 para o nível N1, em resultado do incremento de isolamento térmico nas paredes exteriores. Relembro que na sua situação original (N0), nenhum dos edifícios em estudo tem a envolvente isolada, pelo que a introdução de isolamento na mesma é bastante notória. A crescente aposta na qualidade térmica das paredes, traduz-se num impacto cada vez mais reduzido na variação das Nic e principalmente das Ntc, não se justificando a aposta no nível de qualidade N3, pela reduzida eficiência energética que este nível proporciona comparativamente com os níveis N1 ou N2.

Em termos de classificação energética, a passagem do nível N0 para N1, promove em alguns edifícios, alterações da classe energética, decorrentes da introdução de isolamento térmico nas paredes exteriores. Contudo, o aumento da espessura do isolamento térmico, directamente relacionado com a maior exigência de qualidade térmica decorrente da passagem de N1 para N2 e de N2 para N3, não volta a causar alterações na classe energética dos edifícios estudados, mantendo-se a classificação atingida pelo reforço térmico de nível de exigência N1 (figura 4.32).

Paralelamente, para cada solução de reforço térmico de paredes exteriores proposta, foi analisada a variação da espessura do isolamento térmico em função do nível de exigência de qualidade térmica adoptado (figura 4.43 - 4.46).

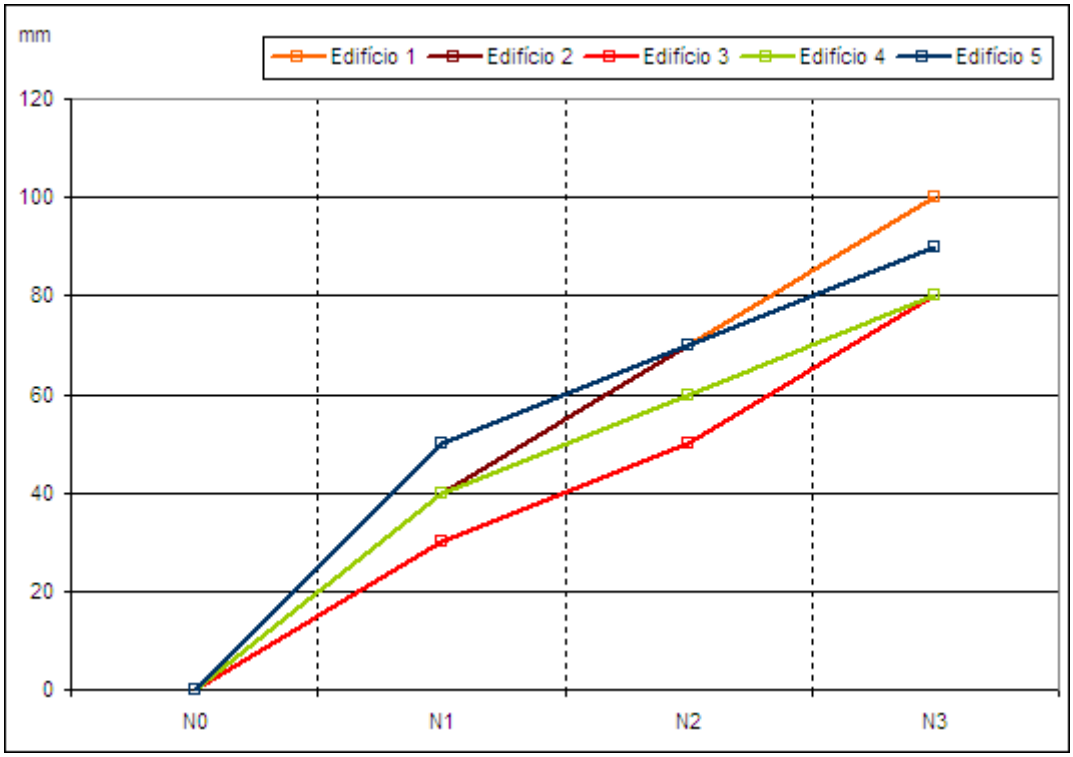


Fig. 4.33 - Variação da espessura de isolamento térmico no sistema fachada ventilada, em função do nível de qualidade térmica exigido para as paredes exteriores.

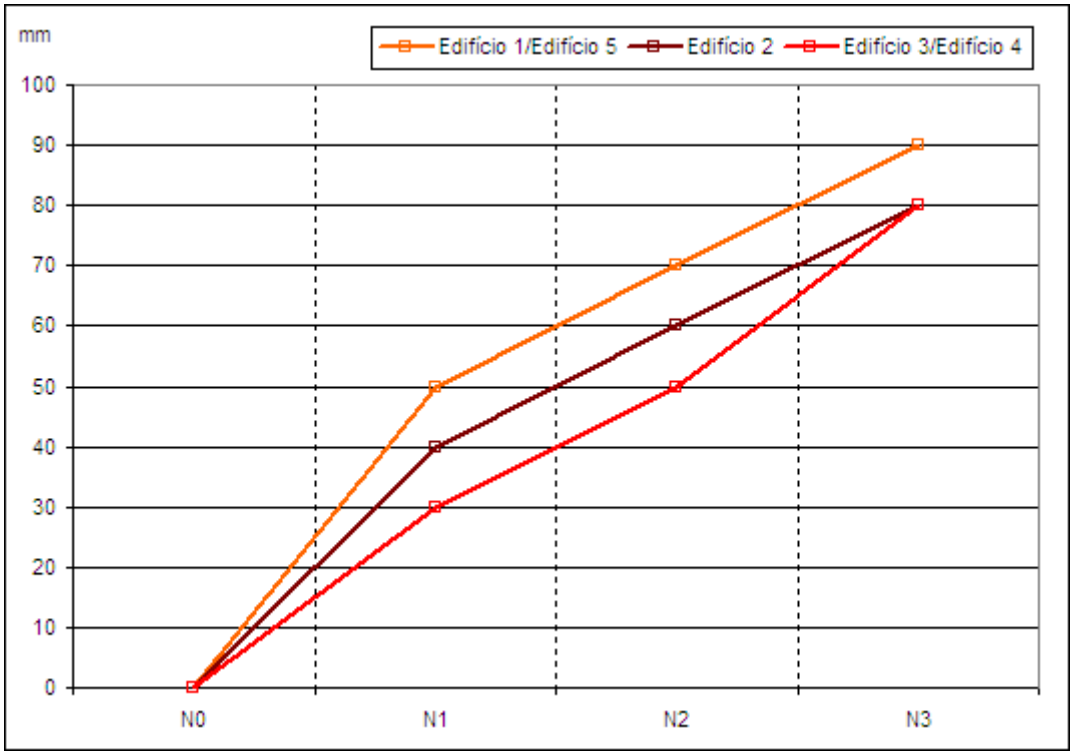


Fig. 4.34 - Variação da espessura de isolamento térmico no sistema ETICS, em função do nível de qualidade térmica exigido para as paredes exteriores.

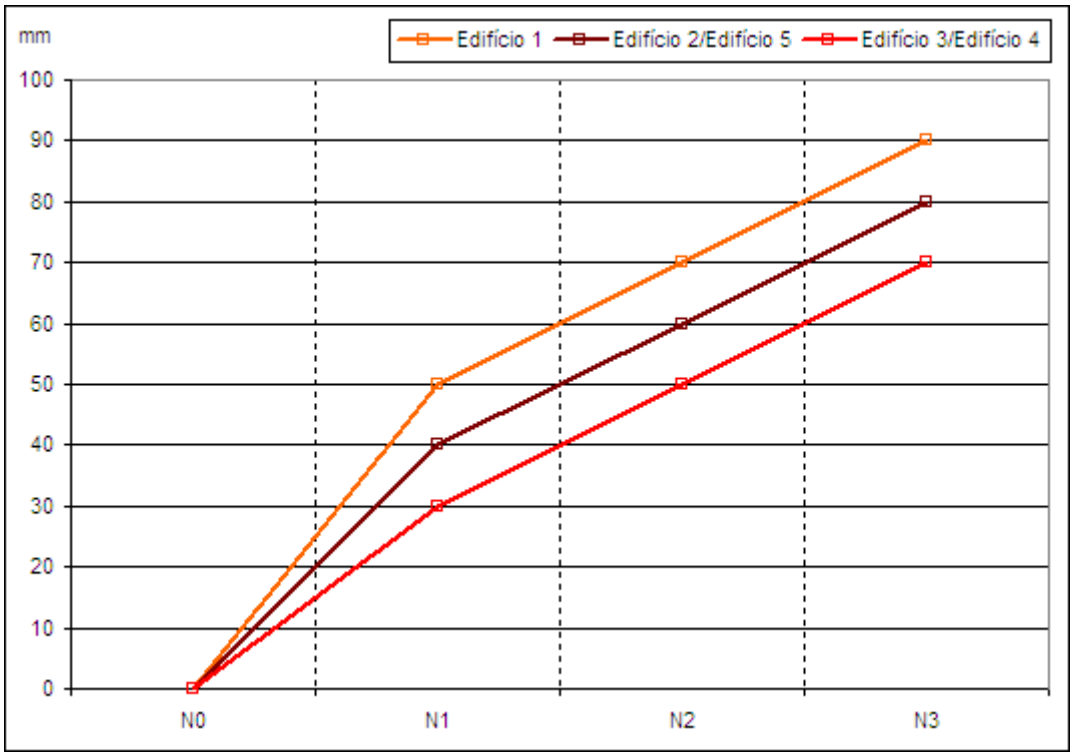


Fig. 4.35 -Variação da espessura de isolamento térmico nos painéis isotérmicos perfilados, em função do nível de qualidade térmica exigido para as paredes exteriores.

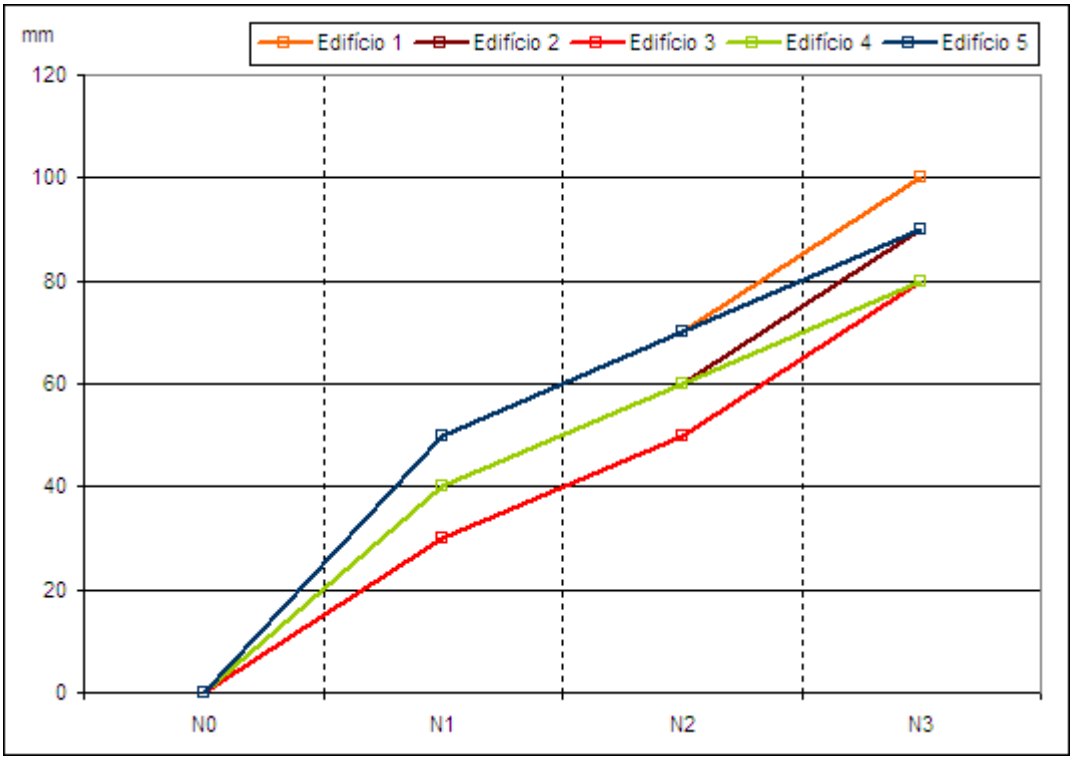


Fig. 4.36 - Variação da espessura de isolamento térmico nos painéis isotérmicos directos, em função do nível de qualidade térmica exigido para as paredes exteriores.

Pela análise das figuras, verifica-se que para qualquer uma das soluções de isolamento térmico, a espessura de isolamento aumenta de acordo com o nível de exigência adoptado, verificando-se a necessidade de espessuras de isolamento superiores para um nível de qualidade térmica N3 do que para um nível de qualidade térmica N2 ou N1. Note-se que o nível N3 impõe a aplicação de espessuras de isolamento superiores a 70 mm, podendo atingir os 100 mm no caso da aplicação do sistema de fachada ventilada ou no sistema directo de isolamento pelo interior (figura 4.3.3 e figura 4.36). A aplicação de tais espessuras em paredes exteriores, torna-se grande parte das vezes inviável tecnicamente, pelo que a adopção por este nível de exigência deve ser bastante ponderada.

Os níveis N1 ou N2, promovem espessuras que rondam os 30 a 50 mm e os 50 a 70 mm respectivamente, o que lhes confere uma certa vantagem técnica relativamente ao nível N3. Por outro lado, a melhoria de eficiência conseguida pela adopção de um nível de qualidade N3, em detrimento de um nível N2 ou N1, é muito pouco significativa, tal como se verificou no texto anterior.

Deste modo, pela eficiência energética que proporciona relativamente ao nível N0 e N1 e pelas espessuras de isolamento que pratica, o nível N2 parece ser aquele que melhor condições reúne para ser usado no estudo da avaliação da influência do isolamento térmico das paredes exteriores no desempenho energético dos edifícios, segundo o método simplificado.

Nestas condições procede-se à análise das necessidades energéticas, de modo a verificar se o isolamento das paredes exteriores permite uma redução significativa das mesmas necessidades e consequentemente uma alteração da classe energética originalmente atribuída aos edifícios da amostra em estudo.

Quadro 4.26 – Coeficiente de transmissão térmica de referência para zonas opacas verticais segundo o RCCTE. [11]

Elemento exteriores da zona corrente	Zona Climática
	I3
Zonas opacas verticais	0,5

Quadro 4.27 – Coeficiente de transmissão térmica das paredes exteriores para o nível de qualidade de reforço térmico adoptado.

Paredes Exteriores	Níveis de conforto	U
		(W/m2.ºC)
Sem isolamento	N0	U s/isolante
Com isolamento	N2	0,75*Uref

4.4.3. Análise das Nic, Nvc e Nac após o Isolamento Térmico das Paredes Exteriores

Pretende-se avaliar a influência que o reforço térmico das paredes exteriores dos edifícios da amostra terá sobre as necessidades de energia útil para aquecimento e arrefecimento dos mesmos. A título meramente indicativo, serão apresentados os valores referentes às necessidades de energia útil para a preparação das águas quentes sanitárias, uma vez que, como é óbvio, o reforço térmico da envolvente não provocará qualquer variação nas mesmas. Deste modo, os resultados obtidos para as referidas necessidades energéticas são apresentados nas figuras seguintes.

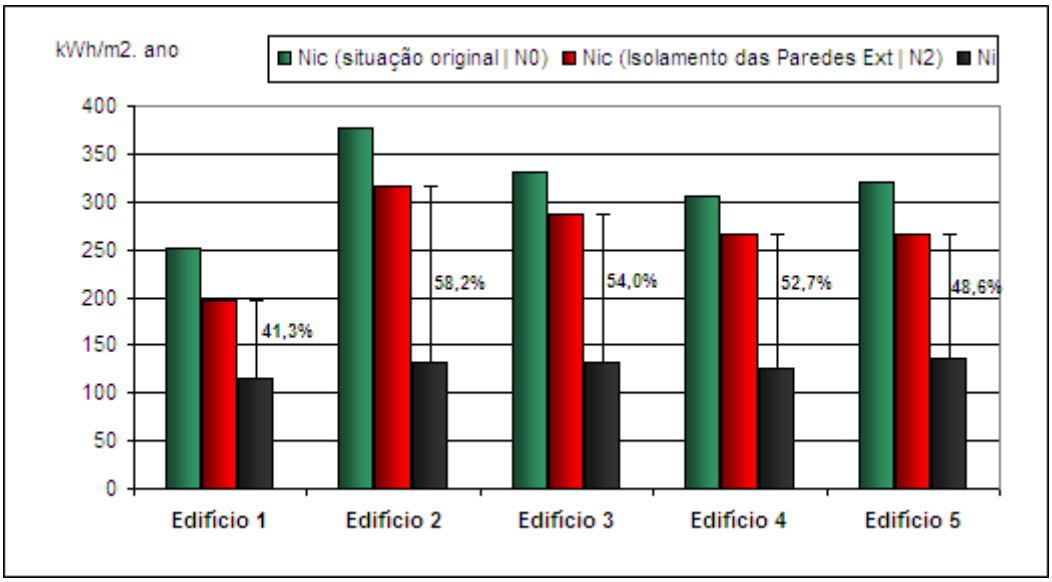


Fig. 4.37 - Caracterização das Nic dos edifícios na situação original e após o isolamento das paredes.

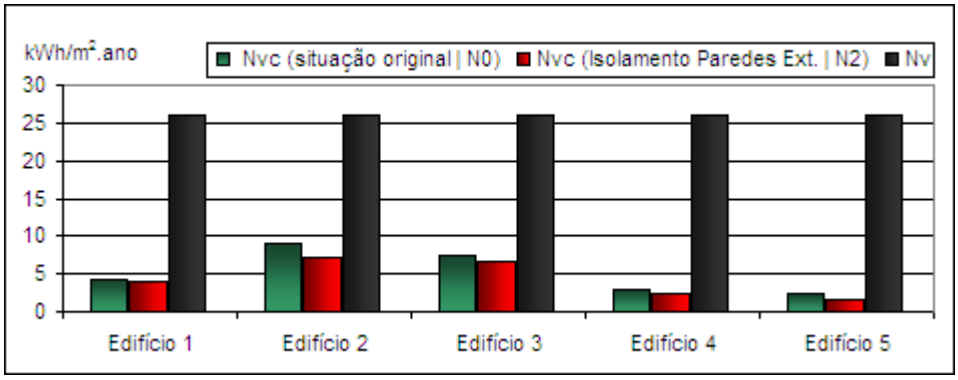


Fig. 4.38 - Caracterização das Nvc dos edifícios na situação original e após o isolamento das paredes.

