José Rafael Gago Da Câmara Dias Pereira

Licenciado em Engenharia Civil

Contributo do Ecotect para o estudo da eficiência energética em edifício de habitação

Dissertação para obtenção do Grau Mestre em
Engenharia Civil – Perfil de Construção

Orientador: Miguel José das Neves Pires Amado, Professor Doutor, Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa

Júri:

Presidente: Prof. Doutor Daniel Aelenei, FCT-UNL

Arguente: Prof. Doutora Ana Paula Filipe Tomé, IST

Vogal: Prof. Doutor Miguel Pires Amado, FCT-UNL

FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Junho 2014

José Rafael Gago Da Câmara Dias Pereira

Licenciado em Engenharia Civil

Contributo do Ecotect para o estudo da eficiência energética em edifício de habitação

Dissertação para obtenção do Grau Mestre em
Engenharia Civil – Perfil de Construção

Orientador: Miguel José das Neves Pires Amado, Professor Doutor, Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa

Júri:

Presidente: Prof. Doutor Daniel Aelenei, FCT-UNL

Arguente: Prof. Doutora Ana Paula Filipe Tomé, IST

Vogal: Prof. Doutor Miguel Pires Amado, FCT-UNL

FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Junho 2014

“Copyright” José Rafael Gago Da Câmara Dias Pereira, FCT/UNL e UNL
A Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa tem o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Professor Doutor Miguel Pires Amado, por todo o apoio e disponibilidade concedida ao longo de todo este trabalho. A partilha de conhecimentos da sua parte foi fundamental para a sua realização.

A todo o grupo do GEOTPU pela ajuda e disponibilidade facultada, especialmente à Francesca Poggi e ao António Amado.

À Doutora Maria José Morgado Tapia pela ajuda incansável que me deu.

Aos meus pais, irmãos, avós e restante família por em todos os momentos da minha vida estarem ao meu lado quando precisei. A mensagem e valores que me transmitiram fazem de mim a pessoa que sou hoje.

À minha namorada Filipa Couto, pela motivação e apoio nesta fase importante da minha vida.

A todos os meus amigos e colegas, em especial ao João Braz, Rui Martins, Luís Machado, Luís Palma, Marco Gonçalves, Miguel Alves, Miguel Tareco, Rafael Guerreiro, André Henriques, Helena Sousa, Frederico Abegão e Hugo Entradas pela amizade, companhia e troca de conhecimentos ao longo de todos estes anos.

RESUMO

Actualmente, o sector dos edifícios em Portugal é responsável por um excessivo consumo de energia, resultante da baixa eficiência energética que o caracteriza. A necessidade, por parte dos ocupantes, de garantir as condições de conforto interior necessárias tem como resultado um aumento de utilização de energia para climatização.

Por este motivo, mostra-se necessário desenvolver estratégias sustentáveis, que permitam a construção de edifícios energeticamente eficientes, com base em técnicas passivas que visem a redução das suas necessidades energéticas e que proporcionem condições de conforto mais adequadas aos seus ocupantes.

O Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) corresponde ao instrumento legislativo em Portugal, que impõe um sistema de avaliação de desempenho térmico aos edifícios. Por outro lado, a utilização de *software* de simulação do comportamento térmico dos edifícios, como o Ecotect, pode assumir um papel importante na previsão e optimização das necessidades energéticas, por estarem associados a uma interacção dinâmica entre o meio exterior e o interior dos edifícios.

A presente dissertação tem como objectivo principal, perceber o contributo do Ecotect para prever e optimizar as necessidades energéticas dos edificios. Numa primeira fase foi desenvolvida uma análise comparativa entre o RCCTE e o Ecotect, de modo a avaliar a potencialidade do seu uso. Por fim, foi desenvolvida uma avaliação do potencial de melhoria decorrente da introdução de soluções passivas, por forma a se optimizar o consumo energético associado ao edifício em estudo, bem como do impacte ambiental e social onde se insere.

Os resultados demonstram que o uso de simulações em fase de projecto tem vantagens para o futuro desempenho dos edifícios.

Palavras-chave: Eficiência Energética; Necessidades Energéticas; RCCTE; Ecotect; Soluções Passivas;

ABSTRACT

The portuguese building sector is currently responsible for an excessive energy consumption resulting from a low energetic efficiency that characterize it. The necessity that guarantees the acceptable interior confort conditions, results in a increase of climatization energy utilization.

For this reason, there is a significant need to find and develop sustainable strategies that will allow the building construction with energetic efficiency based on passive techniques that will reduce energetic needs which can give adequate confort conditions to their occupants.

The thermal regulation for service and residencial buildings "(RCCTE)" is the Portugal legal instrument that implies a system of building evaluation from thermal behavior point of view. On the other hand, using a simulation software for building thermal behavior, like Ecotect, can assume an important role for prevision and optimization of energetic needs, because there is an interaction between the exterior environment and the building interior.

The present dissertation have the important goal of understand Ecotect role to predict and optimize the building energetic needs. In a first phase, it was developed a comparative analysis between RCCTE and Ecotect, to study and evaluate the full potentiality of its use. Concluding, it was developed an evaluation to improve the potential introduction of passive solutions to optimize the building energetic consumption, as well as the environment and social impact were is inserted.

The results demonstrate that the usage of simulations in the project phase can bring advantages in the future of buildings performance.

Keywords: Energetic Efficiency; Energetic Needs; RCCTE; Ecotect; Passive Solutions;

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ADENE- Agência para a Energia

APREN- Associação Portuguesa de Energias Renováveis

AQS- Águas Quentes Sanitárias

CE- Comissão Europeia

CIBSE- Chartered Institution of Building Services Engineers

CO_2- Dióxido de Carbono

DCR- Declaração de Conformidade Regulamentar

DGEG- Direcção Geral de Energia e Geologia

DGGE- Direcção Geral de Geologia e Energia

EPBD- Energy Performance of Buildings Directive

EPS- Poliestireno Expandido

ETICS- External Thermal Insulation Composite System

INE- Instituto Nacional de Estatística

LNEC- Laboratório Nacional de Engenharia Civil

LNEG- Laboratório Nacional de Energia e Geologia

PNAER- Plano Nacional de Acção para as Energias Renováveis

PNAEE- Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética

RAA- Região Autónoma dos Açores

RCCTE- Regulamento das Características do Comportamento Térmico de Edificios

RSECE- Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios

SCE- Sistema de Certificação Energética de Edificios

Tep- tonelada equivalente de petróleo

U- coeficiente de transmissão térmica

XPS- Poliestireno Extrudido

Y - Admitância

ÍNDICE

1. ESTADO DO CONHECIMENTO 5

1.1. EVOLUÇÃO DO PARQUE EDIFICADO 5
1.2. CARACTERIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO 7
1.2.1. Estrutura do parque edificado 7
1.2.2. Revestimentos exteriores dos edifícios 8
1.2.3. Cobertura 9
1.3. ESTADO DE CONSERVAÇÃO DO PARQUE EDIFICADO 10
1.4. ORIENTAÇÕES DA UNIÃO EUROPEIA APLICÁVEIS AOS EDIFÍCIOS EXISTENTES 12
1.5. PROGRAMAS NACIONAIS PARA O AUMENTO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFÍCIOS 13
1.5.1. Objectivo 20-20-20 13
1.5.2. Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética 14
1.5.3. Plano Nacional de Acção para as Energias Renováveis 17
1.6. NÍVEL DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS 17
1.6.1. Certificação Energética em Portugal 18
1.6.2. Classificação Energética do Parque Habitacional 20
1.7. CONFORTO AMBIENTAL NO INTERIOR DOS EDIFÍCIOS 20
1.8. PARÂMETROS DETERMINANTES NO DESEMPENHO ENERGÉTICO DECORRENTE DO CONFORTO INTERIOR DE EDIFÍCIOS 22
1.8.1. Orientação do edifício 22
1.8.2. Envolvente do edifício 23
1.9. ABORDAGENS CORRENTES PARA O AUMENTO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA 24

2. ANÁLISE DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS 27

2.1. O RCCTE 27
2.2. SIMULAÇÕES DINÂMICAS 33
2.2.1. Energyplus 34
2.2.2. Ecotect 35
2.2.3. Comparação entre os modelos de cálculo de desempenho energético dos edifícios 36

3. CONTRIBUTO DOS SISTEMAS PASSIVOS PARA O AUMENTO DA EFIICIÊNCIA ENEREGÉTICA 39

3.1. SISTEMAS PASSIVOS 39

4. INTRODUÇÃO AO CASO DE ESTUDO 51

4.1. CASO DE ESTUDO 51
4.1.1. Descrição do Edifício 51
4.1.2. Sistema Construtivo 54

4.1.3. Aplicação do RCCTE ao Caso de Estudo 56
4.1.4. Aplicação do Ecotect ao Caso de Estudo 77
4.1.5. Proposta de melhoria para o aumento da eficiência energética 81

5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS 85

5.1. NECESSIDADES ENERGÉTICAS (SITUAÇÃO EXISTENTE) 85
5.2. NECESSIDADES ENERGÉTICAS (PROPOSTA DE MELHORIA) 85

6. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS 87

6.1. CONCLUSÃO 87
6.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS 88

7. BIBLIOGRAFIA 89

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1.1- SOLUÇÕES DE MELHORIA DO COMPORTAMENTO TÉRMICO-ENERGÉTICO 25
TABELA 2.1- NÚMERO DE GRAUS-DIA DE AQUECIMENTO 29
TABELA 2.2- PARÂMETROS TÉRMICOS ESTABELECIDOS PELO RCCTE 31
TABELA 2.3- CLASSE DE INÉRCIA TÉRMICA 32
TABELA 2.4 - ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE RCCTE E ENERGYPLUS 37
TABELA 3.1- VANTAGENS E INCONVENIENTES DA APLICAÇÃO DE ISOLAMENTO TÉRMICO PELO EXTERIOR 46
TABELA 4.1- PAREDES INTERIORES 54
TABELA 4.2- ENVOLVENTE OPACA EM ZONA CORRENTE 55
TABELA 4.3- PAVIMENTO TÉRREO 55
TABELA 4.4- COBERTURA 56
TABELA 4.5- COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA/ PAREDES EXTERIORES 57
TABELA 4.6- COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA/ ZONA ESTRUTURAL PTP 57
TABELA 4.7- COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA/ LAJE DE COBERTURA 58
TABELA 4.8- COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA/ LAJE DE PAVIMENTO EXTERIOR 58
TABELA 4.9- COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA/ LAJE DE PAVIMENTO DE FUNDO 59
TABELA 4.10- COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA/ PORTAS 59
TABELA 4.11- COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA/ PAREDE INTERIOR 60
TABELA 4.12- COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA/ LAJE INTERIOR 60
TABELA 4.13- DADOS CLIMÁTICOS CORRESPONDENTES A ZONA DE IMPLEMENTAÇÃO DO EDIFÍCIO EM ESTUDO 61
TABELA 4.14- ÁREAS ÚTEIS DE PAVIMENTO 63
TABELA 4.15- ÁREAS DOS ELEMENTOS DA ENVOLVENTE 63
TABELA 4.16- PERDAS ASSOCIADAS ÀS PAREDES EXTERIORES 64
TABELA 4.17- PERDAS ASSOCIADAS AO PAVIMENTO EXTERIOR 64
TABELA 4.18- PERDAS ASSOCIADAS À COBERTURA 64
TABELA 4.19- PERDAS ASSOCIADAS ÀS PORTAS 64
TABELA 4.20- PONTES TÉRMICAS LINEARES 65
TABELA 4.21- PONTE TÉRMICA LINEAR/ PAVIMENTO EM CONTACTO COM O SOLO 65
TABELA 4.22- PERDAS ASSOCIADAS AOS VÃOS ENVIDRAÇADOS 66
TABELA 4.23- PERDAS ASSOCIADAS À RENOVAÇÃO DO AR 67
TABELA 4.24- CÁLCULO DO FACTOR SOLAR (FS) 68
TABELA 4.25- GANHOS SOLARES/ ÁREA EFECTIVA 69
TABELA 4.26- GANHOS SOLARES BRUTOS 70
TABELA 4.27- GANHOS INTERNOS 71
TABELA 4.28- GANHOS ÚTEIS TOTAIS 71
TABELA 4.29- FACTOR DE FORMA 71
TABELA 4.30- VALOR LIMITE DAS NECESSIDADES DE ENERGIA PARA AQUECIMENTO 72

TABELA 4.31- NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PARA AQUECIMENTO (N_{ic}) 73
TABELA 4.32- PERDAS TÉRMICAS TOTAIS 74
TABELA 4.33- GANHOS SOLARES PELA ENVOLVENTE OPACA 74
TABELA 4.34- GANHOS SOLARES PELOS ENVIDRAÇADOS 75
TABELA 4.35- GANHOS INTERNOS 75
TABELA 4.36- GANHOS TÉRMICOS TOTAIS 76
TABELA 4.37- NECESSIDADES DE ARREFECIMENTO 76
TABELA 4.38- TIPO DE ACTIVIDADE POR COMPARTIMENTO 79
TABELA 4.39- HORÁRIO DE UTILIZAÇÃO POR COMPARTIMENTO/QUARTO 79
TABELA 4.40- NECESSIDADES ENERGÉTICAS DE AQUECIMENTO E ARREFECIMENTO 81
TABELA 4.41- SOLUÇÃO EXISTENTE/SOLUÇÃO DE MELHORIA 82
TABELA 4.42- NECESSIDADES ENERGÉTICAS DE AQUECIMENTO E ARREFECIMENTO 83
TABELA 5.1- NECESSIDADES ENERGÉTICAS/SITUAÇÃO EXISTENTE 85
TABELA 5.2- NECESSIDADES ENERGÉTICAS/PROPOSTA DE MELHORIA 85

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1- NÚMERO DE EDIFÍCIOS POR REGIÃO (INE 2011) 5
FIGURA 1.2-NÚMERO DE EDIFÍCIO CLÁSSICOS, SEGUNDO A ÉPOCA DE CONSTRUÇÃO (INE E LNEC 2013) 6
FIGURA 1.3 - PERCENTAGEM DE EDIFÍCIOS POR ÉPOCA DE CONSTRUÇÃO (INE 2011) 6
FIGURA 1.4- NÚMERO DE EDIFÍCIOS CLÁSSICOS CONSTRUÍDOS, SEGUNDO A ÉPOCA DE CONSTRUÇÃO 7
FIGURA 1.5- DISTRIBUIÇÃO DE EDIFÍCIOS CLÁSSICOS SEGUNDO O TIPO DE ESTRUTURA DE CONSTRUÇÃO 8
FIGURA 1.6- DISTRIBUIÇÃO DE EDIFÍCIOS CLÁSSICOS SEGUNDO O TIPO DE REVESTIMENTO 9
FIGURA 1.7- DISTRIBUIÇÃO DE EDIFÍCIOS CLÁSSICOS SEGUNDO O TIPO DE COBERTURA, ... 9
FIGURA 1.8- DISTRIBUIÇÃO DE EDIFÍCIOS CLÁSSICOS SEGUNDO O SEU ESTADO DE CONSERVAÇÃO, ... 10
FIGURA 1.9- NÚMERO DE EDIFÍCIOS CLÁSSICOS MUITO DEGRADADOS OU COM NECESSIDADE DE GRANDES REPARAÇÕES, SEGUNDO A ÉPOCA DE CONSTRUÇÃO (INE E LNEC 2013) 11
FIGURA 1.10- NÚMERO DE EDIFÍCIOS CLÁSSICOS MUITO DEGRADADOS OU COM NECESSIDADE DE GRANDES REPARAÇÕES, SEGUNDO O TIPO DE ESTRUTURA DO EDIFÍCIO (INE E LNEC 2013) 11
FIGURA 1.11- PROGRAMA RENOVE CASA (RESOLUÇÃO DO CONSELHO DE MINISTROS N.º 80/2008 2008) .. 15
FIGURA 1.12- SISTEMA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NOS EDIFÍCIOS (RESOLUÇÃO DO CONSELHO DE MINISTROS N.º 80/2008 2008) 16
FIGURA 1.13- RENOVÁVEIS NA HORA (RESOLUÇÃO DO CONSELHO DE MINISTROS N.º 80/2008 2008) 16
FIGURA 1.14- CLASSES ENERGÉTICAS E COMPARAÇÃO COM CONSUMO DE REFERÊNCIA (ADENE 2010) 18
FIGURA 1.15 - REPRESENTATIVIDADE E DISTRITAL POR TIPO DE EDIFÍCIO CERTIFICADO (APREN 2013) 18
FIGURA 1.16- EVOLUÇÃO MENSAL DOS REGISTOS EMITIDOS, POR TIPO DE DOCUMENTO 19
FIGURA 1.17- PERCENTAGEM DO TOTAL DE CERTIFICADOS NOS EDIFÍCIOS EXISTENTES (ADENE 2010) 19
FIGURA 1.18- PERCENTAGEM DO TOTAL DE CERTIFICADOS NOS EDIFÍCIOS EXISTENTES (ADENE 2010) 20
FIGURA 2.1- ZONAS CLIMÁTICAS DE INVERNO E VERÃO 29
FIGURA 2.2- VERIFICAÇÃO DO RCCTE (FREITAS 2007) 30
FIGURA 2.3- ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO DO ENERGYPLUS (GANHÃO 2011) 34
FIGURA 2.4- POSSIBILIDADES DE ANÁLISES ATRAVÉS DO *SOFTWARE* ECOTECT (AUTODESK ECOTECT 2011) 35
FIGURA 3.1- PERCURSO SOLAR (GONÇALVES & GRAÇA 2004) 40
FIGURA 3.2- SISTEMA ETICS (CAD 2013) 46
FIGURA 4.1- FACHADA PRINCIPAL DOS EDIFÍCIO 52
FIGURA 4.2- ÁREA ÚTIL POR COMPARTIMENTO 52
FIGURA 4.3- PLANTA RÉS-DO-CHÃO 53
FIGURA 4.4- PLANTA PISO 1 53
FIGURA 4.5- PLANTA COBERTURA 54
FIGURA 4.6- RÉS DO CHÃO 61
FIGURA 4.7- PLANTA 1ºPISO 62
FIGURA 4.8- PLANTA DA COBERTURA 62
FIGURA 4.9- MODELO DO EDIFÍCIO EM ECOTECT 77
FIGURA 4.10- ENVOLVENTE OPACA EXTERIOR EM ZONA CORRENTE (EXEMPLO) 78
FIGURA 4.11- NECESSIDADES ENERGÉTICAS DE AQUECIMENTO E ARREFECIMENTO 80
FIGURA 4.12- SIMULAÇÃO DE MELHORIA 82

Introdução

O consumo global de energia tem vindo a aumentar muito rapidamente, tendo tendência a crescer ainda mais nos próximos anos (International Energy Agency 2013). A crescente escassez dos combustíveis fósseis, que correspondem a 80% das fontes de energia primária, bem como o impacto ambiental associado ao seu uso, tem atraído a atenção de muitos investigadores para estudos no âmbito da conservação de energia (Samuel et al. 2013). No contexto internacional, é consensual que cada vez mais existe a necessidade de os países melhorarem a qualidade dos seus edifícios, reduzindo os seus consumos de energia e correspondentes emissões de gases, que contribuem para o aquecimento global. Portugal obrigou-se a atingir os compromissos e metas neste sentido subscrevendo o Protocolo de Quioto, passando deste modo a ter como objectivo a redução das emissões por todos os sectores consumidores de energia, nomeadamente pelo sector dos edifícios (RCCTE 2006).

O parque edificado é responsável por aproximadamente 40% do consumo global de energia na Europa e no caso de Portugal 30%. Porém, aproximadamente 60% desse consumo pode ser reduzido até 2050, através de medidas de eficiência energética, que visam o cumprimento dos objectivos globais para a redução de energia consumida nos edifícios (WBCSD 2009; Ferreira e Pinheiro 2011). A eficiência energética nos edifícios é um requisito essencial para a diminuição dos consumos energéticos e para a melhoria da qualidade de vida dos ocupantes (Duarte 2011).

A maior parte do consumo de energia nos edifícios deve-se ao aumento de utilização de sistemas de aquecimento e arrefecimento por parte dos seus ocupantes, para atingir os níveis de conforto interior desejados. Em abordagens pouco sustentáveis, este facto leva a que,cada vez mais, os edifícios estejam dependentes de sistemas activos para assegurar as condições de conforto interior (Soares et al. 2013).

O estudo do comportamento térmico dos edifícios através de *softwares* de simulação é essencial para enfrentar problemas no projecto de edifícios energeticamente eficientes. Uma fase prévia de simulação assume uma grande importância na previsão desse comportamento para as várias estações do ano, ajudando assim a escolha de materiais para a envolvente, áreas envidraçadas, a orientação, a forma, entre outros aspectos (Larsen et al. 2008).

Neste contexto, torna-se necessário aumentar o nível de eficiência dos edifícios, desenvolvendo estratégias passivas, que cada vez mais são soluções viáveis para a redução tanto do consumo de energia, como da poluição ambiental (Sadineni et al. 2011).

Objectivos

Esta dissertação tem como objectivo avaliar o contributo do *software* de simulação dinâmica Ecotect, para prever e optimizar o desempenho energético de um edifício de habitação, pertencente ao parque edificado.

Em Portugal, existe um sistema de avaliação do desempenho energético dos edifícios em vigor, com base no Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE). Por este motivo, o desempenho energético do edifício em estudo será realizado através da análise pelo quadro regulamentar e pelo Ecotect, com o objectivo de comparar os valores obtidos no que diz respeito às necessidades energéticas do edifício.

A optimização do desempenho energético será avaliada através da implementação de estratégias passivas, por forma a perceber-se o potencial de poupança.

Este estudo centra-se nos edifícios de habitação, decorrente do explanado na introdução, face ao elevado número de edifícios existentes e ao correspondente consumo energético dos mesmos. Tal situação torna evidente a importância da contribuição deste estudo para o reforço da eficiência energética, pretendida alcançar no quadro do Protocolo de Quioto.

Metodologia

Esta dissertação estrutura-se nos seguintes capítulos:

Capitulo 1 – Estado do conhecimento

Enquadramento geral do tema em estudo, analisando o parque edificado português, quanto à sua evolução temporal do número de edifícios construídos e sua caracterização, bem como do seu estado de conservação e desempenho energético.

Capitulo 2 – Análise de Desempenho Energético dos Edifícios

Descrição dos modelos de análise para a avaliação do desempenho energético dos edifícios (quadro regulamentar e simulações dinâmicas).

Capitulo 3 – Contributo de Sistemas Passivos para o Aumento da Eficiência Energética

Estudo de estratégias passivas que podem ser implementadas nos edifícios de habitação, com vista ao reforço da eficiência energética.

Capitulo 4 – Introdução ao Caso de Estudo

Descrição e análise das necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento, de um edifício de habitação nos Açores, através do quadro regulamentar (RCCTE) e do Ecotect. Neste capítulo apresenta-se ainda uma proposta de melhoria do desempenho energético do edifício em estudo, através da implementação de algumas estratégias passivas estudadas no capítulo 3.

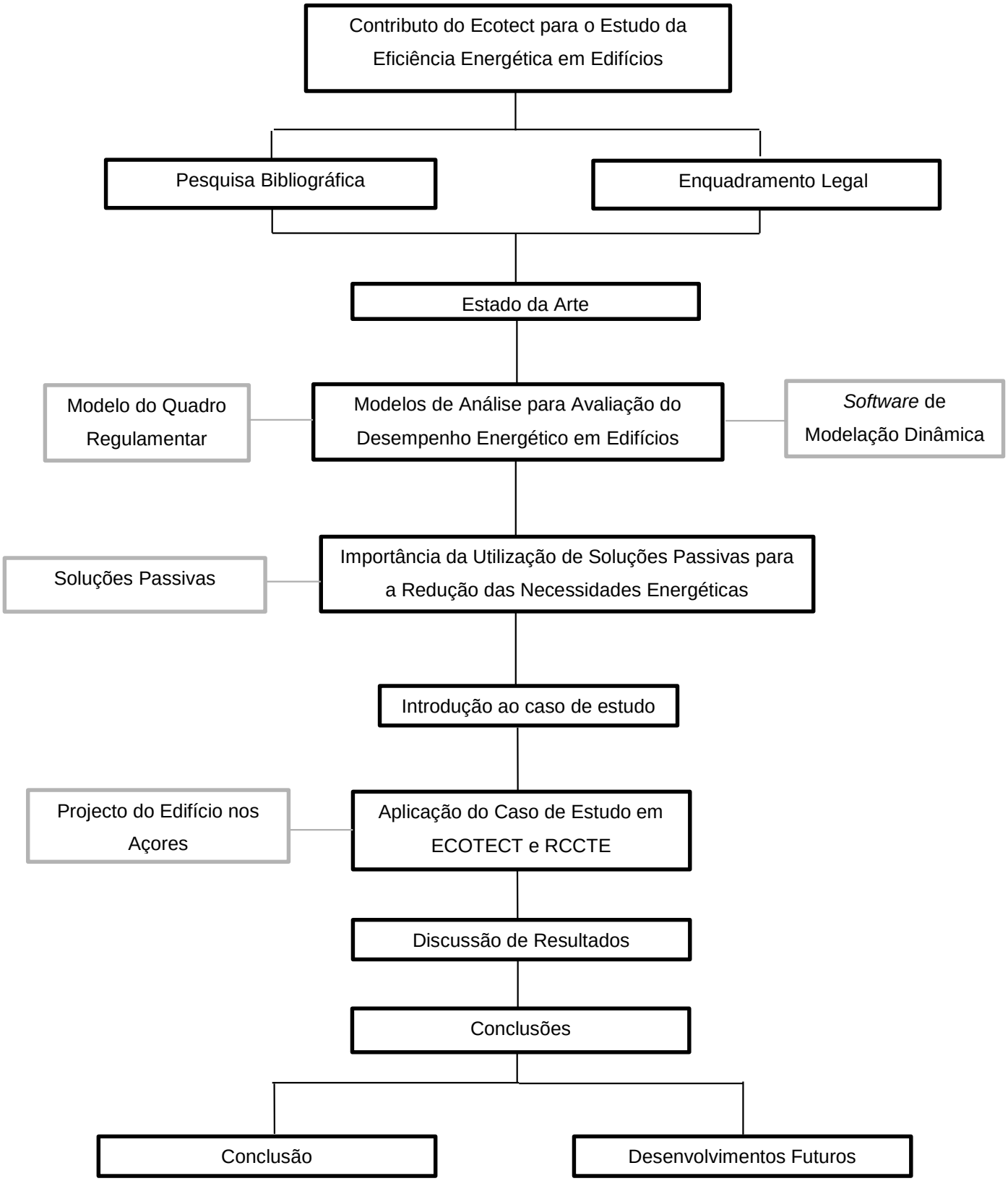
Capitulo 5 – Análise e Discussão de Resultados

Neste capítulo apresenta-se a análise dos resultados obtidos e comparação com outro estudo desenvolvido no mesmo âmbito.

Capitulo 6 - Conclusões

Neste capítulo apresentam-se as conclusões finais e as sugestões para desenvolvimentos futuros.

Apresenta-se de seguida um esquema que traduz a metodologia utilizada:


Contributo do Ecotect para o Estudo da Eficiência Energética em Edifícios
Pesquisa Bibliográfica
Enquadramento Legal
Estado da Arte
Modelo do Quadro Regulamentar
Modelos de Análise para Avaliação do Desempenho Energético em Edifícios
Software de Modelação Dinâmica
Soluções Passivas
Importância da Utilização de Soluções Passivas para a Redução das Necessidades Energéticas
Introdução ao caso de estudo
Projecto do Edifício nos Açores
Aplicação do Caso de Estudo em ECOTECT e RCCTE
Discussão de Resultados
Conclusões
Conclusão
Desenvolvimentos Futuros

1. ESTADO DO CONHECIMENTO

1.1. Evolução do Parque Edificado

A caracterização da evolução do parque edificado é essencial para se ter a percepção das principais características que constituem as edificações existentes. Deste modo, torna-se possível prever as principais falhas no parque edificado para que se adoptem medidas eficientes com o objectivo de melhorar as características do mesmo. Através de uma análise da evolução temporal do número de edifícios construídos e da sua caracterização, será possível identificar o foco para este caso de estudo.

Evolução do Número de Edifícios

Em 2011, o parque habitacional português foi estimado em 3,5 milhões de edifícios e 5,8 milhões de fogos. Como podemos observar na figura 1.1, em termos do número de edifícios, a região Norte predomina com 35% do parque habitacional existente no país; a região Centro com 31,2%; a região de Lisboa com 12,5%. As restantes regiões representam, em conjunto, 21,3% do total de edifícios existentes em Portugal (INE 2011).

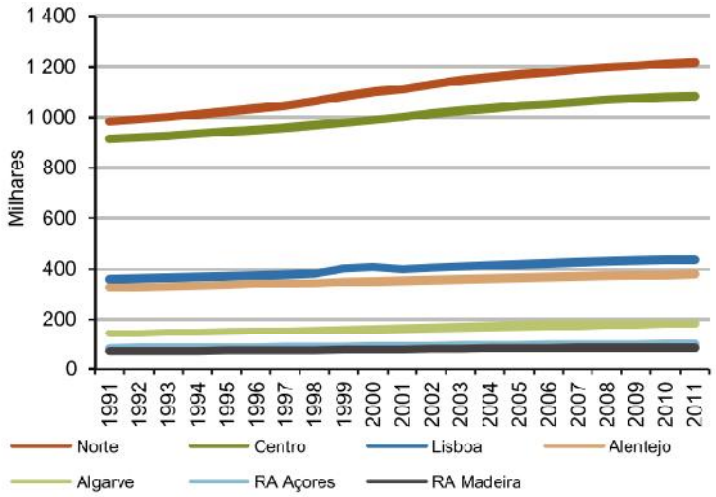


Figura 1.1- Número de edifícios por região (INE 2011)

O elevado crescimento do parque habitacional durante as últimas décadas fez com que, em 2011, uma parte relevante dos edifícios existentes fosse relativamente recente (INE e LNEC 2013).

Através da figura 1.2 pode observar-se que, da totalidade dos edifícios existentes no parque habitacional, aproximadamente 63,1% foram construídos após 1971, sendo a sua distribuição relativamente uniforme após 1971. Porém, neste período, verificou-se uma tendência de ligeira redução do número de edifícios existentes.