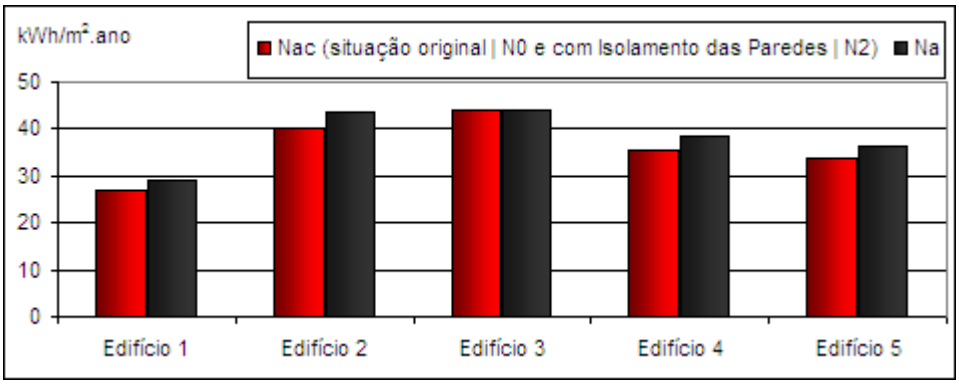


Fig. 4.39 - Caracterização das Nac dos edifícios na situação original e após o isolamento das paredes.

Tal como seria de esperar, o reforço térmico das paredes exteriores, permite uma redução das necessidades de energia útil para climatização do ambiente interior dos edifícios (aquecimento e arrefecimento), por comparação com os resultados obtidos para as mesmas necessidades, na situação original dos mesmos edifícios. Note-se que essa redução é mais acentuada nas Nic do que nas Nvc, uma vez que a aplicação de isolamento térmico permite uma redução mais acentuada das perdas térmicas pela envolvente no inverno, do que os ganhos térmicos pela mesma envolvente opaca durante o verão (figura 4.37 e figura 4.38).

Nos edifícios em análise, as Nvc não constituem qualquer problema em termos de cumprimento do RCCTE [11], encontrando-se muito abaixo do limite fixado para as mesmas, Nv, quer para a situação original dos edifícios, quer após o reforço térmico das paredes (figura 4.38). O mesmo não acontece relativamente às Nic. Note-se que a redução das Nic decorrentes do reforço térmico das paredes exteriores dos edifícios não é assim tão significativa, continuando muito acima dos limites estabelecidos pelo RCCTE para as mesmas. Repare-se que é necessário reduzir as Nic entre 40 % a 60 %, de modo a fazer as mesmas respeitar os valores limites impostos pelo RCCTE [11] (figura 4.37).

Deste modo conclui-se que, apesar das paredes constituírem uma área significativa de envolvente exterior, a melhoria do desempenho energético conseguida a partir do isolamento térmico das mesmas, não se revela decisiva na diminuição das Nic, visto que as perdas térmicas pela envolvente exterior continuam muito elevadas, tal como veremos de seguida.

4.4.4. Análise das Perdas Térmicas após o Isolamento das Paredes Exteriores

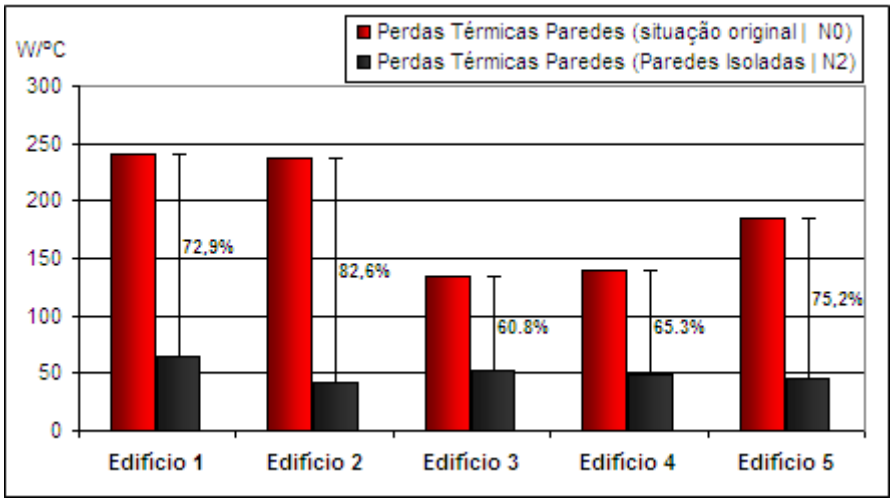


Fig. 4.40 - Caracterização das perdas térmicas pelas paredes na situação original e após o seu isolamento.

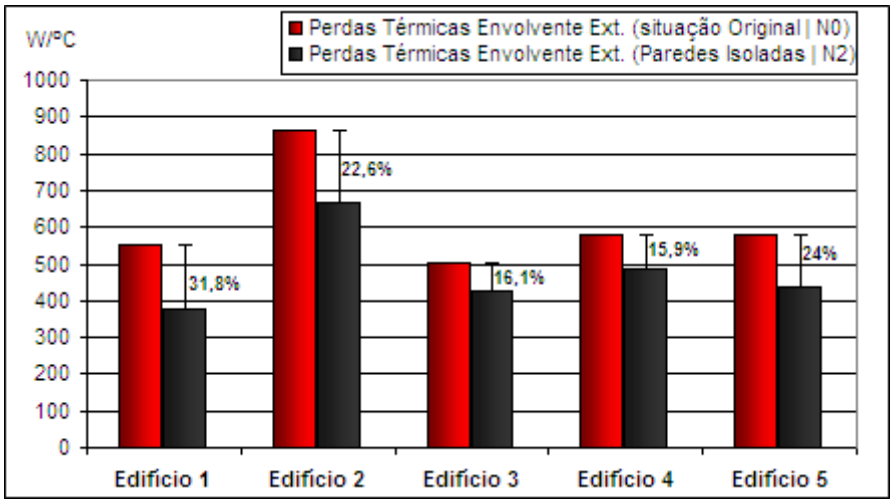


Fig. 4.41 - Caracterização das perdas térmicas pela envolvente exterior na situação original e após o isolamento das paredes.

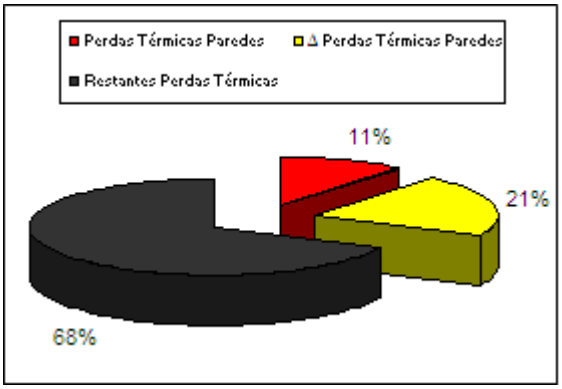


Fig. 4.42 – Caracterização geral da amostra em termos de perdas térmicas pela envolvente exterior após o isolamento das paredes exteriores.

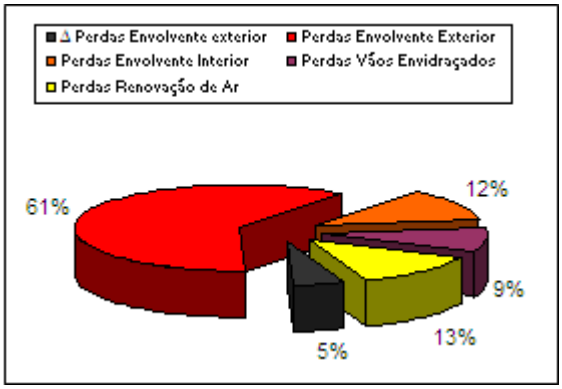


Fig. 4.43 – Caracterização geral da amostra em termos de perdas térmicas totais após o isolamento das paredes exteriores.

Note-se que a acção retardadora do isolante térmico sob o fluxo de calor para o exterior através das paredes, permite uma redução ao mínimo das perdas de calor pelas mesmas (figura 4.40). A redução das perdas térmicas rondará os 60 a 83 %, mediante o edifício em estudo, o que permite diminuir em termos globais na amostra, a importância das perdas pelas paredes nas perdas pela envolvente exterior em cerca de 21 %. Repare-se que, antes da introdução de isolamento térmico, as paredes eram responsáveis por 32% da totalidade das perdas pela envolvente exterior, sendo esta percentagem reduzida até os 11% com a implementação de tais medidas (figura 4.42).

Obviamente que, a aposta isolada no reforço térmico das paredes em relação à restante envolvente exterior, se traduz numa acção não tão eficaz em termos de redução de perdas térmicas da mesma envolvente. De facto, a redução de perdas térmicas pela envolvente exterior rondará os 16 a 32 %, mediante o edifício em análise (figura 4.41), sendo esta situação mais perceptível quando se analisa a amostra em termos globais, na qual se verifica que o reforço térmico das paredes implica uma redução mínima de apenas 5% das perdas pela envolvente exterior, continuando as mesmas a serem responsáveis por mais de 60% das perdas térmicas totais (figura 4.43).

Deste modo conclui-se que as intervenções de isolamento térmico das paredes exteriores dos edifícios, deverão ser equacionadas apenas quando o edifício for objecto de uma intervenção de reabilitação geral, pois só assim se justificam, em termos económicos e funcionais. Neste sentido, fica desde já explicita a necessidade de compatibilizar o reforço térmico das paredes em simultâneo com outros elementos não isolados da envolvente exterior, nomeadamente aqueles que mais contribuem para a ineficácia térmica da mesma tais como as coberturas exteriores, no sentido de se obterem melhores condições de conforto e consequentemente se reduzir a factura energética dos edifícios.

4.4.5. Análise das Ntc após o Isolamento das Paredes Exteriores.

Quadro 4.28 – Caracterização das Ntc após o isolamento das paredes exteriores.

Necessidades Energéticas	Edifício 1	Edifício 2	Edifício 3	Edifício 4	Edifício 5
Ntc	13,5	20,92	6,94	18,06	17,51
Nt	5,19	7,32	8,05	6,57	6,4
Ntc/Nt	2,60	2,86	0,86	2,75	2,74

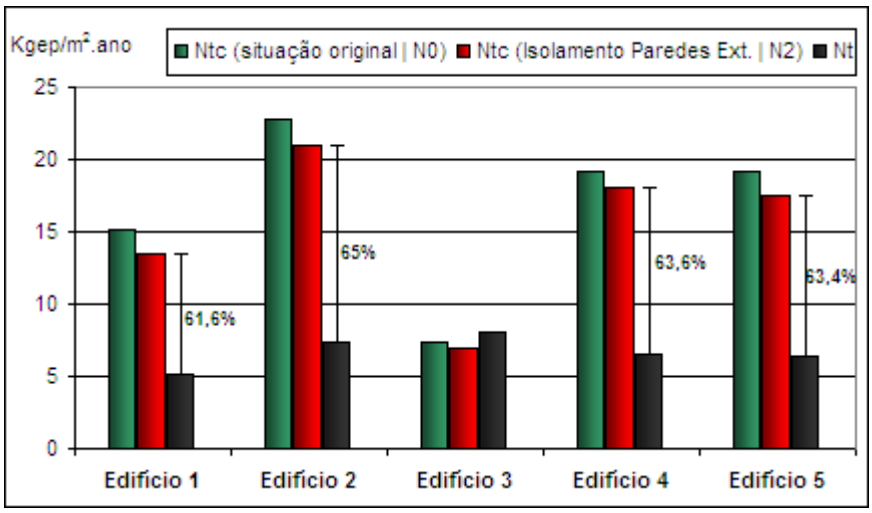


Fig. 4.44 - Caracterização das Ntc dos edifícios na situação original e após o isolamento das paredes.

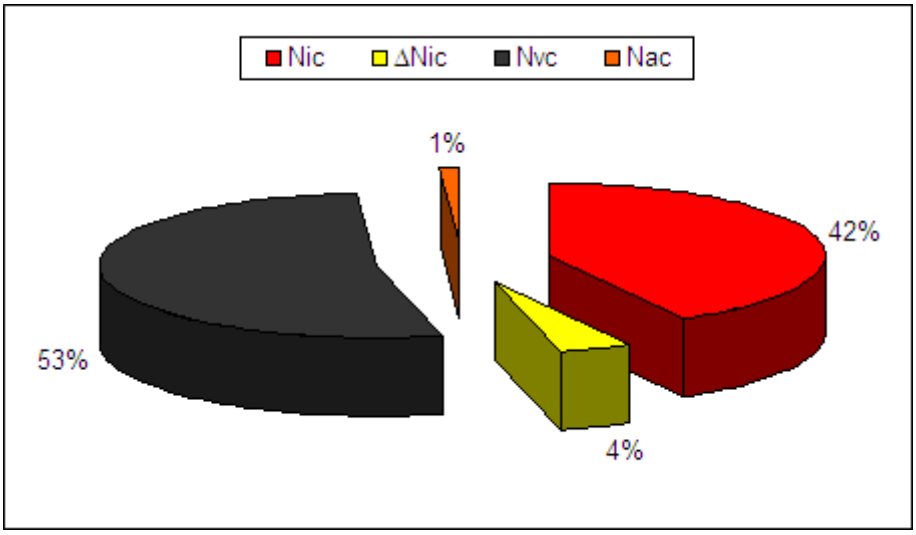


Fig. 4.45 – Análise da redução das Nic no cálculo das Ntc após o isolamento das paredes.

A influência do reforço térmico das paredes exteriores sobre as Ntc é muito menor do que sobre as Nic. Note-se pela observação da figura 4.44 que a redução das Ntc é mínima em todos os casos de estudo, continuando as mesmas muito acima do limite estabelecido pelo RCCTE [60 – 65 %], com a excepção do edifício 3. A explicação encontrada para a reduzida influência das intervenções de reforço térmico de paredes exteriores na redução das Ntc, está directamente relacionada com o factor de ponderação atribuído às Nic, Nvc e Nac, na fórmula de cálculo das Ntc, tal como já foi referido anteriormente neste trabalho. Esse factor atribui uma importância superior às necessidades de energia útil para a preparação das águas quentes sanitárias, e paralelamente diminui a importância das necessidades de energia útil para aquecimento e arrefecimento do ambiente. Neste sentido, a aposta na reabilitação energética da envolvente exterior, apesar de proporcionar vantagens ao nível do conforto térmico e ser um investimento viável economicamente, poderá não ser muito eficiente em termos de melhoria de classe energética, ao contrário de outras medidas de melhoria de desempenho energético, nomeadamente ao nível das soluções de preparação de águas quentes sanitárias cuja influência no cálculo das Ntc é superior a 50 %, tal como se pode verificar pela análise da figura 4.45. Repare-se na mesma figura que o reforço térmico das paredes exteriores, apenas reduz em 4 % as Nic no cálculo das Ntc.

A análise particular do edifício 3 permite concluir isso mesmo. Note-se que se trata de um edifício que se caracteriza pelas elevadas necessidades de energia útil para aquecimento devido às elevadas perdas térmicas pela envolvente exterior, decorrentes principalmente da insuficiência de isolamento térmico, mas que ao contrário dos restantes edifícios estudados possui um equipamento de preparação de águas quentes sanitárias muito mais eficiente em termos energéticos (caldeira mural a combustível liquido em vez de termoacumulador eléctrico). Desta forma, como as necessidades de energia primária serão menores, atinge uma classificação energética muito superior.

Deste modo, verifica-se que o processo de certificação energética de edifícios existentes, não está a atribuir a devida importância ao conforto térmico dos edifícios. Volta-se a reforçar a importância de compatibilizar a eficiência energética com o conforto térmico das habitações, pelo que é importante valorizar, para além da eficiência dos equipamentos, a qualidade das soluções construtivas dos edifícios.

4.4.6. Classificação Energética dos Edifícios após o Isolamento das Paredes Exteriores

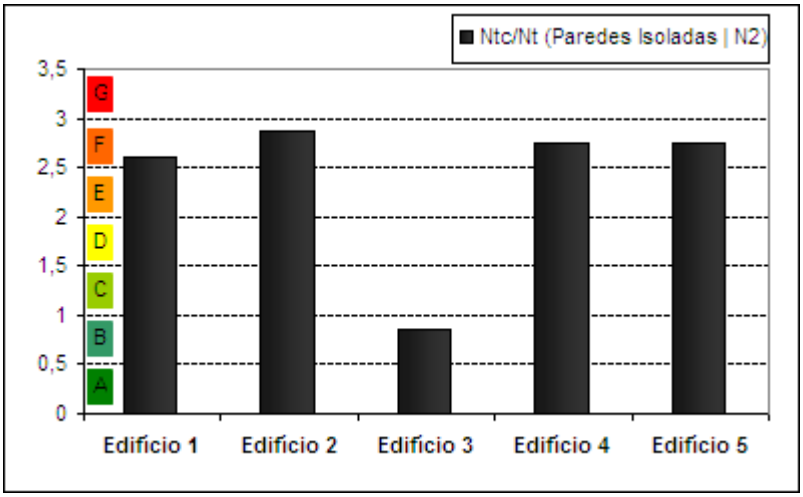


Fig. 4.46 - Classificação energética dos edifícios após o isolamento das paredes exteriores.

Pela análise da figura 4.46, verifica-se que o reforço térmico das paredes apenas proporciona a alteração da classe energética do edifício 2, o qual passa a ser classificado como F em vez de G. Em termos gerais na amostra em estudo, é notório que a melhoria de envolvente proposta não proporciona a redução necessária das necessidades nominais globais de energia primária, de modo a conseguir melhorar a eficiência energética dos edifícios em estudo. Mantém-se assim a baixa eficiência energética dos mesmos, com valores de Ntc muito superiores aos limites estabelecidos para as mesmas, sendo certificados com a classe F, com a excepção do edifício 3 cuja classe é B-.

É inquestionável a importância que o reforço térmico das paredes exteriores promove em termos do conforto térmico das habitações. Contudo, essa medida revela-se insuficiente para a eficiência energética do edifício no seu todo. Note-se que, o factor de ponderação aplicado às Nic, no cálculo das Ntc, reduz de forma muito significativa a importância das mesmas, pelo que a redução de perdas térmicas pela envolvente terá de atingir uma ordem de grandeza muito maior do que aquela que resulta do isolamento das paredes exteriores, com vista a uma melhoria de classe energética, ou seja, será necessário uma intervenção de reforço térmico numa área superior de envolvente exterior, de modo a causar uma redução superior das Nic e consequentemente das Ntc.

Sugere-se ainda a consulta do Anexo A.5 no qual se apresentam os quadros resumo resultantes da aplicação do método simplificado aos edifícios com paredes isoladas segundo um nível de qualidade térmica N2.

4.4.7. Alargamento do Isolamento Térmico às Coberturas Exteriores

4.4.7.1 Objectivo

No seguimento do que já foi referido, uma vez que o isolamento das paredes exteriores dos edifícios em análise, para um nível de qualidade térmica bastante elevado (N2), se demonstrou insuficiente no sentido de reduzir significativamente as necessidades energéticas e melhorar a classificação energética dos mesmos edifícios, pretende-se neste ponto do trabalho, verificar de forma muito simples se o aumento da área de envolvente isolada, tornará os edifícios mais eficientes. Deste modo, para além do isolamento das paredes, decidiu-se isolar também as coberturas exteriores.

4.4.7.2 Estratégia de Abordagem

Mais uma vez é importante verificar a variação das Nic, das Ntc e da classificação energética dos edifícios, em função do nível de exigência de qualidade térmica, no sentido de escolher o nível de qualidade térmica que mais se adequa a este tipo de intervenções (figuras 4.47, 4.48 e 4.49).

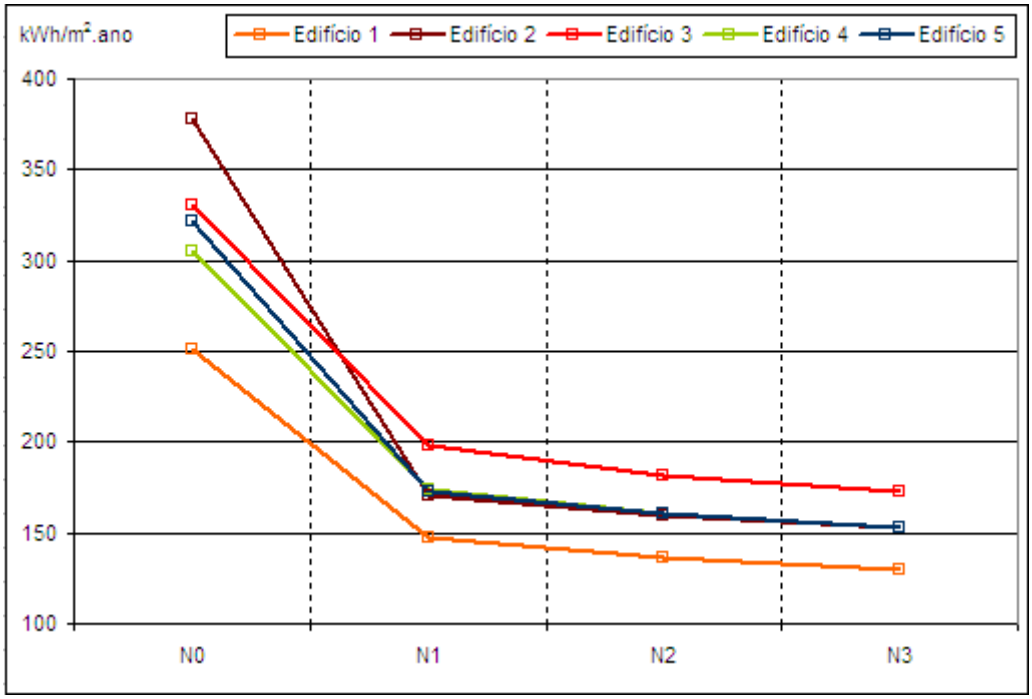


Fig. 4.47 - Variação das Nic em função do nível de qualidade térmica exigido de paredes e coberturas exteriores.

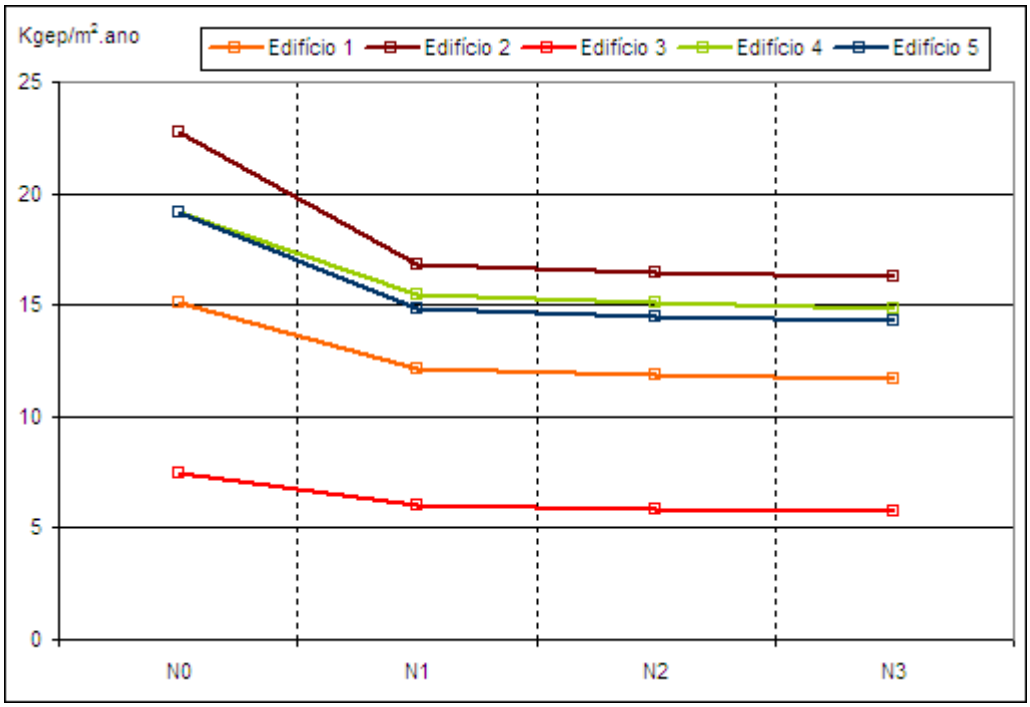


Fig. 4.48 - Variação das Ntc em função do nível de qualidade térmica de paredes e coberturas exteriores.

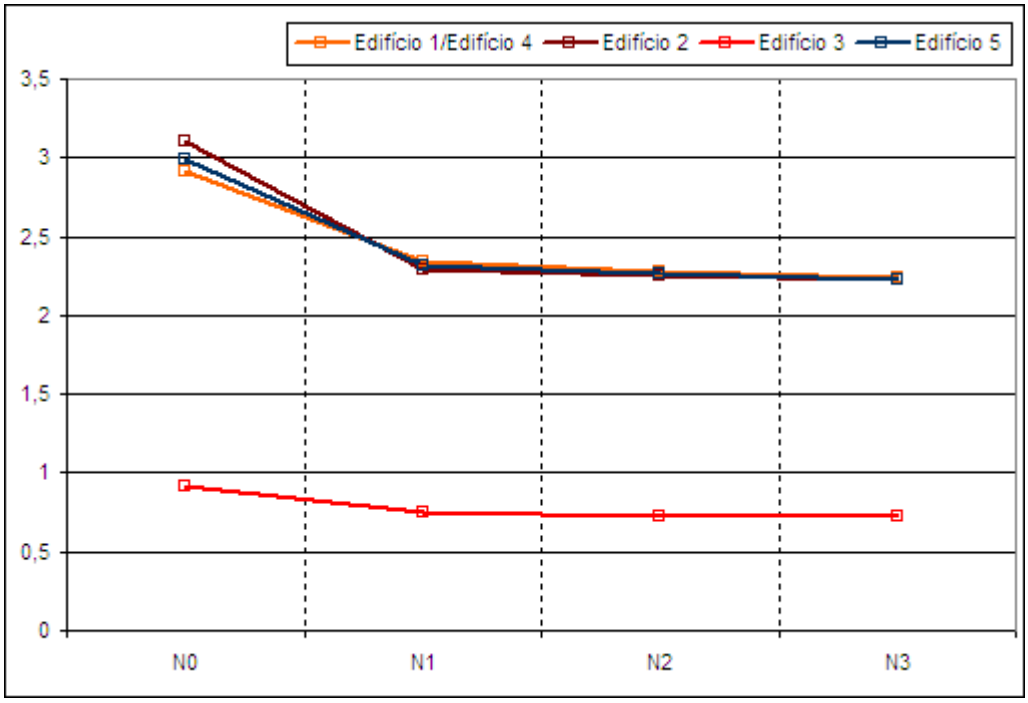


Fig. 4.49 - Variação da razão Ntc/Nt em função do nível de qualidade térmica de paredes e coberturas exteriores.

Em termos de necessidades energéticas verifica-se que a introdução de isolamento numa área superior de envolvente, implica uma redução mais acentuada das mesmas necessidades, principalmente na passagem do nível N0 para N1, aquando da introdução de isolamento térmico nas paredes e coberturas, por comparação com o que se tinha verificado no isolamento exclusivo das paredes exteriores. Tal como se esperava, a crescente aposta no nível de qualidade térmica, revela-se pouco significativa em termos de variação de Ntc (figura 4.8), muito embora o impacto sobre as Nic, decorrentes da aposta num nível de qualidade N2 ou N3 por comparação com um nível de qualidade N1, seja agora bastante mais notada, em virtude da maior área de envolvente isolada (figura 4.8). No que respeita à classificação energética, verifica-se que a transição de nível N0 para o nível N1 (introdução de isolamento térmico) é a mais produtiva em termos de melhoria de classificação energética, conseguindo-se em alguns dos casos estudados, melhorar a classificação energética em duas classes (figura 4.49). O aumento do nível de exigência de qualidade térmica do nível N1 para N2 e de N2 para N3, não provocou qualquer alteração nas classificações energéticas das habitações.

Deste modo, pela interpretação dos resultados apresentados, e mediante as prestações conseguidas para cada um dos três níveis estudados, decidiu-se avaliar a influência do reforço térmico das paredes e coberturas exteriores nas necessidades energéticas dos edifícios da amostra, para um nível de qualidade térmica N1.

Quadro 4.29 – Coeficiente de transmissão térmica de referência para zonas opacas verticais e horizontais segundo o RCCTE. [11]

Elemento exteriores da zona corrente	Zona Climática I3
Zonas opacas verticais	0,5
Zonas opacas horizontais	0,4

Quadro 4.30 – Coeficiente de transmissão térmica de paredes e coberturas exteriores para o nível de qualidade de reforço térmico adoptado.

Solução	Níveis de conforto	U (W/m2.ºC)
Sem isolamento	N0	U s/isolante
Reforço Térmico	N1	Uref

4.4.7.3. Análise das Nic após o Isolamento das Paredes e Coberturas exteriores

Será analisado o impacto que o aumento da área de envolvente isolada terá sobre as necessidades de energia útil para aquecimento. É de esperar uma redução mais acentuada das mesmas, por comparação com a mesma redução aquando do reforço térmico exclusivo das paredes, uma vez que as perdas térmicas pela envolvente exterior serão menores.

Os resultados obtidos para as referidas necessidades energéticas são apresentados no quadro seguinte.

Quadro 4.31 – Valores das Nic dos edifícios após o Isolamento das paredes e coberturas exteriores.

Necessidades Energéticas	Edifício 1	Edifício 2	Edifício 3	Edifício 4	Edifício 5
Nic	147,13	170,14	197,85	173,12	172,43
Ni	115,11	131,82	132,32	126	136,81

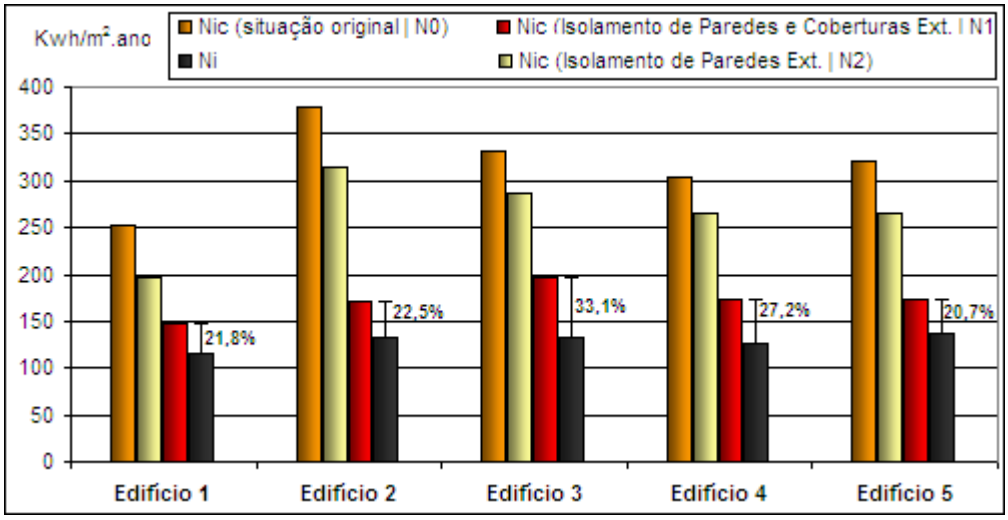


Fig. 4.50 – Caracterização das Nic na situação original e após o isolamento das paredes ou simultaneamente das paredes e coberturas exteriores.

Pela observação da figura 4.50, é notória a redução das Nic devido ao isolamento das paredes e coberturas exteriores, por comparação quer com a situação original do edifício quer com a situação de isolamento exclusivo das paredes exteriores. A maior área de envolvente exterior isolada reduz de forma mais significativa as perdas através da envolvente exterior o que se traduz numa redução superior das Nic. Note-se que, mesmo causando um impacto superior sobre as Nic, estas continuam superiores aos limites regulamentados para as mesmas, Ni. Obviamente que, as percentagens de Nic a reduzir de modo a cumprir o RCCTE [11], são agora bastante inferiores às mesmas verificadas na situação original dos edifícios bem como na situação de reforço térmico exclusivo das paredes exteriores. Contudo, na generalidade da amostra, continuam superiores as 20%, sendo que nos edifícios 3 e 4, as percentagens ultrapassam os 30 e 25% respectivamente (figura 4.50), o que permite concluir sobre a necessidade de actuação a outros níveis de envolvente, de modo a cumprir os limites impostos pelo RCCTE.

4.4.7.4. Análise das Perdas Térmicas após o Isolamento das Paredes e Coberturas Exteriores

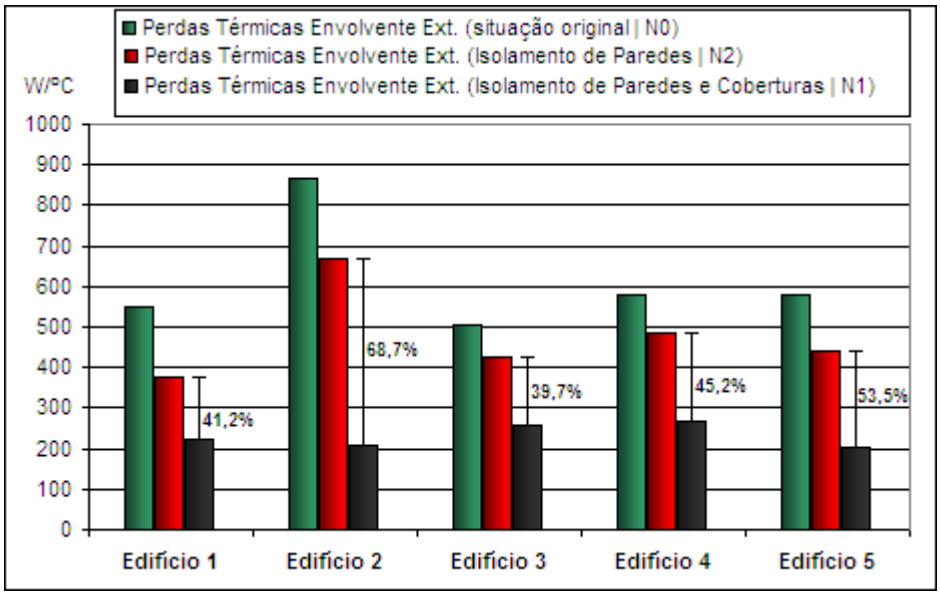


Fig. 4.51 - Caracterização das perdas térmicas pela envolvente na situação original e após o isolamento das paredes ou simultaneamente das paredes e coberturas exteriores.

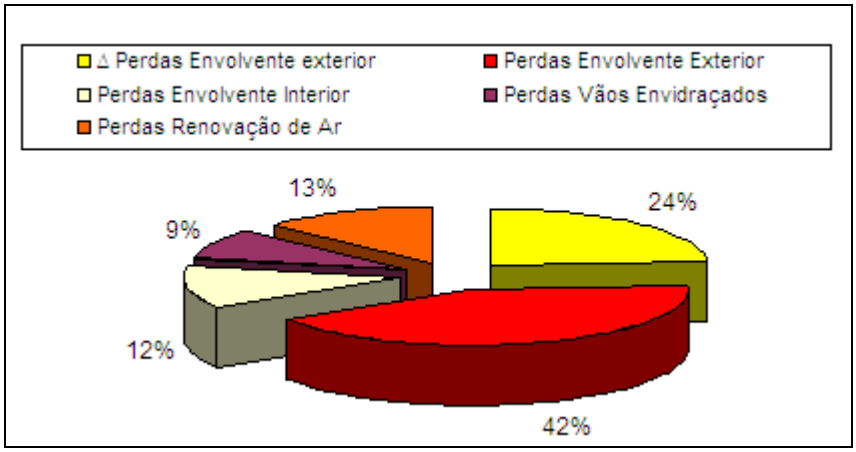


Fig. 4.52 – Caracterização geral das perdas térmicas totais, após o isolamento das paredes e coberturas exteriores.

Pelos resultados apresentados, verifica-se que o alargamento da área de envolvente isolada permite uma redução mais acentuada das perdas térmicas, por comparação com a redução conseguida com o isolamento exclusivo das paredes exteriores. De facto, a maior parte das trocas térmicas entre os ambientes exterior e interior processa-se através das paredes e coberturas exteriores, pelo que o reforço térmico das mesmas em simultâneo proporciona uma eficiência energética muito superior.

Note-se que a acção retardadora do isolante térmico sob o fluxo de calor para o exterior através das paredes e coberturas, permite uma redução ao mínimo das perdas de calor pela envolvente exterior. A redução térmica rondará os 50 a 80 %, mediante o edifício em estudo (figura 4.51), o que permite diminuir em termos globais na amostra, a importância das perdas pela envolvente exterior na totalidade das perdas térmicas. Repare-se que antes do reforço térmico, a envolvente exterior era responsável por 66% da totalidade das perdas térmicas, sendo esta percentagem reduzida até os 42% com a implementação de tais medidas (figura 4.52). Os 42 % que se mantêm de perdas pela envolvente exterior voltam a justificar a necessidade de intervenção a outros níveis, com vista à redução as mesmas. Contudo, não nos podemos esquecer que esta acção é bastante mais limitativa no caso das moradias existentes, uma vez que as soluções construtivas e as opções arquitectónicas adoptadas são irreversíveis, conseguindo-se apenas melhora-las.

4.4.7.5. Análise das Ntc e correspondente Classificação Energética dos Edifícios após o Isolamento das Paredes e Coberturas exteriores

Quadro 4.32 – Valores das Ntc dos edifícios após o Isolamento das paredes e coberturas exteriores.