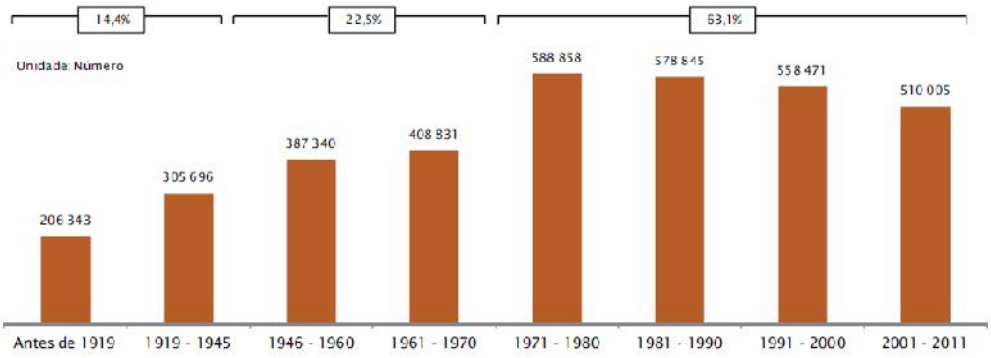


Figura 1.2-Número de edifício clássicos, segundo a época de construção (INE e LNEC 2013)

O número de edifícios construídos após o ano 2000, que caracteriza o período mais recente da construção, representa 24% do total de edifícios existentes (INE 2011).

Observando a percentagem de edifícios por época de construção, nas várias regiões (Figura 1.3), concluímos que a Região Autónoma dos Açores possui o parque habitacional mais recente, sendo a sua proporção em 2011 de 72% dos edifícios construídos após o ano 2000. O parque mais antigo concentra-se na região de Lisboa com 56% dos edifícios construídos antes de 1980 (INE 2011).

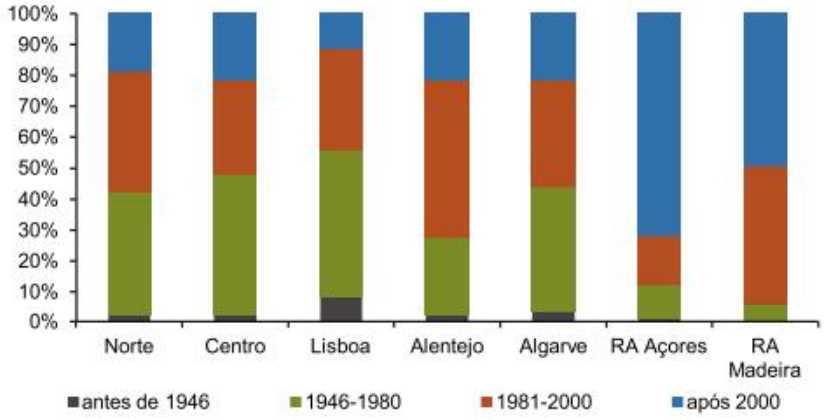


Figura 1.3 - Percentagem de edifícios por época de construção (INE 2011)

Analisando os edifícios mais antigos do parque habitacional (figura 1.4), verificou-se que entre 2001 e 2011 houve uma diminuição dos edifícios construídos até 1970 de 3,2% (42 910 edifícios), sendo este valor substancialmente inferior ao verificado nas duas épocas anteriores, nomeadamente entre 1991 e 2001 de 19,4% (326 222 edifícios) (INE e LNEC 2013).

Relativamente aos edifícios construídos antes de 1946, entre 1981 e 2011, notou-se uma redução acentuada de 67,9% no número de edifícios anteriores a 1919 e de 36,7% nos edifícios cons-

truídos entre 1919 e 1945. Esta redução no número de edifícios pode ter origem em diversos factores, como a alteração para uso não habitacional, reclassificação da época de construção resultante da realização de obras de reconstrução ou demolições (INE e LNEC 2013).

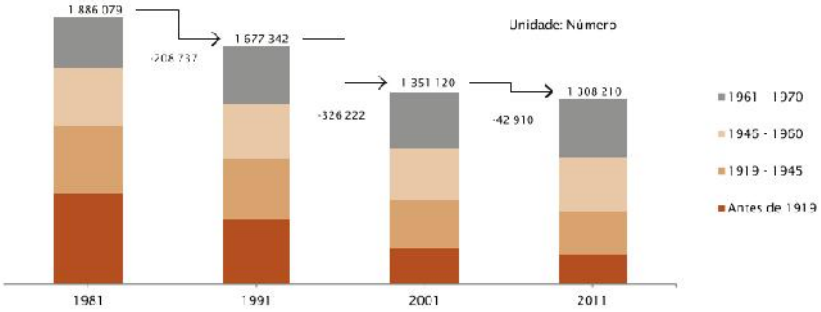


Figura 1.4- Número de edifícios clássicos construídos até 1970, segundo a época de construção (INE e LNEC 2013)

1.2. Caracterização da Construção

As soluções construtivas que caracterizam o parque edificado português reflectem-se no tipo de estrutura e na envolvente exterior (revestimentos exteriores e cobertura) dos edifícios. Neste sentido, considera-se relevante compreender o desenvolvimento temporal das mesmas, bem como os seus reflexos ao nível das necessidades de intervenção futuras.

1.2.1. Estrutura do parque edificado

Actualmente, o parque edificado é composto por quase 50% de estruturas em betão armado, sendo a sua variação regional acentuada. Entre 1919 e 1980, verificou-se em Portugal um aumento significativo da utilização de estruturas em betão armado. Este aumento passou de 17% nos edifícios construídos entre 1919 e 1945 para 54,2% nos edifícios construídos entre 1971 e 1980 como se pode observar na figura 1.5. Após 1980, a proporção de edifícios com estrutura em betão armado permaneceu com um valor aproximadamente constante de 60%. (INE e LNEC, 2013)

Em 2001, a maior parte do país era constituída por edifícios com estrutura em betão armado (48,6%) e por paredes de alvenaria com placa (31,7%), sendo os restantes tipos de estrutura menos representativos (INE e LNEC 2013).

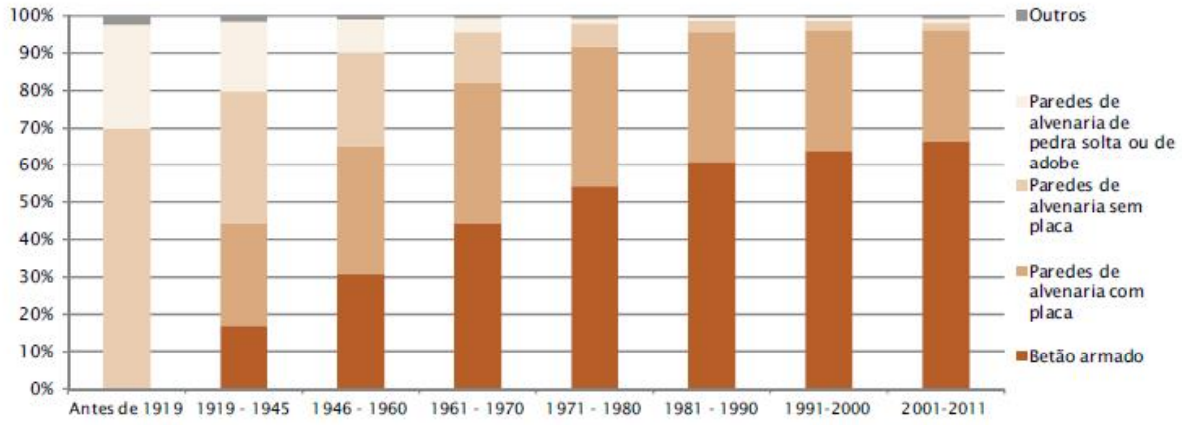


Figura 1.5- Distribuição de edifícios clássicos segundo o tipo de estrutura de construção, por época de construção (INE e LNEC 2013)

A nível regional, a proporção de edifícios com estrutura em betão armado era menor na zona sul e no interior centro do país, à excepção do Algarve que contraria esta tendência, atingindo em 2011 os 57,4% em edifícios com estruturas em betão armado. No litoral de Portugal continental, a proporção de estruturas em betão armado era maior, nomeadamente na região da Grande Lisboa e do Grande Porto. A região da Madeira registou a maior proporção em estruturas de betão armado, atingindo os 75,8%.Relativamente aos edifícios com estrutura em paredes de alvenaria de pedra solta ou adobe, o Baixo Alentejo com 17,7% e o Alentejo Litoral com 13,6% têm a maior proporção a nível nacional (INE e LNEC 2013).

1.2.2. Revestimentos exteriores dos edifícios

Em Portugal, a maioria dos edifícios existentes tem revestimento das paredes exteriores em reboco tradicional ou marmorite, cerca de 84%, sendo a proporção dos restantes tipos de reboco reduzida.(INE e LNEC 2013)

Entre 2001 e 2011, verificou-se um aumento de 52,3% no número de edifícios com revestimento nas paredes exteriores de reboco tradicional ou em marmorite, ocorrendo uma diminuição nos restantes revestimentos.

Observando a figura 1.6, verifica-se que os diferentes tipos de revestimento das paredes exteriores dos edifícios permaneceram aproximadamente constantes em termos de proporções entre 1981 a 2011. Os revestimentos em pedra têm vindo a ser substituídos pelo revestimento tradicional até à década de 90, não se registando desde então grandes variações em relação à sua utilização até 2011. Relativamente às paredes exteriores com revestimento em ladrilho cerâmico ou mosaico, não variaram com a época de construção (INE e LNEC 2013).

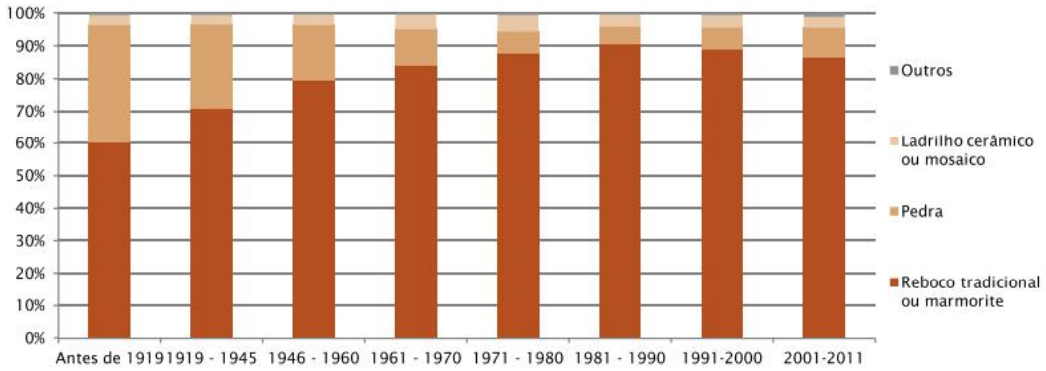


Figura 1.6- Distribuição de edifícios clássicos segundo o tipo de revestimento das paredes exteriores, por época de construção (INE e LNEC 2013)

A nível nacional, a proporção de edifícios existentes com revestimentos em reboco tradicional ou marmorite em paredes exteriores foi maior ou igual a 66%, sendo superior a 90% em quase metade das regiões. O Norte do país tem uma proporção mais reduzida na utilização deste tipo de revestimento, sendo substituído por revestimento em pedra. Em algumas zonas do país, a utilização de revestimento em pedra chegou mesmo a atingir os 25% (INE e LNEC 2013).

1.2.3. Cobertura

Quase a totalidade dos edifícios existentes em Portugal possui cobertura inclinada revestida a telhas, ou de betão, com uma proporção de 93,1%. Os restantes tipos de cobertura dividem-se de forma aproximadamente semelhante. Entre 2001 e 2011, a distribuição dos edifícios, segundo o tipo de cobertura, não registou alterações significativas (INE e LNEC 2013).

Analisando a figura 1.7, verifica-se que a quantidade de edifícios com cobertura revestida a telhas cerâmicas diminui ligeiramente nos edifícios mais recentes, existindo um aumento na utilização de coberturas em terraço. A maior parte dos edifícios em cobertura mista também aumentou, mas de forma pouco significativa. Os edifícios com cobertura inclinada revestida por outros materiais mantiveram-se sempre sensivelmente iguais e de uma forma reduzida em todas as épocas de construção (INE e LNEC 2013).

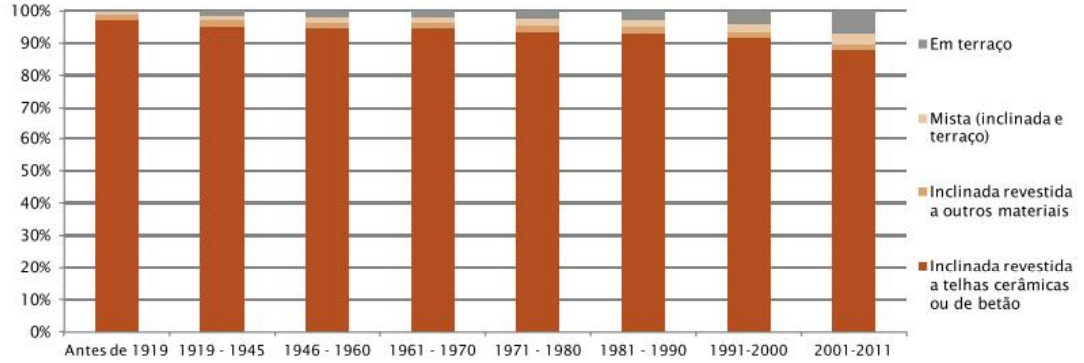


Figura 1.7- Distribuição de edifícios clássicos segundo o tipo de cobertura, por época de construção (INE e LNEC 2013)

As coberturas inclinadas revestidas a telhas cerâmicas ou de betão têm uma representatividade em todas as regiões superior a 93%, à excepção de algumas regiões como a Grande Lisboa, o Grande Porto, Madeira e o Algarve. Destas quatro regiões, a que mais se destacou foi o Algarve com 14,4% de coberturas em terraço e 13,4% com coberturas mistas (INE e LNEC 2013).

1.3. Estado de Conservação do Parque Edificado

Em 2011, a grande maioria dos edifícios existentes em Portugal (71,1%) não tinha necessidades de reparação. A quantidade de edifícios com necessidade de reparação diminui à medida que aumenta o grau das reparações necessárias, ou seja, a proporção de edifícios com necessidades de pequenas reparações era de 17,6%, enquanto a necessidade de grandes reparações era de 2,7% (INE e LNEC 2013).

Os edifícios muito degradados têm uma relevância pouco significativa no parque habitacional, com uma representatividade de 1,7%. Contudo, existem no parque habitacional português cerca de 1 milhão de edifícios que necessitam de intervenção, devido ao seu estado de conservação (INE e LNEC 2013).

Como se pode observar na figura 1.8, o estado de conservação dos edifícios melhorou gradualmente e de forma acentuada, nos edifícios cuja época de construção é mais recente. A quantidade de edifícios sem necessidade de reparação é de 37,5% nos edifícios construídos antes de 1919, tendo aumentado progressivamente até aos 95%, correspondente ao período entre 2001 e 2011. A proporção de edifícios muito degradados teve um valor máximo de 10,8% relativamente ao período anterior a 1919, tendo diminuído até valores pouco relevantes a partir de 1970 (INE e LNEC 2013).

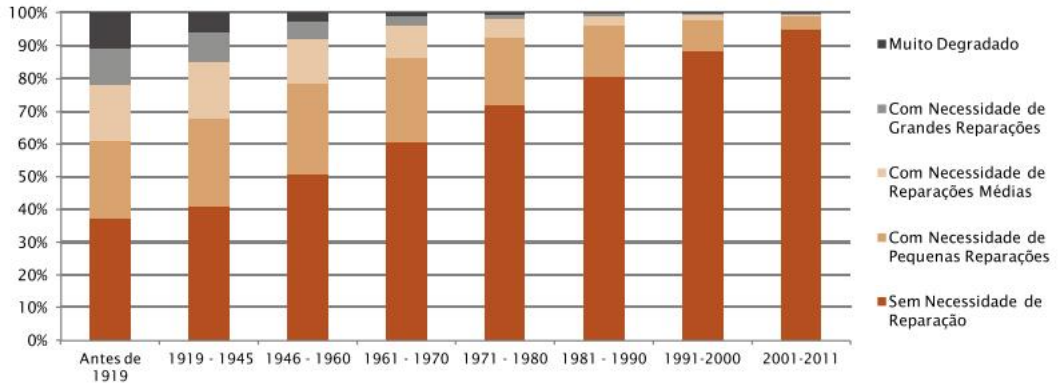


Figura 1.8- Distribuição de edifícios clássicos segundo o seu estado de conservação, por época de construção (INE e LNEC 2013)

Relativamente à época de construção, os edifícios construídos até 1945, que representam 14,4% do parque habitacional (figura 1.2), têm uma proporção de 58,1% dos edifícios com necessidade de grandes reparações ou muito degradados (figura 1.9). O número de edifícios com necessidade de grandes reparações ou muito degradados diminuiu de forma acentuada nos edifícios construídos entre 1946 e 1990, tornando-se pouco relevante nos edifícios posteriores a 1990 (INE e LNEC 2013).

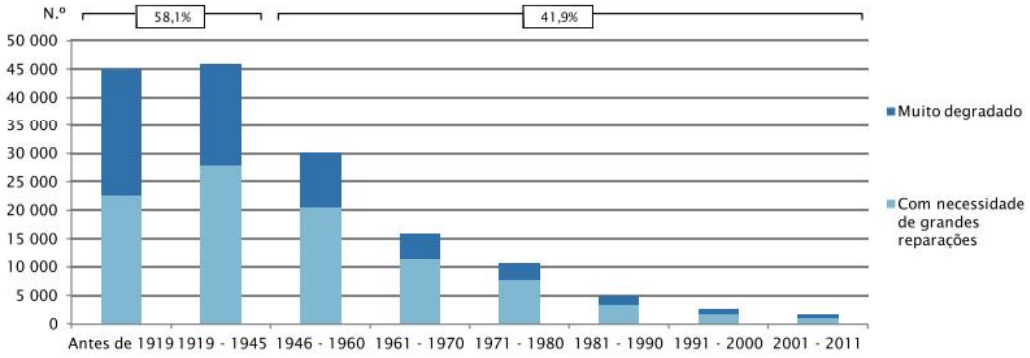


Figura 1.9- Número de edifícios clássicos muito degradados ou com necessidade de grandes reparações, segundo a época de construção (INE e LNEC 2013)

Através da análise da figura 1.10, observar-se que 68% dos edifícios muito degradados ou com nessecidades de grandes reaparações correspondem aos edifcios constituídos por estrutura em paredes de alvenaria sem placa e por estrutura em alvenaria de pedra solta ou adobe, sendo a sua proporção apenas de 18,9% do parque edifcicado (INE e LNEC 2013).

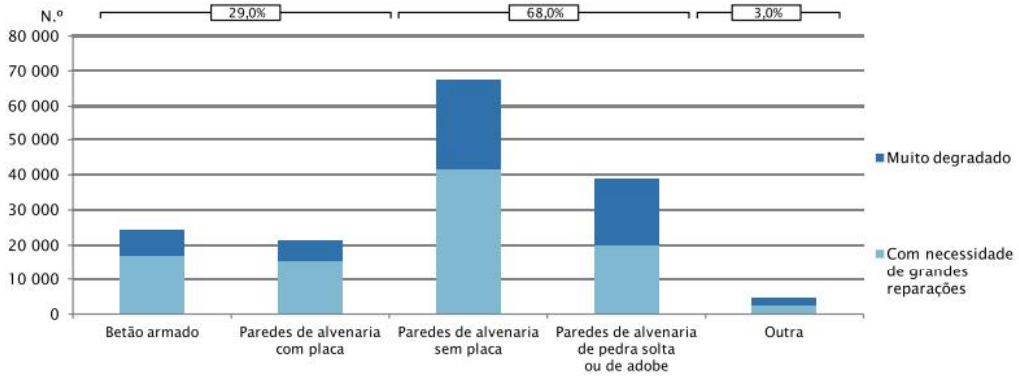


Figura 1.10- Número de edifícios clássicos muito degradados ou com necessidade de grandes reparações, segundo o tipo de estrutura do edifício (INE e LNEC 2013)

Da análise das características do parque edificado português pode-se concluir que:

- O elevado crescimento do parque habitacional durante as últimas décadas fez com que, em 2011, uma parte relevante dos edifícios existentes fosse relativamente recente, sendo os edifícios, construídos após 2000, 24% do total existente;
- Relativamente aos materiais de construção, o parque edificado é maioritariamente caracterizado por estruturas em betão armado (48,6%), por paredes exteriores com revestimento tradicional ou de marmorite (84%) e por cobertura inclinada revestida a telhas cerâmicas ou em betão (93,1%);

- Em 2011 a maior parte do parque edificado não tinha necessidade de reparação (71,1%); no entanto, 1 milhão de edifícios do parque habitacional necessitam de intervenção devido ao seu estado de conservação;
- As épocas onde se verifica o maior estado de degradação nos edifícios correspondem aos edifícios construídos até 1945, com maior relevância nos edifícios com estrutura em paredes de alvenaria sem placa e os edifícios com paredes de alvenaria de pedra solta ou adobe.

1.4. Orientações da União Europeia aplicáveis aos edifícios existentes

A regulamentação relativa ao desempenho energético de edifícios começou a ser implementada em Portugal desde 1990, com o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios, através do Decreto-Lei 40/90 (Ferreira e Pinheiro 2011).

Com a entrada em vigor do RCCTE em 1990, implementou-se as primeiras medidas de eficiência energética em edifícios, através da limitação das necessidades nominais de energia útil por estação de aquecimento e arrefecimento, bem como o valor do coeficiente de transmissão térmica de elementos da envolvente (*U*) e o factor solar dos envidraçados (RCCTE 2006). Porém, estas melhorias no desempenho energético dos edifícios estavam longe de ser as metas desejáveis de alcançar (Ferreira e Pinheiro 2011).

Os estados membros desenvolveram um conjunto de medidas, por forma a impulsionar uma melhoria no desempenho energético e nas condições de conforto dos edifícios, através da directiva 2002/91/CE (EPBD- Energy Performance of Buildings Directive), de 16 de Dezembro, e da sua reformulação directiva 2010/31/EU, de 19 de Maio. Estas directivas estabelecem o enquadramento geral para uma metodologia de cálculo do desempenho energético integrado dos edifícios, com a aplicação dos requisitos mínimos para o desempenho energético dos novos edifícios, bem como dos edifícios existentes que sejam sujeitos a importantes obras de renovação (DGEG 2014). "O objectivo da presente directiva é promover a melhoria do desempenho energético dos edifícios na Comunidade, tendo em conta as condições climáticas externas e as condições locais, bem como as exigências em matéria de clima interior e a rentabilidade económica" (Directiva 2002/91/CE 2002). Para além do reforço e actualização dos requisitos de comportamento térmico e de eficiência energética, a EPBD introduziu o conceito de certificação energética de edifícios, o qual tem funcionado como veículo para a promoção e informação dos cidadãos sobre a qualidade e desempenho do parque edificado (Santos e Baptista 2010).

A EPBD foi transposta para o Direito Nacional Português a 4 de Abril de 2006, através de um Pacote legislativo composto pelos Decretos- lei:

- Decreto-Lei n.º 78/2006 de 4 de Abril, Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE) que transpõe parcialmente para a ordem jurídica a Directiva nº 2002/97/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro de 2002, relativa ao desempenho energético dos edifícios;
- Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril, Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios (RSECE);

- Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril, Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE).

A execução da EPBD em Portugal passou por três fases:

- 1 de Julho de 2007: aplicação do SCE a edifícios novos com uma área total de mais de 1000 m2, registados para construção (quando solicitada a autorização de construção) depois desta data;
- 1 Julho de 2008: aplicação do SCE a novos pequenos edifícios, independentemente da área, sendo registados para construção (quando solicitada a licença de construção) depois desta data;
- 1 Janeiro de 2009: a exigência de uma certificação energética de todos os edifícios entra em vigor. Todos os edifícios, de habitação ou comércio, que sejam vendidos ou arrendados depois de Janeiro de 2009, devem ter um Certificado de Eficiência Energética, que inclua informação sobre o nível de eficiência do edifício. (Magalhães & Leal 2014; IDEAL-EPBD 2014).

A reformulação na directiva europeia proporcionou uma evolução considerável para a obtenção de um melhor desempenho energético dos edifícios, através desta nova definição/imposição de edifícios com balanço energético quase nulo até ao final de 2020 (Ferreira e Pinheiro 2011; Mateus e Soares 2011).

Actualmente, o regulamento aplicado para o estudo do desempenho energético dos edificios é o Regulamento de Desempenho Energético dos Edificios de Habitação (REH) que revoga o SCE, RCCTE e RSECE.

1.5. Programas Nacionais para o aumento da eficiência energética em edifícios

1.5.1. Objectivo 20-20-20

A redução das emissões de gases, que provocam o efeito de estufa, e a preocupação com o aumento da dependência de energias, provenientes do exterior do espaço europeu, fez com que a Comissão Europeia, em 2007, definisse um conjunto de objectivos a cumprir até ao ano 2020 (Capros et al. 2011; Resolução do Concelho de Ministros nº20/2013, 2013):

- Reduzir as emissões de gases de efeito de estufa em 20%, comparativamente aos níveis de 1990.
- Melhoria em 20% na eficiência energética através da redução do consumo de energia primária.
- Alcançar os 20% de quota de energia proveniente de fontes renováveis no consumo final bruto.

Para enquadrar e incentivar esta dinâmica, o governo português aprovou a elaboração de diversos instrumentos para a prossecução dos objectivos definidos, tais como (PORTUGAL2020 2011):

- Estratégia Nacional de Energia (ENE 2020)
- Plano Nacional de Acção para as Energias Renováveis (PNAER)
- Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética (PNAEE)

Área da Energia e emissões:

- Roteiro Nacional de Baixo Carbono (RNBC)
- Plano Nacional para as alterações climáticas (PNAC)
- Planos Sectoriais do Baixo Carbono (PSBC)
- Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território (PNPOT).

Em 2010, foi aprovada a estratégia Nacional para a Energia 2020, que integra os compromissos assumidos no âmbito do Pacote Europeu Energia/Clima para Portugal. Os objectivos passam por diminuir o consumo de energia final em 20%, e 31% do consumo de energia final terá de ter por base energias renováveis (Araújo & Coelho 2013).

O Plano Nacional Para a Eficiência Energética (PNAEE) e o Plano Nacional de Acção para as Energias Renováveis (PNAER) são os instrumentos de planeamento energético, que visam o cumprimento das metas europeias «20-20-20» assumidos por Portugal no que diz respeito a matéria de eficiência energética e de utilização de energia proveniente de fontes renováveis. Estes planos serão analisados seguidamente (Europeu et al. 2013).

1.5.2. Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética

O Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética (PNAEE 2008-2015), também denominado por "Portugal Eficiência 2015", foi instituído em Portugal em 2008, pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 80/2008, de 20 de maio, face aos objectivos propostos pela directiva europeia n.º 2006/32/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 5 de Abril, relativa à eficiência energética na utilização final de energia e aos serviços energéticos. Esta directiva estabelece a obrigação dos estados membros criarem planos de acção para a eficiência energética com o objectivo de reduzir em, pelo menos, 1% a poupança de energia por ano até 2016. A directiva foi transposta para o Direito Nacional Português, pelo Decreto-Lei n.º 319/2009, de 3 de Novembro, estabelecendo como objectivo a obtenção de economias de energia em 9% no nono ano de aplicação da directiva (2016), por comparação com o período 2001-2005. O PNAEE abrange 4 áreas destintas de cariz essencialmente tecnológico: Transportes, Residencial e Serviços, Estado e Industria. De uma forma adicional, considera ainda três áreas transversais de actuação sobre as quais incidiram análises e orientações complementares, tais como: Comportamentos, Fiscalidade, Incentivos e Financiamentos. As áreas referidas agregam um conjunto de programas que, de forma coerente, integram um vasto número de medidas de eficiência energética, orientadas para procura energética (Resolução do Conselho de Ministros n.º 80/2008 2008).

No que diz respeito à área Residencial e Serviços, os programas que incentivam a eficiência energética é integrada em três programas:

Renove Casa- medidas relacionadas com eficiência energética na iluminação, reabilitação de espaços, electrodomésticos e electrónica de consumo.

Sistema de Eficiência Energética nos Edifícios- Reúne grupo de medidas que resultam do processo de certificação energética dos edifícios, através de um programa que contém diversas medidas de eficiência energética nos edifícios, nomeadamente isolamentos, melhoria de vãos envidraçados e sistemas energéticos.

Programa Renováveis na Hora - tem como orientação o aumento da penetração de energias endógenas nos sectores residencial e serviços.

Programa Renove a Casa

Este programa assenta sobre quatro áreas de intervenção, por forma a tornar o parque de equipamentos domésticos mais eficiente (electrodomésticos e iluminação), por via de substituição directa através do desincentivo à compra de novos equipamentos com performance energética mais baixa e pela via do estímulo a uma mudança de comportamentos na aquisição e consumo de energia (figura 1.11). Neste programa ainda estão incluídas medidas de reabilitação energética, bem como medidas destinadas ao segmento dos serviços e relativos aos equipamentos de escritório eficientes (Resolução do Conselho de Ministros n.º 80/2008 2008).

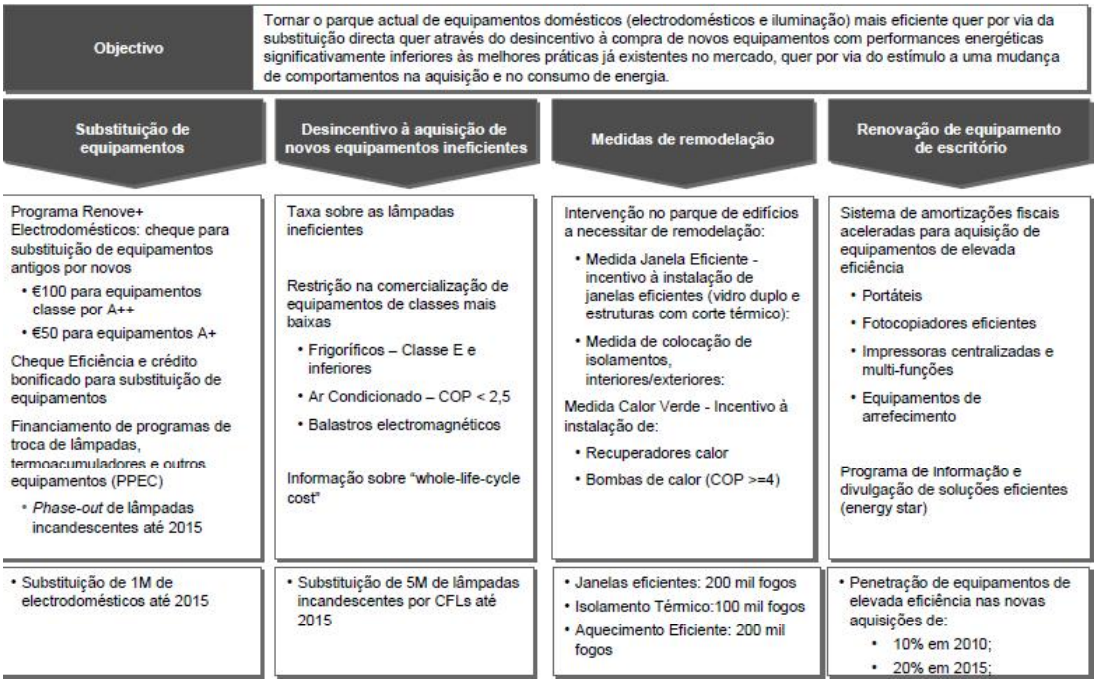


Figura 1.11- Programa Renove Casa (Resolução do Conselho de Ministros n.º 80/2008 2008)

Sistema de Eficiência Energética nos Edifícios

O Programa Certificação Energética (figura 1.12) visa melhorar o desempenho energético dos edifícios, através da melhoria da classe média de eficiência energética do parque edificado, mediante a implementação das orientações que regulam o Sistema de Certificação Energética (SCE) (Resolução do Conselho de Ministros n.º 80/2008 2008).

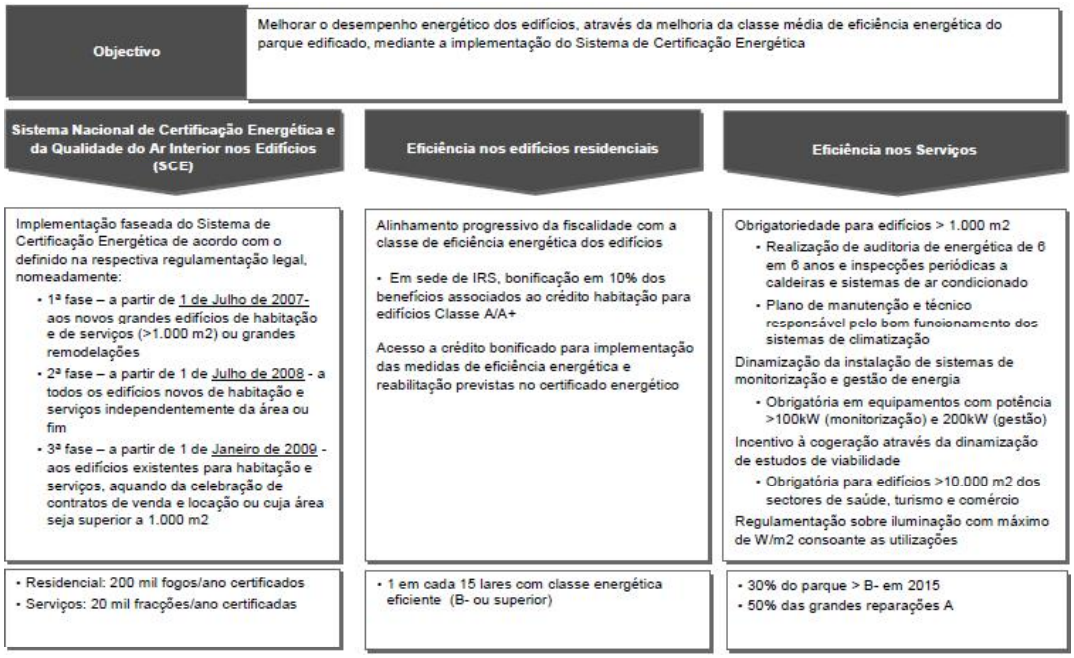


Figura 1.12- Sistema de Eficiência Energética nos Edifícios (Resolução do Conselho de Ministros n.º 80/2008 2008)

Renováveis na Hora

Este programa visa promover a substituição do consumo de energia fóssil por energia renovável, através da maior facilidade de acesso a tecnologias de micro-geração de energia eléctrica e de aquecimento solar de águas quentes sanitárias (figura 1.13). Pretende também dinamizar a produção descentralizada de energia eléctrica ou combinada de energia eléctrica e térmica, com recurso a fontes de energia renováveis em Portugal, permitindo o exercício da actividade de produção de electricidade em baixa tensão por parte de entidades singulares e colectivas, com possibilidade de entrega da energia proveniente de instalações de microprodução à rede eléctrica pública (Resolução do Conselho de Ministros n.º 80/2008 2008).

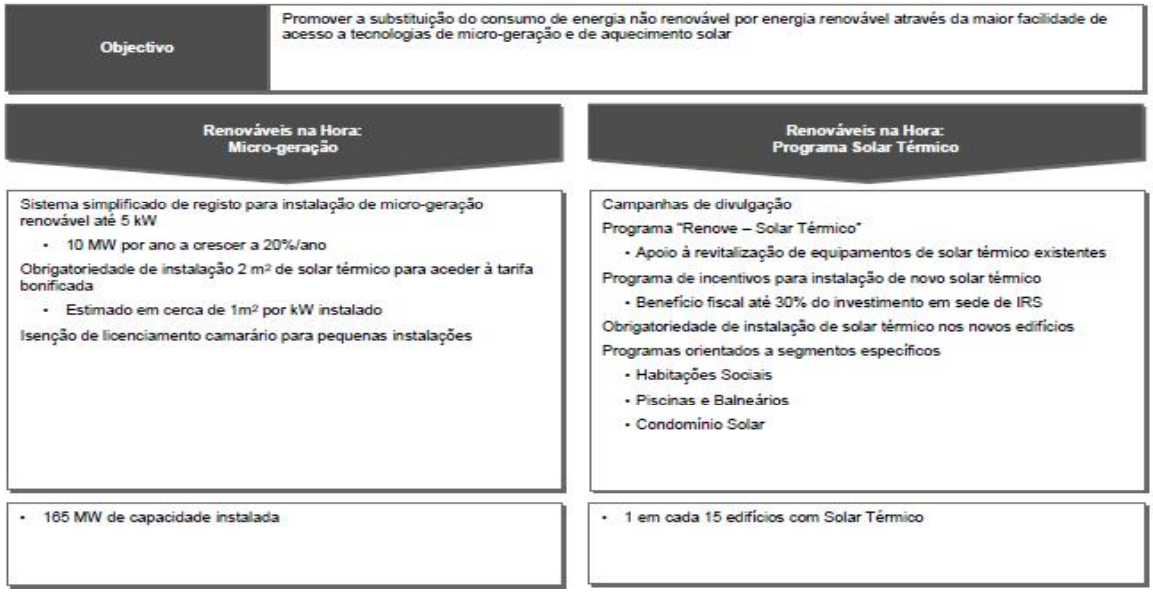


Figura 1.13- Renováveis na Hora (Resolução do Conselho de Ministros n.º 80/2008 2008)

1.5.3. Plano Nacional de Acção para as Energias Renováveis

Segundo (Cabral 2012), o PNAER "fixa objectivos nacionais para cada Estado Membro relativos à quota de energia proveniente de fontes renováveis consumida nos sectores dos transportes, electricidade e aquecimento e arrefecimento em 2020, bem como as respectivas trajectórias de penetração de acordo com o ritmo da implementação das medidas e acções previstas em cada um desses sectores, tendo em conta os efeitos de outras políticas relacionadas com a eficiência energética no consumo de energia".

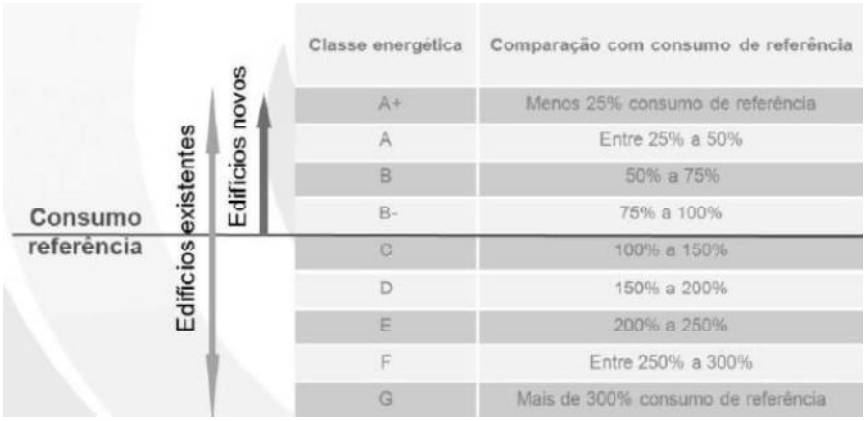
As principais medidas que o PNAER vem introduzir no sector dos edifícios residenciais são (Macedo 2013):

- Revisão da lesgislação referente a certificação energética e ar interior dos edifícios;
- Financiamento de iniciativas-piloto inovadoras de produção de energia (através de fontes renováveis) e de utilização racional de energia, nomeadamente o apoio à utilização de água quente solar para a produção de águas quentes sanitárias em equipamentos colectivos e habitação social existentes;
- Potenciar a utilização de equipamentos mais eficientes.

1.6. Nível de desempenho energético dos edifícios

A criação do Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE) teve com objectivo melhorar o desempenho energético e ambiental do parque edificado, utilizando uma metodologia específica para incentivar a redução das necessidades de energia nos novos edifícios, nos sujeitos a reabilitações, e nos edifícios existentes. A implementação do SCE, com a transposição da directiva europeia sobre o desempenho energético dos edifícios (EPBD), introduziu novos requisitos relativamente aos elementos construtivos, sistemas energéticos e a utilização de energias renováveis, que foram mais tarde objecto de revisão da regulamentação nacional existente, nomeadamente no Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios (RCCTE) e no Regulamento dos Sistemas energéticos e de Climatização dos Edifícios (RSECE) (ADENE 2012). A ADENE (Agência para a Energia), enquanto entidade gestora do SCE, criou as condições necessárias à operacionalização do sistema, incluindo a criação de um corpo técnico qualificado de peritos para certificação energética de imóveis e a constituição de uma plataforma informática para emissão e registo centralizado dos certificados energéticos (Santos & Baptista 2010).

Com a entrada em vigor dos novos regulamentos, todos os edifícios que iniciaram o processo de licenciamento possuem o certificado energético emitido pelo perito qualificado que, por sua vez, verifica o cumprimento dos requisitos técnicos, atribuindo a classe energética ao edifício. O certificado energético e da qualidade do ar é classificado em função do seu desempenho energético (figura 1.14), numa escala predefinida de 9 classes (A+ a G), sendo "A+" a classe mais eficiente e a "G" a menos eficiente. A classe "B -" é a classe mínima que pode ser atribuída a um edifício novo. Este certificado energético permite aos futuros proprietários do imóvel conhecer o desempenho associado ao mesmo, induzindo assim aos construtores e senhorios a necessidade de ter soluções construtivas e equipamentos com maior eficiência energética (ADENE 2012).



Classe energética	Comparação com consumo de referência
A+	Menos 25% consumo de referência
A	Entre 25% a 50%
B	50% a 75%
B-	75% a 100%
C	100% a 150%
D	150% a 200%
E	200% a 250%
F	Entre 250% a 300%
G	Mais de 300% consumo de referência

Figura 1.14- Classes energéticas e comparação com consumo de referência (ADENE 2010)

1.6.1. Certificação Energética em Portugal

Em 2012, existia em Portugal cerca de 500 mil imóveis certificados no Sistema de Certificação Energética (SCE), dos quais, 100 mil encontram-se em fase de projecto e os restantes 400mil são imóveis existentes e recém-construídos, que já tiveram uma declaração de conformidade regulamentar. No primeiro trimestre do ano de 2013, foram emitidos cerca de 16,6 mil registos, registando-se uma redução de 28%, face ao ano de 2012. Apesar desta diminuição do dinamismo observado, em termos cumulativos o SCE contabilizou entre Junho de 2007 a Março de 2013 aproximadamente 577 mil certificados emitidos.

Os edifícios destinados à habitação representam 90% dos certificados emitidos pelo SCE (Projecto BUILD UP SKILLS PORTUGAL 2012; APEMIP 2013).

A análise por distrito, referente ao número de certificados emitidos (figura 1.15), revela que os centros urbanos de Lisboa, Porto, Faro, Setúbal e Braga detêm uma preponderância de 69% no sector residencial (APEMIP 2013).

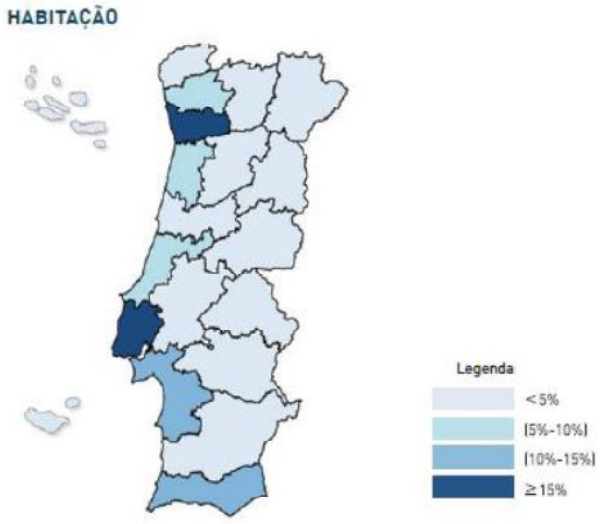


Figura 1.15 - Representatividade distrital por tipo de edifício certificado (APREN 2013)

A evolução dos registos, desde a entrada em vigor do SCE, encontra-se na figura 1.16, onde se regista a evolução mensal dos registos emitidos por tipo de documento para os edifícios de habitação. Cerca de 80% dos certificados foram emitidos nos primeiros 6 meses do ano de 2009, relativos aos edifícios existentes. Por mês, aproximadamente 3000 certificados relativos a edifícios novos e 15000 certificados relativos a edifícios existentes são emitidos, cobrindo quase todo o licenciamento e processos de vendas que ocorrem no País. No primeiro trimestre de 2013, a relevância dos certificados energéticos emitidos após declaração de conformidade regulamentar (CE-DCR) sobre a totalidade dos certificados, fez com que no sector residencial se registasse um crescimento de 12,3% em Janeiro e de 14,9% em Março, devido à crescente concretização de edifícios licenciados (APEMIP 2013; Casquiço e Santos 2010).

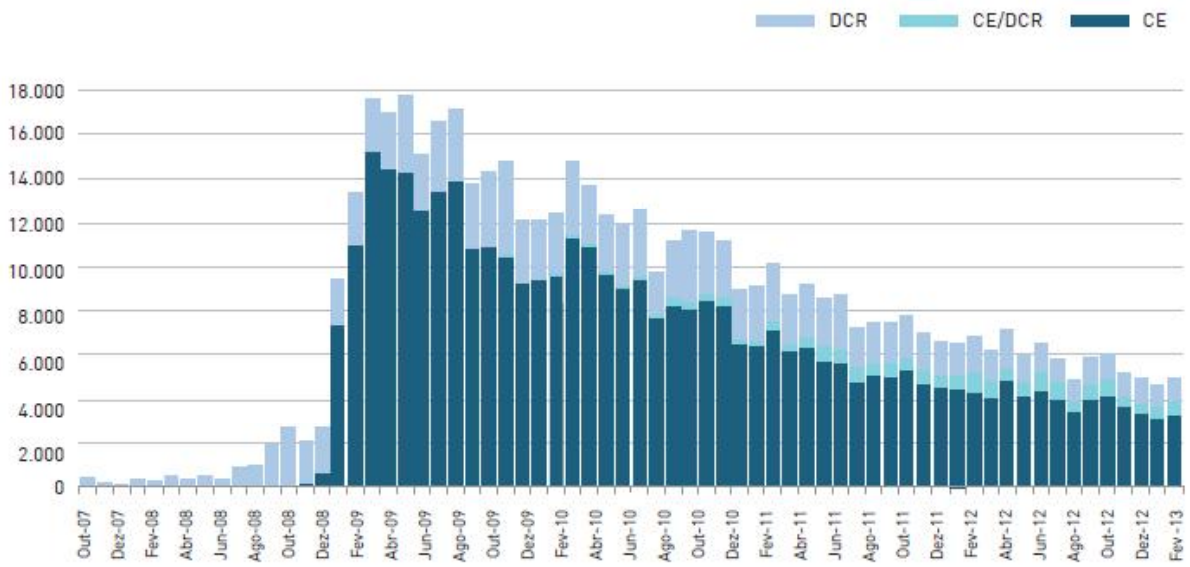


Figura 1.16- Evolução mensal dos registos emitidos, por tipo de documento - edifícios de habitação

Apesar do aumento do número de certificados energéticos emitidos com a implementação do SCE, ainda é reduzida a existência de certificados energéticos no período anterior a 2006, sendo mesmo inferior a 10% antes do ano de 1990, como pode-se observar na figura 1.17.

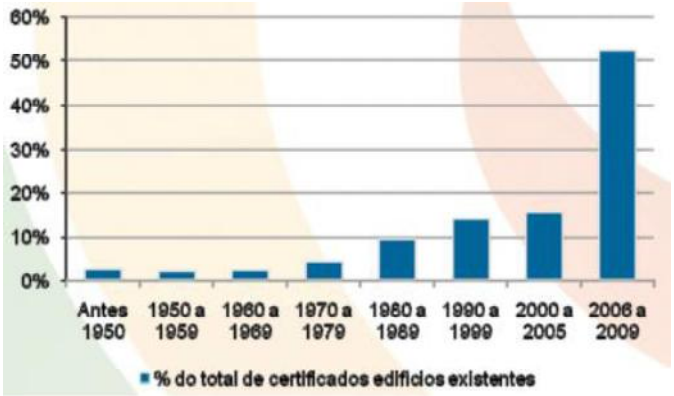


Figura 1.17- Percentagem do total de certificados nos edifícios existentes (ADENE 2010)

1.6.2. Classificação Energética do Parque Habitacional

Através da análise da figura 1.18, verifica-se que o parque edificado construído até 1999 é caracterizado por uma classe energética igual ou inferior a C, com uma dimensão superior 80%. A década de 70 foi onde se registou a menor eficiência energética e ao mesmo tempo foi a década em que mais se construiu em Portugal (figura 1.2). Posto isto, é clara a existência de um número muito elevado de edifícios no parque edificado que necessita de melhorias, por forma a aumentar a eficiência energética do mesmo. A melhoria na classe energética surgiu a partir de 1990, tendo sido provocada pela introdução da legislação relativa à qualidade térmica dos edifícios residenciais. Não existindo esta imposição legal, as construções até a década de 1990, que representam aproximadamente 70% do parque edificado (figura 1.2), não cumprem as exigências actuais, não só do ponto de vista regulamentar, mas também do ponto de vista de sustentabilidade energética, conforto, salubridade e saúde do utilizador. (INE & LNEC 2013; Silva 2013).

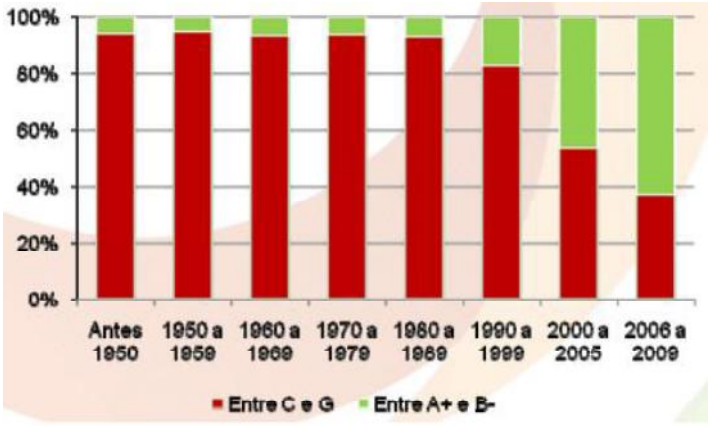


Figura 1.18- Percentagem do total de certificados nos edifícios existentes (ADENE 2010)

Segundo (Santos e Baptista 2010), existe um aumento da preocupação por parte dos projectistas e promotores em obter um elevado desempenho nos edifícios novos, sendo que cerca de 65% dos documentos emitidos apontam para classes A e A+.

Se todas as recomendações de melhorias feitas pelos peritos em cada certificado forem adoptadas, cerca de 86% dos edifícios existentes terão, pelo menos, o mesmo desempenho energético que os edifícios novos (em termos de consumo de energia primária por metro quadrado de área útil). E, neste cenário, Portugal poderia salvar cerca de 0,4 tep (tonelada equivalente de petróleo) de energia primária por edifício em cada ano (Casquiço e Santos 2010).

1.7. Conforto Ambiental no Interior dos Edifícios

Hoje em dia, nos países desenvolvidos, as pessoas passam a maior parte do seu tempo no interior dos edifícios, sendo que a qualidade ambiente destes espaços têm implicações sobre a sua saúde, bem-estar e produtividade. Por outro lado, o aumento do nível de conforto ambiental por parte dos ocupantes no interior dos edifícios tem levado a que o consumo energético aumente significati-

vamente. Posto isto, é importante estudar os parâmetros que influenciam o conforto ambiental dos ocupantes para que se criem medidas passivas com baixo consumo energético.

Conforto Ambiental

Um importante elemento no consumo de energia dos edifícios de habitação é o nível de conforto ambiental desejado de assegurar nos espaços interiores, durante as diferentes estações do ano. Embora o nível de conforto ambiental desejado varie de lugar para lugar e de pessoa para pessoa, alguns parâmetros podem ser estandardizados, possibilitando desta forma que exista uma tendência para o uso de medidas e procedimentos de baixo consumo energético, garantindo a satisfação nos espaços interiores (Amado 2002).Os factores ambientais que determinam a qualidade dos espaços interiores em termos de saúde, produtividade e conforto dos ocupantes são (Sarbu & Sebarchievici 2013):

- Conforto térmico;
- Qualidade do ar interior;
- Conforto acústico;
- Conforto visual.

Conforto Térmico

"Os edifícios definem espaços onde as pessoas passam mais de 80% do tempo das suas vidas, pelo que devem oferecer condições adequadas de conforto e de qualidade do ar interior" (Nascimento e Gonçalves 2005). Quando o ser humano se sente desconfortável, tende a restaurar as condições de equilíbrio térmico, através de aparelhos de climatização, ou até mesmo, alterando a roupa que tem vestida (Frontczak e Wargocki 2011). A criação de condições de conforto térmico é importante para o sucesso de um edifício, não só porque vai aumentar os níveis de conforto dos ocupantes, mas também porque influência directamente o consumo de energia do mesmo (Nicol e Humphreys 2002).

O conforto térmico foi definido por (Hensen, 1991) como "um estado em que não há alterações comportamentais para corrigir as condições do ambiente". Como tal, esse comportamento será influenciado por diferenças pessoais de humor, cultura, factores individuais, organizacionais e sociais. Com base nesta definição, o conforto térmico não é uma condição de estado, mas sim um estado de espírito. Na verdade, pessoas que se encontram em espaços muito semelhantes, sujeitos ao mesmo clima e pertencentes à mesma cultura, têm tendência a emitir opiniões muito diferentes sobre o conforto ambiente em que se encontram. Esta divergência de opinião é explicada pela combinação de um grande número de factores que influenciam a percepção humana (Djongyang et al. 2010).

Segundo (Henriques 2007; Frontczak e Wargocki 2011), os parâmetros que condicionam decisivamente a sensação de conforto térmico podem ser englobados em três grupos:

- Características Físicas: Temperatura do ar, humidade relativa, temperatura radiante da envolvente e a velocidade do ar;
- Características Fisiológicas: Idade, sexo e as especificidades morfológicas de cada indivíduo;
- Factores Externos: Tipo de roupa e o tipo de actividade.

Em geral, o conforto ocorre quando a temperatura do corpo é mantida a uma determinada e reduzida gama, quando a transpiração da pele é baixa, e quando os mecanismos fisiológicos de regulação de temperatura são mínimos (Soubdhan et al. 2005).

Em Portugal, as condições ambientes de conforto de referência são uma temperatura do ar de 20°C para a estação de aquecimento e uma temperatura do ar de 25°C e 50% de humidade relativa para a estação de arrefecimento (RCCTE 2006).

Qualidade do ar interior

A qualidade do ar interior dos edifícios é a base determinante para garantir a saúde, bem-estar, conforto e produtividade dos seus ocupantes. Esta qualidade é influenciada pelas dimensões e volume dos espaços, pela velocidade e volume de renovação do ar, e pela existência de fontes de poluição. As causas mais comuns de perda de qualidade do ar são as poeiras e partículas em suspensão, odores, fumo e gases de combustão, e gases com origem em produtos e materiais de construção (Amado et al. 2007; Norhidayah et al. 2013). Segundo o RCCTE, o valor mínimo de renovações por hora, por forma a assegurar a higiene e o conforto dos ocupantes, sem induzir perdas térmicas significativas é de 0,6 h^{-1}(RCCTE 2006).

Conforto Acústico

O conforto acústico é uma condição importante para alcançar bem-estar no interior dos edifícios, sendo que a falta desse conforto condiciona muito a saúde e produtividade (Rasmussen 2010). O nível de ruído no interior dos edifícios é sobretudo decorrente da configuração dos espaços e o tipo de sistema construtivo adoptado. Uma escolha adequada da forma dos espaços, do sistema construtivo ou dos materiais de revestimento das superfícies interiores e exteriores, são algumas das soluções viáveis para minimizar o ruido sentido no interior dos edifícios (Amado 2002).

Conforto Visual

A iluminação é um dos principais factores que condicionam a qualidade ambiental no interior dos edifícios, tendo a função de proporcionar um ambiente visual apropriado aos ocupantes no desenvolvimento das suas actividades. Devem ser garantidos níveis adequados de iluminação, existência de conforto visual, bem como uma minimização dos impactes energéticos associados ao uso de iluminação natural, proveniente dos vãos envidraçados, ao invés da utilização de luz artificial (LNEC 2013).

1.8. Parâmetros determinantes no desempenho energético decorrente do conforto interior de edifícios

As características construtivas e arquitectónicas dos edifícios têm uma influência preponderante nas condições de conforto interior. Para que se atinjam níveis de conforto desejáveis, estudar parâmetros importantes como a orientação do edifício e a sua envolvente (janelas, cobertura, fachadas) são determinantes para que se obtenha um elevado desempenho do mesmo (Pacheco et al. 2012).

1.8.1. Orientação do edifício

A escolha adequada da orientação do edifício permite que o edifício tenha capacidade para captar radiação solar nos períodos em que a necessidade de energia é maior (Inverno) e de ter a

menor superfície possível exposta à luz do sol quando existe necessidade de arrefecimento (Verão), reduzindo, assim, de uma forma passiva os gastos de energia em climatização. Relativamente à iluminação, aumenta a quantidade de luz natural no edifício, reduzindo a necessidade de recurso a iluminação artificial (Boyano et al. 2013; Morrissey et al. 2011).

A poupança de energia nos edifícios não só conduz a uma redução nas necessidades de energia eléctrica e a uma redução nos custos associados ao seu uso, como também traz benefícios ambientais. A geração de energia eléctrica que envolve a queima de combustíveis fósseis está associado à produção e emissão de dióxido de carbono (CO_2) e outros gases para a atmosfera, o que por sua vez irá contaminar o meio ambiente e o aquecimento global, devido ao efeito de estufa. Melhorar a entrada de luz natural num edifício, para reduzir a dependência de iluminação artificial, é considerada uma das maneiras mais simples de obter um nível elevado de eficiência energética no mesmo. A iluminação natural está directamente ligada e dependente da solução adoptada na concepção dos edifícios, a sua forma, dimensão das áreas envidraçadas e orientação solar (Amado 2002; Ghisi e Tinker 2006).

Em Portugal, a Iluminação representa 13,6% do consumo total de electricidade nos alojamentos e 13,6% da despesa global com este tipo de energia, correspondendo à 3ª principal utilização de electricidade no alojamento (INE e DGEG 2010).

1.8.2. Envolvente do edifício

Quanto à envolvente do edifício, do ponto de vista energético, os ganhos e perdas de energia entre o exterior e o interior dependem particularmente da inércia térmica e do poder isolante dos materiais que constituem a envolvente (Balaras et al. 2000; Feng 2004).

As características das janelas são uma das preocupações principais, na maior parte dos estudos sobre o potencial de poupança energético relacionado com a construção sustentável. O tamanho, a forma, a posição, a orientação e número de janelas, influenciam directamente a quantidade de luz natural e os ganhos e perdas de calor no interior do edifício. A existência de isolamento na janela provoca um efeito duplo no seu desempenho. Por um lado, evita as perdas de calor, reduzindo a necessidade de energia para aquecimento durante a estação fria. Por outro lado, esta melhoria no isolamento não permite a libertação de possíveis ganhos de calor durante a estação quente, aumentando a necessidade de energia para arrefecimento (Boyano et al. 2013; Manz 2008).

Os edifícios com isolamento térmico nas paredes exteriores limitam as trocas de calor entre o interior e exterior que, por sua vez, aumentará o nível de conforto térmico no interior. Um edifico com isolamento insuficiente arrefece mais rapidamente na estação de aquecimento e aquece mais rapidamente na estação de arrefecimento, conduzindo a maiores custos de climatização. "O consumo de energia em edifícios com isolamento pode ser 5-30% menos do que em edifícios não isolados" (Balaras et al. 2000).

Uma vez que a cobertura é um dos elementos mais expostos às condições climáticas, torna-se necessário garantir a diminuição do fluxo de calor entre o ambiente exterior e interior para assegurar o conforto no interior dos edifícios. Segundo (Abdessalam et al, 1998 e Garde, 1997), a cobertura é responsável por 60 % da transferência térmica que ocorre na envolvente dos edifícios, sendo o

isolamento térmico um factor de extrema importância para evitar este efeito (Soubdhan et al. 2005; Kayfeci et al. 2013).

1.9. Abordagens correntes para o aumento da eficiência energética

Decorrente da análise desenvolvida anteriormente, e do conjunto de informação relativa ao processo de certificação energética dos edifícios em vigor e centralizada na ADENE, é possível, com base na informação disponível, proceder à caracterização das principais áreas de proposição de intervenções no parque edificado e certificado com vista ao reforço da sua eficiência energética.

Tendo como base os certificados energéticos emitidos dos edifícios de habitação em Portugal, é possível destacar que uma parte significativa das medidas de melhoria incide sobre aspectos como (ADENE 2012):

- Aplicação de isolamento na envolvente, nomeadamente nas coberturas, paredes e pavimentos;
- Substituição ou instalação de vãos em caixilharia de elevado desempenho térmico, com vidros duplos e protecções solares exteriores;
- Aplicação de sistemas de energia renováveis, com destaque para os colectores solares de aquecimento de águas sanitárias;
- Substituição ou instalação de caldeiras e esquentadores mais eficientes para o aquecimento de águas sanitárias e aquecimento ambiente.

Segundo (Fernandes et al. 2013), só 20% destas sugestões de melhoria propostas pelos peritos qualificados são levadas em consideração, muito aquém do que se poderia esperar. Cada vez mais existe uma preocupação e sensibilização por parte dos agentes intervenientes da construção para a importância e vantagens da reabilitação térmico e energética, contudo, continua a ser comum a aplicação indiscriminada de soluções que parecem não fazer sentido.