Necessidades Energéticas	Edifício 1	Edifício 2	Edifício 3	Edifício 4	Edifício 5
Ntc	12,13	16,78	6,04	15,44	14,84
Nt	5,19	7,32	8,05	6,57	6,4
Ntc/Nt	2,34	2,29	0,75	2,35	2,32
CE	E	E	B⁻	E	E

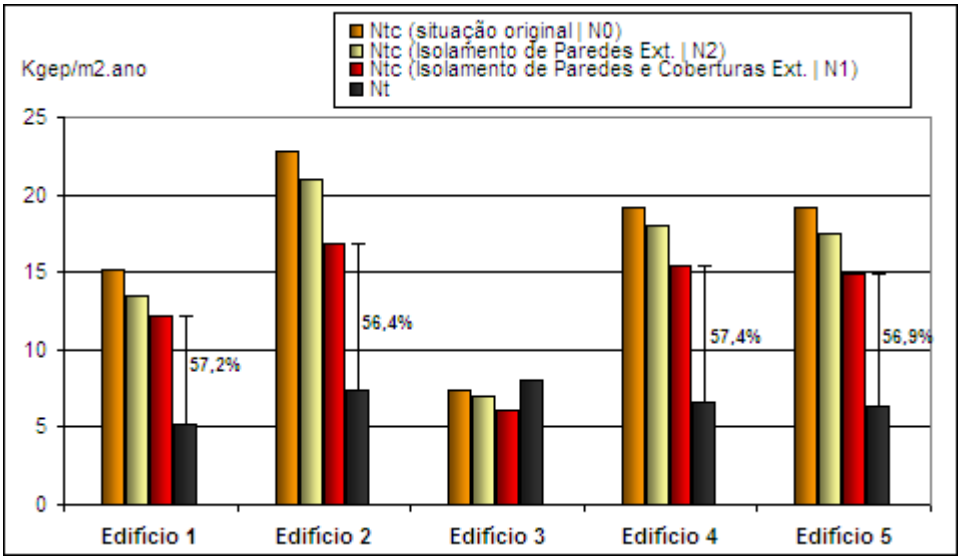


Fig. 4.53 – Caracterização das Ntc na situação original e após o isolamento das paredes ou simultaneamente das paredes e coberturas exteriores.

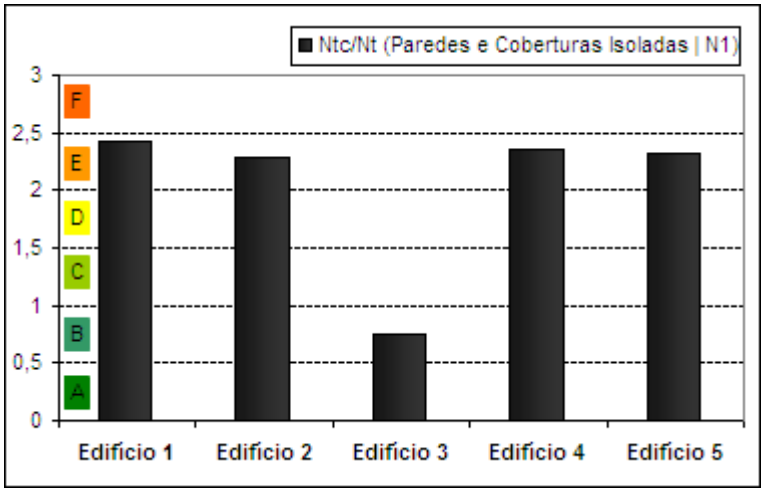


Fig. 4.54 - Classificação energética dos edifícios após o isolamento das paredes e coberturas exteriores.

A maior redução das perdas térmicas conseguida pela maior área de envolvente isolada, implica necessariamente uma redução superior das necessidades de energia útil para aquecimento e consequentemente das necessidades nominais globais de energia primária, conseguindo-se melhorar a classe energética de todas as habitações, com a excepção do edifício 3, que mantém a classificação B$^-$. Todos os outros obtêm a classificação E, continuando a ser caracterizados como edifícios pouco eficientes energeticamente (figura 4.54). Note-se, pela observação da figura 4.53, que as Ntc continuam muito superiores ao limite regulamentar estabelecido para as mesmas [55-60 %], concluindo-se que é muito difícil a partir de soluções de melhoria de desempenho energético da envolvente exterior, melhorar a classificação energética dos edifícios com baixo desempenho energético, para classes correspondentes a um desempenho elevado ou até mesmo mediano.

No Anexo A.6 apresenta-se para cada edifício da amostra um quadro resumo resultante da aplicação do método simplificado aos edifícios com paredes e coberturas isoladas segundo um nível de qualidade térmica N1, com vista a uma análise mais pormenorizada das necessidades energéticas dos mesmos.

4.5. ANÁLISE CRÍTICA DOS RESULTADOS

A análise crítica que neste ponto se desenvolve está directamente relacionada com o âmbito de elaboração deste trabalho, ou seja, com o processo de certificação energética de edifícios existentes.

De acordo com o que foi definido pelo SCE, o certificado energético de edifícios existentes destina-se a informar os interessados sobre os consumos energéticos dos edifícios, em condições reais ou aferidos para padrões de utilização típicos, o que permite aos potenciais compradores ou arrendatários aferirem a qualidade do imóvel no que respeita ao seu desempenho energético. Deste modo, o certificado energético deve pesar no processo de decisão de compra ou aluguer e funcionar como um instrumento comparativo, como factor de transparência e de concorrência no mercado, rumo às melhores classificações.

A melhoria da classificação energética de um edifício ou fracção é conseguida a partir do momento em que o proprietário executa as medidas de melhoria de desempenho energético propostas pelo perito qualificado aquando da emissão do certificado energético, existindo áreas de intervenção que promovem melhorias de classificação energética mais acentuadas do que outras.

Verificou-se no desenvolvimento deste estudo de sensibilidade que a melhoria do desempenho energético da envolvente exterior, através do isolamento térmico das paredes ou do isolamento térmico das paredes e coberturas exteriores, apesar de todos os benefícios que acarreta em termos de conforto térmico, não se traduz numa redução significativa das necessidades energéticas, continuando os edifícios a caracterizarem-se pela sua baixa eficiência energética.

A explicação para este facto está directamente relacionada com a fórmula de cálculo das Ntc, nomeadamente no que respeita aos factores de ponderação atribuídos às Nic, Nvc e Nac, tal como já foi referido neste trabalho. Repare-se que é atribuída uma importância superior às Nac por comparação com as Nic e Nvc, pelo facto de se considerar mais regular, ao longo dos meses do ano, a utilização dos sistemas de preparação de AQS por comparação com os equipamentos de climatização (aquecimento e arrefecimento). A aposta em sistemas de energia alternativa, para a preparação de AQS, é assim muito eficaz no sentido de melhorar a classificação energética das habitações, uma vez que implica uma redução superior das necessidades globais de energia primária.

A análise particular do edifício 3 permite concluir isto mesmo. De facto, apesar das elevadas necessidades energéticas para aquecimento, decorrentes das elevadas perdas térmicas pela envolvente exterior (devido ao insuficiente isolamento da mesma), o edifício 3 consegue obter uma classificação energética equivalente a edifícios com alto desempenho energético. A explicação para este facto surge associada ao sistema de preparação de AQS. Enquanto que a generalidade dos edifícios usa um termoacumulador eléctrico para a preparação das AQS, o edifício 3 usa um sistema energeticamente mais eficiente - caldeira mural com combustível líquido.

Deste modo, sendo o RCCTE [11] um regulamento com importantes requisitos de conforto térmico, e servindo de base ao cálculo do desempenho energético dos edifícios aquando do processo de certificação energética dos mesmos, será aceitável classificar um edifício com a classe energética B- (alto desempenho energético), sabendo que o mesmo não possui isolamento térmico na envolvente exterior? Será aceitável que um edifício com elevadas perdas térmicas e consequentemente elevadas necessidade energéticas para aquecimento, obtenha a designação de edifício com alto desempenho energético? Não estaremos deste modo a transformar as medidas de melhoria de desempenho energético num campo do certificado energético em que se promove a venda de equipamentos que conduzem à melhoria da classe energética dos edifícios? Nestas condições até que ponto o certificado energético pode funcionar como instrumento comparativo e como factor de concorrência do mercado?

Torna-se necessário rever o processo de certificação energética dos edifícios, nomeadamente no que respeita à fórmula de cálculo das Ntc, tentando compatibilizar ao máximo o conforto térmico com a eficiência energética dos edifícios. A certificação energética dos edifícios visa principalmente a redução dos consumos energéticos pelos mesmos, no âmbito dos compromissos assumidos por Portugal perante a União Europeia, nomeadamente no que respeita ao Protocolo de Quioto. Neste sentido, a instalação de equipamentos de preparação de AQS e de climatização mais eficientes é uma aposta ganha. No entanto é importante realçar que a certificação energética poderá ser um meio muito eficaz na reabilitação do parque edificado português, principalmente no que diz respeito aos edifícios mais antigos, devendo para isso serem criadas condições que simultaneamente beneficiem as intervenções que promovam a qualidade construtiva e o conforto térmico.

5
CONCLUSÕES

5.1. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apresenta-se neste capítulo uma síntese das principais conclusões e considerações tecidas ao longo da análise efectuada, de uma forma necessariamente sucinta de modo a não o tornar redundante face ao corpo principal do trabalho, recomendando-se a consulta dos demais capítulos que o constituem para um aprofundamento dos respectivos temas.

Neste sentido, conclui-se que:

O acréscimo de eficiência energética dos edifícios é um imperativo decorrente dos compromissos internacionais assumidos por Portugal no âmbito do Tratado de Quioto para a redução das emissões de gases com efeito de estufa e da necessidade de redução da dependência energética do país em relação ao exterior.

Este acréscimo conduz a benefícios para os utilizadores, designadamente, a um maior conforto térmico nos edifícios e à redução dos custos de exploração associados aos consumos energéticos para aquecimento e arrefecimento das habitações.

Os edifícios mais antigos, principalmente aqueles que foram construídos antes da implementação do primeiro RCCTE, em 1990, caracterizam-se pelo seu baixo desempenho energético, devido às grandes necessidades de energia primária, decorrentes do insuficiente isolamento térmico da envolvente e da crescente exigência de conforto térmico, muitas vezes associada à utilização de equipamentos de climatização pouco eficientes do ponto de vista energético, aumentando os consumos de energia nos edifícios.

A certificação energética dos edifícios existentes é um instrumento muito importante na promoção da eficiência energética do sector dos edifícios, constituindo um passo importante para a crescente aposta na reabilitação do parque edificado Português. Neste sentido, reforça-se a importância da implementação das medidas de melhoria de desempenho energético, propostas no certificado energético, uma vez que a classificação energética de um edifício, não constitui por si só, uma solução para o problema do desperdício de energia.

Relativamente às medidas de melhoria da envolvente vertical opaca propostas no estudo de sensibilidade apresentado, conclui-se que, o reforço térmico das mesmas não promove alterações significativas na classificação energética dos respectivos edifícios, uma vez que as necessidades nominais globais de energia primária continuam muito elevadas.

O alargamento da área de envolvente isolada às paredes e coberturas exteriores dos edifícios, implica uma redução mais acentuada das perdas pela envolvente e consequentemente das necessidades de

energia para aquecimento. O impacto conseguido em termos de redução das necessidades nominais globais de energia primária é assim superior, embora ainda insuficiente para tornar os edifícios mais eficientes energeticamente, continuando os mesmos a serem caracterizados pelo seu baixo desempenho energético.

A reduzida influência das propostas de melhoria de desempenho energético da envolvente exterior, na redução das necessidades de energia primária e naturalmente na classificação energética dos edifícios, é explicada pelos factores de ponderação atribuídos às Nic, Nvc e Nac na fórmula de cálculo de Ntc. Os equipamentos de preparação de AQS, assumem deste modo uma importância acrescida por comparação com as intervenções na envolvente dos edifícios, promovendo mudanças muito mais significativas em termos de classificação energética.

Apesar da reduzida influência das medidas de melhoria de desempenho energético da envolvente, na classificação energética dos edifícios, é de realçar a importância destas intervenções para o conforto térmico das habitações. Por se tratarem de intervenções mais onerosas, requerem de um estudo de viabilidade económica, que poderá ser decisivo na escolha da melhor solução a adoptar, muito embora em determinadas situações seja difícil conjugar a eficácia térmica da solução com o retorno do investimento da mesma.

No Capítulo 4 é apresentado o estudo técnico económico referente à optimização de espessura do isolamento de quatro soluções de reforço térmico de paredes exteriores, em função de diferentes níveis de qualidade térmica da envolvente (N1 a N3) que conduzem a coeficientes de transmissão térmica distintos. Daí conclui-se que o período de retorno do investimento na aplicação de uma maior espessura de isolamento térmico, considerando apenas os consumos de energia para aquecimento para os custos de exploração, é muito variável em função da solução construtiva original de parede exterior, da solução de reforço térmico adoptada, da zona climática em estudo e do nível de qualidade térmica pretendido. Não deixa todavia de ser uma intervenção onde o investimento consegue ser recuperado, muito embora em determinadas situações específicas, o período de retorno exceda o horizonte temporal esperado, pelo que se torna necessário a conjugação de todas as condicionantes, com vista à escolha da melhor solução.

5.2. PERSPECTIVAS DE FUTURO SOBRE O TEMA

Complementarmente, neste capítulo, são sugeridas diversas hipóteses para desenvolvimentos científicos futuros em função dos resultados obtidos. De facto, no decorrer do estudo desenvolvido, foram detectadas algumas limitações no processo de certificação energética de edifícios existentes, as quais deverão ser alvo de análise, de modo a que se possa retirar o máximo benefício que advém da aplicação do mesmo. Neste sentido sugere-se:

- Repensar os requisitos para a solicitação do certificado energético nos edifícios existentes: note-se que, o facto de se exigir o certificado energético somente aos edifícios sujeitos a transacção comercial, faz com que milhares de edificações existentes não sejam submetidas a qualquer apreciação ou melhoria a curto ou médio prazo. Deste modo, até que ponto a certificação energética proporcionará uma redução significativa das necessidades energéticas do parque edificado Português?

- Devem ainda ser desenvolvidos esforços no sentido de se evitar a perversão do significado dos certificados energéticos, e esclarecer que, ao contrário do que acontece com os edifícios novos, uma boa classificação no certificado energético não se traduz necessariamente num bom comportamento térmico da envolvente e pode não corresponder a uma garantia de conforto, mas sim de eficiência energética, com base nos princípios de cálculo estabelecidos no RCCTE.

- Estas questões poderiam ser ultrapassadas caso se efectuasse a certificação energética através de duas classificações distintas, uma relativa ao comportamento térmico da envolvente, dependente apenas da caracterização térmica do mesmo, e outra que se refira ao desempenho energético dos sistemas de climatização e de preparação de águas quentes sanitárias, dependente da eficiência dos mesmos

- Para que haja uma melhoria efectiva na redução do consumo de energia, é fundamental a criação de políticas que incentivem a implementação das medidas propostas nos certificados energéticos e possibilitem aos proprietários suportar o investimento associado à reabilitação energética dos edifícios.

- Paralelamente, propõem-se ainda o desenvolvimento de estudos que analisem as simplificações que constam na nota técnica, por comparação com o método detalhado de avaliação do desempenho energético, verificando-se a possibilidade de incrementação de mais simplificações ao processo.

- É de todo o interesse o desenvolvimento de tabelas de apoio à aplicação do método simplificado, nomeadamente de valores característicos para o coeficiente de transmissão superficial para os edifícios mais antigos, pela dificuldade em obter informações acerda dos materiais que constituem os sistemas construtivos.

- Relativamente ao critério de certificação de edifícios utilizado em Portugal (edifícios novos e existentes), sugere-se que se realizem estudos que possam levar a uma nova proposta de formulação para o processo de certificação antes da próxima revisão do RCCTE, principalmente no que se refere aos factores de ponderação atribuídos às Nac, por comparação com as Nic e Nvc, na fórmula de cálculo das Ntc.

6
BIBLIOGRAFIA

[1] Direcção Geral de Energia e Geologia (www.dgge.pt). 2º Semestre de 2007.

[2] Directiva n.º 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho da União Europeia de 16 de Dezembro relativa ao desempenho energético dos edifícios. Jornal Oficial das Comunidades Europeias n.º L 001 de 04.01.2003 p. 0065 - 0071. Bruxelas.

[3] Direcção Geral de energia, *Eficiência Energética nos Edifícios,* Ministério da Economia. Fevereiro 2002.

[4] Nota técnica NT01. (2008). ADENE. Acedido em Novembro de 2008 em www.adene.pt.

[5] Despacho n.º10250/2008. Diário da República, 2.ª série — N.º 69 — 8 de Abril de 2008. Lisboa.

[6] Maldonado, Eduardo. *Cursos RCCTE para projectistas.* FEUP, Porto, 2007

[7] DGEG, *Balanço Energético de 2005*. Sessão de Informação – Certificação Energética e Ar interior – Edifícios, 4 de Outubro de 2007, Auditório da Biblioteca Municipal Almeida Garrett, 20, ADENE, Porto.

[8] Freitas, Vasco Manuel Araújo Peixoto de *Selecção Técnico-Económica da Espessura de Isolantes Térmicos a Aplicar na Envolvente Exterior Opaca dos Edifícios – Poliestireno Extrudido, S.A.*.Iberfibran, Porto, 2007.

[9] Resolução do Conselho de Ministros n.º 59/2001. (2001). Presidência do Conselho de Ministros. Acedido em Novembro de 2008 em http://www.igf.min-financas.pt.

[10] Resolução do Conselho de Ministros n.º 154/2001. (2001). Presidência do Conselho de Ministros. Acedido em Novembro de 2008 em http://www.igf.min-financas.pt.

[11] Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril. Diário da República n.º67/2006 – I Série-A. Ministério da Economia e Inovação. Lisboa.

[12] Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril. Diário da República n.º67/2006 – I Série-A. Ministério da Economia e Inovação. Lisboa.

[13] Decreto-Lei n.º 78/2006 de 4 de Abril. Diário da República n.º67/2006 – I Série-A. Ministério da Economia e Inovação. Lisboa.

[14] Agência para a Energia em Portugal (www.adene.pt). 2º Semestre de 2007.

[15] Portaria n.º 461/2007. Diário da República, 2ª série — N.º 108 – 5 de Junho de 2007. Ministérios da Administração Interna, do Ambiente, do Desenvolvimento do Território e do Desenvolvimento Regional, da Economia e da Inovação e das Obras Públicas, Transportes e Comunicações. Lisboa

[16] Nacional Agency for Enterprise and Housing. (2003). "Housing Statistics in the European Union 2003". Acedido em setembro de 2008 em http://www.feantsa.org.