Estudos de campo sobre a realidade da reabilitação em Portugal revelam que a aplicação de medidas de melhoria de comportamento térmico-energético se centra essencialmente em duas situações (Fernandes et al. 2013):

- Edifícios anteriores a 1950: em geral, as paredes destes edifícios apresentam uma grande espessura, tendo portanto uma considerável massa térmica. Nestes casos não é habitual que as paredes sejam isoladas termicamente, sendo essencialmente aplicadas medidas ao nível da cobertura, envidraçados e sistemas eficientes de água quente sanitária (não necessariamente sistemas solares térmicos);
- Em edifícios da década de 1950 - No caso de reabilitação de uma fracção, as medidas aplicadas estão relacionadas com a redução da permeabilidade ao ar e estanquidade à água dos vãos envidraçados e com o isolamento térmico de coberturas. Relativamente à reabilitação de edifícios, em conjunto com uma profunda alteração do espaço interior, as medidas aplicadas incidem sobre a colocação de isolamento térmico de paredes pelo exterior, isolamento térmico nas coberturas e introdução de vãos envidraçados com melhor desempenho.

Os edifícios mais recentes (após 1960-1970) raramente são alvo de melhoria no comportamento térmico-energético, embora existam problemas relacionados com o conforto interior. Este facto deve-se à falta de capacidade de investimento, por parte dos condomínios em levar a cabo as medidas de reabilitação. Nestes casos, as intervenções são unicamente destinadas a reparações na fachada e na cobertura, por exemplo, reparação de fendilhação, pinturas, infiltração de águas e degradação do revestimento de impermeabilização.

Através da tabela 1.1, podem observar-se as soluções térmico-energéticas que são utilizadas com maior frequência na reabilitação de edifícios em Portugal.

Tabela 1.1- Soluções de melhoria do comportamento térmico-energético (Fernandes et al. 2013)

Soluções de melhoria do comportamento térmico-energético		
Frequentemente Sempre	**Coberturas**	*Isolamento em coberturas inclinadas, colocado na laje de esteira*
	Paredes exteriores	*Isolamento pelo exterior; Isolamento pelo interior*
	Vãos envidraçados	*Caixilharia metálica com corte térmico e vidro duplo; Caixilharia em PVC Sistema de fecho de batente Sistema de sombreamento pelo exterior ajustável; Sistemas de sombreamento pelo interior*
	AQS	*Esquentador ou caldeira com classe de eficiência mais alta*
	Sistemas de climatização	*Pré-instalação de ar condicionado; Sistemas de AVAC*
	Pavimentos	*Isolamento de pavimentos sobre espaços não-aquecidos*
	Ventilação	*Sistemas de AVAC em edifícios de serviços*
Raramente Nunca	**Pavimentos**	*Isolamento de pavimentos em contacto com o solo*
	Paredes exteriores	*Isolamento na caixa-de-ar por injeção*
	Vãos envidraçados	*Vidros duplos de baixa emissividade; Janelas duplas (2 janelas)*
	AQS	*Sistema solar térmico*
	Sistemas de climatização	*Sistema de recuperação de calor; Sistemas de biomassa*
	Ventilação	*Instalação de sistemas de ventilação natural ou mecânica em edifícios residenciais*

Através da análise desta tabela verifica-se que as soluções de melhoria incidem sobre a colocação de isolamento térmico na envolvente, em zonas onde existe maior transferência de calor, proporcionando, assim, benefícios consideráveis na estação de aquecimento. Porém, a colocação de isolamento térmico na envolvente, bem como a diminuição da sua permeabilidade ao ar, poderá causar problemas de sobreaquecimento na estação de arrefecimento. Este problema deve-se ao facto de o isolamento colocado na envolvente provocar uma oposição à transferência de calor entre o interior e o exterior (período nocturno), aumentando consequentemente as temperaturas no interior da habitação. A ventilação natural nocturna assume um papel fundamental na resolução deste tipo de problema, contudo, raramente ou nunca são adoptados sistemas de ventilação natural ou mecânica nos edifícios residenciais. A falta de sensibilização por parte dos donos de obra e técnicos competentes relativamente às vantagens da ventilação natural nos edifícios leva a que muitas vezes se adoptem soluções menos eficientes.

2. ANÁLISE DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS

A elevada ineficiência energética observada no parque edificado português leva a que exista cada vez mais uma preocupação por parte dos projectistas em analisar e prever o desempenho energético dos edifícios.

Nas últimas décadas, a utilização de *softwares* de simulação dinâmica para analisar o comportamento térmico dos edifícios tem ganho uma atenção especial por parte da comunidade científica. Estas ferramentas são utilizadas para analisar o comportamento térmico e energético dos edifícios de modo a alcançar metas específicas, como por exemplo, reduzir o consumo de energia, o impacto ambiental ou a melhoria do conforto ambiental interior. Além disso, por meio destas análises paramétricas, os profissionais podem alargar os seus conceitos de projecto para incorporar novas tecnologias e inovações, criando assim oportunidades para o aumento da poupança de energia. A utilização de simulações com o objectivo de optimizar os edifícios é, sem dúvida, uma abordagem promissora, abrindo uma nova era para arquitectos e engenheiros no âmbito da eficiência energética (Nguyen et al. 2014; Hong et al. 2000).

Serão analisados seguidamente, os modelos para a análise de desempenho energético de edifícios: quadro regulamentar e os *softwares* de simulação dinâmica.

2.1. O RCCTE

O modelo de cálculo utilizado pelo Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril (RCCTE) estabelece as regras a observar no projecto de todos os edifícios de habitação e dos edifícios de serviços sem sistemas de climatização centralizados de modo a que (RCCTE 2006):

- As exigências de conforto térmico, ventilação e necessidades de água quente sanitária possam ser estabelecidas, sem dispêndio excessivo de energia;
- Sejam minimizadas as situações patológicas nos elementos de construção provocadas pela ocorrência de condensações superficiais ou internas que afectam a durabilidade dos elementos de construção, bem como a qualidade do ar interior.

Este regulamento tem como campo de aplicação todos os novos edifícios de habitação e de todos os pequenos novos edifícios de serviços sem sistemas de climatização centralizados, com excepção das seguintes situações (Aelenei 2009; Ferreira e Pinheiro 2011):

- Edifícios de serviços com mais de 1000m^2 de área útil, com a excepção dos centros comerciais, hipermercados, supermercados e piscinas cobertas que são considerados pequenos quando a área útil do pavimento é inferior a 500m^2 (sendo estes do âmbito exclusivo do RSECE);
- Edifícios de serviços que tenham mais de 25kW de potência instalada de climatização, independente da sua área útil (sendo estes do âmbito exclusivo do RSECE);
- Edifícios de habitação com sistemas de climatização de potência instalada superior ou igual a 25kW (do âmbito do RSECE);

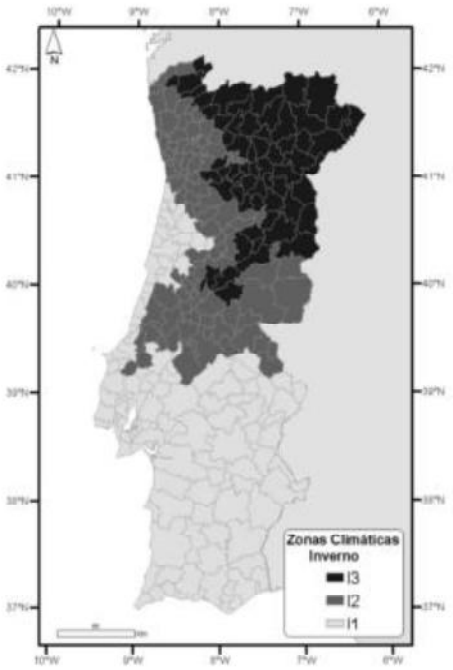
- Edifícios ou fracções autónomas destinados a serviços, a construir ou renovar que, pelas suas características de utilização, se destinem a permanecer frequentemente abertos ao contacto com o exterior e não sejam aquecidos nem climatizados;
- Edifícios utilizados como locais de culto e os edifícios para fins industriais, afectos ao processo de produção, bem como garagens, armazéns, oficinas e edifícios agrícolas não residenciais;
- As intervenções de remodelação, recuperação e ampliação de edifícios em zonas históricas ou em edifícios classificados, sempre que se verifiquem incompatibilidades com as exigências do RCCTE (as incompatibilidades devem ser convenientemente justificadas e aceites pela entidade licenciadora).

No cálculo das necessidades energéticas, o RCCTE estabelece as condições interiores de referência:

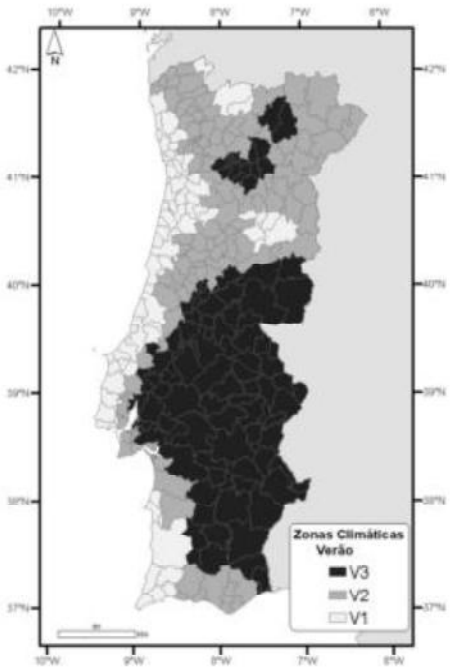
- As condições ambientes de conforto de referência são uma temperatura do ar de 20°C para a estação de aquecimento e uma temperatura do ar de 25°C e 50% de humidade relativa para a estação de arrefecimento;
- A taxa de referência da renovação do ar é de 0,6 renovações por hora, para garantir a qualidade do ar interior;
- O consumo de referência de água quente sanitária para habitações é de 40 litros a 60ºC por pessoa e por dia.

A aplicação deste processo de cálculo baseia-se numa abordagem em regime quase estacionário, ou seja, considera-se que a temperatura interior dos espaços da habitação apresenta um valor constante durante a estação de aquecimento e arrefecimento. A temperatura exterior é definida em função do número de graus-dia de aquecimento e valor médio da temperatura do ar exterior na estação de arrefecimento para cada concelho do país.

O zoneamento climático é estabelecido como resposta ao disposto na directiva 2002/91/CE (artigo 1), que exige no âmbito das medidas destinadas a melhor o desempenho energético dos edifícios que se tenha em conta as condições climáticas e locais onde se inserem. O zonamento climático no nosso país está dividido por concelhos, através de três zonas climáticas de Inverno (I1,I2,I3) e em três zonas climáticas de Verão (V1,V2,V3), como se pode observar através da figura 2.1.



Portugal continental. Zonas climáticas de Inverno.



Portugal continental. Zonas climáticas de Verão.

Figura 2.1- Zonas climáticas de Inverno e Verão

No quadro III.1 do regulamento está disposta a distribuição dos concelhos de Portugal, segundo as zonas climáticas e correspondentes valores de referência para o número de graus-dia de aquecimento e a duração da estação de aquecimento que serão aplicados no cálculo das trocas de calor com a envolvente exterior na estação de aquecimento. Os valores de referência para duração da estação de aquecimento para Região Autónoma dos Açores e da Madeira encontram-se no quadro III.4 e III.6, respectivamente. O número de graus-dia de aquecimento para estas regiões é calculado em função da altitude do local em estudo, através das fórmulas do quadro seguinte:

Tabela 2.1- Número de Graus-dia de aquecimento

Região Autónoma dos Açores:	Região Autónoma da Madeira:	
GD_{20} (est. aquec.)= 1,5. z + 650	z < 400 m	GD_{20} (est. aquec.)= 2,4. z + 50
	z > 400 m	GD_{20} (est. aquec.)= 1,6. z + 380

No quadro III.9 encontram-se indicados os valores médios da temperatura do ar exterior para a estação convencional de arrefecimento.

O valor de energia solar média mensal incidente numa superfície vertical orientada a sul na estação de aquecimento, e a intensidade da radiação solar para a estação de arrefecimento, estão indicados nos quadros III.8 e III.9, respectivamente. O regulamento considera a existência de palas de sombreamento e protecções móveis para a correcta definição dos ganhos solares através dos envidraçados, com o objectivo de diminuir a radiação solar incidente nestes elementos. O valor de energia solar média é portanto afectado pelo factor de redução (X_i), tendo em conta o octante da orientação do elemento vertical (quadro IV.4).

No que diz respeito à geometria do edifício, é necessário definir toda a sua constituição, área dos elementos (cobertura, pavimento, parede), envolvente (exterior, interior), orientação dos elementos e a sua função (opaca, envidraçado, ponte térmica). Esta caracterização é importante para a aplicação das metodologias de cálculo adequadas a cada situação.

A caracterização do comportamento térmico dos edifícios faz-se através da quantificação de um conjunto de índices e parâmetros conforme o artigo 4 do RCCTE. No que respeita aos índices temos (RCCTE 2006):

- Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento *Nic*;
- Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento, *Nvc*;
- Necessidades nominais anuais de energia para produção de águas quentes sanitárias, *Nac*;
- Necessidades globais de energia primária, *Ntc*.

Os parâmetros complementares necessários de quantificar sob condições específicas são (RCCTE 2006):

- Os coeficientes de transmissão térmica, superficiais e lineares dos elementos da envolvente;
- A classe de inércia térmica do edifício ou da fracção autónoma;
- O factor solar dos vãos envidraçados;
- A taxa de renovação de ar.

As necessidades globais de energia primária de um edifício são calculadas através da seguinte equação:

$$N_{tc} = 0{,}1 \times (N_{ic} / h_i)\, F_{pui} + 0{,}1 \times (N_{vc} / \eta_v) \times F_{puv} + N_{ac} \times F_{pua} \quad (\text{kgep /m2 .ano})$$

sendo:

F_{pu} - factor de conversão entre energia útil e energia primária (kgep/kWh);

η - eficiência nominal dos equipamentos utilizados;

Relativamente ao disposto nos artigos 5,6 e 7 do RCCTE, as necessidades nominais anuais de energia (N_{ic}, N_v e N_{ac}), expressas em kWh/m^2.ºC, não podem exceder os limites de referência (N_i, N_v e N_a). As necessidades nominais anuais globais (N_{tc}) não podem exceder o valor máximo admissível de energia primária N_t, obtido através da soma ponderada dos valores de N_i, N_v e N_a. Através do esquema da figura 2.2 podemos observar o referido anteriormente (RCCTE 2006).

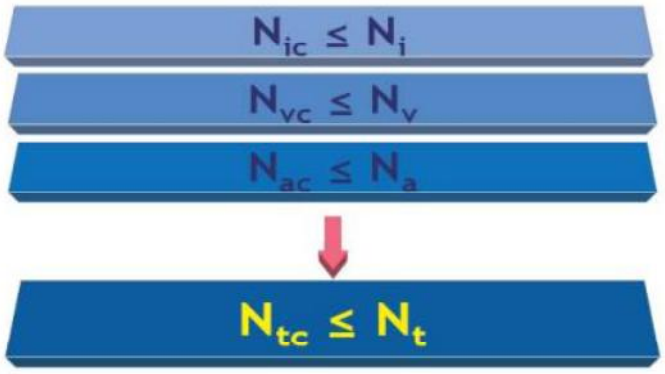


Figura 2.2- Verificação do RCCTE (Freitas 2007)

O valor limite de necessidades nominais globais de energia primária N_t é obtido através da seguinte equação:

$$N_t = 0,9 \times (0,01 \times N_i + 0,01 \times N_v + 0,15 \times N_a)$$

O regulamento estabelece abordagens distintas para estimar as necessidades energéticas para a estação de aquecimento e arrefecimento, sendo as diferenças apresentadas na tabela seguinte:

Tabela 2.2- Parâmetros Térmicos estabelecidos pelo RCCTE (Costa 2012)

Estação Convencional	
Aquecimento	Arrefecimento
Perdas témicas pela envolvente opaca exterior e interior	Perdas témicas pela envolvente opaca exterior
Perdas témicas pelos vãos envidraçados	Perdas témicas pelos vãos envidraçados
Perdas térmicas devido à renovação do ar	Perdas térmicas devido à renovação do ar
Ganhos solares pelo vãos envidraçados	Ganhos solares pelos vãos envidraçados e envolvente opaca
Ganhos internos	Ganhos internos

Necessidades nominais de aquecimento

O índice correspondente às necessidades nominais de aquecimento exprime a quantidade de energia útil necessária para garantir a permanência da temperatura interior a 20ºC, em todo o edifício durante a estação de aquecimento.

De acordo com o RCCTE, o índice referente às necessidades nominais de aquecimento (N_{ic}) e seus valores limite de referência (N_i) são obtidos do seguinte modo:

Necessidades nominais de aquecimento

$N_{ic} = (Q_t + Q_v - Q_{gu}) / A_p$ (kWh/m^2 .ano)

onde,

Q_t - perdas de calor por condução através da envolvente dos edifícios (kWh);

Q_v - perdas de calor resultantes da renovação de ar (kWh);

Q_{gu} - ganhos úteis resultantes dos ganhos internos e ganhos solares através dos envidraçados (kWh);

A_p - área útil de pavimento (m^2).

Valores limite de referência

a) Para $FF \leq 0,5$, $Ni = 4,5 + 0,0359 \times GD$;

b) Para $0,5 < FF \leq 1,0$, $Ni = 4,5 + (0,021 + 0,037 \times FF) \times GD$;

c) Para $1,0 < FF \leq 1,5$, $Ni = [4,5 + (0,021 + 0,037 \times FF) \times GD] (1,2 - 0,2 \times FF)$;

d) Para $FF > 1,5$, $Ni = 4,05 + 0,06885 \times GD$;

onde,

Ni - valor limite das necessidades de energia para aquecimento (kWh/m^2.ano);

FF - factor de forma (m^{-1});

GD – graus-dia de aquecimento (ºC);

Factor de Forma

$FF=[A_{ext} + \sum(\tau \times A_{int})] / V$

sendo,

τ - o coeficiente associado ao quociente entre a área que separa o espaço útil interior do espaço não útil, pela área do elemento que separa o espaço não útil do ambiente exterior (m^2/m^2);

A_{ext} - a área da envolvente exterior (m^2);

A_{int} – a área da envolvente interior (m^2);

V – o volume interior (m^3);

Necessidades nominais de arrefecimento

O índice correspondente às necessidades nominais de arrefecimento exprime a quantidade de energia útil necessária para garantir a permanência da temperatura interior a 25ºC, em todo o edifício durante a estação de arrefecimento.

De acordo com o RCCTE, o índice referente às necessidades nominais de aquecimento (N_{vc}) e seus valores limite de referência (N_v) são obtidos do seguinte modo:

Necessidades nominais de arrefecimento

$N_{vc} = Q_g$ x (1- η) / A_p

onde,

Q_g - ganhos totais brutos (kWh);

η - factor de utilização de ganhos térmicos;

A_p - área útil de pavimento (m^2);

$\begin{cases} \eta = \frac{1-\gamma^a}{1-\gamma^{a+1}}, & \gamma \neq 1 \\ \eta = \frac{a}{a+1}, & \gamma = 1 \end{cases}$; $\gamma = \frac{Q_g}{Q_t+Q_v}$, sendo $Q_t + Q_v$ - perdas térmicas totais (kWh);

Tabela 2.3- Classe de Inércia Térmica

Classe de Inércia Térmica		
Fraca	a=1,8	It <150 (kg /m^2)
Média	a=2,6	150 < It < 400 (kg /m^2)
Forte	a=4,2	It > 400 (kg /m^2)

Valores limite de referência

a)Zona V_1 (Norte) Nv = 16 kWh/m^2.ano;

b) Zona V_1 (Sul), Nv = 22 kWh/m^2.ano;

c) Zona V_2 (Norte), Nv = 18 kWh/m^2.ano;

d) Zona V_2 (Sul), Nv = 32 kWh/m^2.ano;

e) Zona V_3 (Norte), Nv = 26 kWh/m^2.ano;

f) Zona V_3 (Sul), Nv = 32 kWh/m^2.ano;

g) Açores, Nv = 21 kWh/m^2.ano;

h) Madeira, Nv = 23 kWh/m^2.ano;

Necessidade nominais de preparação de águas quentes sanitárias

De acordo com o RCCTE, o índice referente às necessidades anuais de energia útil para a preparação de águas quentes sanitárias, bem como o valor limite de referência são obtidos do seguinte modo:

Necessidades nominais AQS:

$$N_{ac} = ((Q_a/\eta_a) - E_{solar} - E_{ren}) / A_p \quad (kWh/\ m^2.ano)$$

onde,

Q_a - é a energia útil despendida com sistemas convencionais de preparação de AQS;

η_a - é a eficiência de conversão dos sistemas de preparação de AQS a partir da fonte primária de energia;

E_{solar} - é a contribuição de sistemas de colectores solares para o aquecimento de AQS;

E_{ren} - é a contribuição de quaisquer outras formas de energias renováveis (solar fotovoltaica, biomassa, eólica, geotérmica, etc.) para a preparação de AQS, bem como de quaisquer formas de recuperação de calor de equipamentos ou de fluidos residuais;

Valor limite de referência:

$N_a = (0.081 \times M_{AQS} \times n_d) / A_p$ (kWh/ m^2.ano)

sendo,

M_{AQS} - representa o consumo médio diário de referência de AQS. Nos edifícios residenciais, MAQS = 40 × nº de ocupantes (o número convencional de ocupantes de cada fracção autónoma está definido no quadro VI.1);

n_d - depende do período convencional de utilização dos edifícios e é indicado no quadro VI.2;

A_p - área útil de pavimento (m^2);

Metodologia de Cálculo

Os dados referentes à geometria do edifício, bem como os das soluções construtivas adoptadas são inseridos nas folhas de cálculo padrão, indicadas no RCCTE. Tendo em conta estes dados e conjuntamente com todos os pressupostos de cálculo do RCCTE, é possível avaliar o comportamento térmico do edifício em estudo, através das suas necessidades nominais de aquecimento e arrefecimento. As necessidades nominais de preparação de águas quentes sanitárias e as necessidades globais de energia primária complementam este processo de avaliação.

2.2. Simulações Dinâmicas

A utilização de *softwares* de simulação dinâmica no projecto de edifícios energeticamente eficientes assume um papel fundamental. Estes programas servem não só para se perceber a interacção que existe entre os ocupantes e o edifício, sistemas de climatização e condições exteriores, mas também para tornar possível opções de projecto ecológicas (Hong et al. 2000). A análise do comportamento do edifício através desta metodologia de cálculo permite avaliar as perdas de calor do edifício, bem como os seus consumos, podendo assim proceder-se à sua correção, através de soluções com maior eficiência energética. Através da análise de resultados desta simulação, é possível estimar as poupanças energéticas e económicas associadas às várias soluções de melhoria, avaliando assim a oportunidade da sua implementação (Beattie e Ward 1999). Este tipo de análise pode aplicar-se tanto a edifícios novos como existentes.

No que diz respeito aos programas de simulação, existe um grande número de programas utilizados em análises de avaliação e optimização do comportamento energético dos edifícios. Segundo Nguyen et al. 2014, os programas mais utilizados para este tipo de análises, considerando os 20 maiores programas de simulação, são o Energyplus e o Trnsys com 37,2% e 35,3% respectivamente.

Relativamente ao Ecotect, a sua utilização ainda é reduzida com um valor de 2,7% (Nguyen et al. 2014).

Para uma melhor percepção da funcionalidade destas simulações, será agora estudado o Energyplus por ser a simulação mais usada neste tipo de análise e o Ecotect por ser o foco de estudo do presente trabalho.

2.2.1. Energyplus

O Energyplus é uma ferramenta de simulação do comportamento energético dos edifícios, criado pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos da América (U.S Department of Energy), através de duas ferramentas de simulação já existentes, DOE-2 e o Blast.

Com base na descrição relativa à composição física do edifício, sistemas mecânicos associados, entre outros parâmetros fornecidos pelo utilizador, o Energyplus calcula as necessidades de aquecimento e arrefecimento para manter o edifício a uma dada temperatura de conforto, o consumo de energia dos equipamentos de climatização e outros parâmetros necessários para a análise térmica do edifício (EnergyPlus 2013).

A estrutura do programa é composta por três componentes (Ganhão 2011):

- Controlador de Simulação;
- Módulo de Simulação do Balanço de Calor e Massa;
- Simulação de Sistemas da Edificação.

Através da figura 2.3 pode visualizar-se a estrutura do programa de forma esquematizada, com os componentes anteriormente mencionados.

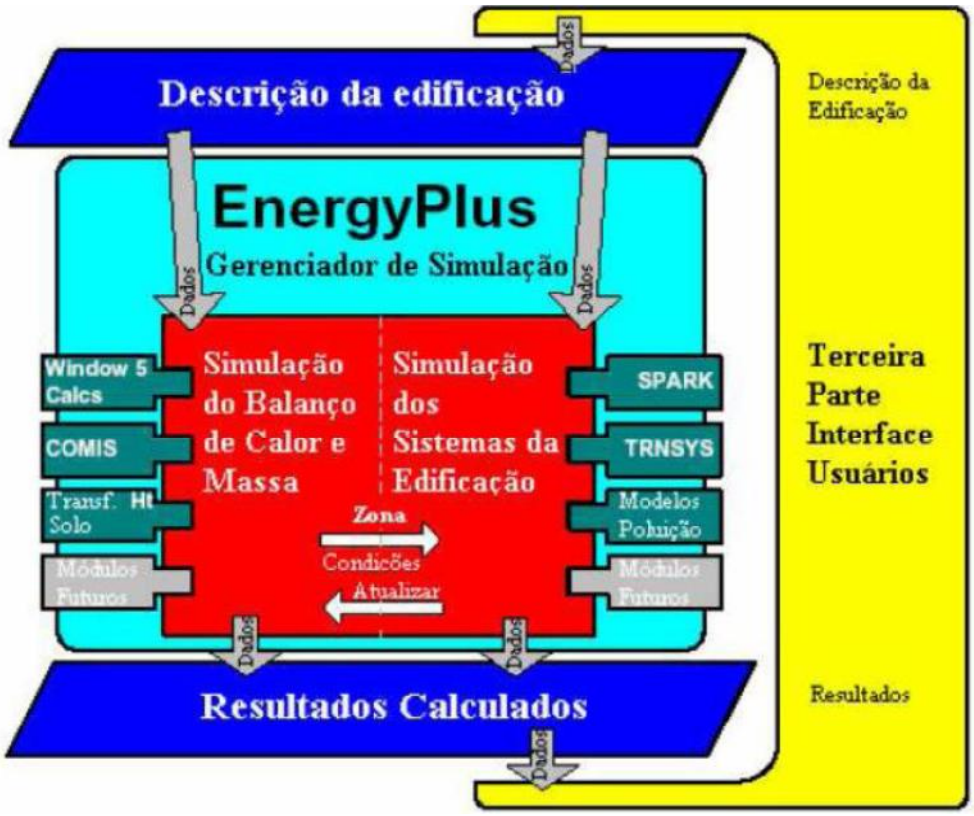


Figura 2.3- Esquema de funcionamento do Energyplus (Ganhão 2011)

O Energyplus utiliza uma abordagem dinâmica no fenómeno de transferência de energia entre o edifício e o meio exterior, na qual o interior da habitação se encontra em constante interacção com o meio exterior, ao longo do período de simulação. Na realização deste tipo de abordagem, é introduzido no Energyplus o ficheiro climático associado à localização geográfica da zona de implementação do edifício, que é constituído por parâmetros como a temperatura exterior, radiação, humidade, orientação solar, entre outros. Para além da localização geográfica, é necessário inserir as características dos materiais e soluções construtivas, sistemas de climatização e hábitos por parte dos ocupantes relativamente à ocupação e utilização de luz artificial. Tanto os *inputs* como os *outputs* do programa são em formato de texto, podendo ser exportados em tabelas e posteriormente convertidos em gráficos (Costa 2012; Ganhão 2011; Crawley et al. 2008).

Através da utilização do Energyplus, podemos obter como resultados da simulação os ganhos internos, os ganhos e perdas através dos elementos que constituem a envolvente, a temperatura interior de cada zona do edifício e a energia necessária de climatização, de modo a proporcionar condições de conforto no interior do edifício (EnergyPlus 2013).

2.2.2. Ecotect

O Ecotect é um *software* informático desenvolvido pelo professor Andrew J. Marsh na Universidade de Cardiff, posteriormente comercializado pela Autodesk, que funciona como ferramenta de apoio para a análise do comportamento ambiental dos edifícios. O programa permite integrar o aspecto visual 3D do edifício com vários tipos de análises e simulações dinâmicas (figura 2.4). Nestas simulações englobam-se análises de carácter térmico, acústico, iluminação dos espaços, sombreamento das superfícies, entre outros.

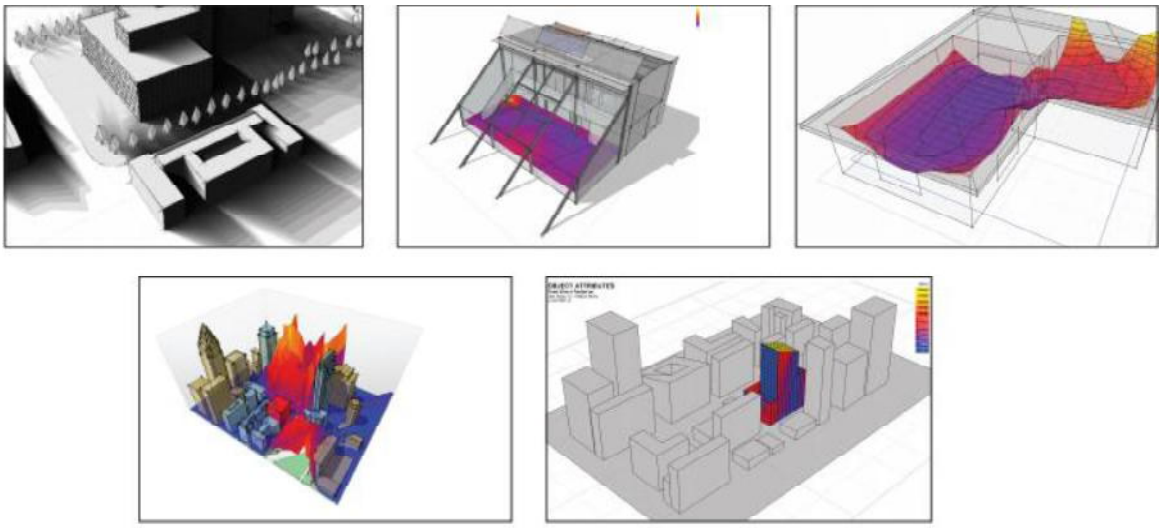


Figura 2.4- Possibilidades de análises através do *software* Ecotect (Autodesk Ecotect 2011)

O programa, em termos de modelação e análise, utiliza o método da admitância proposto pela *CIBSE* (Chartered Institution of Building Services Engineers), para calcular as necessidades de aquecimento e arrefecimento dos edifícios. Este método consiste na utilização do coeficiente global

de transmissão de calor (*U*) e a admitância (*Y*) para os diferentes elementos construtivos, em que o primeiro permite o cálculo para condições estacionárias e o segundo permite contabilizar a energia armazenada nos elementos estruturais (Autodesk Ecotect 2013; Roriz e Silva 1977). A sua maior vantagem é a aplicação em fase prévia de projecto, de modo a obter o comportamento ambiental e energético do edifício através de simulações, tendo capacidade para lidar com qualquer tipo de geometria, relativamente ao seu tamanho e complexidade. O modelo geométrico pode ser criado no Ecotect ou introduzido através de outros tipos de programas de modelação CAD 3D, como o SkechUp, ArchiCAD, Revit, entre outros. De modo a complementar o modelo, esta ferramenta possui uma base de dados própria, que permite caracterizar o mesmo através da inserção de dados relativos a (Silva 2009; Crawley et al. 2008):

- Materiais - definição dos vários materiais que constituem o edifício;
- Zonas - escolha dos equipamentos de climatização existentes, ganhos térmicos devido aos equipamentos, ocupação, etc.;
- Horários - seleccionar taxas, fracções, períodos temporais, temperaturas, etc.