[17] "EPA-ED English brochure". (2004). Programa ALTENER. Comissão Europeia. Acedido em Dezembro de 2008 em http://www.epa-ed.org

[18] Paiva, José Vasconcelos., Aguiar, José., Pinho, Ana. *Guia Técnico de Reabilitação Habitacional.* Volume 2, 1ª edição, I.N.H. e L.N.E.C, Lisboa, 2006.

[19] AGUIAR, José, e outros, *Guião de Apoio à Reabilitação de Edifícios Habitacionais*, LNEC, Lisboa, 2005

[20] *Manual do Vidro*, Saint-Gobain Glass, Edição 2000

[21] Ferreira, M. *Caudais de Ventilação Recomendados para Edifícios Residenciais – Impacto ao nível do conforto térmico e do consumo de energia para aquecimento.* Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Janeiro de 2004.

[22] ADEME (Agence de l´Environnement et de la Maîtrise de l´Énergie), *L'Isolation Thermique: Les Maisons Individuelles Gagnent en Confort*, Paris, 2001;

[23] ANAH (Agence Nationale pour l´Amélioration de l´Habitat), *Fiche Technique: Confort Thermique*, Paris, 2004;

[24] CHARBONNIER, S. et al, *Guide de la Thermique dans l´Habitat Neuf – Bâtir une Stratégie Globale*, Le Moniteur, Paris, 1992;

[25] APPLETON, J., *Reabilitação de Edifícios Antigos – Patologias e Tecnologias de Intervenção*, Orion, 2003;

[26] FREITAS, V., *Isolamento Térmico de Fachadas pelo Exterior – Reboco Delgado Armado sobre Poliestireno Expandido (ETICS)*, OPTIROC Portugal – Cimentos e Argamassas.

[27] Utilização Racional de Energia em Edifícios (http://www.ure.aream.pt)

[28] DIRECTIVA 89/106/CEE, Directiva do Conselho de 21 de Dezembro de 1988 publicada no JO L 40 de 11/02/89 relativa à aproximação das disposições legislativas, regulamentares e administrativas dos Estados-membros no que respeita aos produtos de construção, modificada pela directiva 93/68/CE publicada no JO L 220 de 30/08/93;

[29] Freitas, Vasco Manuel Araújo Peixoto de *Metodologia para a selecção exigencial de isolantes térmicos – Nota de Informação Técnica 001*, LFC, Porto, 1997 Edifícios da FEUP, Porto, 1996;

[30] Chvatal, K. M. S., *Relação entre o nível de isolamento térmico da envolvente dos edifícios e o potencial de sobreaquecimento no Verão*, Mestrado, FEUP, 2007

[31] http://europa.eu.int/comm/eurostat/

[32] http://www.sotecnisol.pt/materiais.php?area_id=4

[33] http://www.iberfibran.pt/index.asp

[34] http://www.dow.com/styrofoam/europe/pt/proddata/xps/index.htm

[35] http://www.maxit.pt

[36] http://www.uralita.com

7

ANEXOS

A.1

CERTIFICADO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO E DA QUALIDADE DO AR INTERIOR

(EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO)

Certificação Energética
e Ar Interior
EDIFÍCIOS

Nº CER 1234567/2007

CERTIFICADO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO E DA QUALIDADE DO AR INTERIOR

TIPO DE EDIFÍCIO: EDIFÍCIO HABITAÇÃO UNIFAMILIAR / FRACÇÃO AUTÓNOMA DE EDIF. MULTIFAMILIAR

Morada / Situação:

Localidade _____ Freguesia _____

Concelho _____ Região _____

Data de emissão do certificado _____ Validade do certificado _____

Nome do perito qualif. _____ Número do perito qualif. _____

Imóvel descrito na ☐ Conservatória do Registo Predial de _____

sob o nº ☐ Art. matricial nº _____ Fracção autón. _____

Este certificado resulta de uma verificação efectuada ao edifício ou fracção autónoma, por um perito devidamente qualificado para o efeito, em relação aos requesitos previstos no Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE, Decreto-Lei 80/2006 de 4 de Abril), classificando o imóvel em relação ao respectivo desempenho energético. Este certificado permite identificar possíveis medidas de melhoria de desempenho aplicáveis à fracção autónoma ou edifício, suas partes e respectivos sistemas energéticos e ventilação, quer no que respeita ao desempenho energético e à qualidade do ar interior.

1. ETIQUETA DE DESEMPENHO ENERGÉTICO

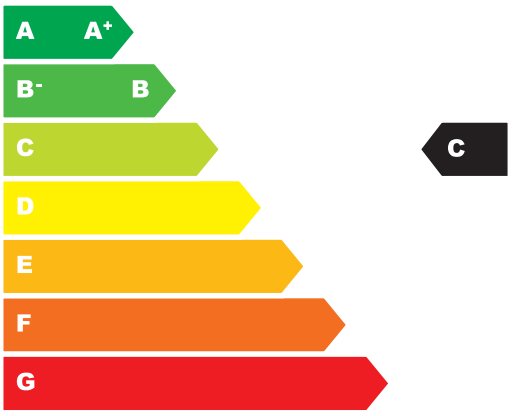
INDICADORES DE DESEMPENHO

Necessidades anuais globais estimadas de energia primária para climatização e águas quentes ☐ kgep/m^2.ano

Valor limite máximo regulamentar para as necessidades anuais globais de energia primária para climatização e águas quentes (limite inferior da classe B^-) ☐ kgep/m^2.ano

Emissões anuais de gases de efeito estufa associadas à energia primária para climatização e águas quentes ☐ toneladas de CO_2 equivalentes por ano

CLASSE ENERGÉTICA



2. DESAGREGAÇÃO DAS NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA ÚTIL

Necessidades nominais de energia útil para...	Valor estimado para as condições de conforto térmico de referência	Valor limite regulamentar para as necessidades anuais
Aquecimento	kWh/m^2.ano	kWh/m^2.ano
Arrefecimento	kWh/m^2.ano	kWh/m^2.ano
Preparação das águas quentes sanitárias	kWh/m^2.ano	kWh/m^2.ano

NOTAS EXPLICATIVAS

As necessidades nominais de energia útil correspondem a uma previsão da quantidade de energia que terá de ser consumida por m^2 de área útil do edifício ou fracção autónoma para manter o edifício nas condições de conforto térmico de referência e para preparação das águas quentes sanitárias necessárias aos ocupantes. Os valores foram calculados para condições convencionais de utilização, admitidas como idênticas para todos os edifícios, de forma a permitir comparações objectivas entre diferentes imóveis. Os consumos reais podem variar bastante dos indicados e dependem das atitudes e padrões de comportamento dos utilizadores.

As necessidades anuais globais de energia primária (estimadas e valor limite) resultam da conversão das necessidades nominais de energia útil em kilogramas equivalente de petróleo por unidade (kgep) de área útil do edifício, mediante aplicação de factores de conversão específicos para a(s) forma(s) de energia utilizada(s) (0,290 kgep/kWh para electricidade e 0,086 kgep/kWh para combustíveis sólido, líquido ou gasoso) e tendo em consideração a eficiência dos sistemas adoptados ou, na sua indefinição, sistemas convencionais de referência.

As emissões de CO_2 equivalente traduzem a quantidade anual estimada de gases de efeito de estufa que podem ser libertados em resultado da conversão de uma quantidade de energia primária igual às respectivas necessidades anuais globais estimadas para o edifício, usando o factor de conversão de 0,0012 toneladas equivalentes de CO_2 por kgep.

A classe energética resulta da razão entre as necessidades anuais globais estimadas e as máximas admissíveis de energia primária para aquecimento, arrefecimento e para preparação de águas quentes sanitárias no edifício ou fracção autónoma. O melhor desempenho corresponde à classe A^+, seguida das classes A, B, B^-, C e seguintes, até à classe G de pior desempenho. Os edifícios com licença ou autorização de construção posterior a 4 de Julho de 2006 apenas poderão ter classe energética igual ou superior a B^-. Para mais informações sobre o desempenho energético, sobre a qualidade do ar interior e sobre a classificação energética de edifícios, consulte www.adene.pt

3. DESCRIÇÃO SUCINTA DO EDIFÍCIO OU FRACÇÃO AUTÓNOMA

Área útil de pavimento ____ m^2 | Pé-direito médio ponderado ____ m | Ano de construção ____

4. PROPOSTAS DE MEDIDAS DE MELHORIA DO DESEMPENHO ENERGÉTICO E DA QUALIDADE DO AR INTERIOR

Sugestões de medidas de melhoria (implementação não obrigatória) (destacadas a negrito aquelas usadas no cálculo da nova classe energética)	Redução anual da factura energética	Custo estimado de investimento	Período de retorno do investimento
1			
2			
3			
4			
n			

As medidas de melhoria acima referidas correspondem a sugestões do perito qualificado na sequência da análise que este realizou ao desempenho energético e da qualidade do ar interior do edifício ou fracção autónoma e não pretendem pôr em causa as opções e soluções adoptadas pelo(s) arquitecto(s), projectista(s) ou técnico(s) de obra.

Legendas	Redução anual da factura energética	Custo estimado de investimento	Período de retorno do investimento
	mais de 1000€ /ano	mais de 5000€	inferior a 5 anos
	entre 500 e 999€ /ano	entre 1000 e 4999€	entre 5 e 10 anos
	entre 100 e 499€ /ano	entre 200 e 999€	entre 10 e 15 anos
	menos de 100€ /ano	menos de 200€	mais de 15 anos

SE FOREM CONCRETIZADAS TODAS AS MEDIDAS DESTACADAS NA LISTA, A CLASSIFICAÇÃO ENERGÉTICA PODERÁ SUBIR PARA… ?

Pressupostos e observações a considerar na interpretação da informação apresentada:

Entidade gestora ADENE AGÊNCIA PARA A ENERGIA

Entidades supervisoras do SCE Direcção Geral de Energia e Geologia | AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE

5. PAREDES, COBERTURAS E PAVIMENTOS

PAREDES

Descrição da(s) solução(ões) adoptada(s)	Coeficiente de transmissão térmica superficial (U) em W/m².ºC: da solução	máximo regulamentar
•		

Sugestões de medidas de melhoria associadas

Proposta n _____

COBERTURAS

Descrição da(s) solução(ões) adoptada(s)	Coeficiente de transmissão térmica superficial (U) em W/m².ºC: da solução	máximo regulamentar
•		

Sugestões de medidas de melhoria associadas

Proposta n _____

PAVIMENTOS

Descrição da(s) solução(ões) adoptada(s)	Coeficiente de transmissão térmica superficial (U) em W/m².ºC: da solução	máximo regulamentar
•		

Sugestões de medidas de melhoria associadas

Proposta n _____

6. VÃOS ENVIDRAÇADOS

Descrição da(s) solução(ões) adoptada(s)	Factor solar: da solução	máximo regulamentar
•		

Sugestões de medidas de melhoria associadas

Proposta n _____

Nota: Apenas vãos envidraçados com área superior a 5% da área útil de pavimento do espaço que servem, não orientados a Norte e considerando o(s) respectivo(s) dispositivos de protecção 100% activos (portadas, persianas, estores, cortinas, etc.)

7. CLIMATIZAÇÃO

SISTEMA(S) DE AQUECIMENTO

Descrição da(s) solução(ões) adoptada(s)	Necessidades anuais de energia útil
•	kWh/ano

Sugestões de medidas de melhoria associadas

Proposta n _____

SISTEMA(S) DE ARREFECIMENTO

Necessidades anuais de energia útil

Descrição da(s) solução(ões) adoptada(s)

- kWh/ano

Sugestões de medidas de melhoria associadas

Proposta n

8. PREPARAÇÃO DE ÁGUAS QUENTES SANITÁRIAS (AQS)

SISTEMAS CONVENCIONAIS (USAM ENERGIA NÃO RENOVÁVEL)

Necessidades anuais de energia útil

Descrição da(s) solução(ões) adoptada(s)

- kWh/ano

Sugestões de medidas de melhoria associadas

Proposta n

9. SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS

SISTEMA DE COLECTORES SOLARES PARA PRODUÇÃO DE ÁGUA QUENTE SANITÁRIA

Energia fornecida pelo sistema

Descrição da(s) solução(ões) adoptada(s)

- kWh/ano

Sugestões de medidas de melhoria associadas

Proposta n

OUTROS SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEIS

Energia fornecida pelo sistema

Descrição da(s) solução(ões) adoptada(s)

- kWh/ano

Sugestões de medidas de melhoria associadas

Proposta n

10. VENTILAÇÃO

Descrição dos principais elementos envolvidos e da forma como se processa a ventilação

-

Sugestões de medidas de melhoria associadas

Proposta n

OBSERVAÇÕES E NOTAS AO PRESENTE CERTIFICADO ENERGÉTICO E DA QUALIDADE DO AR INTERIOR

-

-

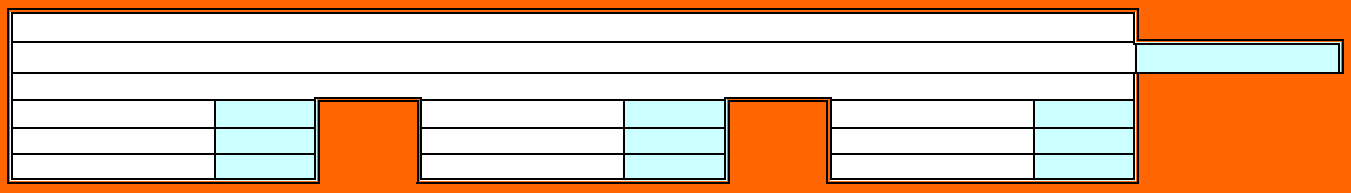
A.2

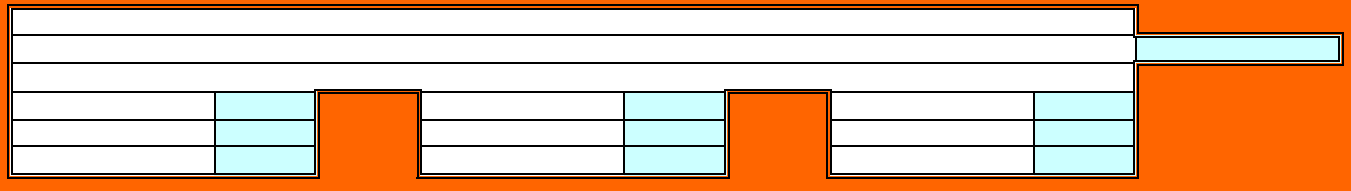
FOLHAS DE CÁLCULO DO MÉTODO SIMPLIFICADO DE AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS EXISTENTES

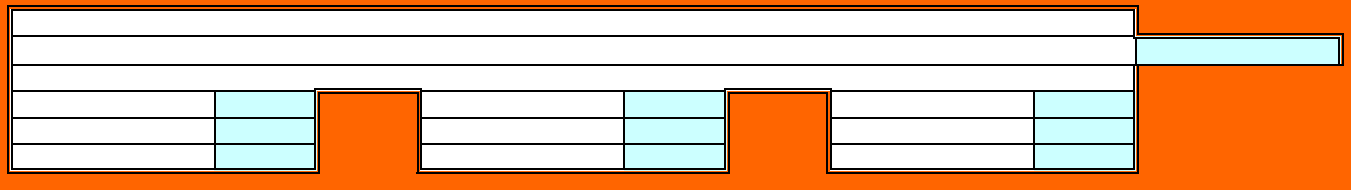
CONTRIBUIÇÃO DE SISTEMAS DE COLECTORES SOLARES

Concelho	---	Distrito / Local	---

Trata-se de um colector solar térmico certificado?







E_{solar}^{ref} =	---	f_1 =	---	f_2 =	---	f_3 =	---

REGRESSAR AO LEVANTAMENTO DIMENSIONAL E DE SISTEMAS

LEVANTAMENTO DIMENSIONAL E DE SISTEMAS

Localização da fracção	
Distância à costa	
Concelho	
Local de implantação	
Altitude	
Norte (N) ou Sul (S)?	
Tipo de ventilação?	

Tipo de edifício	
N.º de Pisos da Fracção (excluindo caves e desvãos)	
Existe Informação válida sobre a Área útil de pavimento, Ap?	

A solução construtiva garante a ausência de pontes térmicas planas na envolvente exterior?	

A solução construtiva garante a ausência de pontes térmicas planas na envolvente interior?	

A fracção tem pavimento em contacto com o solo?	
Inércia térmica da fracção	
Sistema de aquecimento	
Sistema de arrefecimento	
Sistema de águas quentes sanitárias	
Rede de distribuição de água quente com mais de 10mm de isolamento térmico?	

Contribuição de sistemas de colectores solares para o aquecimento de AQS, E_{solar}	Cálculo	Contribuição de quaisquer outras formas de energias renováveis, E_{ren}

ENVOLVENTE EXTERIOR

ENVIDRAÇADOS DE ENVOLVENTE EXTERIOR

Env.	Orientação	Área (m^2)	Tipo de Vidro	Grau de Sombreamento		U ($W/m^2.ºC$)	Breve descrição da Protecção Solar	g_{vidro}		$g_{inverno}$		$g_{100\%}$	
				Inverno	Verão								

ITeCons

ENVOLVENTE INTERIOR

PRETENDE CONSIDERAR τ=0,75 PARA TODOS OS ESPAÇOS NÃO ÚTEIS?	

ENVIDRAÇADOS DE ENVOLVENTE INTERIOR

		Área (m2)	U (W/m2.ºC)
Envidraçados Verticais			
Envidraçados Horizontais			

COBERTURAS DE ENVOLVENTE INTERIOR

		Área (m2)	U (W/m2.ºC)
Cobertura Plana efectuar medição in-situ da área coberta			
Cobertura Inclinada efectuar medição in-situ da área coberta (na horizontal)			

ENVOLVENTE INTERIOR

PAREDES DE ENVOLVENTE INTERIOR

Área Total (indicativa)		Área (m2)	U (W/m2.ºC)
Paredes Interiores			

PAVIMENTOS DE ENVOLVENTE INTERIOR

		Área (m2)	U (W/m2.ºC)
Pavimentos Interiores			

RESUMO DE RESULTADOS	
A_p (m^2)	
P_d (m)	
A_{env} (m^2)	
Perdas associadas à envolvente exterior (W/ºC) (da FCIV1a)	
Perdas associadas à envolvente interior (W/ºC) (da FCIV1b)	
Perdas associadas aos vãos envidraçados exteriores (W/ºC) (da FCIV1c)	
Perdas associadas à renovação de ar (W/ºC) (da FCIV1d)	-
Ganhos úteis na estação de aquecimento (kW/ano) (da FCIV1e)	#VALOR!
N_{ic} (kWh/m^2.ano)	#N/D
N_i (kWh/m^2.ano)	#N/D
Perdas térmicas totais (Verão) (kWh) (da FCV1a)	#N/D
Ganhos solares pela envolvente opaca (Verão) (kWh) (da FCV1c)	
Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores (kWh) (da FCV1d)	
Ganhos internos (kWh) (da FCIV1e)	#VALOR!
N_{vc} (kWh/m^2.ano)	#N/D
N_v (kWh/m^2.ano)	#N/D
N_{ac} (kWh/m^2.ano)	#N/D
Contribuição de E_{solar} (kWh/ano)	
Contribuição de E_{ren} (kWh/ano)	
Rendimento do sistema de preparação de AQS	#N/D
N_a (kWh/m^2.ano)	#VALOR!
Rendimento do sistema de aquecimento	#N/D
Rendimento do sistema de arrefecimento	#N/D
N_{tc} (kgep/m^2.ano)	#N/D
N_t (kgep/m^2.ano)	#N/D
N_{tc}/N_t	#N/D
Classe Energética	#N/D

Introdução de dados

Concelho

Altitude:

	Zona Climática de Inverno	GD (ºC.dias)	Duração da Estação de Aquecimento (meses)	Zona Climática de Verão	Norte ou Sul
Dados Climáticos	**#N/A**	**#N/A**	**#N/A**	**#N/A**	**-**

Região Sul – toda a área a Sul do rio Tejo e os seguintes concelhos dos distritos de Lisboa e Santarém: Lisboa, Oeiras, Cascais, Amadora, Loures, Odivelas, Vila Franca de Xira, Azambuja, Cartaxo e Santarém

Folhas de Cálculo elaboradas por Vítor Gil email: vitor.gil@itecons.uc.pt; tlf: 239 798 940

Folha de Cálculo FCIV.1a

Perdas associadas à Envolvente Exterior

Paredes exteriores	Area (m²)	(W/m²ºC)	U.A (W/ºC)
		TOTAL	

Pavimentos exteriores	Area (m²)	U (W/m²ºC)	U.A (W/ºC)
		TOTAL	

Coberturas exteriores	Area (m²)	U_{asc} (W/m²ºC)	U.A (W/ºC)
		TOTAL	

Paredes e Pavimentos em contacto com o Solo	Perímetro B (m)	Ψ (W/mºC)	Ψ.B (W/ºC)
		TOTAL	

Pontes Térmicas lineares Ligações entre:	Comp. (m)	Ψ (W/mºC)	Ψ.B (W/ºC)
		TOTAL	

Folha de Cálculo FC IV.1b
Perdas associadas à Envolvente Interior

Paredes em contacto com espaços não-úteis ou edifícios adjacentes	Area (m²)	(W/m²ºC)	τ (-)	U.A.τ (W/ºC)
			TOTAL	

Pavimentos sobre espaços não-úteis	Area (m²)	U (W/m²ºC)	τ (-)	U.A.τ (W/ºC)
			TOTAL	

Coberturas interiores (tectos sob espaços não-úteis)	Area (m²)	U (W/m²ºC)	τ (-)	U.A.τ (W/ºC)
			TOTAL	

Vãos envidraçados em contacto com espaços não-úteis	Area (m²)	U (W/m²ºC)	τ (-)	U.A.τ (W/ºC)
			TOTAL	

Pontes térmicas (apenas para paredes de separação para espaços não-úteis com τ> 0,7)	Comp. (m)	Ψ (W/mºC)	τ (-)	Ψ.B.τ (W/mºC)
			TOTAL	

Perdas pela envolvente interior da Fracção Autónoma	(W/ºC)	TOTAL	

Incluir obrigatoriamente os elementos que separam a Fracção Autónoma dos seguintes espaços:
Zonas comuns em edifícios com mais de uma Fracção Autónoma;
Edifícios anexos;
Garagens, armazéns, lojas e espaços não-úteis similares;
Sotãos não-habitados.

Folhas de Cálculo elaboradas por Vítor Gil email: vitor.gil@itecons.uc.pt; tlf: 239 798 940

Folha de Cálculo FC IV.1c

Perdas associadas aos Vãos Envidraçados Exteriores

Vãos envidraçados exteriores	Area (m²)	U (W/m²ºC)	U.A (W/ºC)
		TOTAL	

Folha de Cálculo FC IV.1d

Perdas associadas à Renovação de Ar

Área Útil de pavimento (Ap)			(m^2)
		x	
Pé-direito médio			(m)
		=	
Volume interior	(V)		(m^3)
Ventilação Natural ou Mecânica		-	

		x	
		=	
		/	
		=	

Volume		-	
		x	
Taxa de Renovação nominal		-	
		x	
		0,34	
		=	
	TOTAL	-	(W/ºC)

Folhas de Cálculo elaboradas por Vítor Gil email: vitor.gil@itecons.uc.pt; tlf: 239 798 940

Folha de Cálculo FC IV.1e

Ganhos Úteis na estação de Aquecimento (Inverno)

Ganhos solares:

Orientação do vão envidraçado	Tipo (simples ou duplo)	Área A (m²)	Factor de Orientação X(-)	Factor Solar do vidro g (-)	Factor de Obstrução Fs(-) Fh.Fo.Ff	Fracção Envidraçada Fg (-)	Factor de Sel. Angular Fw (-)	Área Efectiva Ae (m^2)
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-

Área Efectiva Total equivalente na orientação SUL (m²)

x

Radiação Incidente num envidraçado a Sul (Gsul)
no
na Zona I #N/A (kWh/m².mês) - *do Quadro 8 (Anexo III)* #N/A

x

Duração da Estação de Aquecimento (meses) #N/A

=

Ganhos Solares Brutos (kWh/ano) #N/A

Ganhos Internos:

Tipo de Edifício

Ganhos internos médios *(Quadro IV.3)* #N/A (W/m2)

x

Duração da Estação de Aquecimento #N/A (meses)

x

Área Útil de pavimento (m2)

x

0,72

=

Ganhos Internos Brutos #VALUE! (kWh/ano)

Ganhos Totais Úteis:

$$\gamma = \frac{\text{Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos Brutos}}{\text{Nec. Brutas de Aquecimento } \textit{(da FC IV.2)}} = \frac{\text{\#VALUE!}}{\text{\#N/A}}$$

Inércia do edifício: γ = #VALUE!

Factor de Utilização dos Ganhos Solares (η) #N/A

x

Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos Brutos #VALUE!

=

Ganhos Totais Úteis (kWh/ano) #VALUE!

Folhas de Cálculo elaboradas por Vítor Gil email: vitor.gil@itecons.uc.pt; tlf: 239 798 940

Folha de Cálculo FC IV.1f

Valor Máximo das Necessidades de Aquecimento (Ni)

FACTOR DE FORMA

Das FC IV.1a e 1c: (Áreas)	m^2
Paredes Exteriores	0,00
Coberturas Exteriores	0,00
Pavimentos Exteriores	0,00
Envidraçados Exteriores	0,00
Da FC IV.1b: (Áreas equivalentes A. τ)	
Paredes Interiores	0,00
Coberturas Interiores	0,00
Pavimentos Interiores	0,00
Envidraçados Interiores	0,00
Área Total:	0,00
	/
Volume (da FC IV.1d):	-
	=
FF	-

Graus-Dia no Local (ºC.dia)	#N/A

Ni = 4,5 + 0,0395 GD	para FF ≤ 0,5
Ni = 4,5 + (0,021 + 0,037 FF) GD	para 0,5 < FF ≤ 1
Ni = [4,5 + (0,021 + 0,037 FF) GD] (1,2 - 0,2 FF)	para 1 < FF ≤ 1,5
Ni = 4,05 + 0,06885 GD	para FF > 1,5

Nec. Nom. de Aquec. Máximas - Ni	(kWh/m².ano)	#N/A

Folha de Cálculo FC IV.2

Cálculo do Indicador Nic

Perdas térmicas associadas a:	(W/°C)
Envolvente Exterior *(da FC IV.1a)*	0,00
Envolvente Interior *(da FC IV.1b)*	0,00
Vãos Envidraçados *(da FC IV.1c)*	0,00
Renovação de Ar *(da FC IV.1d)*	-
	=
Coeficiente Global de Perdas (W/°C)	0,00
	x
Graus-Dia no Local (ºC.dia)	#N/A
	x
	0,024
	=
Necessidades Brutas de Aquecimento (kWh/ano)	#N/A
	+
Consumo dos ventiladores (kWh/ano)	
	-
GanhosTotais Úteis (kWh/ano) *(da FC IV.1e)*	#VALUE!
	=
Necessidades de Aquecimento (kWh/ano)	#N/A
	/
Área Útil de pavimento (m²)	
	=
Nec. Nominais de Aquecimento - **Nic** (kWh/m².ano)	#N/A
	<
Nec. Nom. de Aquec. Máximas - **Ni** (kWh/m².ano)	#N/A

Folhas de Cálculo elaboradas por Vítor Gil email: vitor.gil@itecons.uc.pt; tlf: 239 798 940

Folha de Cálculo FCV.1a

Perdas

Perdas associadas às paredes exteriores (U.A)	*(FCIV.1a)*		0,00	(W/ºC)
			+	
Perdas associadas aos pavimentos exteriores (U.A)	*(FCIV.1a)*		0,00	(W/ºC)
			+	
Perdas associadas às coberturas exteriores (U.A)	*(FCIV.1a)*		0,00	(W/ºC)
			+	
Perdas associadas aos envidraçados exteriores (U.A)	*(FCIV.1c)*		0,00	(W/ºC)
			+	
Perdas associadas à renovação de ar	*(FCIV.1d)*		0,00	(W/ºC)
			=	
Perdas específicas totais		(Q1a)	0,00	(W/ºC)

Zona climática	V	#N/A	-

Temperatura interior de referência		**25,00**	(ºC)
		-	
Temperatura média do ar exterior na estação de arrefecimento *(Quadro III.9)*		#N/A	(ºC)
		=	
Diferença de temperatura interior-exterior		#N/A	(ºC)
		x	
Perdas específicas totais	(Q1a)	0,00	(W/ºC)
		x	
		2,928	
		=	
Perdas térmicas totais	(Q1b)	#N/A	(kWh)

Folha de Cálculo FCV.1c

Ganhos Solares pela Envolvente Opaca

POR ORIENTAÇÃO E HORIZONTAL/INCLINADA

	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Àrea, A (m^2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
U_{desc} ($W/m^2ºC$)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Coeficiente de absorção, **α** *(Quadro V.5)*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
α U.A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(W/ºC)
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Int. de rad. solar na estação de arrefec. (kWh/m^2) (*Quadro III.9)*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
	0,04	**0,04**	**0,04**	**0,04**	**0,04**	**0,04**	**0,04**	**0,04**	**0,04**	**0,04**	**0,04**	**0,04**	**0,04**	**0,04**	**0,04**	
	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
Ganhos solares pela envolvente opaca exterior	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

POR ORIENTAÇÃO E HORIZONTAL/INCLINADA

	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Àrea, A (m^2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
U_{desc} ($W/m^2ºC$)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
Coeficiente de absorção, **α** *(Quadro V.5)*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=		
α U.A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(W/ºC)	
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
Int. de rad. solar na estação de arrefec. (kWh/m^2) (*Quadro III.9)*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
	0,04	**0,04**	**0,04**	**0,04**	**0,04**	**0,04**	**0,04**	**0,04**	**0,04**	**0,04**	**0,04**	**0,04**	**0,04**	**0,04**	**0,04**		
	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	**TOTAL**	
Ganhos solares pela envolvente opaca exterior	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00	
																(kWh)	

Folha de Cálculo FCV.1d

Ganhos Solares pelos Envidraçados Exteriores

POR ORIENTAÇÃO E HORIZONTAL

Orientação	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Tipo de Vidro	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Área, A (m^2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Factor solar do vão envidracado [1]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Fracção envidraçada, Fg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Factor de obstrucão. Fs[2]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Factor de selectividade do vidro, Fw	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
Área efectiva, Ae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(m^2)
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Int. de rad. solar na estação de arrefec. (kWh/m^2) *(Quadro III.9)*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	
Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

POR ORIENTAÇÃO E HORIZONTAL

Orientação	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Tipo de Vidro	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Área, A (m^2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
Factor solar do vão envidracado [1]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
Fracção envidraçada, Fg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
Factor de obstrucão. Fs[2]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
Factor de selectividade do vidro, Fw	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=		
Área efectiva, Ae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(m^2)	
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
Int. de rad. solar na estação de arrefec. (kWh/m^2) *(Quadro III.9)*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=	**TOTAL**	
Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00 (kWh)	

[1] Para dispositivos de sombreamento móveis, considera-se a soma de 30% do factor solar do vidro (Tabela IV.4) e 70% do factor solar do envidraçado com a protecção solar móvel actuada (Quadro V.4)

[2] Para a estação de arrefecimento o factor de obstrução, Fs, é obtido pelo produto F0.Ff dos Quadros V.1 e V.2 [Fh=1]

Folhas de Cálculo elaboradas por Vítor Gil email: vitor.gil@itecons.uc.pt; tlf: 239 798 940

Folha de Cálculo FCV.1e

Ganhos Internos

Ganhos internos médios (W/m^2) *(Quadro IV.3)*	#N/A	
	x	
Área útil de pavimento (m^2)		
	x	
	2,928	
	=	
Ganhos Internos totais	#VALUE!	(kWh)

Folha de Cálculo FCV.1f

Ganhos Totais na estação de Arrefecimento (Verão)

Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores	*(FCV.1d)*	0,00	(kWh)
		+	
Ganhos solares pela envolvente opaca exterior	*(FCV.1c)*	0,00	(kWh)
		+	
Ganhos internos	*(FCV.1e)*	#VALUE!	(kWh)
		=	
Ganhos térmicos totais		#VALUE!	(kWh)

Folha de Cálculo FCV.1g

Valor das Necessidades Nominais de Arrefecimento (N_{vc})

Ganhos térmicos totais *(FCV.1f)*	#VALUE!	(kWh)
/		
Perdas térmicas totais *(FCV.1a)*	#N/A	(kWh)
=		
γ	#VALUE!	
Inércia do edifício	0	

	1,00	
-		
Factor de utilização dos ganhos solares, **η**	#N/A	
=		
	#N/A	
x		
Ganhos térmicos totais *(FCV.1f)*	#VALUE!	(kWh)
=		
Necessidades brutas de arrefecimento	#N/A	(kWh/ano)
+		
Consumo dos ventiladores (se houver, exaustor da cozinha excluído)	0,00	(Ev=Pv*24*122/1000 (kWh))
=		
TOTAL	#N/A	(kWh/ano)
/		
Área útil de pavimento (m^2)		
=		
Necessidades nominais de arrefecimento - N_{vc}	#N/A	(kWh/m^2.ano)
≤		
Necessidades nominais de arref. máximas - N_v	#N/A	(kWh/m^2.ano)

Cálculo das Necessidades de Energia para Preparação da Água Quente Sanitária (Nac)

		(litros)
	x	
nº de ocupantes (Quadro VI.1)		
	=	
Consumo médio diário de referência de AQS, M_{AQS}		(litros)
	x	
	4187	
	x	
Aumento de temperatura necessário para preparar as AQS, ΔT	**45**	(ºC)
	x	
Número anual de dias de consumo de AQS, n_d (Quadro VI.2)	365	
	/	
	3600000	
	=	
Energia útil dispendida com sistemas convencionais de preparação de AQS, Q_a		
	/	
Eficiência de conversão desses sistemas de preparação de AQS, η_a	#N/A	
	=	
	#N/A	(kWh/ano)
	-	
Contribuição de sistemas de colectores solares para o aquecimento de AQS, E_{solar}		
	-	
Contribuição de quaisquer outras formas de energias renováveis, E_{ren}		
	=	
	#N/A	
	/	
Área útil de pavimento, A_p		(m^2)
	=	
Necessidades de Energia para Preparação da Água Quente Sanitária, **Nac**	#N/A	(kWh/m^2.ano)
	≤	
Limite máximo das nec. de Energia para Preparação da AQS, **Na**	#VALUE!	(kWh/m^2.ano)

Cálculo das Necessidades Nominais Anuais Globais de Energia Primária (Ntc)

	0,10	
	x	
Nec. Nominais de Aquecimento - **Nic**	**#N/A**	(kWh/m².ano)
	/	
Eficiência de conversão do sistema de aquecimento, η_i	#N/A	
	x	
Factor de conversão F_{pu} entre energia útil e energia primária	#N/A	(kgep/kWh)
	+	
	0,10	
	x	
Nec. Nominais de Arrefecimento - **Nvc**	**#N/A**	(kWh/m².ano)
	/	
Eficiência de conversão do sistema de arrefecimento, η_v	#N/A	
	x	
Factor de conversão F_{pu} entre energia útil e energia primária	#N/A	(kgep/kWh)
	+	
Necessidades de Energia para Preparação da Água Quente Sanitária, **Nac**	**#N/A**	(kWh/m².ano)
	x	
Factor de conversão F_{pu} entre energia útil e energia primária	#N/A	(kgep/kWh)
	=	
Cálculo das Nec. Nominais Anuais Globais de Energia Primária, **Ntc**	#N/A	(kgep/m².ano)
	≤	
Limite máximo das nec. Anuais Globais de Energia Primária, **Nt**	#N/A	(kgep/m².ano)

sabendo que:

Necessidades nominais de aquec. máximas - **Ni** (kWh/m².ano)	#N/A	
Necessidades nominais de arref. máximas - **Nv** (kWh/m².ano)	#N/A	
Limite máximo das necessides para preparação da AQS, **Na** (kWh/m².ano)	#VALUE!	
CLASSE ENERGÉTICA DA FRACÇÃO	#N/A	#N/A

A.3

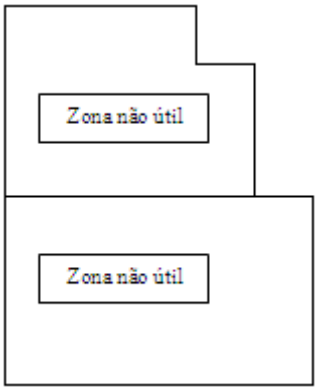
BREVE APRESENTAÇÃO DOS EDIFÍCIOS E DELIMITAÇÃO DAS ENVOLVENTES

Edifício 1

Breve Descrição do Edifício	
Ano de Construção	1978
Localização	Concelho de Baião
Tipo de Edifício	Residencial
Tipologia da Fracção	T3
Altitude	z < 600m
Zona Climática Inverno	I3
Zona Climática Verão	V3
Orientação da Fachada Principal	Sul
Área útil	162,82 m^2
Pé Direito	2,5 m
Nº de pisos	2
Desenvolvimento das paredes exteriores	58,4 m

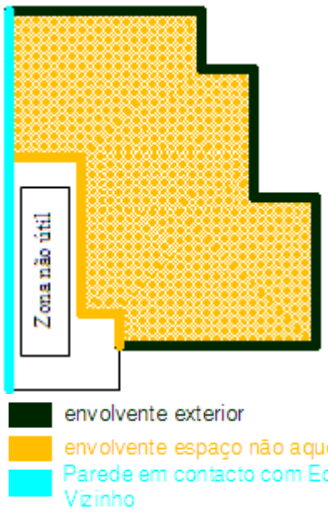
Delimitação das Envolventes

Cave



Zona não útil:
- Garagem;
- Lavandaria.