Contrariamente à maior parte dos programas de simulação, alguns *outputs* que o programa executa têm formato 3D, podendo também ser obtidos através de tabelas de análise, cálculos ou gráficos. Os resultados das simulações podem ser visualizados nas superfícies, ou projectados directamente dentro dos espaços, incluindo análises volumétricas e espaciais do edifício (Crawley et al. 2008).

2.2.3. **Comparação entre os modelos de cálculo de desempenho energético dos edifícios**

O estudo do comportamento térmico dos edifícios pode ser conseguido com base em análises estática (RCCTE), dinâmica (Energyplus e Ecotect), ou com ambas em simultâneo.

A análise estática com recurso ao RCCTE está associada a um conjunto de pressupostos que, de certo modo, não traduz a realidade das condições a que os edifícios estão sujeitos. Como exemplo, podemos destacar o facto de se assumir uma temperatura constante para o interior e exterior, durante as estações de aquecimento e arrefecimento, quando na realidade os valores variam instantaneamente e de forma acentuada, especialmente as condições exteriores. As condições do meio exterior são definidas em função do número de graus-dia de aquecimento e da radiação solar incidente, com base no zonamento climático do local onde se insere o edifício. Embora pouco rigorosa, a análise pelo regulamento dá uma boa estimativa das necessidades energéticas apresentadas pelos edifícios (Afonso 2009).

A análise dinâmica, contrariamente à estática, tem em conta um número elevado de variáveis, podendo assim simular o desempenho do edifício de uma forma mais realista. Estes programas realizam uma contínua interacção entre o interior e o exterior do edifício em função dos ficheiros climáticos de cada região, considerando ainda os padrões de ocupação e de utilização (Costa 2012). Relativamente aos dois programas em análise (Ecotect e Energyplus), o Ecotect introduz a possibilidade, no que diz respeito aos resultados de algumas simulações (sombreamentos, níveis de iluminação interior, conforto térmico, etc), de poderem ser visualizados em 3D, tornando eficaz a percepção do comportamento global do edifício. Um melhor desempenho foi demonstrado na compreensão das características dos objectos, quando estes são apresentados sob a forma de animações em 3D,

quando comparadas com imagens estáticas em 2D, sobretudo quando estes objectos são constituídos por características complexas (Wu e Chiang 2013).

Tal como é proposto pela teoria do ajuste cognitivo, as informações tridimensionais são realmente mais eficazes no apoio à compreensão individual, comparativamente à apresentação de informação em 2D (Land et al. 2013)

(Costa 2012) desenvolveu um estudo comparativo entre a análise estática (RCCTE) e dinâmica (Energyplus), para quatro concelhos do País, Lisboa, Porto, Faro e Évora, tendo obtido os seguintes resultados:

Tabela 2.4 - Análise Comparativa entre RCCTE e Energyplus

	Concelho	Lisboa	Porto	Faro	Évora
Rccte	Necessidades nominais de arrefecimento (kWh/m2.ano)	12,2	1,62	12,2	12,4
	Necessidades nominais de aquecimento (kWh/m2.ano)	32,89	47,82	31,1	40,46
Energyplus	Necessidades nominais de arrefecimento (kWh/m2.ano)	6,78	0,56	10,3	7,66
	Necessidades nominais de aquecimento (kWh/m2.ano)	26,02	36,73	15,8	31,85

Em todos os concelhos, o valor obtido das necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento através da análise estática foram superiores aos obtidos pela análise dinâmica.

3. CONTRIBUTO DOS SISTEMAS PASSIVOS PARA O AUMENTO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Nos últimos anos, a procura de soluções técnicas que aumentem o desempenho energético dos edifícios tem sido constante. Através destas soluções, torna-se possível criar edifícios com baixo consumo energético, ou quase nulo, garantindo um conforto ambiental adequado. Nesta perspectiva, é cada vez mais importante que as exigências de conforto dos ocupantes sejam asseguradas por sistemas passivos, complementados ou não, por sistemas activos adequados.

Os sistemas passivos são dispositivos construtivos integrados nos edifícios, com o objectivo de contribuir para o seu aquecimento ou arrefecimento natural. No caso da estação de aquecimento pretende-se que estes sistemas maximizem a captação do sol no Inverno, através de vãos envidraçados bem orientados e dimensionados, aos quais se podem associar elementos massivos, que permitirão o armazenamento da energia solar e sua utilização em horas posteriores. Relativamente à estação de arrefecimento, pretende-se arrefecer os edifícios através de fontes frias, como por exemplo, o ar exterior que a determinadas horas do dia (manhã e noite) apresenta temperaturas inferiores em relação à temperatura interior dos edifícios. Este fenómeno decorre das grandes amplitudes térmicas diárias no período de verão que se verificam no nosso país, podendo portanto ser uma estratégia de ventilação eficaz nesses períodos do dia (Gonçalves e Graça 2004). Os sistemas activos consistem em equipamentos que proporcionam condições de conforto ambiental com consequente consumo de energia, aumento da factura energética e aumento das emissões de gases de efeito de estufa. Do ponto de vista da construção sustentável, a utilização de sistemas activos em paralelo com os sistemas passivos, devem conduzir a uma utilização racional de energia.

As estratégias passivas devem ser desenvolvidas tendo em conta a orientação do edifício e a sua envolvente, de forma a promover a melhoria do desempenho energético e das condições de conforto interior. Apresenta-se de seguida a caracterização de algumas soluções passivas, possíveis de implementar em edifícios, que visam os objectivos anteriormente propostos.

3.1. Sistemas Passivos e Estratégias Passivas

Posicionamento e Orientação do Edifício face ao Percurso Solar

A optimização da orientação solar de um edifício assume um papel fundamental no aproveitamento da energia solar, como estratégia passiva de se obter um bom desempenho energético, tanto em termos de iluminação como de conforto térmico.

O aproveitamento da energia solar varia consoante a estação do ano, devido ao ângulo de incidência solar. O ângulo de incidência solar atinge os seus extremos no verão e inverno (figura 3.1).

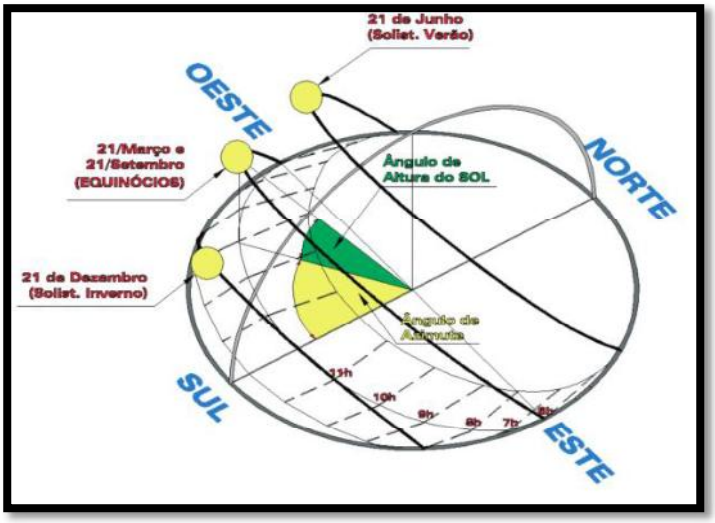


Figura 3.1- Percurso solar (Gonçalves & Graça 2004)

Em Portugal, a orientação privilegiada para o aproveitamento dos ganhos solares segundo a sua situação geográfica é o quadrante Sul, pois recebe mais radiação ao longo do dia. Ao invés, o quadrante Norte recebe a menor quantidade de radiação solar, sendo esta orientação responsável pela maior parte das perdas térmicas a que o edifício estará sujeito. O quadrante Este recebe radiação solar ao longo do período da manhã e o quadrante Oeste ao logo do período da tarde. Esta informação torna-se relevante para o estudo de estratégias passivas com vista à redução das necessidades energéticas dos edifícios (Ecocasa 2013).

A orientação do edifício é um dos factores mais importantes a ter em conta, no que respeita ao dimensionamento dos vãos envidraçados e sua localização, bem como na escolha do tipo de vidro, tipo de caixilharia e de protecções adequadas de sombreamento.

No inverno, o percurso solar na orientação Sul é vantajoso para maximizar os ganhos solares, uma vez que o seu percurso se efectua para azimutes muito próximos do Sul geográfico. No verão, esta orientação recebe menos ganhos solares, sendo facilmente atenuáveis por uma protecção sobre o vidro (Gonçalves e Graça 2004).

A orientação Este no período de inverno recebe pouca radiação, uma vez que o percurso solar se inicia a Sudeste com pequeno ângulo de incidência. No verão, esta orientação recebe muita radiação e o ângulo de incidência solar é muito próximo da perpendicular à fachada. Esta situação torna-se portanto indesejável, pois nesta estação pretende-se minimizar os ganhos solares (Gonçalves e Graça 2004).

A orientação Oeste tem um comportamento semelhante à orientação Este, diferindo apenas no período do dia em que ocorre. As fachadas expostas a esta orientação são as mais problemáticas, principalmente no verão, pois o ar exterior é mais quente no período da tarde, e por estas superfícies estarem expostas durante várias horas a muita radiação. O dimensionamento das áreas envidraçadas nesta orientação necessita portanto de um cuidado especial, pois estas fachadas são responsáveis por grandes cargas térmicas (Gonçalves e Graça 2004).

A fachada de um edifício orientada a Norte é a menos problemática em termos de radiação solar, sendo pois a mais fria. No inverno não recebe radiação directa e no verão só em pequenos períodos da manhã e da tarde (Gonçalves e Graça 2004).

O estudo do percurso solar permite ainda conhecer para as várias estações do ano o sombreamento das fachadas, que é influenciado pela geometria do edifício, protecções exteriores (palas), presença de edifícios vizinhos e a forma do espaço circundante (ruas, praças, etc). Em climas como o da Europa, o sombreamento como estratégia de arrefecimento permite a redução ou até eliminação do uso de equipamentos mecânicos possibilitando, desta forma, uma diminuição da dependência energética (Palhinha 2009).

Em suma, podemos concluir como regras de boas práticas que a abertura de vãos para promover os ganhos solares directos fazem-se pelo quadrante Sul; que se devem restringir os ganhos nos envidraçados a Poente e a Nascente através de dispositivos de sombreamento eficazes; que nos quadrantes Norte, Nascente e Poente, a área dos vãos envidraçados deve ser reduzida (Gonçalves e Graça 2004).

Vãos Envidraçados

Os vãos envidraçados correspondem sempre a zonas onde existe uma grande concentração de perdas térmicas, constituindo grande parte da envolvente dos edifícios de habitação correntes (Henriques 2007). Estes elementos são responsáveis por uma parcela significativa de energia consumida pelo edifício para arrefecimento e aquecimento, sendo portanto uma zona com potencial elevado para a introdução de medidas de eficiência energética, com vista ao aumento do desempenho energético dos edifícios.

Os envidraçados, comparativamente aos restantes elementos da envolvente, possuem o coeficiente de condutibilidade térmica mais elevado, sendo responsáveis por grande parte das trocas de calor entre o exterior e interior. As trocas de calor num envidraçado podem ocorrer de três formas:

- Condução-transferência de calor entre duas zonas com temperaturas diferentes em contacto directo, ocorrendo em corpos sólidos ou fluidos;
- Convecção-transferência de calor entre a superfície do corpo e o ar;
- Radiação-transferência de calor que resulta de uma troca entre dois corpos a diferentes temperaturas. Quanto mais baixa a emissividade menor é a transferência de calor.

De forma geral, a radiação total incidente num vão envidraçado divide-se em três partes, sendo uma parte dela instantaneamente transmitida para o interior, outra imediatamente reflectida para o exterior e a terceira parte absorvida pelo vidro. Esta última parte que é absorvida representa a energia acumulada no vidro, que posteriormente será enviada para o interior e exterior através de fenómenos de radiação e convecção (Sirgado 2010).

O vidro é um material que confere um fraco isolamento térmico às edificações. No Inverno, o seu elevado coeficiente de transmissão térmica leva a que ocorram perdas por condução, na maior parte das vezes elevadas, devido ao diferencial de temperatura entre o exterior e o interior das habi-

tações. Contrariamente, no Verão, os ganhos solares, que ocorrem através dos envidraçados, podem ser excessivos, causando mesmo problemas de sobreaquecimento e desconforto para os ocupantes. Por esta razão, torna-se necessário estudar os tipos de vidro existentes e as suas características térmicas para que se adoptem soluções adequadas para cada caso.

Inicialmente, os envidraçados eram constituídos por apenas um vidro, ou seja, por um elemento que só possuía um pano. Porém, a necessidade de melhorar o comportamento dos envidraçados face ao seu desempenho térmico levou a que se utilizasse cada vez mais vidros com múltiplos panos. A introdução de um segundo pano de vidro, com separação física entre ambos (espaço de ar), aumenta a resistência térmica total, limitando as perdas por convecção e aproveitando a baixa condutividade do ar. Nesta situação, as trocas térmicas ocorrem maioritariamente por radiação entre as duas superfícies vidradas. A introdução de mais panos na janela reduz o coeficiente de transmissão térmica com uma proporção cada vez menor. De realçar que, neste último caso, a utilização de vidro triplo ou quadruplo diminui a quantidade de radiação solar e de luz visível que os atravessa para além de terem um custo mais elevado (Henriques 2007; Sirgado 2010).

Como alternativa à introdução de sucessivos panos, é possível diminuir as emissividades das superfícies em contacto com o espaço de ar, através de partículas metálicas transparentes, ou preencher o espaço de ar entre panos com gases menos condutores e viscosos, permitindo optimizar a resistência térmica total, sem incrementar demasiado a espessura do envidraçado. Os gases mais correntemente utilizados são o árgon e o crípton (inertes, não tóxicos, não reactivos, incolores e sem cheiro).

A utilização de vidros coloridos pode ser também uma alternativa para aumento do desempenho dos envidraçados, pois diminui a quantidade de radiação solar transmitida instantaneamente aos espaços interiores da habitação. A utilização deste tipo de vidro providencia um melhor desempenho do que um vidro normal durante a estação de arrefecimento, em que o objectivo passa por reduzir os ganhos solares através dos envidraçados. Contrariamente, durante o Inverno, a utilização deste tipo de vidro reduz os ganhos solares, induzindo um aumento nas necessidades de aquecimento. O vidro colorido também diminui a iluminação natural interior, resultando num incremento dos gastos com a iluminação artificial (Sirgado 2010).

Os vãos envidraçados são constituídos, para além da parte envidraçada, por uma caixilharia que normalmente é em alumínio. Esta tem como função garantir a estanquicidade e operacionalidade dos vãos, suportando os painéis de vidro que constituem o envidraçado. Com uma caixilharia eficiente regista-se uma redução das trocas de calor, o que se verifica quando se utiliza uma caixilharia plástica em vez de uma caixilharia metálica (mesmo com recuso a corte térmico). A estanquicidade da caixilharia permite também controlar a troca térmica entre o interior e exterior e, por isso, tem de se ter em atenção uma estratégia de ventilação adequada, de modo a garantir as renovações horarias necessárias (Sirgado 2010; Ganhão 2011).

Em síntese, verifica-se que a solução que apresenta melhor desempenho térmico para a estação de aquecimento são os vidros duplos com emissividades das superfícies em contacto com a caixa-de-ar reduzidas, sendo os vidros simples e coloridos a solução menos viável. Na estação de arrefecimento, os vidros coloridos passam a ter um o melhor desempenho térmico, comparativamente

aos vidros com emissividade das superfícies em contacto com a caixa-de-ar reduzida, devido ao seu impacte em termos de ganhos solares.

A nível nacional, a grande maioria dos edifícios de habitação é constituída, nas suas diferentes fachadas, por janelas com vidros simples (72,3 %) e vidro duplos sem corte térmico (22,8 %) (INE e LNEC 2013). Perante este facto, a substituição do vidro simples por vidro duplo nos edifícios do parque edificado, revela ser uma medida com grande potencial, tendo em vista o reforço ao desempenho termo energético dos edifícios.

Sombreamento

O sombreamento deve ser considerado como parte integrante do projecto de abertura de vãos envidraçados nos edifícios. A criação de sistemas, que permitam bloquear a entrada de radiação solar antes de esta alcançar o interior dos edifícios, é o método mais eficaz para reduzir as necessidades de arrefecimento de forma passiva.

A concepção de sistemas de sombreamentos fixos depende fundamentalmente das dimensões do vão envidraçado e da sua respectiva orientação, devendo respeitar a posição solar. De forma geral, os dispositivos de sombreamento horizontais são usados nas fachadas viradas a Sul, enquanto que os dispositivos verticais de sombreamento são mais eficazes nas fachadas viradas a Este e Oeste. A maioria dos dispositivos de sombreamento fixos são instalados no exterior dos edifícios, de forma a dissipar o calor absorvido do sol para o ar exterior. O mesmo dispositivo de sombreamento colocado pelo interior sofre uma redução na sua eficiência em 30%. Este fenómeno ocorre porque os sistemas de sombreamento dissipam calor por convecção e para radiação de maior comprimento de onda. Um sistema de sombreamento interior dissipa o calor para o interior dos espaços do edifício, provocando aquecimento das superfícies. Esse aquecimento motiva a emissão de radiação infravermelho, que fica bloqueada nos espaços interiores (efeito de estufa), devido ao facto de o vidro se comportar como um corpo opaco para comprimentos de onda desta grandeza (Athientis e Santamouris 2002; Henriques 2007; Kim et al. 2012).

Na concepção dos sistemas de sombreamento deve-se ter em consideração os seguintes aspectos, com o objectivo de melhorar desempenho energético do edifício (Athientis e Santamouris 2002; Ganhão 2011):

- Bloquear os ganhos por radiação solar directa na estação de aquecimento;
- Permitir a entrada da máxima quantidade possível de radiação solar para o interior dos edifícios na estação de aquecimento;
- Controlar a intensidade da luz do dia durante dias limpos, através da sua difusão nos espaços ou reflectindo parte desta para o tecto, por exemplo;
- Possibilitar em simultâneo sombreamento e ventilação natural de forma eficaz;
- Fácil manuseamento de preferência pelo interior de forma a controlar o nível de luminosidade e de entrada de raios solares para o interior;

- Garantir uma distância suficiente entre o sistema de sombreamento e o vão envidraçado a proteger, para evitar que a radiação térmica captada pelo próprio sistema seja transmitida para o interior.

Como alternativa aos sistemas fixos podem ser implementados sistemas amovíveis (estores, portadas, toldos). Estes são controlados manual ou automaticamente, podendo ajustar-se à vontade individual e às condições de conforto desejadas ao longo de todo ano, proporcionando ainda bons níveis de iluminação, desde que aplicados e geridos correctamente (Palhinha 2009).

Segundo Sirgado 2010, que realizou um estudo comparativo entre vãos envidraçados e o seu impacte no desempenho energético de edifícios, a aplicação de sombreamentos amovíveis, quer pelo interior, quer pelo exterior, é a solução que apresenta melhor desempenho térmico em comparação com os meios fixos, sendo a aplicação pelo exterior a que conduz a melhores resultados. A conjugação dos dois tipos de sombreamento (fixo ou amovível) melhora ainda mais o desempenho térmico do edifício, sendo necessário neste caso ter atenção especial ao possível impacte nefasto do sombreamento fixo na estação de aquecimento. A colocação excessiva de palas horizontais e verticais de sombreamento ou com dimensões desadequadas pode levar a que o consumo energético do edifício aumente significativamente durante a estação de aquecimento, resultando num aumento do consumo de energia primária para climatização.

A colocação estratégica de vegetação pode também ser uma forma útil de sombrear os edifícios de forma sazonal, sendo necessário escolher plantas de folha caduca para sombrear apenas no verão.

Envolvente Opaca

Nos edifícios, a envolvente opaca corresponde às paredes, coberturas e pavimentos que compõem a sua estrutura.

A transmissão de calor por condução através da envolvente é um fenómeno com grande influência no comportamento térmico dos edifícios, quer através das perdas de calor que ocorrem no inverno, quer dos ganhos indesejados no verão. A minimização da transferência de calor passa pela escolha adequada dos materiais que constituem o edifício, tornando-se essencial avaliar o seu poder isolante, bem como a sua contribuição para a inércia térmica.

A inércia térmica é uma característica própria dos materiais pesados e densos como é o exemplo do betão armado, tijolos ou pedra. Num edifício termicamente pesado, a massa dos elementos funciona como um reservatório de calor e amortecedor térmico, ou seja, amortece e contraria os picos térmicos exteriores, evitando o aumento imediato da temperatura nos espaços interiores. Quando a fonte de calor é aplicada à massa estrutural, o espaço interior aquece lentamente, pois a massa térmica leva um tempo considerável a aquecer. Quando a fonte de calor cessa, a massa térmica arrefece libertando o calor que absorveu, mantendo a temperatura interior aproximadamente constante (Isolani et al. 2008).

As estruturas termicamente pesadas são as mais indicadas para a eficiente utilização da energia solar ou outras técnicas passivas de ganhos de calor, visto que o edifício necessita de massa térmica para acumular calor durante o dia e reemitir durante a noite (Mourão e Pedro 2005).

Para que se atinjam níveis óptimos de desempenho energético-ambiental, é importante que a inércia térmica seja adaptada e integrada com outras alternativas de optimização de desempenho. Uma das alternativas é a conjugação da inércia térmica com o isolamento térmico, que permite minimizar as perdas térmicas para o exterior, reduzindo as flutuações térmicas dos espaços. A conjugação da inércia térmica com a ventilação natural é outra medida muito eficaz nomeadamente no período nocturno de verão, pois permite que o calor acumulado nos materiais seja libertado durante a noite, restabelecendo a capacidade de acumular e absorver o calor excessivo durante o dia seguinte. A cor das superfícies também condiciona a capacidade de absorção térmica e reflexão da luz. É necessário, por isso, adaptar a inércia térmica à cor com a qual é revestida a sua superfície em contacto directo com o ambiente interior. A utilização de cores claras permite uma maior reflexão à radiação (absorvendo menos), sendo a sua aplicação em zonas quentes do país, como o Centro e Sul de Portugal, uma solução eficaz.

Na optimização da inércia térmica de edifícios, é importante evitar que os materiais pesados sejam revestidos por materiais leves (tectos falsos, alcatifas, madeiras). Estes materiais de revestimento funcionam como isolantes, interrompendo o intercâmbio térmico que se pretende manter entre os materiais com elevada inércia térmica e o ambiente interior (Construção Sustentável 2013).

Serão agora analisadas algumas soluções passivas para os elementos que constituem a envolvente opaca de edifícios.

Paredes Exteriores

A utilização de isolamento térmico na envolvente exterior tem como principais vantagens a diminuição do consumo energético e um aumento no conforto interior dos espaços climatizados.

A colocação de isolamento térmico em paredes exteriores pode ser feita pelo interior, exterior ou na caixa-de-ar entre paredes duplas. No caso de paredes simples, a colocação do isolamento térmico pelo exterior, em geral, é a melhor solução a adoptar. As vantagens e inconvenientes da aplicação de isolamento térmico pelo exterior, comparativamente à aplicação pelo interior, encontra-se na tabela seguinte (DGGE 2004):

Tabela 3.1- Vantagens e inconvenientes da aplicação de isolamento térmico pelo exterior (DGGE 2004)

Vantagens	Inconvenientes
• Supressão de pontes térmicas e redução do risco de condensação • Ausência de descontinuidade na camada de isolamento térmico • Conservação da inércia térmica das paredes • Manutenção da área útil dos espaços interiores • Menores riscos de incêndio e toxicidade • Protecção das paredes contra os agentes atmosféricos	• Maior vulnerabilidade da parede em termos de resistência ao choque, nomeadamente no rés-do-chão • Inconvenientes arquitectónicos • Custo elevado

As vantagens que se destacam na aplicação deste tipo de solução, em termos de desempenho térmico-energético do edifício, prende-se com a correção das pontes térmicas e com a conservação da inércia térmica das paredes.

Os sistemas ETICS (*External Thermal Insulation Composite System)* (figura 3.2) integram uma camada de isolante térmico aplicado na face superior da parede, que pode ser fixada por um produto de colagem ou por fixação mecânica. Sobre o isolante térmico é colocada uma camada de base, normalmente constituída por uma argamassa cimentícia modificada com resinas sintéticas, incorporando armaduras para a melhoria da resistência à fissuração bem como da resistência aos choques (Veiga e Malanho 2010).

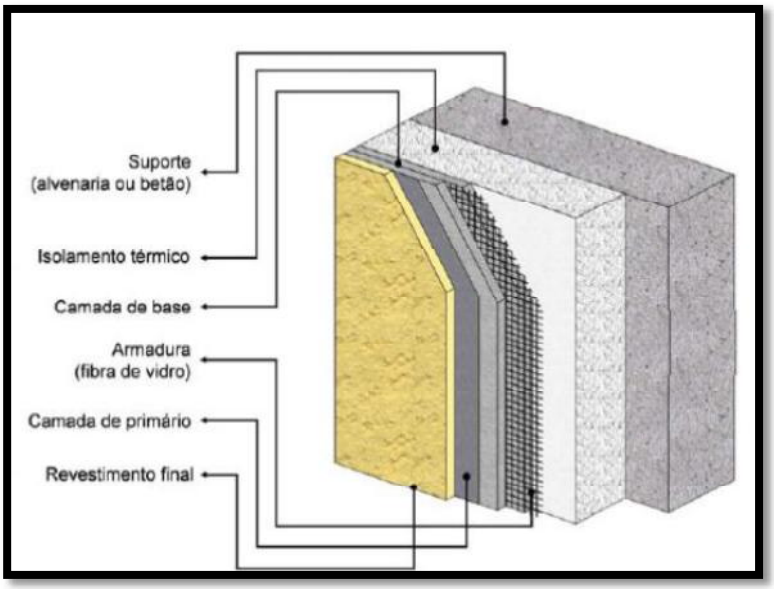


Figura 3.2- Sistema ETICS (CAD 2013)

Existem vários tipos de isolamento térmico disponíveis no mercado como, por exemplo, o poliestireno expandido (EPS), o poliestireno extrudido (XPS), a lã de rocha e a cortiça. A espessura pode ser variável, sendo esta definida consoante as necessidades térmicas do projecto. O aumento de isolamento permite aumentar a resistência térmica do elemento, podendo alcançar-se níveis baixos de transferência de calor.

Pavimentos

Os pavimentos em contacto directo com o exterior ou com espaços não aquecidos são responsáveis por uma quantidade significativa de perdas de calor nos edifícios, devido ao diferencial de temperatura que ocorre no período de inverno. As perdas por estes elemento influenciam directamente o consumo energético do edifício, sendo portanto necessário isolar termicamente estas zonas com materiais adequados à situação existente. No caso de pavimentos em contacto com o solo, a colocação de isolamento térmico sob a laje, potencia a inércia térmica do edifício, constituindo assim uma medida passiva eficaz na redução das necessidades energéticas. A utilização de XPS é comum neste tipo de aplicações pelo facto de a sua resistência térmica se manter aproximadamente constante em contacto com o solo (Ganhão 2011; Correia 2012).

Cobertura

As coberturas constituem o elemento da envolvente que mais contribui para as perdas de calor num edifício. A colocação de isolamento térmico na cobertura é considerada uma intervenção de eficiência energética prioritária, visto que esta medida traz benefícios imediatos em termos da diminuição das necessidades energéticas, e por se tratar de uma das medidas mais simples e menos dispendiosa.

As coberturas podem ser horizontais ou inclinadas. O isolamento destas pode ser feito através dos seguintes métodos (DGGE 2004):

Cobertura Horizontal (posição relativa do isolamento térmico):

- Isolamento térmico superior;
- Isolamento térmico intermédio;
- Isolamento térmico inferior;

Cobertura Invertida:

- Isolamento das vertentes;
- Isolamento da esteira horizontal.

No caso da cobertura horizontal, a colocação de isolamento pelo exterior deve ser executada como cobertura invertida, ou seja, o isolamento térmico é aplicado sobre a impermeabilização da laje existente. Esta solução, para além de proteger termicamente o edifício, permite ainda aumentar o tempo de vida útil da impermeabilização ao protegê-la das amplitudes térmicas (Isolani et al. 2008).

Relativamente às coberturas inclinadas, com desvão habitável, o isolamento térmico deve ser, sempre que possível, colocado sob o telhado e sobre a impermeabilização da laje (isolamento

das vertentes). Se não existir laje, o isolamento deve ser colocado sob a estrutura de fixação das telhas, sendo possível revestir pelo interior com outros materiais. Caso o desvão não seja habitável, é preferível aplicar o isolamento térmico sobre a esteira horizontal e assegurar uma ventilação eficiente no desvão (isolamento de esteira horizontal) (Isolani et al. 2008; DGGE 2004).

Este tipo de solução é mais económico que o isolamento das vertentes, pois a quantidade de isolante a aplicar é menor e em geral mais fácil. Por outro lado, o desvão não necessita de ser aquecido na estação de aquecimento, havendo assim um menor consumo energético. No Verão, a dissipação de calor permitida pela ventilação do desvão aumenta ainda o desempenho térmico do edifício (DGGE 2004).

Existe ainda a possibilidade de se adoptar coberturas ajardinadas, que por sua vez contribuem para a qualificação paisagística dos edifícios, cujos ecossistemas funcionam a favor do conforto climático e da absorção da poluição atmosférica (Construção Sustentável 2013).

Ventilação Natural

A ventilação natural nos edifícios consiste na entrada de ar do exterior para o interior e, subsequentemente, a saída de ar do interior para o exterior. Este processo ocorre devido a diferenças de pressão geradas por acção do vento nas fachadas e por alteração da densidade do ar por acção da temperatura. A ventilação assume um papel essencial no desempenho dos edifícios, não só porque promove o arrefecimento interior, reduzindo a necessidade de uso de sistemas de climatização para refrigeração, mas também por permitir a renovação do ar, assegurando a sua qualidade.

O aquecimento interior dos edifícios, que decorre da actividade nele desenvolvida, dos ganhos solares através dos vãos envidraçados e dos aparelhos de aquecimento quando estão em funcionamento, intensifica a acção da ventilação, assumindo um papel essencial no período de inverno. Contrariamente, no período de verão, a temperatura exterior é elevada sendo indesejável que a temperatura interior aumente consequentemente, tornando-se portanto necessário intensificar a ventilação através da acção do vento, evitando situações de sobreaquecimento no interior dos espaços. Para se obter um arrefecimento passivo eficiente, deve-se aproveitar as amplitudes térmicas diárias, como por exemplo, durante a noite e no início da manhã, privilegiando os períodos mais frescos do dia e da noite (Viegas 1995; Construção Sustentável 2013).

A ventilação natural deve ser controlada por forma a evitar correntes de ar indesejáveis para os ocupantes e de modo a não aumentar as perdas energéticas nos meses mais frios do ano em que se pretende aquecer o edifício. A conjugação das funções ventilação e arrefecimento pode ser alcançada, por exemplo, através das seguintes medidas (Mourão e Pedro 2005):

- Ventilação cruzada, através da colocação de vãos em paredes opostas;
- Previsão de vãos com uma área que permita a ventilação com pelo menos 5% da área do pavimento do compartimento;
- Incorporação de átrios ou chaminés com a função de promover a exaustão.

Tendo em vista a optimização da ventilação natural do edifício, este deve possuir a superfície de fachada maior orientada para os ventos predominantes da estação de quente. Uma forma de al-

cançar este objectivo é realizar edifícios altos com pouca profundidade, aproveitando as maiores velocidades que se produzem a maior altura do solo. A disposição e dimensionamento das aberturas são factores essenciais para se atingir uma ventilação eficaz. A área de abertura das fachadas orientadas ao vento predominante da estação quente deve ser maior, sendo menor na fachada oposta. A circulação do ar no interior dos espaços pode também ser optimizada recorrendo à instalação de grelhas nas portas e janelas por forma a permitir a circulação do ar, com sistemas de regulação de caudal (Mendonça 2005).

Contudo, não é possível assegurar que, recorrendo exclusivamente a processos de ventilação natural, a taxa de renovação de ar de projecto seja sempre cumprida, uma vez que estes dependem de factores que não são controláveis directamente. Posto isto, para situações particulares de ocupação ou para alguns espaços enclausurados, é recomendável o recurso a ventilação mecânica (Viegas 1995).

4. INTRODUÇÃO AO CASO DE ESTUDO

A investigação anteriormente realizada tem com foco principal perceber o nível de desempenho energético do parque edificado português e a necessidade de procurar mecanismos que permitam melhorar a sua eficiência.

A implementação de estratégias com o objectivo de alcançar edifícios energeticamente eficientes deve ser feita, sempre que possível, numa fase prévia do projecto de arquitectura e engenharia, de modo a que se possa perceber o desempenho global do edifício, procedendo assim à sua optimização.

Neste sentido, torna-se necessário perceber o contributo que a utilização de um *software* de simulação dinâmica pode facultar em termos de previsão das necessidades energéticas de um edifício do parque edificado português.

A implementação de sistemas passivos como estratégia de redução das necessidades energéticas, tendo em conta o seu potencial de poupança, pode ser uma alternativa viável ao uso de sistemas activos, sendo interessante analisar o seu impacte como solução de melhoria.

O caso de estudo é um edifício de habitação unifamiliar geminado na ilha de São Miguel, Açores. A escolha deste edifício residencial baseou-se no facto de este pertencer ao parque habitacional português e por apresentar todos os dados necessários para proceder-se à sua análise.

Numa primeira fase, será realizado o cálculo do valor das necessidades energéticas anuais do edifício, aquecimento e arrefecimento, através da análise estática (RCCTE) e dinâmica (Ecotect), tendo como objectivo a comparação entre ambos. Não se recorreu à utilização do REH no cálculo das necessidades energéticas do edifício, dado que este regulamento entrou recentemente em vigor, não retractando a forma como o parque edificado foi construído.

Na segunda fase, serão implementados alguns sistemas passivos referidos no capítulo 3, no edifício em estudo, por forma a avaliar-se o potencial de poupança destas medidas nas necessidades energéticas da habitação.

4.1. Caso de estudo

4.1.1. Descrição do Edifício

O caso de estudo que será abordado diz respeito a dois edifícios de habitação unifamiliar geminada T4, localizado na ilha de São Miguel (RAA), no concelho da Ribeira Grande, freguesia das Calhetas, cujo projecto se iniciou em 2008, terminando em 2009.

Figura 4.1- Fachada Principal dos Edifício

A área de implementação destes edifícios é cerca de 600 m^2, dividido em dois lotes. O lote 1 diz respeito ao edifício de habitação da direita e o lote 2 ao da esquerda (figura 4.1). Cada edifício é composto por um rés-do-chão, primeiro andar e sótão, sendo a área útil total 165,26 m^2. No exterior, temos um pátio anterior e posterior com garagem e arrumos. A fachada principal está orientada a Sul.

Os edifícios em questão são idênticos relativamente aos materiais que o constituem. Os materiais de revestimentos são predominantemente de cor branca, existindo porém em algumas zonas a cor cinzenta.

A disposição geral do edifício, bem como as áreas úteis de cada compartimento, estão representados nas figuras 4.2,4.3,4.4 e 4.5. O lote 1 será o foco de estudo deste trabalho.

	Compartimento	Área Útil (m2)
Rés-do-Chão	Cozinha	15.1
	Hall	10.8
	Quarto	10.1
	I.S	2.8
	Sala	30.0
1ºAndar	Arrumos	2.8
	Circulação	6.6
	Quarto	12.9
	Quarto	15.1
	Quarto	10.1
	I.S	5.1
Sotão	Arrumos	19.4

Figura 4.2- Área Útil por Compartimento

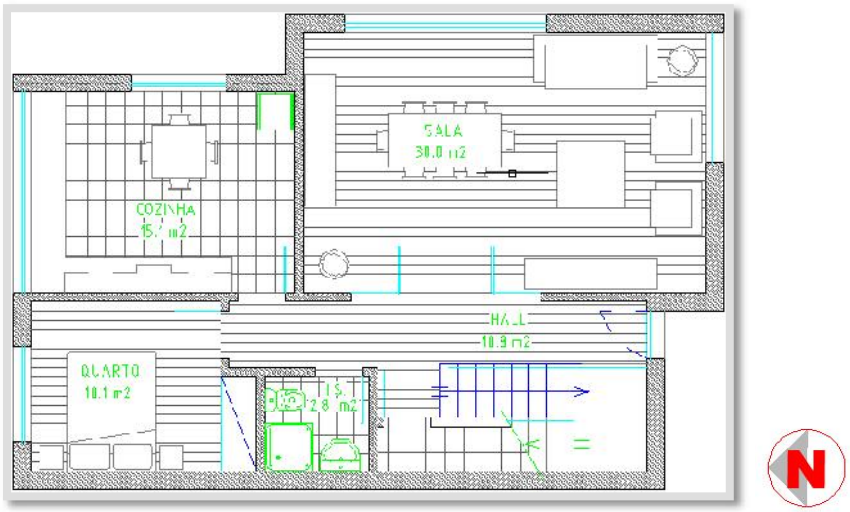


Figura 4.3- Planta Rés-do-Chão

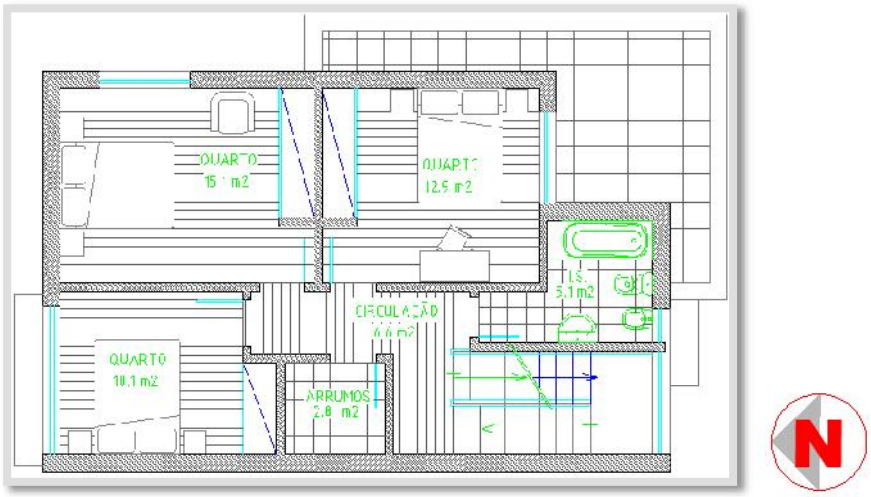


Figura 4.4- Planta Piso 1

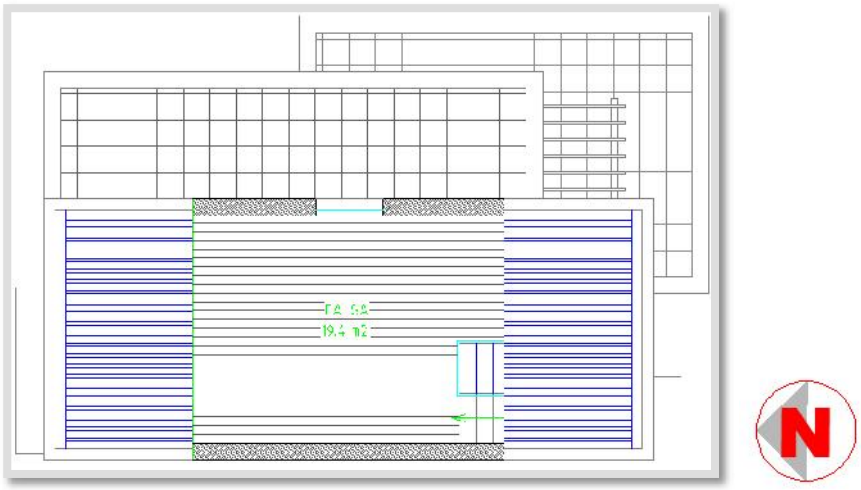


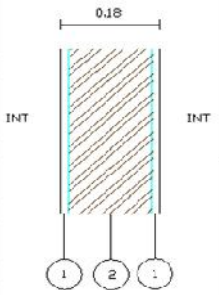
Figura 4.5- Planta Cobertura

4.1.2. Sistema Construtivo

O sistema construtivo do edifício é composto por uma estrutura reticulada em betão armado, com lajes maciças, suportadas por vigas que transmitem os esforços aos pilares, e que por sua vez descarregam nas fundações. A cobertura é inclinada composta por uma laje de esteira de betão armado com isolamento térmico na face superior em XPS. As paredes exteriores e interiores do edifício são constituídas por uma alvenaria em pano simples, sendo revestidas em reboco, pintadas em tinta de cor branca. Estes elementos serão agora caracterizados mais aprofundadamente através das seguintes figuras.

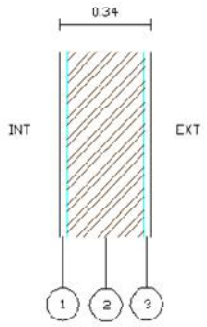
As paredes interiores são constituídas por um pano simples de alvenaria em bloco de cimento 30x20x15, revestido a reboco esmaltado em ambos os lados, pintado com tinta de água de cor branca. No caso das instalações sanitárias, as paredes têm um acabamento final em azulejo, ao invés da tinta de água. Os rodapés em toda a casa são em madeira, com excepção da instalação sanitária e da cozinha. As características das paredes interiores encontram-se detalhadas na tabela 4.1.

Tabela 4.1- Paredes Interiores

Paredes Interiores						
Esquema	Elemento	Descrição	Espessura(m)	Densidade(Kg/m^3)	Condutibilidade(W/m.ºC	Calor específico (J/Kg.K)
	1	Reboco	0,015	1800	1,3	1,046
	2	Bloco de Cimento	0,15	2000	0,711	836,8

A envolvente opaca em zona corrente é constituída por um pano duplo de alvenaria com blocos de cimento 30x20x15, revestido em reboco esmaltado no paramento interior e reboco tradicional no paramento exterior. O acabamento final é em tinta de água cor branca. As características da envolvente opaca em zona corrente encontram-se na tabela 4.2.

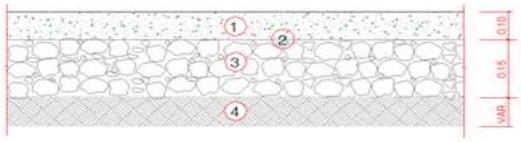
Tabela 4.2- Envolvente opaca em zona corrente

Envolvente Opaca Em Zona Corrente						
Esquema	Elemento	Descrição	Espessura(m)	Densidade(Kg/m^3)	Condutibilidade(W/m.ºC)	Calor especifico (J/Kg.K)
	1	Reboco	0,015	1800	1,3	1,046
	2	Bloco de Cimento	0,3	2000	0,711	836,8
	3	Reboco	0,025	1800	1,3	1,046

O pavimento térreo é composto por uma camada de solo bem compactada, seguindo-se o enrocamento com a película de polietileno na face superior e finalmente uma camada de betão C16/20 de 10 cm. Na tabela 4.3 pode-se observar a constituição do pavimento térreo.

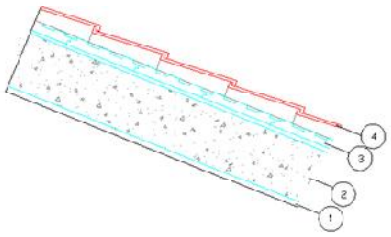
Os restantes pavimentos da habitação são compostos por uma laje em betão rebocada em ambos os lados, sendo o acabamento final na face superior diferente de zona para zona, em madeira nos quartos, sala e sótão, em grês no *hall* e zona de circulação e em madeira nos restantes compartimentos.

Tabela 4.3- Pavimento térreo

Pavimento Térreo			
Esquema	Elemento	Descrição	Espessura
	1	Betão C16/20	0.10
	2	Pelicula de polietileno	-
	3	Enrocamento com brita grada	0.15
	4	Solo bem compactado	variável

A cobertura é constituída por uma laje de esteira inclinada em betão armado, com isolamento térmico na parte superior da mesma, revestida a telha cerâmica do tipo romana, como podemos observar através da tabela 4.4. Todos os tectos da casa são em reboco esmaltado pintados com tinta de água de cor branca.

Tabela 4.4- Cobertura

Cobertura						
Esquema	Elemento	Descrição	Espessura(m)	Densidade(Kg/m^3)	Condutibilidade(W/m.ºC)	Calor específico (J/Kg.K)
	1	Rebocc	0,015	1800	1,3	1,406
	2	Laje de Betão Armado	0,15	2400	2,3	1000
	3	Isclamento térmico XPS	0,03	25	0,037	1,55
	4	Telha do Tipo Romana	-	2000	1,2	850

Relativamente aos vãos envidraçados, são constituídos por uma caixilharia em alumínio com acabamento lacado de cor cinza, sem corte térmico. Todos os envidraçados são compostos por vidro simples, existindo dois tipos de janela diferentes, giratória e de correr, e oclusão nocturna com elevada permeabilidade ao ar. A protecção solar é feita pelo exterior através de caixa de estores, constituídos por réguas plásticas cinzentas. Todas as portas que existem no edifício são de madeira.

4.1.3. Aplicação do RCCTE ao Caso de Estudo

A aplicação do RCCTE ao caso de estudo realizou-se através do recurso às folhas de cálculo padrão do regulamento. Tendo em conta a descrição construtiva referida anteriormente, apresenta-se em seguida a caracterização térmica das soluções construtivas.

Coeficientes de transmissão térmica

O coeficiente de transmissão térmica, U, é um parâmetro complementar utilizado para a caracterização dos elementos construtivos, que são atravessados por fluxos de calor na direcção normal à envolvente, calculados com recurso à seguinte expressão:

$$U = \frac{1}{Rsi + \sum_j Rj + Rse} \ (W/m^2.{}^{\circ}C)$$

Onde,

R_j - Resistência térmica da camada j (m².ºC/W)

R_{si} -Resistência térmica superficial interior (m².ºC/W)

R_{se} -Resistência térmica superficial exterior (m².ºC/W)

Envolvente Opaca Exterior

Os fluxos que atravessam os elementos que constituem a envolvente opaca podem ser horizontais (paredes, envidraçados, portas) e verticais (lajes, cobertura), resultante das transferências de calor por convecção, condução e radiação. O fluxo processa-se no período de Inverno do interior da

habitação para o exterior e, no Verão, do exterior para o interior (sempre das temperaturas mais altas para as mais baixas). Para este caso utilizam-se como resistências superficiais, R_{se}=0,04 (m².ºC/W) e R_{si}=0,13 (m².ºC/W) para elementos horizontais. O fluxo nos elementos verticais pode ser ascendente (Inverno) ou descente (Verão), considerando-se as resistências superficiais, R_{se} =0,04 (m².ºC/W) R_{si}=0,1 (m².ºC/W) para o primeiro caso e R_{se} =0,04 (m².ºC/W) R_{si}=0,17 (m².ºC/W) para o segundo caso.

Paredes exteriores em zona corrente

Tabela 4.5- Coeficiente de transmissão térmica/ Paredes exteriores

DESCRIÇÃO: Envolvente exterior LOCALIZAÇÃO: fachada: Parede exterior com requisitos - Zona corrente				
No.	Camada	espessura (m)	λ (W/m.ºC)	R (m2ºC/W)
1	Reboco	0,025	1,3	0,019
2	Bloco de cimento	0,3	0,711	0,421941
3	Reboco	0,015	1,3	0,012
	Soma=	0,34		0,45
	Rsi	0,13		
	Rse	0,04		
			U =	1,61

Parede exterior em zona de ponte térmica plana

Tabela 4.6- Coeficiente de transmissão térmica/ Zona Estrutural PTP

DESCRIÇÃO: Envolvente exterior LOCALIZAÇÃO: fachada: Parede exterior com requisitos - Zona estrutural				
No.	Camada	espessura (m)	λ (W/m.ºC)	R (m2ºC/W)
1	Reboco	0,03	1,3	0,023
2	Betão armado	0,3	2,3	0,130
	Soma=	0,33		0,15
	Rsi	0,13		
	Rse	0,04		
			U =	3,09

Vãos Envidraçados

Considerou-se para os vãos envidraçados U =4.6 (W/ m².ºC) para as janelas giratórias e U =4.8 (W/ m².ºC). Este valor do coeficiente de transmissão térmica foi obtido através da consulta do quadro III.2, presente no ITE50 para as seguintes condições:

- Caixilharia metálica sem corte térmico;
- Vão envidraçado simples (1janela), com vidro simples;
- Janela de correr e janela giratória;
- Dispositivo de oclusão nocturna com permeabilidade ao ar elevada.

Cobertura

Tabela 4.7- Coeficiente de transmissão térmica/ Laje de Cobertura

DESCRIÇÃO: Laje de Cobertura LOCALIZAÇÃO: Cobertura com requisitos				
No.	Camada	espessura (m)	λ (W/m.ºC)	R (m2ºC/W)
1	Reboco	0,015	1,3	0,012
2	betão armado	0,15	2,3	0,065
3	isolam. térmico (XPS) ROOFMATE	0,03	0,037	0,811
4	Material cerâmico Telhas	0,01	1,2	0,008
	Soma=	0,195		0,90
Verão	Rsi	0,17		
	Rse	0,04		
			U =	0,90
Inverno	Rsi	0,1		
	Rse	0,04		
			U =	0,97

Laje de Pavimento Exterior (Alpendre)

Tabela 4.8- Coeficiente de transmissão térmica/ Laje de Pavimento Exterior

DESCRIÇÃO:Laje de Pavimento exterior LOCALIZAÇÃO: Laje do alpendre				
No.	Camada	espessura (m)	λ (W/m.ºC)	R (m2ºC/W)
1	ladrilho cerâmico	0,007	1,3	0,005
2	Camada de regularização e assentamento	0,04	2	0,020
3	Betão Armado	0,2	2,3	0,087
4	Argamassa	0,02	1,3	0,015
	Soma=	0,267		0,13
Verão	Rsi	0,17		
	Rse	0,04		
			U =	2,96
Inverno	Rsi	0,1		
	Rse	0,04		
			U =	3,74

Laje de Pavimento de Fundo

Tabela 4.9- Coeficiente de transmissão térmica/ Laje de Pavimento de Fundo

DESCRIÇÃO: Laje de pavimento LOCALIZAÇÃO: Laje de fundo sem requisitos				
No.	Camada	espessura (m)	λ (W/m.ºC)	R (m2ºC/W)
1	ladrilho cerâmico	0,007	1,04	0,007
2	Camada de regularização e assentamento	0,1	2	0,050
3	Enrocamento	0,115	2	0,058
4	Massame armado	0,15	2	0,075
5	Aglomerado de cortiça	0,006	0,045	0,133
	Soma=	0,378		0,32
Verão	Rsi	0,17		
	Rse	0,04		
			U =	1,88
Inverno	Rsi	0,1		
	Rse	0,04		
			U =	2,16

Portas

Tabela 4.10- Coeficiente de transmissão térmica/ Portas

DESCRIÇÃO: Envolvente exterior LOCALIZAÇÃO: fachada: Porta				
No.	Camada	espessura (m)	λ (W/m.ºC)	R (m2ºC/W)
1	Porta em madeira maçisa (Balsa)	0,06	0,343	0,175
	Soma=	0,06		0,17
	Rsi	0,13		
	Rse	0,04		
			U =	2,90

Envolvente Opaca Interior

A resistência térmica superficial considerada na envolvente opaca interior é a mesma $R_{si} = R_{se}$ devido ao facto de estas soluções construtivas se encontrarem em ambiente interior, em que o diferencial de temperatura é aproximadamente zero. Neste caso é considerada uma resistência térmica superficial $R_{se} = R_{si} = 0,13$ (m².ºC/W) para os elementos verticais e $R_{se} = R_{si} = 0,1$ (m².ºC/W) para os elementos horizontais. Não foram consideradas no cálculo do coeficiente de transmissão térmica estas resistências, visto estes elementos não apresentarem uma transferência de calor significativa.

Parede Interior Sem Requisitos

Tabela 4.11- Coeficiente de transmissão térmica/ Parede Interior

Parede interior sem requisitos				
No.	Camada	espessura (m)	λ (W/m.ºC)	R (m2ºC/W)
1	Argamassa	0,015	1,3	0,012
2	Blocos de Cimento	0,15	0,711	0,211
3	Argamassa	0,015	1,3	0,012
	Soma=	0,18		0,23
			U =	4,27

Laje Interior Sem Requisitos

Tabela 4.12- Coeficiente de transmissão térmica/ Laje Interior

DESCRIÇÃO: Laje Interior LOCALIZAÇÃO: Lajes interiores sem requisitos				
No.	Camada	espessura (m)	λ (W/m.ºC)	R (m2ºC/W)
1	Argamassa	0,02	1,3	0,015
2	betão armado	0,2	2	0,100
3	Camada de regularização e assentamento	0,04	2	0,020
4	ladrilho cerâmico	0,007	1,3	0,005
	Soma=	0,267		0,14
			U =	7,10

Requisitos Mínimos de Qualidade Térmica - Dados Climáticos

Como referido anteriormente, o edifício em estudo localiza-se no concelho da Ribeira Grande, freguesia das Calhetas, a uma altitude de 50 m. O regulamento estabelece que nos Açores a zona climática de inverno depende da altitude, sendo:

- I1 - locais situados até 600 m de altitude;
- I2 - locais situados entre 600 m e 1000 m de altitude;
- I3 - locais situados acima de 1000 m de altitude.

Para toda a região autónoma dos Açores a zona climatica de verão é V2 (Aelenei 2009). Posto isso, o edifício em estudo está inserido numa zona climática correspondente a I1 V1. Sabendo a altitude e recorrendo à tabela 2.1, o número de graus-dias é GD= 725ºC.dias. Recorrendo aos quadros III.4, III.5, III.8 e III.9, retiram-se os seguintes dados climáticos para o caso em estudo:

Tabela 4.13- Dados Climáticos Correspondentes a Zona de Implementação do Edifício em Estudo

Quadro	Designação		Valor	Unidades
III.4 e III.5	Zona climática de Inverno		I1	-
	Zona climática de Verão		V1	-
	Nº de Graus-Dias		725	ºC.Dia
	Duração da estação de aquecimento		4	meses
	Amplitude térmica		6	ºC
III.9	Temperatura média do ar exterior (N)		21	ºC
	Intensidade média da radiação solar (Ir)	Orientação	-	-
		N	190	KWH/m²
		NE	270	KWH/m²
		E	360	KWH/m²
		SE	370	KWH/m²
		S	340	KWH/m²
		SW	370	KWH/m²
		W	360	KWH/m²
		NW	270	KWH/m²
III.8	Energia solar média mensal (Gsul)		70	KWH/m².mês

Tipologias da Envolvente

A caracterização das tipologias da envolvente é importante para a análise do comportamento térmico do edifício, sendo dividido em:

- Envolvente exterior com requisitos térmicos: Conjunto de elementos da habitação que estabelece a fronteira entre o espaço interior e o exterior;
- Envolvente interior sem requisitos térmicos: Conjunto de elementos que separam os compartimentos interiores da habitação.

Encontram-se representados nas figuras seguintes os diferentes tipos de envolvente em cada piso. A envolvente exterior em zona corrente está representada a vermelho e a envolvente interior a amarelo.

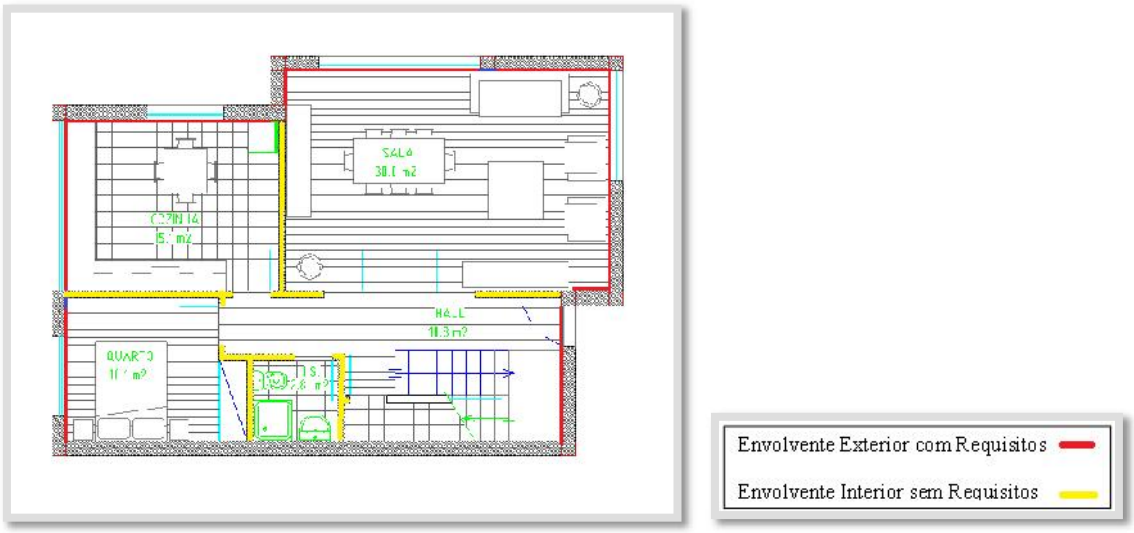


Figura 4.6- Rés do Chão

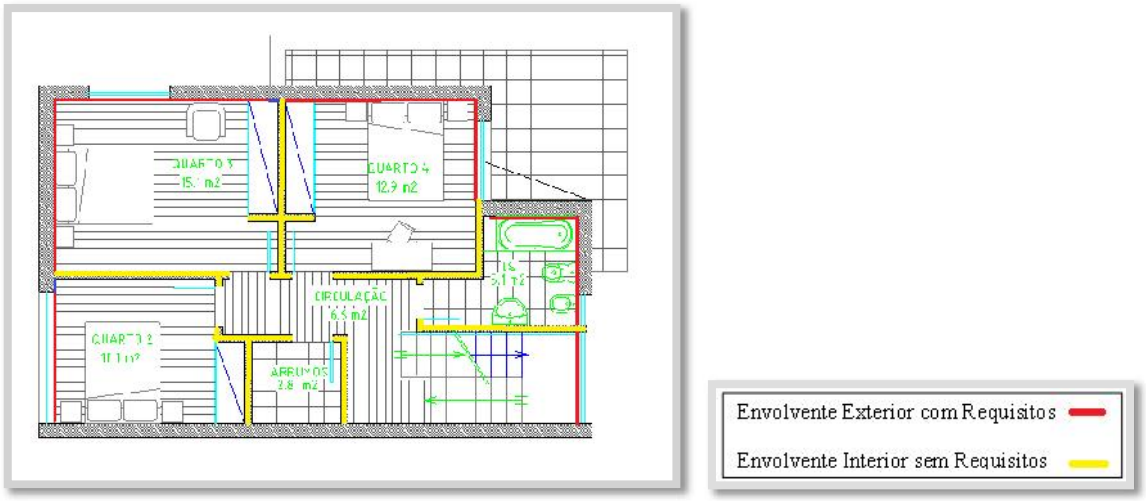


Figura 4.7- Planta 1ºPiso

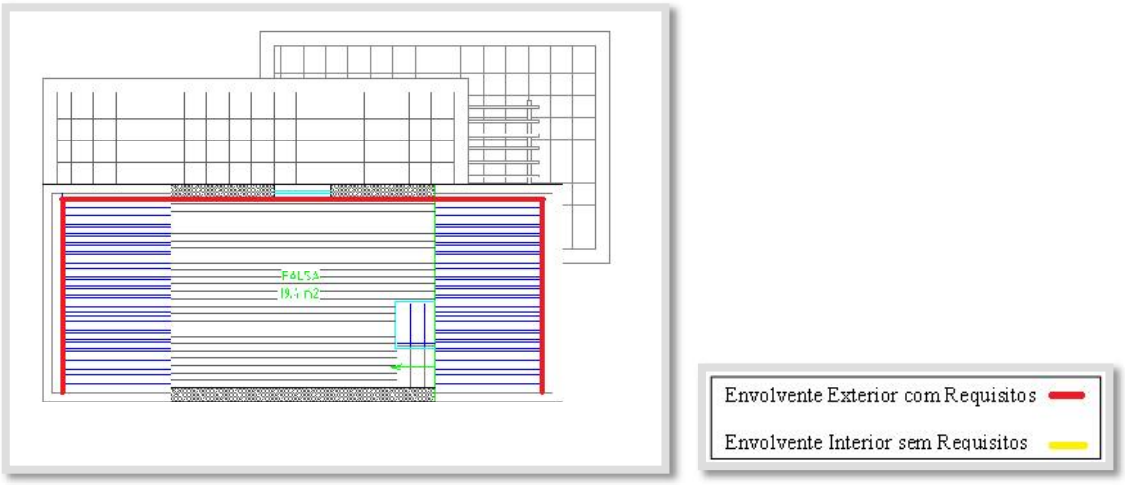


Figura 4.8- Planta da cobertura

Levantamento Dimensional

Através do *software* Autocad, foi possível retirar todos os elementos necessários para a análise do comportamento térmico do edifício em estudo. As áreas úteis de pavimento para cada compartimento e as áreas dos elementos da envolvente segundo a sua tipologia e orientação encontam-se nas tabelas seguintes:

Tabela 4.14- Áreas úteis de pavimento

Compartimento [R/C]	Area (m^2)
Cozinha	15,1
Quarto 1	10,1
Sala	30
Hall	10,8
I.S	2,8
Piso 1	
Quarto 2	10,1
Quarto 3	15,1
Quarto 4	12,9
I.S	5,1
Arrumos	2,8
Circulação	6,6
Piso 2	
Sotão	43,86
Soma	165,26

Tabela 4.15- Áreas dos elementos da envolvente

Área da Envolvente segundo a Tipologia e Orientação	Área (m^2)
Somatório da Área da zona corrente na fachada Virada a Norte	12,161
Somatório da Área da zona Estrutural na fachada Virada a Norte	3,580
Somatório da Área de envidraçado na fachada Virada a Norte	10,72
Somatório da Área da zona corrente na fachada Virada a Sul	16,171
Somatório da Área da zona Estrutural na fachada Virada a Sul	3,270
Somatório da Área de envidraçado na fachada Virada a Sul	11,000
Somatório da Área da zona corrente na fachada Virada a Este	30,553
Somatório da Área da zona Estrutural na fachada Virada a Este	7,220
Somatório da Área de envidraçado na fachada Virada a Este	13,560
Somatório da Área da zona corrente na fachada Virada a Oeste	1,540
Somatório da Área da zona Estrutural na fachada Virada a Oeste	0,140
Somatório da Área de envidraçado na fachada Virada a Oeste	0,000

Perdas associadas à Envolvente Opaca Exterior

As perdas pela envolvente exterior, em zona de ponte térmica plana, calculam-se através da multiplicação do coeficiente de transmissão térmica de cada elemento pela área correspondente. As pontes térmicas lineares são calculadas através da multiplicação do comprimento da ponte térmica linear (B) pelo coeficiente de transmissão térmica linear (ψ). As tabelas seguintes ilustram o cálculo efectuado.