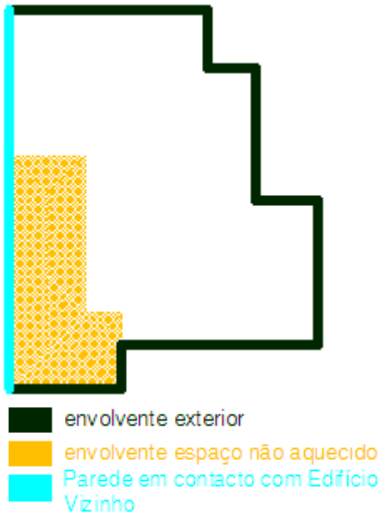
R/ Chão



Zona útil:
- Quartos;
- Sala de estar;
-Cozinha;
- Wc's;
- Hall.

Zona não útil:
- Caixa de escadas de acesso à cave.

1º Andar

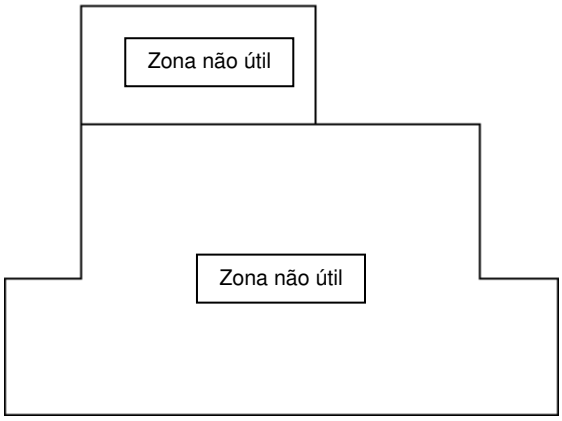
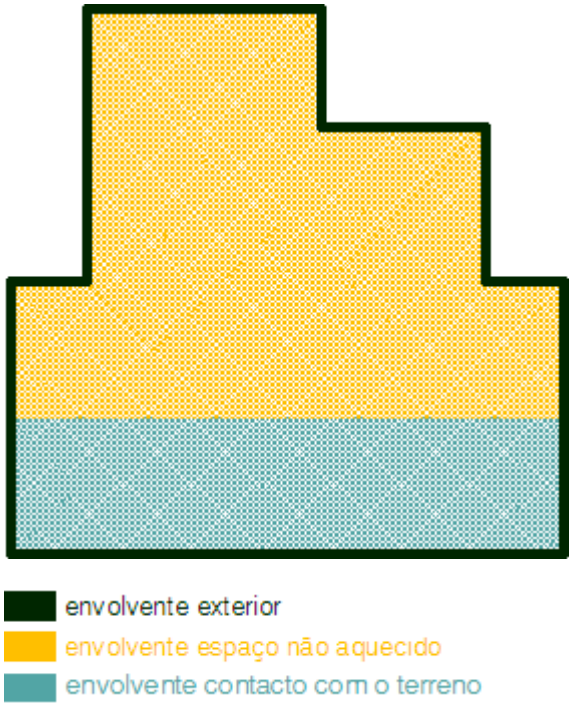


Zona útil:
- Quartos;
- Sala de estar;
- Wc

Edifício 2

Breve Descrição do Edifício	
Ano de Construção	1940
Localização	Concelho de Baião
Tipo de Edifício	Residencial
Tipologia da Fracção	T5
Altitude	z < 600m
Zona Climática Inverno	I3
Zona Climática Verão	V3
Orientação da Fachada Principal	Sudeste
Área útil	162,27 m^2
Pé Direito	2,70 m
Nº de pisos	1
Desenvolvimento das paredes exteriores	49,33 m

Delimitação das Envolventes

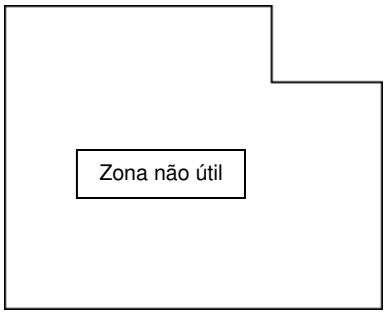
Cave	R/Chão
	
Zona não útil: - Garagem; - Lavandaria.	*Zona útil:* - Quartos; - Sala de estar; -Cozinha; - Wc's; - Hall.

Edifício 3

Breve Descrição do Edifício	
Ano de Construção	1982
Localização	Concelho de Baião
Tipo de Edifício	Residencial
Tipologia da Fracção	T3
Altitude	z < 600m
Zona Climática Inverno	I3
Zona Climática Verão	V3
Orientação da Fachada Principal	Oeste
Área útil	96,42 m^2
Pé Direito	2,60 m
Nº de pisos	1
Desenvolvimento das paredes exteriores	45,90 m

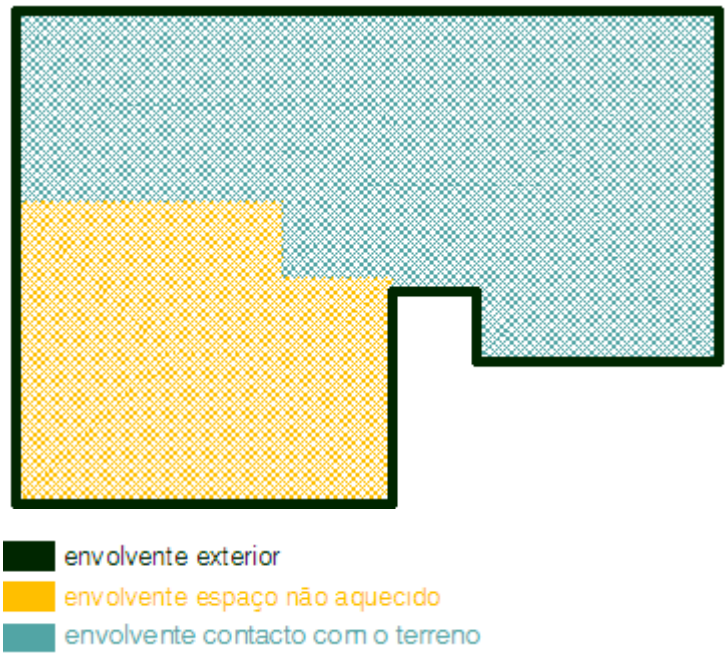
Delimitação das Envolventes

Cave



Zona não útil:
- Garagem.

R/Chão



Zona útil:
- Quartos;
- Sala de estar;
-Cozinha;
- Wc's;
- Hall.

Edifício 4

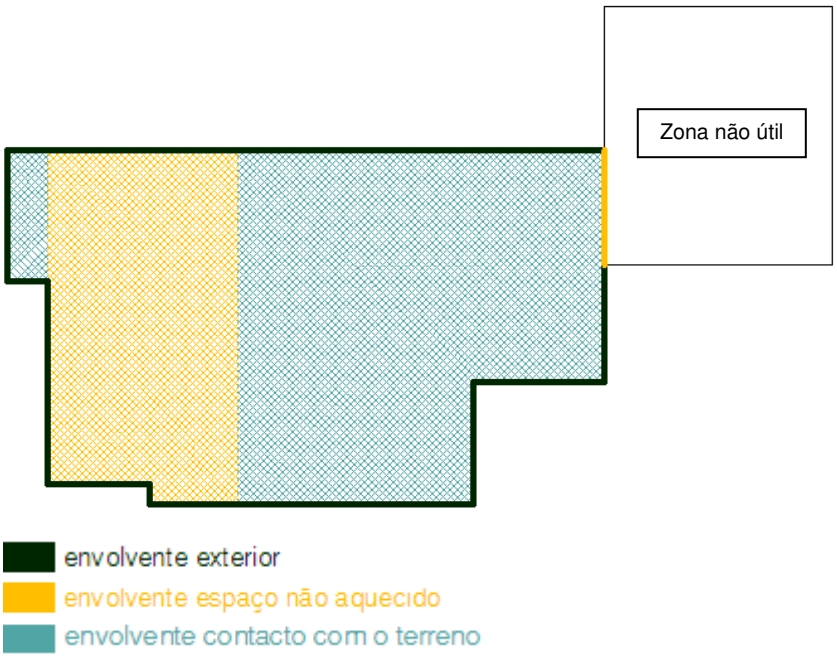
Breve Descrição do Edifício	
Ano de Construção	1988
Localização	Concelho de Baião
Tipo de Edifício	Residencial
Tipologia da Fracção	T3
Altitude	z < 600m
Zona Climática Inverno	I3
Zona Climática Verão	V3
Orientação da Fachada Principal	Este
Área útil	122,69 m^2
Pé Direito	2,50 m
Nº de pisos	1
Desenvolvimento das paredes exteriores	45,40 m

Delimitação das Envolventes

Cave

Zona não útil:
- Garagem;
- Arrumos.

R/Chão

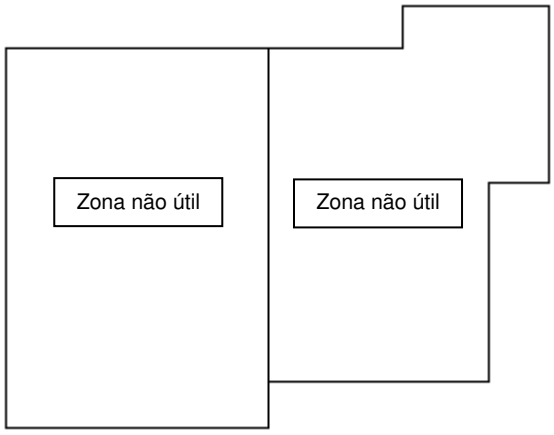
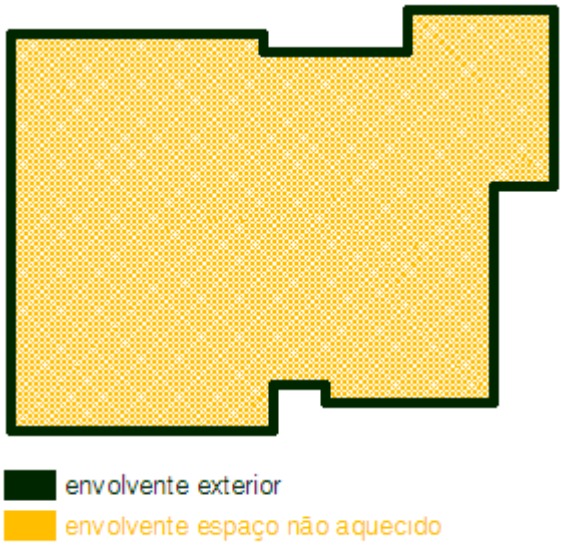


Zona útil:
- Quartos;
- Sala de estar;
-Cozinha;
- Wc's;
- Hall.

Edifício 5

Breve Descrição do Edifício	
Ano de Construção	1975
Localização	Concelho de Baião
Tipo de Edifício	Residencial
Tipologia da Fracção	T3
Altitude	z < 600m
Zona Climática Inverno	I3
Zona Climática Verão	V3
Orientação da Fachada Principal	Este
Área útil	129,48 m^2
Pé Direito	2,70 m
Nº de pisos	1
Desenvolvimento das paredes exteriores	42,70 m

Delimitação das Envolventes

Cave	R/Chão
	

Zona não útil:
- Garagem;
- Arrumos;
- Lavandaria

Zona útil:
- Quartos;
- Sala de estar;
-Cozinha;
- Wc's;
- Hall.

A.4

QUADROS RESUMO DA APLICAÇÃO DO MÉTODO SIMPLIFICADO AOS EDIFÍCIOS NA SUA SITUAÇÃO ORIGINAL

EDIFÍCIO 1

RESUMO DE RESULTADOS	
A_p (m^2)	162.82
P_d (m)	2.50
A_{env} (m^2)	18.25
Perdas associadas à envolvente exterior (W/ºC) (da FCIV1a)	550.73
Perdas associadas à envolvente interior (W/ºC) (da FCIV1b)	124.11
Perdas associadas aos vãos envidraçados exteriores (W/ºC) (da FCIV1c)	92.78
Perdas associadas à renovação de ar (W/ºC) (da FCIV1d)	124.56
Ganhos úteis na estação de aquecimento (kW/ano) (da FCIV1e)	5073.94
N_{ic} (kWh/m^2.ano)	251.58
N_i (kWh/m^2.ano)	115.11
Perdas térmicas totais (Verão) (kWh) (da FCV1a)	5977.19
Ganhos solares pela envolvente opaca (Verão) (kWh) (da FCV1c)	1370.14
Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores (kWh) (da FCV1d)	1813.95
Ganhos internos (kWh) (da FCIV1e)	1906.95
N_{vc} (kWh/m^2.ano)	4.18
N_v (kWh/m^2.ano)	26.00
N_{ac} (kWh/m^2.ano)	26.82
Contribuição de E_{solar} (kWh/ano)	
Contribuição de E_{ren} (kWh/ano)	
Rendimento do sistema de preparação de AQS	0.70
N_a (kWh/m^2.ano)	29.05
Rendimento do sistema de aquecimento	1.00
Rendimento do sistema de arrefecimento	3.00
N_{tc} (kgep/m^2.ano)	15.11
N_t (kgep/m^2.ano)	5.19
N_{tc}/N_t	(Ntc/Nt = 2.91)
Classe Energética	F

EDIFÍCIO 2

RESUMO DE RESULTADOS	
A_p (m^2)	162.27
P_d (m)	2.70
A_{env} (m^2)	26.46
Perdas associadas à envolvente exterior (W/ºC) (da FCIV1a)	864.97
Perdas associadas à envolvente interior (W/ºC) (da FCIV1b)	188.64
Perdas associadas aos vãos envidraçados exteriores (W/ºC) (da FCIV1c)	100.82
Perdas associadas à renovação de ar (W/ºC) (da FCIV1d)	148.96
Ganhos úteis na estação de aquecimento (kW/ano) (da FCIV1e)	5984.43
N_{ic} (kWh/m^2.ano)	377.58
N_i (kWh/m^2.ano)	131.82
Perdas térmicas totais (Verão) (kWh) (da FCV1a)	9142.00
Ganhos solares pela envolvente opaca (Verão) (kWh) (da FCV1c)	1477.81
Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores (kWh) (da FCV1d)	2745.71
Ganhos internos (kWh) (da FCIV1e)	1900.51
N_{vc} (kWh/m^2.ano)	8.98
N_v (kWh/m^2.ano)	26.00
N_{ac} (kWh/m^2.ano)	40.36
Contribuição de E_{solar} (kWh/ano)	
Contribuição de E_{ren} (kWh/ano)	
Rendimento do sistema de preparação de AQS	0.70
N_a (kWh/m^2.ano)	43.73
Rendimento do sistema de aquecimento	1.00
Rendimento do sistema de arrefecimento	3.00
N_{tc} (kgep/m^2.ano)	22.74
N_t (kgep/m^2.ano)	7.32
N_{tc}/N_t	(Ntc/Nt = 3.11)
Classe Energética	G

EDIFÍCIO 3

RESUMO DE RESULTADOS	
A_p (m^2)	96.42
P_d (m)	2.60
A_{env} (m^2)	16.82
Perdas associadas à envolvente exterior (W/ºC) (da FCIV1a)	504.78
Perdas associadas à envolvente interior (W/ºC) (da FCIV1b)	27.68
Perdas associadas aos vãos envidraçados exteriores (W/ºC) (da FCIV1c)	75.21
Perdas associadas à renovação de ar (W/ºC) (da FCIV1d)	93.76
Ganhos úteis na estação de aquecimento (kW/ano) (da FCIV1e)	4279.49
N_{ic} (kWh/m^2.ano)	330.99
N_i (kWh/m^2.ano)	132.32
Perdas térmicas totais (Verão) (kWh) (da FCV1a)	4711.73
Ganhos solares pela envolvente opaca (Verão) (kWh) (da FCV1c)	802.28
Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores (kWh) (da FCV1d)	1758.39
Ganhos internos (kWh) (da FCIV1e)	1129.27
N_{vc} (kWh/m^2.ano)	7.51
N_v (kWh/m^2.ano)	26.00
N_{ac} (kWh/m^2.ano)	44.03
Contribuição de E_{solar} (kWh/ano)	
Contribuição de E_{ren} (kWh/ano)	
Rendimento do sistema de preparação de AQS	0.72
N_a (kWh/m^2.ano)	49.06
Rendimento do sistema de aquecimento	0.80
Rendimento do sistema de arrefecimento	3.00
N_{tc} (kgep/m^2.ano)	7.42
N_t (kgep/m^2.ano)	8.05
N_{tc}/N_t	(Ntc/Nt = 0.92)
Classe Energética	B-

EDIFÍCIO 4

RESUMO DE RESULTADOS	
A_p (m^2)	122.69
P_d (m)	2.50
A_{env} (m^2)	18.17
Perdas associadas à envolvente exterior (W/ºC) (da FCIV1a)	577.76
Perdas associadas à envolvente interior (W/ºC) (da FCIV1b)	83.17
Perdas associadas aos vãos envidraçados exteriores (W/ºC) (da FCIV1c)	61.78
Perdas associadas à renovação de ar (W/ºC) (da FCIV1d)	104.29
Ganhos úteis na estação de aquecimento (kW/ano) (da FCIV1e)	5283.19
N_{ic} (kWh/m^2.ano)	304.75
N_i (kWh/m^2.ano)	126.00
Perdas térmicas totais (Verão) (kWh) (da FCV1a)	5305.30
Ganhos solares pela envolvente opaca (Verão) (kWh) (da FCV1c)	896.11
Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores (kWh) (da FCV1d)	1559.25
Ganhos internos (kWh) (da FCIV1e)	1436.95
N_{vc} (kWh/m^2.ano)	2.88
N_v (kWh/m^2.ano)	26.00
N_{ac} (kWh/m^2.ano)	35.59
Contribuição de E_{solar} (kWh/ano)	
Contribuição de E_{ren} (kWh/ano)	
Rendimento do sistema de preparação de AQS	0.70
N_a (kWh/m^2.ano)	38.56
Rendimento do sistema de aquecimento	1.00
Rendimento do sistema de arrefecimento	3.00
N_{tc} (kgep/m^2.ano)	19.19
N_t (kgep/m^2.ano)	6.57
N_{tc}/N_t	(Ntc/Nt = 2.92)
Classe Energética	F

EDIFÍCIO 5

RESUMO DE RESULTADOS	
A_p (m^2)	129.48
P_d (m)	2.70
A_{env} (m^2)	21.93
Perdas associadas à envolvente exterior (W/ºC) (da FCIV1a)	577.37
Perdas associadas à envolvente interior (W/ºC) (da FCIV1b)	144.69
Perdas associadas aos vãos envidraçados exteriores (W/ºC) (da FCIV1c)	74.56
Perdas associadas à renovação de ar (W/ºC) (da FCIV1d)	124.81
Ganhos úteis na estação de aquecimento (kW/ano) (da FCIV1e)	5961.05
N_{ic} (kWh/m^2.ano)	321.17
N_i (kWh/m^2.ano)	136.81
Perdas térmicas totais (Verão) (kWh) (da FCV1a)	6128.52
Ganhos solares pela envolvente opaca (Verão) (kWh) (da FCV1c)	1372.49
Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores (kWh) (da FCV1d)	1347.31
Ganhos internos (kWh) (da FCIV1e)	1516.47
N_{vc} (kWh/m^2.ano)	2.51
N_v (kWh/m^2.ano)	26.00
N_{ac} (kWh/m^2.ano)	33.72
Contribuição de E_{solar} (kWh/ano)	
Contribuição de E_{ren} (kWh/ano)	
Rendimento do sistema de preparação de AQS	0.70
N_a (kWh/m^2.ano)	36.53
Rendimento do sistema de aquecimento	1.00
Rendimento do sistema de arrefecimento	3.00
N_{tc} (kgep/m^2.ano)	19.12
N_t (kgep/m^2.ano)	6.40
N_{tc}/N_t	(Ntc/Nt = 2.99)
Classe Energética	F

A.5

QUADROS RESUMO DA APLICAÇÃO DO MÉTODO SIMPLIFICADO AOS EDIFÍCIOS APÓS O ISOLAMENTO DAS PAREDES EXTERIORES

EDIFÍCIO 1

RESUMO DE RESULTADOS	
A_p (m^2)	162.82
P_d (m)	2.50
A_{env} (m^2)	18.25
Perdas associadas à envolvente exterior (W/ºC) (da FCIV1a)	375.71
Perdas associadas à envolvente interior (W/ºC) (da FCIV1b)	124.11
Perdas associadas aos vãos envidraçados exteriores (W/ºC) (da FCIV1c)	92.78
Perdas associadas à renovação de ar (W/ºC) (da FCIV1d)	124.56
Ganhos úteis na estação de aquecimento (kW/ano) (da FCIV1e)	5073.33
N_{ic} (kWh/m^2.ano)	196.12
N_i (kWh/m^2.ano)	115.11
Perdas térmicas totais (Verão) (kWh) (da FCV1a)	4439.83
Ganhos solares pela envolvente opaca (Verão) (kWh) (da FCV1c)	371.69
Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores (kWh) (da FCV1d)	1813.95
Ganhos internos (kWh) (da FCIV1e)	1906.95
N_{vc} (kWh/m^2.ano)	4.04
N_v (kWh/m^2.ano)	26.00
N_{ac} (kWh/m^2.ano)	26.82
Contribuição de E_{solar} (kWh/ano)	
Contribuição de E_{ren} (kWh/ano)	
Rendimento do sistema de preparação de AQS	0.70
N_a (kWh/m^2.ano)	29.05
Rendimento do sistema de aquecimento	1.00
Rendimento do sistema de arrefecimento	3.00
N_{tc} (kgep/m^2.ano)	13.50
N_t (kgep/m^2.ano)	5.19
N_{tc}/N_t	(Ntc/Nt = 2.6)
Classe Energética	F

EDIFÍCIO 2

RESUMO DE RESULTADOS	
A_p (m^2)	162.27
P_d (m)	2.70
A_{env} (m^2)	26.46
Perdas associadas à envolvente exterior (W/ºC) (da FCIV1a)	669.09
Perdas associadas à envolvente interior (W/ºC) (da FCIV1b)	188.64
Perdas associadas aos vãos envidraçados exteriores (W/ºC) (da FCIV1c)	100.82
Perdas associadas à renovação de ar (W/ºC) (da FCIV1d)	148.96
Ganhos úteis na estação de aquecimento (kW/ano) (da FCIV1e)	5961.40
N_{ic} (kWh/m^2.ano)	315.44
N_i (kWh/m^2.ano)	131.82
Perdas térmicas totais (Verão) (kWh) (da FCV1a)	7421.42
Ganhos solares pela envolvente opaca (Verão) (kWh) (da FCV1c)	257.60
Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores (kWh) (da FCV1d)	2745.71
Ganhos internos (kWh) (da FCIV1e)	1900.51
N_{vc} (kWh/m^2.ano)	7.08
N_v (kWh/m^2.ano)	26.00
N_{ac} (kWh/m^2.ano)	40.36
Contribuição de E_{solar} (kWh/ano)	
Contribuição de E_{ren} (kWh/ano)	
Rendimento do sistema de preparação de AQS	0.70
N_a (kWh/m^2.ano)	43.73
Rendimento do sistema de aquecimento	1.00
Rendimento do sistema de arrefecimento	3.00
N_{tc} (kgep/m^2.ano)	20.92
N_t (kgep/m^2.ano)	7.32
N_{tc}/N_t	(Ntc/Nt = 2.86)
Classe Energética	F

EDIFÍCIO 3

RESUMO DE RESULTADOS	
A_p (m^2)	96.42
P_d (m)	2.60
A_{env} (m^2)	16.82
Perdas associadas à envolvente exterior (W/ºC) (da FCIV1a)	423.59
Perdas associadas à envolvente interior (W/ºC) (da FCIV1b)	27.68
Perdas associadas aos vãos envidraçados exteriores (W/ºC) (da FCIV1c)	75.21
Perdas associadas à renovação de ar (W/ºC) (da FCIV1d)	93.76
Ganhos úteis na estação de aquecimento (kW/ano) (da FCIV1e)	4274.25
N_{ic} (kWh/m^2.ano)	287.59
N_i (kWh/m^2.ano)	132.32
Perdas térmicas totais (Verão) (kWh) (da FCV1a)	3998.51
Ganhos solares pela envolvente opaca (Verão) (kWh) (da FCV1c)	314.74
Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores (kWh) (da FCV1d)	1758.39
Ganhos internos (kWh) (da FCIV1e)	1129.27
N_{vc} (kWh/m^2.ano)	6.75
N_v (kWh/m^2.ano)	26.00
N_{ac} (kWh/m^2.ano)	44.03
Contribuição de E_{solar} (kWh/ano)	
Contribuição de E_{ren} (kWh/ano)	
Rendimento do sistema de preparação de AQS	0.72
N_a (kWh/m^2.ano)	49.06
Rendimento do sistema de aquecimento	0.80
Rendimento do sistema de arrefecimento	3.00
N_{tc} (kgep/m^2.ano)	6.94
N_t (kgep/m^2.ano)	8.05
N_{tc}/N_t	(Ntc/Nt = 0.86)
Classe Energética	B-

EDIFÍCIO 4

RESUMO DE RESULTADOS	
A_p (m^2)	122.69
P_d (m)	2.50
A_{env} (m^2)	18.17
Perdas associadas à envolvente exterior (W/ºC) (da FCIV1a)	486.08
Perdas associadas à envolvente interior (W/ºC) (da FCIV1b)	83.17
Perdas associadas aos vãos envidraçados exteriores (W/ºC) (da FCIV1c)	61.78
Perdas associadas à renovação de ar (W/ºC) (da FCIV1d)	104.29
Ganhos úteis na estação de aquecimento (kW/ano) (da FCIV1e)	5282.76
N_{ic} (kWh/m^2.ano)	266.19
N_i (kWh/m^2.ano)	126.00
Perdas térmicas totais (Verão) (kWh) (da FCV1a)	4499.98
Ganhos solares pela envolvente opaca (Verão) (kWh) (da FCV1c)	310.90
Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores (kWh) (da FCV1d)	1559.25
Ganhos internos (kWh) (da FCIV1e)	1436.95
N_{vc} (kWh/m^2.ano)	2.45
N_v (kWh/m^2.ano)	26.00
N_{ac} (kWh/m^2.ano)	35.59
Contribuição de E_{solar} (kWh/ano)	
Contribuição de E_{ren} (kWh/ano)	
Rendimento do sistema de preparação de AQS	0.70
N_a (kWh/m^2.ano)	38.56
Rendimento do sistema de aquecimento	1.00
Rendimento do sistema de arrefecimento	3.00
N_{tc} (kgep/m^2.ano)	18.06
N_t (kgep/m^2.ano)	6.57
N_{tc}/N_t	(Ntc/Nt = 2.75)
Classe Energética	F

EDIFÍCIO 5

RESUMO DE RESULTADOS	
A_p (m^2)	129.48
P_d (m)	2.70
A_{env} (m^2)	21.93
Perdas associadas à envolvente exterior (W/ºC) (da FCIV1a)	438.82
Perdas associadas à envolvente interior (W/ºC) (da FCIV1b)	144.69
Perdas associadas aos vãos envidraçados exteriores (W/ºC) (da FCIV1c)	74.56
Perdas associadas à renovação de ar (W/ºC) (da FCIV1d)	124.81
Ganhos úteis na estação de aquecimento (kW/ano) (da FCIV1e)	5960.25
N_{ic} (kWh/m^2.ano)	265.96
N_i (kWh/m^2.ano)	136.81
Perdas térmicas totais (Verão) (kWh) (da FCV1a)	4911.48
Ganhos solares pela envolvente opaca (Verão) (kWh) (da FCV1c)	340.88
Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores (kWh) (da FCV1d)	1347.31
Ganhos internos (kWh) (da FCIV1e)	1516.47
N_{vc} (kWh/m^2.ano)	1.61
N_v (kWh/m^2.ano)	26.00
N_{ac} (kWh/m^2.ano)	33.72
Contribuição de E_{solar} (kWh/ano)	
Contribuição de E_{ren} (kWh/ano)	
Rendimento do sistema de preparação de AQS	0.70
N_a (kWh/m^2.ano)	36.53
Rendimento do sistema de aquecimento	1.00
Rendimento do sistema de arrefecimento	3.00
N_{tc} (kgep/m^2.ano)	17.51
N_t (kgep/m^2.ano)	6.40
N_{tc}/N_t	(Ntc/Nt = 2.74)
Classe Energética	F

A.6

QUADROS RESUMO DA APLICAÇÃO DO MÉTODO SIMPLIFICADO AOS EDIFÍCIOS APÓS O ISOLAMENTO DAS PAREDES E COBERTURAS EXTERIORES

EDIFÍCIO 1

RESUMO DE RESULTADOS	
A_p (m^2)	162.82
P_d (m)	2.50
A_{env} (m^2)	18.25
Perdas associadas à envolvente exterior (W/ºC) (da FCIV1a)	221.10
Perdas associadas à envolvente interior (W/ºC) (da FCIV1b)	124.11
Perdas associadas aos vãos envidraçados exteriores (W/ºC) (da FCIV1c)	92.78
Perdas associadas à renovação de ar (W/ºC) (da FCIV1d)	124.56
Ganhos úteis na estação de aquecimento (kW/ano) (da FCIV1e)	5071.61
N_{ic} (kWh/m^2.ano)	147.13
N_i (kWh/m^2.ano)	115.11
Perdas térmicas totais (Verão) (kWh) (da FCV1a)	3081.75
Ganhos solares pela envolvente opaca (Verão) (kWh) (da FCV1c)	495.58
Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores (kWh) (da FCV1d)	1813.95
Ganhos internos (kWh) (da FCIV1e)	1906.95
N_{vc} (kWh/m^2.ano)	8.67
N_v (kWh/m^2.ano)	26.00
N_{ac} (kWh/m^2.ano)	26.82
Contribuição de E_{solar} (kWh/ano)	
Contribuição de E_{ren} (kWh/ano)	
Rendimento do sistema de preparação de AQS	0.70
N_a (kWh/m^2.ano)	29.05
Rendimento do sistema de aquecimento	1.00
Rendimento do sistema de arrefecimento	3.00
N_{tc} (kgep/m^2.ano)	12.13
N_t (kgep/m^2.ano)	5.19
N_{tc}/N_t	(Ntc/Nt = 2.34)
Classe Energética	E

EDIFÍCIO 2

RESUMO DE RESULTADOS	
A_p (m^2)	162.27
P_d (m)	2.70
A_{env} (m^2)	26.46
Perdas associadas à envolvente exterior (W/ºC) (da FCIV1a)	209.54
Perdas associadas à envolvente interior (W/ºC) (da FCIV1b)	188.64
Perdas associadas aos vãos envidraçados exteriores (W/ºC) (da FCIV1c)	100.82
Perdas associadas à renovação de ar (W/ºC) (da FCIV1d)	148.96
Ganhos úteis na estação de aquecimento (kW/ano) (da FCIV1e)	5825.88
N_{ic} (kWh/m^2.ano)	170.14
N_i (kWh/m^2.ano)	131.82
Perdas térmicas totais (Verão) (kWh) (da FCV1a)	3384.71
Ganhos solares pela envolvente opaca (Verão) (kWh) (da FCV1c)	338.95
Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores (kWh) (da FCV1d)	2745.71
Ganhos internos (kWh) (da FCIV1e)	1900.51
N_{vc} (kWh/m^2.ano)	14.90
N_v (kWh/m^2.ano)	26.00
N_{ac} (kWh/m^2.ano)	40.36
Contribuição de E_{solar} (kWh/ano)	
Contribuição de E_{ren} (kWh/ano)	
Rendimento do sistema de preparação de AQS	0.70
N_a (kWh/m^2.ano)	43.73
Rendimento do sistema de aquecimento	1.00
Rendimento do sistema de arrefecimento	3.00
N_{tc} (kgep/m^2.ano)	16.78
N_t (kgep/m^2.ano)	7.32
N_{tc}/N_t	(Ntc/Nt = 2.29)
Classe Energética	E

EDIFÍCIO 3

RESUMO DE RESULTADOS	
A_p (m^2)	96.42
P_d (m)	2.60
A_{env} (m^2)	16.82
Perdas associadas à envolvente exterior (W/ºC) (da FCIV1a)	255.45
Perdas associadas à envolvente interior (W/ºC) (da FCIV1b)	27.68
Perdas associadas aos vãos envidraçados exteriores (W/ºC) (da FCIV1c)	75.21
Perdas associadas à renovação de ar (W/ºC) (da FCIV1d)	93.76
Ganhos úteis na estação de aquecimento (kW/ano) (da FCIV1e)	4251.21
N_{ic} (kWh/m^2.ano)	197.85
N_i (kWh/m^2.ano)	132.32
Perdas térmicas totais (Verão) (kWh) (da FCV1a)	2521.60
Ganhos solares pela envolvente opaca (Verão) (kWh) (da FCV1c)	419.65
Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores (kWh) (da FCV1d)	1758.39
Ganhos internos (kWh) (da FCIV1e)	1129.27
N_{vc} (kWh/m^2.ano)	13.07
N_v (kWh/m^2.ano)	26.00
N_{ac} (kWh/m^2.ano)	44.03
Contribuição de E_{solar} (kWh/ano)	
Contribuição de E_{ren} (kWh/ano)	
Rendimento do sistema de preparação de AQS	0.72
N_a (kWh/m^2.ano)	49.06
Rendimento do sistema de aquecimento	0.80
Rendimento do sistema de arrefecimento	3.00
N_{tc} (kgep/m^2.ano)	6.04
N_t (kgep/m^2.ano)	8.05
N_{tc}/N_t	(Ntc/Nt = 0.75)
Classe Energética	B-

EDIFÍCIO 4

RESUMO DE RESULTADOS	
A_p (m^2)	122.69
P_d (m)	2.50
A_{env} (m^2)	18.17
Perdas associadas à envolvente exterior (W/ºC) (da FCIV1a)	266.14
Perdas associadas à envolvente interior (W/ºC) (da FCIV1b)	83.17
Perdas associadas aos vãos envidraçados exteriores (W/ºC) (da FCIV1c)	61.78
Perdas associadas à renovação de ar (W/ºC) (da FCIV1d)	104.29
Ganhos úteis na estação de aquecimento (kW/ano) (da FCIV1e)	5279.13
N_{ic} (kWh/m^2.ano)	173.72
N_i (kWh/m^2.ano)	126.00
Perdas térmicas totais (Verão) (kWh) (da FCV1a)	2568.00
Ganhos solares pela envolvente opaca (Verão) (kWh) (da FCV1c)	414.53
Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores (kWh) (da FCV1d)	1559.25
Ganhos internos (kWh) (da FCIV1e)	1436.95
N_{vc} (kWh/m^2.ano)	8.90
N_v (kWh/m^2.ano)	26.00
N_{ac} (kWh/m^2.ano)	35.59
Contribuição de E_{solar} (kWh/ano)	
Contribuição de E_{ren} (kWh/ano)	
Rendimento do sistema de preparação de AQS	0.70
N_a (kWh/m^2.ano)	38.56
Rendimento do sistema de aquecimento	1.00
Rendimento do sistema de arrefecimento	3.00
N_{tc} (kgep/m^2.ano)	15.44
N_t (kgep/m^2.ano)	6.57
N_{tc}/N_t	(Ntc/Nt = 2.35)
Classe Energética	E

EDIFÍCIO 5

RESUMO DE RESULTADOS	
A_p (m^2)	129.48
P_d (m)	2.70
A_{env} (m^2)	21.93
Perdas associadas à envolvente exterior (W/ºC) (da FCIV1a)	204.03
Perdas associadas à envolvente interior (W/ºC) (da FCIV1b)	144.69
Perdas associadas aos vãos envidraçados exteriores (W/ºC) (da FCIV1c)	74.56
Perdas associadas à renovação de ar (W/ºC) (da FCIV1d)	124.81
Ganhos úteis na estação de aquecimento (kW/ano) (da FCIV1e)	5955.09
N_{ic} (kWh/m^2.ano)	172.43
N_i (kWh/m^2.ano)	136.81
Perdas térmicas totais (Verão) (kWh) (da FCV1a)	2849.07
Ganhos solares pela envolvente opaca (Verão) (kWh) (da FCV1c)	448.53
Ganhos solares pelos vãos envidraçados exteriores (kWh) (da FCV1d)	1347.31
Ganhos internos (kWh) (da FCIV1e)	1516.47
N_{vc} (kWh/m^2.ano)	6.59
N_v (kWh/m^2.ano)	26.00
N_{ac} (kWh/m^2.ano)	33.72
Contribuição de E_{solar} (kWh/ano)	
Contribuição de E_{ren} (kWh/ano)	
Rendimento do sistema de preparação de AQS	0.70
N_a (kWh/m^2.ano)	36.53
Rendimento do sistema de aquecimento	1.00
Rendimento do sistema de arrefecimento	3.00
N_{tc} (kgep/m^2.ano)	14.84
N_t (kgep/m^2.ano)	6.40
N_{tc}/N_t	(Ntc/Nt = 2.32)
Classe Energética	E