Perdas Térmicas em zona de ponte térmica plana

Tabela 4.16- Perdas associadas às paredes exteriores

Paredes Exteriores	Zona	Comprimento	Altura	Área (m^2)	U ($W/m^2.ºC$)	U A (W/ºC)
R/C						
Cozinha	ZC	6,100	2,40	5,82	1,61	9,35
	PTP pilar	0,100	2,40	0,24	3,09	0,74
	Talão de viga	6,100	0,00	1,22	3,09	3,77
Quarto 1	ZC	2,700	2,40	2,42	1,61	3,89
	PTP pilar	0,150	2,40	0,36	3,09	1,11
	Talão de viga	2,700	0,00	0,54	3,09	1,67
Sala	ZC	12,300	2,40	14,74	1,61	23,67
	PTP pilar	0,400	2,40	0,96	3,09	2,97
	Talão de viga	12,300	0,00	2,46	3,09	7,60
	Porta	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00
Hall	ZC	1,900	2,40	2,42	1,61	3,89
	PTP pilar	0,000	2,40	0,00	3,09	0,00
	Talão de viga	1,900	0,00	0,38	3,09	1,17
	Porta	0,800	2,20	1,76	2,90	5,10
I.S	ZC	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00
	PTP pilar	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00
	Talão de viga	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00
	Porta	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00
Piso 1						
Quarto 2	ZC	2,700	2,40	2,82	1,61	4,53
	PTP pilar	0,150	2,40	0,36	3,09	1,11
	Talão de viga	2,700	0,00	0,54	3,09	1,67
Quarto 3	ZC	7,700	2,40	14,38	1,61	23,09
	PTP pilar	0,150	2,40	0,36	3,09	1,11
	Talão de viga	7,700	0,00	1,54	3,09	4,76
	Porta	0,000	2,20	0,00	2,90	0,00
Quarto 4	ZC	5,800	2,40	9,24	1,61	14,84
	PTP pilar	0,000	2,40	0,00	3,09	0,00
	Talão de viga	5,800	0,00	1,16	3,09	3,59
I.S	ZC	3,850	2,40	7,81	1,61	12,54
	PTP pilar	0,000	0,00	0,00	3,09	0,00
	Talão de viga	3,850	0,00	0,77	3,09	2,38
	Porta	0,000	0,00	0,00	2,90	0,00
Arrumos	ZC	0,000	2,40	0,00	1,61	0,00
	PTP pilar	0,000	2,40	0,00	3,09	0,00
	Talão de viga	0,000	0,00	0,00	3,09	0,00
Circulação	ZC	1,800	2,40	1,98	1,61	3,18
	PTP pilar	0,000	2,40	0,00	3,09	0,00
	Talão de viga	1,800	0,00	0,36	3,09	1,11
Piso 2						
Sotão	ZC	17,500	0,00	14,63	1,61	23,50
	PTP pilar	0,000	0,00	0,00	3,09	0,00
	Talão de viga	17,500	0,00	3,50	3,09	10,82
	Porta	1,200	2,20	2,64	2,90	7,65
			TOTAL	92,77	-	173,17

Tabela 4.17- Perdas associadas ao Pavimento Exterior

Pavimentos Exteriores	Área (m^2)	U ($W/m^2.ºC$)	U A (W/ºC)
Alpendre	28,75	3,74	107,39
		TOTAL	107,39

Tabela 4.18- Perdas associadas à Cobertura

Coberturas Exteriores	Área (m^2)	U ($W/m^2.ºC$)	U A (W/ºC)
Cobertura Inclinada	43,86	0,97	42,34
		TOTAL	42,34

Tabela 4.19- Perdas associadas às Portas

Portas da envolvente exterior	Zona	Área (m^2)	U ($W/m^2.ºC$)	U A (W/ºC)
Portas da envolvente exterior	Hall	1,760	2,90	5,10
Portas da envolvente exterior	Sotão	2,64	2,90	7,653790888
			TOTAL	12,76

Perdas térmicas em zona de ponte térmica linear

Recorrendo à tabela IV.3 do RCCTE, é possível calcular o coeficiente de transmissão térmica linear para estas situações:

a) Ligação da fachada com pavimentos térreos;
b) Ligação da Fachada com Pavimentos sobre locais não aquecidos ou exteriores;
c) Ligação da Fachada com Pavimentos intermédios;
d) Ligação da Fachada com Cobertura inclinada ou Terraço;
e) Ligação da Fachada com Varanda;
f) Ligação entre duas Paredes verticais;
g) Ligação da Fachada com Caixa de estore;
h) Ligação da Fachada com Padieira, Ombreira ou Peitoril.

Foi considerado o coeficiente de transmissão térmica linear convencional de ψ= 0,5 (W/m.ºC) para todos estes casos. Este valor é adoptado quando as pontes térmicas lineares do edifício em estudo não se encontram nos quadros que o regulamento apresenta. Os comprimentos das pontes térmicas lineares foram obtidos com recurso a Autocad. As tabelas seguintes ilustram o cálculo efectuado.

Tabela 4.20- Pontes térmicas lineares

Pontes térmicas lineares	Comp.	ψ	ψ B
Ligações entre:	B (m)	(W/m.ºC)	(W/ºC)
Fachada com os pavimentos térreos	29,00	0,5	14,50
Fachada c/pav. sobre garagem e desvão	0,00	0	0,00
Fachada com pavimentos intermédios PISO 1	20,55	0,5	10,28
Fachada com pavimentos intermédios PISO 2	19,20	0,5	9,60
Fachada com cobertura	19,20	0,5	9,60
Fachada com varanda	18,20	0,5	9,10
Duas paredes verticais (piso 0)	16,80	0,5	8,40
Duas paredes verticais (piso 1)	16,80	0,5	8,40
Fachada com caixa de estore	0,00	0	0,00
Fachada com padieira, ombreira ou peitoril	22,40	0,5	11,20
		TOTAL	81,08

Tabela 4.21- Ponte térmica linear/ Pavimento em contacto com o solo

Pavimentos em contacto com o solo	Desenv.	ψ	ψ B
	B (m)	(W/m.ºC)	(W/ºC)
Laje de fundo	26	1,5	39,00
		TOTAL	39,00

O valor total de perdas pela envolvente exterior obtém-se através do somatório das perdas em zona de ponte térmica plana e as perdas em zona de ponte térmica linear. O valor obtido foi de 442.97 W/º C.

Perdas associadas aos vãos envidraçados

As perdas associadas aos vãos envidraçados são obtidas através da multiplicação do coeficiente de transmissão térmica (*U*) do vão envidraçado pela sua área correspondente. As tabelas seguintes ilustram o cálculo efectuado.

Tabela 4.22- Perdas associadas aos vãos envidraçados

Vãos envidraçados exteriores	Área (m^2)	U ($W/m^2.ºC$)	U.A (W/ºC)
Verticais:			
Cozinha	7,60	4,80	36,48
Quarto 1	3,52	4,60	16,19
Sala	12,32	4,80	59,14
Hall	0,00	0,00	0,00
I.S	0,00	0,00	0,00
Quarto 2	3,12	4,80	14,98
Quarto 3	2,56	4,60	11,78
Quarto 4	3,52	4,60	16,19
I.S	0,66	4,60	3,04
Arrumos	0,00	0,00	0,00
Circulação	1,98	4,60	9,11
Sotão	0,00	0,00	0,00
	35,28	TOTAL	166,90

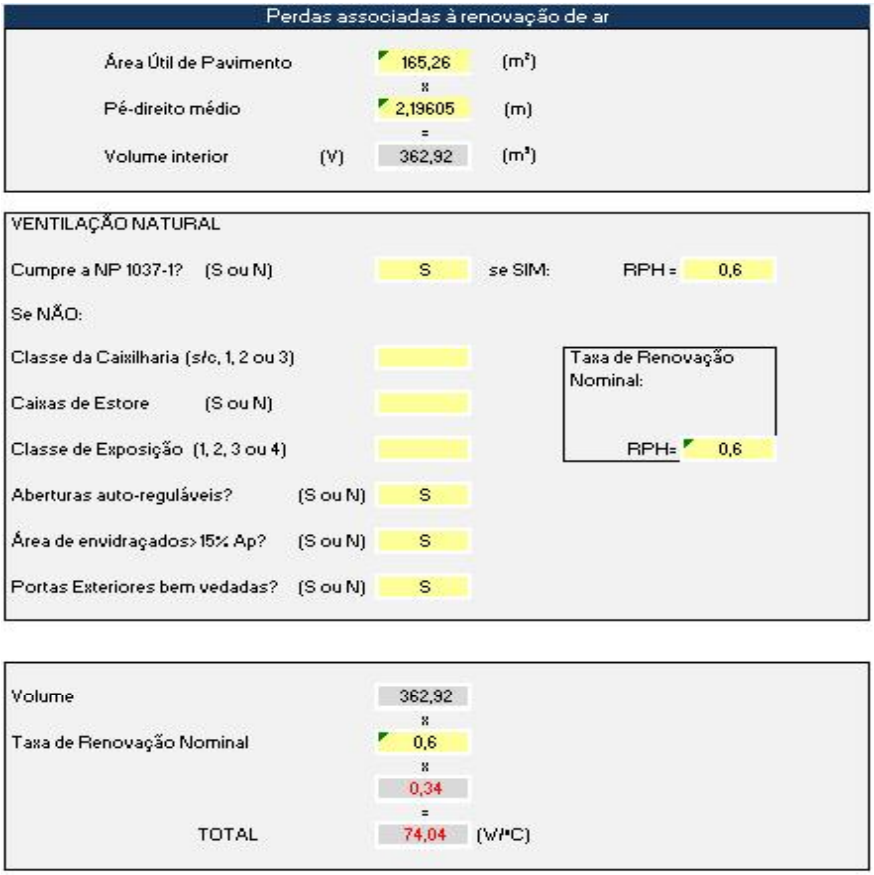
Perdas associadas à renovação de ar

As perdas associadas à renovação do ar são obtidas através do preenchimento das folhas de cálculo padrão do RCCTE.

O valor do pé direito médio é dado pela relação entre o volume total e a área total dos compartimentos.

Foi considerado que o edifício em estudo cumpre a norma NP 1037-1, sendo atribuído à taxa de renovação nominal 0,6 h^{-1}. O cálculo das perdas associadas à renovação de ar apresenta-se na tabela seguinte:

Tabela 4.23- Perdas associadas à renovação do ar



O valor total de perdas associadas à renovação do ar foi de 74,04 (W/º C).

Ganhos úteis na estação de aquecimento

Factor solar do vão envidraçado $g_{\perp v}$

Considera-se que os vãos envidraçados são de vidro simples incolor, de espessura 4 mm, pelo que o factor solar dos vãos envidraçados é $g_{\perp v} = 0{,}88$, valor retirado da tabela IV.4.1 do RCCTE.

Factores solares

A fracção envidraçada, F_g, que traduz a transmissão da energia solar associada à existência da caixilharia, é dada pela relação entre a área envidraçada e a área total do vão envidraçado. Consultando o Quadro IV.5 do RCCTE, tem-se que, para janelas de alumínio ou aço com caixilho sem quadrícula, o valor é de F_g=0,70.

O valor do factor de correcção da selectividade angular dos envidraçados, F_w, que traduz a redução dos ganhos solares, causada pela variação das propriedades do vidro com o ângulo de incidência de radiação solar directa para o cálculo das necessidades nominais de aquecimento é F_w=0.9, para os vidros simples. Na estação de arrefecimento o valor de F_w varia consoante a orientação do envidraçado:

- Norte – F_w= 0.85
- Sul – F_w=0.8

- Este – F_w=0.9
- Oeste – F_w=0.9

O factor de sombreamento do horizonte (F_h) por obstruções longínquas exteriores ao edifício, ou por outros elementos do edifício, toma valores diferentes na estação de Inverno consoante a orientação da fachada, podendo consultar-se na Tabela IV.5 - RCCTE.

Para a determinação do factor de sombreamento por elementos horizontais (F_o) sobrepostos ao envidraçado, efectuaram-se as medições dos ângulos, a partir do ponto médio do envidraçado até ao respectivo elemento horizontal, tendo-se obtido os ângulos em cada caso.

Os valores de F_o em função dos ângulos são consultados a partir da tabela V.1 e IV.6.

O factor de obstrução, F_s, varia entre 0 e 1, e representa a redução da radiação solar que incide no vão envidraçado, devido ao sombreamento permanente causado por diferentes obstáculos. O factor de obstrução pode ser calculado pela equação:

$$F_s=F_h \times F_o \times F_f$$

Na tabela 26 apresentam-se todos os valores referidos anteriormente.

Tabela 4.24- Cálculo do factor solar (Fs)

Localização da janela	Calculo do Factor Solar (FS)										
	Ângulo	**F_h**		**Ângulo**	**F_f**		**Ângulo**	**F_o**		**FS**	
R/C	α	Verão	Inverno	β	Verão	Inverno	α	Verão	Inverno	Verão	Inverno
Cozinha (Norte)	0	1,00	1,00	0º	1,00	1,00	0º	1,00	1,00	1,00	1,00
Cozinha (Este)	0	1,00	1,00	30º	0,96	0,86	30º	1,00	0,84	0,96	0,72
Quarto 1 (Norte)	0	1,00	1,00	0º	1,00	1,00	0º	1,00	1,00	1,00	1,00
Sala (Sul)	0	1,00	1,00	0º	1,00	1,00	0º	1,00	1,00	1,00	1,00
Sala (Este)	0	1,00	1,00	0º	1,00	1,00	0º	1,00	1,00	1,00	1,00
1º Piso											
Quarto 2 (Norte)	0	1,00	1,00	0º	1,00	1,00	0º	1,00	1,00	1,00	1,00
Quarto 3 (Este)	0	1,00	1,00	0º	1,00	1,00	0º	1,00	1,00	1,00	1,00
Quarto 4 (Sul)	0	1,00	1,00	60º	0,84	0,65	60º	1,00	0,62	0,84	0,40
I.S (Sul)	0	1,00	1,00	0º	1,00	1,00	0º	1,00	1,00	1,00	1,00
Circulação (Sul)	0	1,00	1,00	0º	1,00	1,00	0	1,00	1,00	1,00	1,00

Após o cálculo do factor de obstrução (F_s), é calculado o valor da área efectiva colectora da radiação solar da superfície (A_s) que é obtido através da equação:

$$A_s= A \times F_s \times F_g \times F_w \times g_{\perp v}$$

Na tabela seguinte apresenta-se o cálculo da área efectiva, bem como os parâmetros necessários à sua definição.

Tabela 4.25- Ganhos solares/ Área efectiva

Orientação	Tipo	Área (m2)	X()	$g_{\perp}$ (-)	F_s (-)		F_g (-)	F_w (-)	A_s (m^2)	
					Verão	Inverno			Verão	Inverno
Cozinha (Norte)	Simples	4,08	0,27	0,88	1,00	1,00	0,70	0,85	0,58	0,58
Cozinha (Este)	Simples	3,52	0,56	0,88	0,96	0,72	0,70	0,85	0,99	0,75
Quarto 1 (Norte)	Simples	3,52	0,27	0,88	1,00	1,00	0,70	0,85	0,50	0,50
Sala (Sul)	Simples	4,84	1,00	0,88	1,00	1,00	0,70	0,85	2,53	2,53
Sala (Este)	Simples	7,48	0,56	0,88	1,00	1,00	0,70	0,90	2,32	2,32
1º Piso										
Quarto 2 (Norte)	Simples	3,12	0,27	0,88	1,00	1,00	0,70	0,85	0,44	0,44
Quarto 3 (Este)	Simples	2,56	0,56	0,88	1,00	1,00	0,70	0,90	0,79	0,79
Quarto 4 (Sul)	Simples	3,52	1,00	0,88	0,84	0,40	0,70	0,80	1,46	0,70
I.S (Sul)	Simples	0,66	1,00	0,88	1,00	1,00	0,70	0,90	0,37	0,37
Circulação (Sul)	Simples	1,98	1,00	0,88	1,00	1,00	0,70	0,80	0,98	0,98
Total										9,95

Inércia térmica

Através da análise da figura VII.1 do RCCTE, considerou-se o caso EL 1, EL 2 e EL3. Considera-se para as soluções das envolventes exteriores (EL1):

- Paredes (zona corrente e estrutural);
- Laje de cobertura;

Considera-se para as soluções das envolventes em contacto com o solo (EL2):

- Laje de fundo;
- Laje do alpendre;

Considera-se para as soluções da envolvente interior (EL3)

- Lajes interiores;
- Pavimentos interiores.

Nos elementos EL1 sem isolamento térmico, contabilizou-se metade da massa total (m_t), M_{si} = m_t / 2. Os elementos com isolamento térmico, cuja condutibilidade térmica é inferior a 0,065 W/m.ºC, com uma espessura que conduz a uma resistência térmica superior a 0,30 m^2.ºC/W, considerou-se somente a massa do lado interior do isolamento térmico (m_i) : M_{si} = m_i. Os valores de M_{si} nunca podem ser superiores a 150 Kg/m^2.

Nos elementos EL2 sem isolamento térmico, contabilizou-se uma massa M_{si} = 150 Kg/m^2.

Nos elementos EL3, considerou-se a massa total do elemento *Msi* = m_v com o limite de 300 Kg/m^2.

Considerando elementos construtivos da envolvente exterior, verificou-se que a resistência térmica dos revestimentos superficiais interiores é sempre inferior a 0,14, pelo que o factor de redução (r_i) é igual a 1.

Os valores obtidos foram retirados do ITE 12 e do ITE 50, dos quais se obtiveram valores da massa total dos elementos (m_t) e valores da massa volúmica aparente seca (ρ), permitindo assim a obtenção de um valor nominal para inércia térmica.

Quando não foi possível a obtenção da massa total por tabelas técnicas recorreu-se à expressão $m_t = \sum (\rho_t \times e_t)$.

A inécia térmica calcula-se recorrendo à equação:

$$I_t = \sum(M_{si} \times S_i \times r_i)/ A_p$$

O valor de inércia térmica obtido foi de 489.41 Kg/m^2. Através da análise do quadro VII.6 do regulamento, que define as classes de inércia térmica do edifício, o valor de inércia térmica obtido é superior a 400 Kg/m^2, sendo portanto um edifício com classe inércia forte.

Ganhos Úteis Totais

Os ganhos témicos a considerar no cálculo das necessidades nominais de aquecimento são os ganhos térmicos associados a fontes internas de calor (Q_i) e ganhos térmicos associados ao aproveitamento da radiação solar (Q_s). Através do somatório destes dois parâmetros, obtêm-se os ganhos térmicos brutos na estação de aquecimento (Q_g). Os ganhos utéis totais são calculados através da seguinte equação:

$$Q_{gu}=\eta \times Q_g$$

Tendo em conta a zona climática e recorrendo ao quadro III.8 e III.4, foi possível calcular os ganhos solares brutos associados à estação de aquecimento através da equação seguinte:

$$Q_s = G_{sul} [X_j \sum A_{snj}] \times M$$

O cálculo dos ganhos solares brutos encontra-se na tabela seguinte:

Tabela 4.26- Ganhos solares brutos

Ganhos Solares Brutos	
Área efectiva total equivalente na orientação Sul (m^2)	9,95
x	
Radiação incidente num envidraçado a Sul (Gsul) na zona I1 Wh/m^2 mês)	70,00
x	
Duração da estação de aquecimento (meses)	4,00
Ganhos Solares Brutos (kWh/ano)	2786,87

O valor obtido para os ganhos solares brutos foi de 2786,87 kWh/ano referente à estação de aquecimento.

Os ganhos internos de calor de fontes internas durante toda a estação de aquecimento são obtidos através da expressão:

$$Q_i = q_i \times M \times A_p \times 0{,}720 \text{ (kWh)}$$

O cálculo dos ganhos internos encontra-se na tabela seguinte:

Tabela 4.27- Ganhos internos

Ganhos Internos		
Ganhos internos médios	4,00	(W/m²)
x		
Duração da Estação de Aquecimento	4,00	(meses)
x		
Área Útil de pavimento	165,26	(m²)
x		
	0,72	
=		
Ganhos Internos Brutos	1903,80	(kWh/ano)

O valor obtido para os ganhos internos foi de 1903,80 kWh/ano referente à estação de aquecimento.

Através da equação dos ganhos úteis totais, calculou-se o valor correspondente. A tabela seguinte apresenta o calculo realizado:

Tabela 4.28- Ganhos úteis totais

Ganhos Úteis Totais		
$\gamma =$ Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos Brutos	4890,67	
Necessidades Brutas de Aquecimento (da FC IV.2)	11899,88	
Inércia do edifício: 3,00 a = 4,2	γ = 0,39	
(In. Fraca 1; In. Média 2; In. Forte 3)		
Factor de Utilização dos Ganhos Térmi (η)	0,99	
x		
Ganhos Solares Brutos + Ganhos Internos Brutos	4890,67	
–		
Ganhos Úteis Totais (kWh/ano)	4833,26	

O valor obtido dos ganhos uteis totais foi de 4633,26 (kWh/ano).

Factor de Forma

O factor de forma foi obtido seguindo a metodologia de cálculo referida no capitulo 2. O cálculo do factor de forma encontra-se na tabela seguinte:

Tabela 4.29- Factor de forma

Factor de forma		
De FCIV.1a e FCIV.1c:	(Áreas)	m²
Paredes exteriores		92,77
Coberturas exteriores		43,86
Pavimentos exteriores		28,75
Envidraçados exteriores		35,28
De FCIV.1b:	(Áreas equivalentes, A .τ)	200,66
Paredes interiores		0,00
Coberturas interiores		0,00
Pavimentos interiores		0,00
Envidraçados interiores		0,00
Área total:		200,66
		/
Volume (de FCIV.1d):		362,92
		=
Factor de forma FF		0,55

O factor de forma é dado pela relação entre a área total e o volume interior, tendo-se obtido o valor 0,55.

Valor limite das necessidades de energia para aquecimento

Como disposto no capitulo 2, o valor limite das necessidade de energia para aquecimento (N_i) foi calculado recorrendo ao factor de forma e ao número de graus-dia de aquecimento. O cálculo do valor limite (N_i) apresenta-se na tabela seguinte:

Tabela 4.30- Valor limite das necessidades de energia para aquecimento

Graus-dias no local (ºC.dia)		725,00
$N_i = 4,5 + 0,0395$ GD	Para FF ≤ 0,5	33,14
$N_i = 4,5 + (0,021 + 0,037FF)$ GD	Para 0,5 < FF ≤ 1	34,56
$N_i = [4,5 + (0,021 + 0,037FF)$ GD$] (1,2 - 0,2FF)$	Para 1 < FF ≤ 1,5	37,65
$N_i = 4,05 + 0,06885$ GD	Para FF > 1,5	53,97
Nec. Nom. de Aquec. Máximas - N_i (kWh/m^2.ano)		34,56

O valor limite das necessidades de energia para aquecimento (N_i) obtido foi de 34,56 (kWh/m^2.ano).

Calculo das necessidades nominais de energia para aquecimento, (N_{ic})

O cálculo das necessidades nominais de energia para aquecimento efectou-se através da equação mencionada no capítulo 2.

Para tal,calcularam-se as necessidades brutas de aquecimento necessárias para compensar as perdas durante toda a estação de aquecimento, através da equação Q_{ext} = 0,024 x U x A x GD. A subtracção entre este valor e o valor de ganhos úteis totais permite obter o valor das necessidades de aquecimento. Por fim, calculou-se a relação entre as necessidades de aquecimento e a área útil de pavimento, obtendo-se as necessidades nominais de energia para aquecimento (N_{ic}). O cálculo das necessidades nominais de energia para aquecimento apresentam-se na tabela seguinte:

Tabela 4.31- Necessidades nominais de energia para aquecimento (N_{ic})

Perdas térmicas associadas a:	(W/ºC)
Envolvente Exterior (de FCIV.1a)	442,97
Envolvente Interior (de FCIV.1b)	0,00
Vãos Envidraçados (de FCIV.1c)	166,90
Renovação de ar (de FCIV.1d)	74,04
Total	683,90
Coeficiente Global de Perdas (W/ºC)	683,90
	x
Graus-dias no Local (ºC.dia)	725,00
	x
	0,024
	=
Necessidades Brutas de Aquecimento (kWh/ano)	11899,88
	-
Ganhos Totais Úteis (kWh/ano) (de FCIV.1e)	4633,26
	=
Necessidades de Aquecimento (kWh/ano)	7266,62
	/
Área Útil de Pavimento (m^2)	165,26
	=
Nec. Nominais de Aquecimento - N_{ic} (kWh/m^2.ano)	43,97
	≤
Nec. Nominais de Aquec. Máximas - N_i (kWh/m^2.ano)	34,56

O valor obtido para as necessidades nominais de aquecimento (N_{ic}) foi de 43,97 kWh/m^2 ano. Este valor é superior ao limite (N_i = 34,56 kWh/ m^2.ano), sendo portanto não regulamentar.

Necessidades nominais de arrefecimento

O factor de utilização dos ganhos térmicos (η) é calculado em função da inércia térmica do edifício e da relação (γ) entre os ganhos totais brutos (internos e solares) e as perdas térmicas totais.

As perdas térmicas totais e os ganhos térmicos totais pela envolvente exterior calculam-se através da equação:

$$Q_1 = 2{,}93 \times U \times A \times (\theta_m - \theta_i) + U \times A \times (\alpha \times I_r) / h_e$$

em que a primeira parcela diz respeito às perdas térmicas e a segunda aos ganhos térmicos.

Perdas Térmicas Totais

Em primeiro lugar, calculou-se a soma das perdas térmicas associadas à envolvente exterior e à renovação do ar (Tabelas. Com este valor, foi possível calcular as perdas térmicas totais recorrendo à primeira parcela da equação das perdas e ganhos pela envolvente exterior. A temperatura média do ar exterior foi retirada do quadro III.9 do regulamento.

O cálculo das perdas térmicas totais apresenta-se na tabela seguinte:

Tabela 4.32- Perdas térmicas totais

Perdas Térmicas Totais			
Perdas associadas às paredes exteriores (U.A)	(FCIV.1a)	442,97	(W/ºC)
		+	
Perdas associadas aos pavimentos exteriores (U.A)	(FCIV.1a)	107,39	(W/ºC)
		+	
Perdas associadas às coberturas exteriores (U.A)	(FCIV.1a)	42,34	(W/ºC)
		+	
Perdas associadas aos envidraçados exteriores (U.A)	(FCIV.1c)	166,90	(W/ºC)
		+	
Perdas associadas à renovação do ar	(FCIV.1d)	74,04	(W/ºC)
		=	
Perdas especificas totais		833,63	**(W/ºC)**
Temperatura interior de referência		25,00	(ºC)
		-	
Temperatura média do ar exterior na estação de arrefecimento		21,00	(ºC)
		=	
Diferença de temperatura interior-exterior		4,00	
		x	
Perdas especificas totais		833,63	(W/ºC)
		x	
		2,93	
		=	
Perdas térmicas totais		9763,44	**(kWh)**

O valor obtido para as perdas térmicas totais foi de 9763,44 kWh.

Ganhos solares pela envolvente opaca

Os ganhos solares pela envolvente opaca são calculados através da segunda parcela da equação das perdas e ganhos térmicos pela envolvente exterior. Recorrendo às áreas dos elementos da envolvente segundo a sua orientação (tabela 4.15), aos coeficientes de transmissão térmica correspondentes a cada zona (estrutural ou zona corrente), à intensidade média da radiação solar (tabela 4.13) e ao valor α (quadro V.5 do regulamento), calcularam-se os ganhos solares pela envolvente opaca. O cálculo dos ganhos solares pela envolvente opaca apresenta-se na tabela seguinte:

Tabela 4.33- Ganhos solares pela envolvente opaca

Ganhos solares pela envolvente opaca										
Orientação	N (ZC)	N (ZE)	S (ZC)	S (ZE)	E (ZC)	E (ZE)	O (ZC)	O (ZE)		
Área, A (m²)	12,16	3,50	16,17	3,27	30,55	7,22	1,54	0,14		
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
U (W/m².ºC)	1,01	3,09	1,01	3,09	1,01	3,09	1,01	3,09		
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
u	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40		
	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
u.U.A (W/ºC)	7,81	4,43	10,39	4,04	19,63	8,93	0,99	0,17		
	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
I_r (kWh/m²)	190,00	190,00	340,00	340,00	360,00	360,00	360,00	360,00		
	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		
	=	=	=	=	=	=	=	=	=	=
	59,37	33,64	141,27	54,99	282,62	128,55	14,24	2,49		
Ganhos solares pela envolvente opaca								**TOTAL**	**(kWh)**	717,16

Ganhos solares pelos envidraçados

Os ganhos solares através dos envidraçados calculam-se através da equação:

$$Q_s = \sum [Ir_j \times \sum A_{snj}]$$

Através das aréas dos envidraçados segundo a sua orientação (tabela 4.15), dos coeficientes de transmissão térmica, do factor solar dos envidraçados $g_\perp$ e dos factores solares (F_g, F_s F_w), calculou-se a àrea efectiva através da equação $A_s = A \times F_s \times F_g \times F_w \times g_\perp$. Sabendo a área efectiva e o valor intensidade média da radição solar (Ir) calcularam-se os ganhos solares pelos envidraçados. A tabela seguinte apresenta o cálculo descrito:

Tabela 4.34- Ganhos solares pelos envidraçados

Ganhos solares pelos envidraçados exteriores							
Orientação	N	S	E	E	E	O	O
Área, A (m²)	10,72	11,00	13,56	0,00	0,00	0,00	0,00
x	x	x	x	x	x	x	x
$g_\perp$	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88
x	x	x	x	x	x	x	x
F_g (Quadro IV.5)	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
x	x	x	x	x	x	x	x
$F_s = F_h F_o F_f$	1,00	0,40	1,00	0,00	0,00	1,00	1,00
x	x	x	x	x	x	x	x
F_w	0,85	0,80	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
=	=	=	=	=	=	=	=
Área Efectiva, A_s	5,61	2,18	7,52	0,00	0,00	0,00	0,00
x	x	x	x	x	x	x	x
I, (kWh/m²)	190,00	340,00	360,00	360,00	360,00	360,00	360,00
=	=	=	=	=	=	=	=
Ganhos Solare pelos Envidraçados Exteriores	1066,47	742,76	2706,36	0,00	0,00	0,00	0,00
						TOTAL (kWh)	4515,59

Ganhos Internos

Os ganhos internos calculam-se através da equação $Q_i = q_i \times A_p \times 2{,}928$ (kWh). O valor dos ganhos internos médios é retirado do quadro IV.3 do regulamento. A tabela seguinte apresenta o cálculo descrito:

Tabela 4.35- Ganhos internos

Ganhos Internos médios (W/m²)	4,00	
	x	
Área Útil de Pavimento (m²)	165,26	
	x	
	2,93	
	=	
Ganhos internos Totais	1935,53	**(kWh)**

Ganhos térmicos totais

Os ganhos térmicos totais na estação de arrefecimento calcularam-se através da soma dos ganhos térmicos solares (envolvente opaca, envidraçados, ganhos internos), obtidos anteriormente. O cálculo dos ganhos térmicos totais encontam-se na tabela seguinte:

Tabela 4.36- Ganhos térmicos totais

Ganhos Solares pelos Vãos Envidraçados Exteriores (FCV.1d)	4515,59	(kWh)
+		
Ganhos Solares pela Envolvente Opaca Exterior (FCV.1c)	717,16	(kWh)
+		
Ganhos internos (FCV.1e)	1935,53	(kWh)
=		
Ganhos Térmicos Totais	7168,28	**(kWh)**

O valor obtido para os ganhos térmicos totais foi de 7168,28 kWh.

Cálculo das necessidades nominais de arrefecimento, (N_{vc})

O cálculo das necessidades de arrefecimento efectua-se através da equação referida no capítulo 2.

Em primeiro lugar, calculou-se a relação ganhos-perdas (γ).Tendo em conta a relação ganhos-perdas (γ) e a inércia térmica, determinou-se o factor de utilização dos ganhos solares (η). O cálculo das necessidades nominais de arrefecimento (N_{vc}) apresenta-se na tabela seguinte:

Tabela 4.37- Necessidades de Arrefecimento

Valor das necessidades nominais de arrefecimento (Nvc)		
Ganhos Térmicos Totais (FCV.1f)	7168,28	(kWh)
/		
Perdas Térmicas Totais (FCV.1a)	9763,44	(kWh)
=		
Relação Ganhos-Perdas γ	0,73	
Inércia do edifício *(In. Fraca=1; In. Média=2; In. Forte=3)*	3,00	
	1,00	
-		
Factor de utilização dos ganhos solares, η	0,91	
=		
	0,09	
x		
Ganhos Térmicos Totais (FCV.1f)	7168,28	(kWh)
=		
Necessidades Brutas de Arrefecimento	651,02	(kWh/ano)
+		
Consumo dos ventiladores	0,00	
=		
TOTAL	651,02	(kWh/ano)
/		
Área Útil de Pavimento (m^2)	165,26	
=		
Necessidades Nominais de Arrefecimento – N_{vc}	3,94	(kWh/m^2.ano)
≤		
Necessidades Nominais de Arref. Máximas – N_v	21,00	(kWh/m^2.ano)

O valor obtido para as necessidades nominais de arrefecimento (N_{ic}) foi de 3,94 kWh/m^2.ano. Este valor é inferior ao limite (N_i = 21 kWh/ m^2.ano), sendo portanto regulamentar.

4.1.4. Aplicação do Ecotect ao Caso de Estudo

O edifício em estudo foi criado em Ecotect (figura 4.9), com recurso às ferramentas de desenho de que o programa dispõe. O programa define cada compartimento como um volume fechado ("*zonas*"), espelhando todos os aspectos da sua organização, estrutura funcional e materiais.

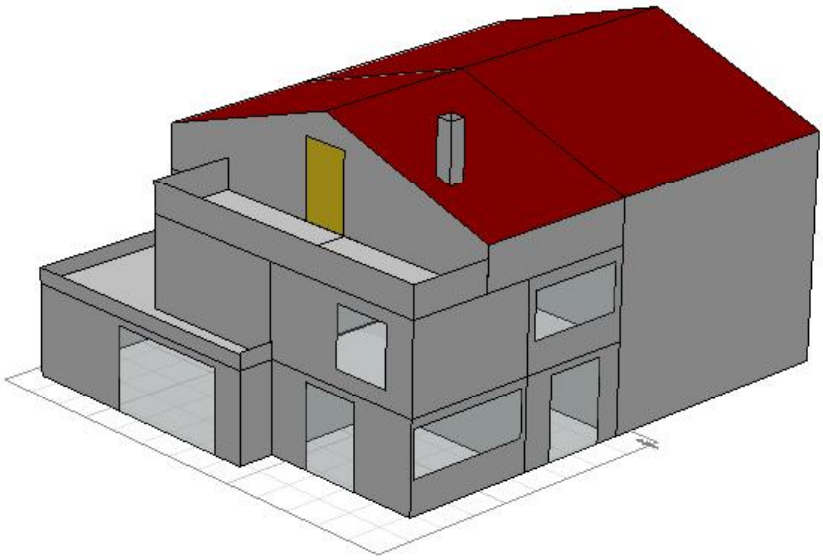


Figura 4.9- Modelo do edifício em Ecotect

Com o modelo definido em Ecotect é necessário introduzir os parâmetros relativos ao edifício, tais como:

- Orientação do edifício;
- Localização do edifício;
- Tipo de Terreno;
- Ficheiro climático associado à zona de implementação do edifício;
- Caracterização dos materiais de construção;
- Actividades (schedules).

Orientação do Edifício

A orientação do edifício foi inserida na simulação com a fachada principal orientada a sul, como definido no projecto da habitação.

Localização do edifício

Foi inserida a localização geográfica do edifício, ilha de São.Miguel, concelho da Ribeira Grande, freguesia das Calhetas, através das suas coordenadas.

Tipo de Terreno

O tipo de terreno pode ser urbano, sub-urbano, rural ou exposto. Para o caso de estudo foi considerado que o edifício se encontra numa zona rural.

Ficheiro Climático

O ficheiro climático cujos parâmetros são relativos à precipitação, temperatura média diária, humidade relativa, radiação solar incidente, entre outros, foi inserido em função da zona climática onde se situa o edifício.

Caracterização dos Materiais de Construção

Os materiais foram introduzidos na simulação através da opcção *Element Library*. Neste campo é inserido cada tipo de elemento construtivo relativamente à sua constituição, bem como os parâmetros relativos ao calor específico, densidade e condutibilidade térmica dos materiais. Estes parâmetros foram obtidos através do ITE 50, (Mendonça 2005) e com recurso à biblioteca de materiais do Ecotect. Na figura 4.10 está representado o exemplo para a envolvente opaca em zona corrente.

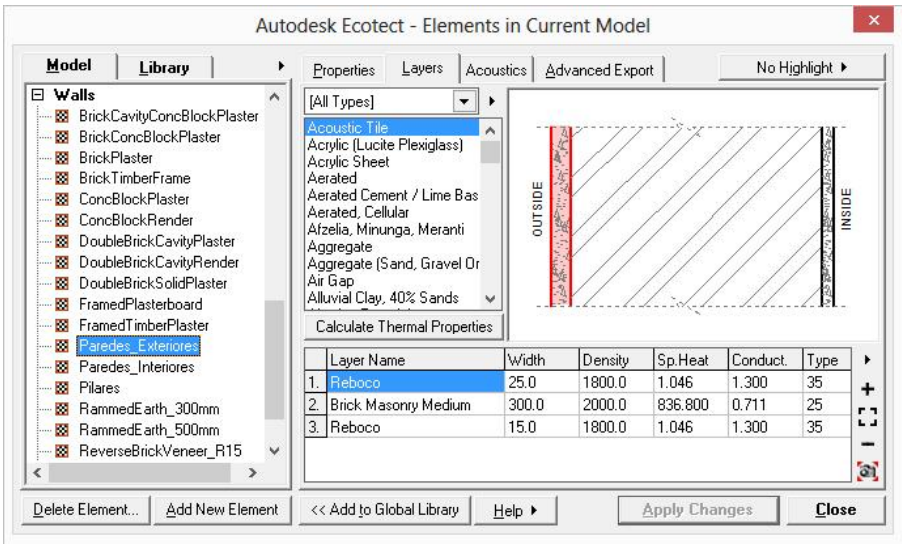


Figura 4.10- Envolvente opaca exterior em zona corrente (Exemplo)

Actividades (*Schedules*)

Neste campo é definido o nível de utilização e de operação do edifício para cada compartimento, tendo em conta as condições interiores de projecto, a ocupação, o nível de metabolismo (em função do tipo de actividade), as infiltrações, o controlo de temperatura e equipamentos AVAC (aquecimento, ventilação e ar condicionado).

Utilizou-se a base de dados do programa para definir todos os campos acima mencionados, caracterizando, assim, o modo de funcionamento da habitação.

Condições interiores de projecto

Neste campo define-se a resistência térmica do vestuário, a humidade relativa, a velocidade do ar e o nível de iluminação. Considerou-se a resistência térmica do vestuário 0,6 *clo,* 60% de humidade relativa, velocidade do ar de 0,5m/s e um nível de iluminação de 300 lux.

Condições de ocupação e operação

Ocupação/Actividade

Considerou-se que a ocupação da habitação seria no mínimo de 1 ocupante e no máximo de 5 (tipologia T4 – 5 ocupantes definidos pelo RCCTE).

Os níveis de metabolismo, considerados segundo o tipo de actividade em cada compartimento, apresentam-se no quadro seguinte:

Tabela 4.38- Tipo de actividade por compartimento

Compartimento	Actividade
Quartos	Reposuso - 45 W
Sala	Reposuso - 45 W
Zona de Circulação	Andar - 150 W
Arrumos	Andar - 80 W
Cozinha	Cozinhar - 95 W
Instalação Sanitária	Andar - 150 W
Sótão	Reposuso - 45 W

Ganhos internos

Nos ganhos internos, considerou-se o valor padrão assumido pelo programa de 4 W/m^2 para equipamentos ocupação e iluminação.

Infiltrações

Considerou-se a taxa de renovação do ar de 0,6 h^{-1} (cumpre a NP-1037-1).

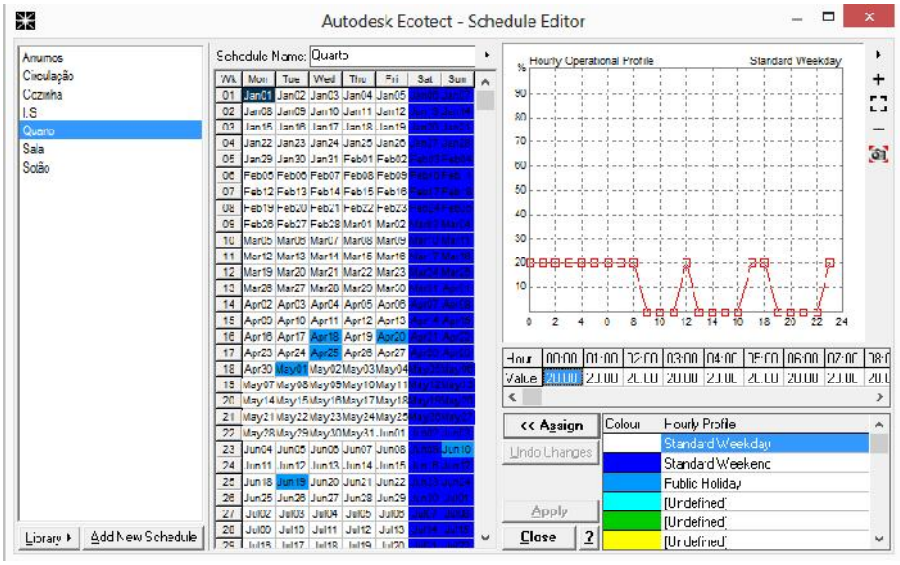
Temperatura Interior

Com o objectivo de controlar a temperatura interior, definiu-se um sistema de climatização que mantenha a temperatura interior entre os 20ºC e os 25ºC.

Horário (Schedule)

Foi definido um horário em função da utilização de cada compartimento, considerando os seus períodos de maior utilização. Na figura abaixo, apresenta-se um exemplo da utilização de um compartimento (quarto), durante um dia de semana.

Tabela 4.39- Horário de utilização por compartimento/quarto



Simulação

Após a introdução de todos os parâmetros relativos à caracterização da habitação, procedeu-se à análise das necessidades energéticas. O processo de cálculo efectua-se através da ferramenta "*Calculate*"→ "*Thermal analysis*" → "*Space loads*". O programa calcula as necessidades energéticas anuais de aquecimento e arrefecimento. O resultado é expresso num gráfico e em valor numérico para cada mês. O gráfico da figura seguinte ilustra o resultado obtido.

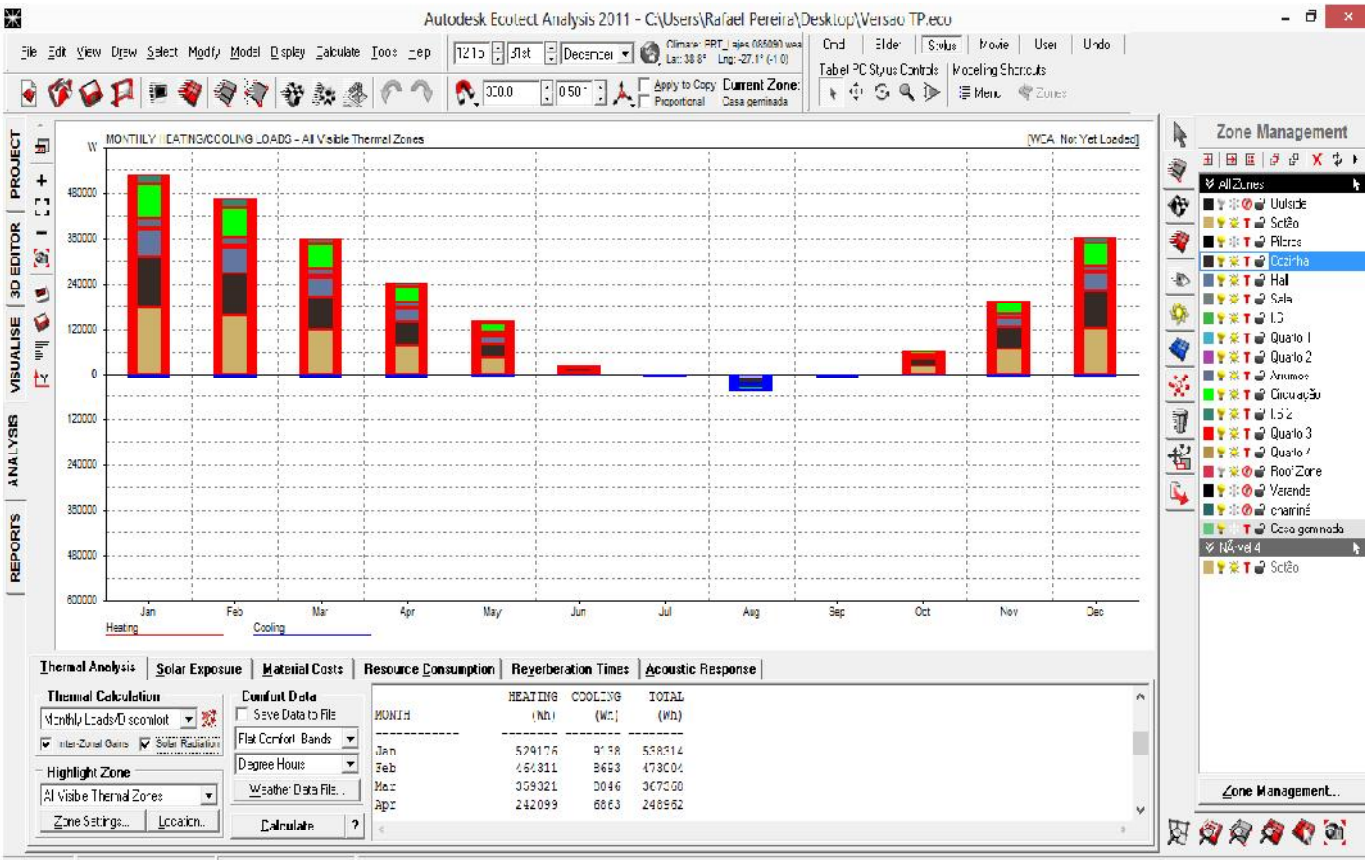


Figura 4.11- Necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento

A tabela seguinte apresenta todos os dados obtidos relativos às necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento do edifício.

Tabela 4.40- Necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento

	Necessidades Energéticas	
Mês	Aquecimento (kWh)	Arrefecimento (kWh)
Janeiro	529,176	9,138
Fevereiro	464,311	8,693
Março	359,321	8,046
Abril	242,099	6,863
Maio	140,296	5,03
Junho	25,055	1,563
Julho	2,197	6,118
Agosto	0,011	45,063
Setembro	1,307	9,434
Outubro	63,005	1,715
Novembro	196,36	4,528
Dezembro	363,86	6,327
Total	2386,998	112,518

O resultado obtido para as necessidades de aquecimento e arrefecimento em função da área útil de pavimento (165,23 m^2) foi de 14,4 kWh/m^2 e 0,68 kWh/m^2, respectivamente.

4.1.5. Proposta de melhoria para o aumento da eficiência energética

O objectivo final da dissertação consiste em optimizar o edifício em estudo, recorrendo à utilização de algumas das soluções passivas referidas no capítulo 3, tendo em vista o aumento da eficiência energética.

O edifício em estudo apenas possui isolamento térmico na cobertura como medida passiva para a redução das necessidades energéticas. A restante constituição da envolvente exterior carece de melhoria, quanto à diminuição do coeficiente de transmissão térmica (*U*), nos envidraçados, na envolvente opaca em zona corrente, na laje do alpendre e nas portas em contacto com o exterior. A colocação de sombreamentos não foi considerada na simulação devido à reduzida área envidraçada a proteger, na orientação Sul.

A introdução de soluções passivas no *software* de simulação é feita por alteração dos pressupostos criados no modelo base. As soluções passivas adoptadas são as seguintes:

- Alteração do vidro simples por vidro duplo com emissividade das superfícies em contacto com a caixa-de-ar baixa;
- Alteração da constituição da envolvente opaca exterior, recorrendo aos sistemas ETICS;
- Alteração do tipo de portas em contacto com o exterior por portas com melhor desempenho térmico;
- Colocação de isolamento térmico na laje do alpendre.

As soluções adoptadas têm como objectivo reduzir o coeficiente de transmissão térmica (*U*), aumentando, assim, a resistência térmica dos elementos que constituem a envolvente exterior. Na tabela seguinte apresentam-se as alterações efectuadas com os respectivos coeficientes de transmissão térmica.

Tabela 4.41- Solução existente/Solução de melhoria

Solução	Elementos	U (W/m^2.ºC)
Existente	Vidro simples	4,8
	Envolvente opaca exterior s/isolamento térmico	3,09
	Laje Alpendre s/isolamento térmico	3,74
	Portas em contacto com o exterior	2,9
Melhoria	Vidro duplo	2,4
	Envolvente opaca exterior c/isolamento térmico (ETICS)	0,58
	Laje Alpendre c/isolamento térmico	0,9
	Portas em contacto com o exterior	2,26

Simulação da proposta de melhoria

Após a alteração dos elementos constituintes da envolvente exterior no programa, procedeu-se ao cálculo das necessidades energéticas do edifício, como calculado no modelo base. O gráfico da figura seguinte ilustra o resultado obtido.

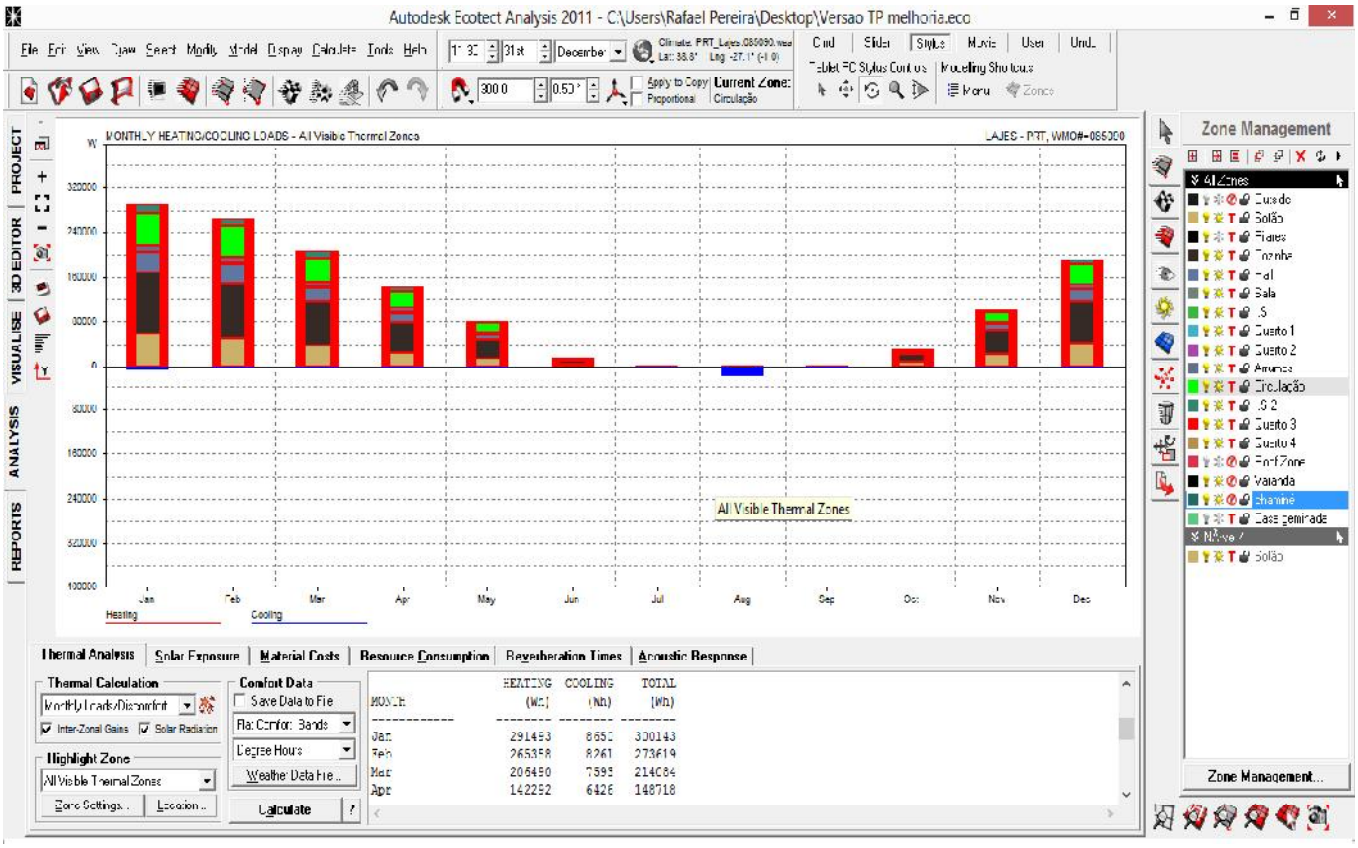


Figura 4.12- Simulação de melhoria

A tabela seguinte apresenta todos os dados obtidos relativos às necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento do edifício.

Tabela 4.42- Necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento

	Necessidades Energéticas	
Mês	Aquecimento (kWh)	Arrefecimento (kWh)
Janeiro	291,493	8,65
Fevereiro	265,358	8,261
Março	206,49	7,593
Abril	142,292	6,426
Maio	81,594	4,619
Junho	13,639	1,396
Julho	1,127	4,215
Agosto	0,003	19,06
Setembro	0,382	4,724
Outubro	31,276	1,547
Novembro	100,952	4,1
Dezembro	192,51	5,84
Total	1327,116	76,431

O resultado obtido para as necessidades de aquecimento e arrefecimento em função da área útil de pavimento (165,23 m^2) foi de 8,03 kWh/m^2 e 0,46 kWh/m^2, respectivamente.

5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Após o cálculo das necessidades energéticas do edifício para a situação existente e para a proposta de melhoria, são agora apresentados e analisados os resultados obtidos.

5.1. Necessidades energéticas (situação existente)

Tabela 5.1- Necessidades energéticas/Situação existente

Situação Existente		
Necessidades energéticas (kWh/m^2.ano)		
Abordagem de cálculo	Aquecimento	Arrefecimento
Rcte	43,97	3,94
Ecotect	14,4	0,68

Analisando os dados referentes à situação existente, verifica-se que os valores obtidos das necessidades nominais de aquecimento e arrefecimento foram sempre superiores na abordagem de cálculo estática (RCCTE) comparativamente à análise dinâmica (Ecotect). Comparando esta análise com o estudo realizado por (Costa 2012) (tabela 2.4), observa-se que a análise pelo RCCTE sobrestima o valor das necessidades energéticas em comparação com as simulações dinâmicas, independentemente do programa utilizado (Ecotect ou Energyplus). Este dado revela que a análise estática é, portanto, mais conservativa que a análise dinâmica, conduzindo as necessidades energéticas a valores superiores.

5.2. Necessidades energéticas (proposta de melhoria)

Fazendo uma análise comparativa entre a situação existente e o modelo optimizado, verifica-se que a introdução de soluções passivas induz uma redução nas necessidades energéticas, tanto de aquecimento como de arrefecimento. A redução registada foi de 44% nas necessidades de aquecimento e de 32% nas de arrefecimento.

Tabela 5.2- Necessidades energéticas/Proposta de melhoria

Proposta de Melhoria		
Necessidades energéticas (kWh/m^2.ano)		
Abordagem de cálculo	Aquecimento	Arrefecimento
Ecotect (modelo base)	14,4	0,68
Ecotect(modelo optimizado)	8,03	0,46

As soluções adoptadas no caso de estudo coincidem com algumas das soluções recomendadas pelos peritos qualificados nos certificados energéticos, mencionadas no subcapítulo 1.9.. Tendo em conta o resultado obtido, e sabendo que só 20 % das sugestões de melhoria propostas nos certificados energéticos são levadas em consideração, verifica-se que estas sugestões podem trazer grandes melhorias ao parque edificado, visto que o resultado é significativo em termos de poupança energética.

6. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

6.1. Conclusão

O parque edificado português é responsável por 30% do consumo global de energia, sendo que mais de 80% dos edifícios que o constituem possuem uma classe de energética igual ou inferior a C. A falta de imposições legais até à década de 1990, relativa ao desempenho energético dos edifícios, levou a que actualmente o parque edificado apresente níveis de eficiência energética muito aquém dos desejados. Esta ineficiência é, por sua vez, o resultado de grande parte destes edifícios não apresentarem as condições necessárias de conforto térmico, conduzindo a uma maior utilização de sistemas de climatização por parte dos ocupantes para atingir as condições interiores desejáveis.

Neste contexto, é essencial desenvolver estratégias sustentáveis na fase de projecto dos edifícios, por forma a se adoptarem soluções eficientes que promovam a utilização racional de energia, contribuindo para a redução das necessidades energéticas do edifício, bem como do seu impacte ambiental e social onde se insere.

Para se proceder à avaliação das necessidades energéticas, recorreu-se a duas análises distintas: o quadro regulamentar, por enquadrar o sistema de avaliação do comportamento térmico dos edifícios em Portugal, e um programa de simulação dinâmica (Ecotect), por ter em conta pressupostos dinâmicos que simulam de uma forma mais real o modo como a habitação é utilizada. O resultado obtido demonstra que a análise, à luz do quadro regulamentar, é mais conservativa que a análise dinâmica, permitindo concluir que a análise dinâmica, por ter em consideração a interacção entre o meio interior e exterior, conseguida pelo recurso ao ficheiro climático e por considerar os padrões de ocupação e utilização do edifício, aproxima-se mais da situação real.

Com base no estudo desenvolvido, procurou avaliar-se o potencial de melhoria que a introdução de soluções passivas poderia produzir na redução das necessidades energéticas de um edifício de habitação. Através do resultado obtido, conclui-se que a utilização de estratégias passivas é uma medida muito eficaz, possibilitando reduzir as necessidades energéticas de aquecimento em 44% e de arrefecimento em 32% no caso de estudo. Este resultado permite ainda concluir que a aplicação das sugestões de melhoria recomendadas pelos peritos qualificados nos certificados energéticos pode conduzir a uma redução significativa nas necessidades energéticas dos edifícios. Uma maior consciencialização para as vantagens destas soluções na reabilitação térmico-energética dos edifícios, pode levar a um aumento na percentagem de aplicabilidade destas soluções, conduzindo o parque edificado a um nível de eficiência mais elevado.

A fase prévia de projecto mostra-se como é o momento mais adequado para se proceder a introdução dos resultados deste tipo de estudo, visto que, para além da possibilidade de testar diferentes soluções, pode ainda contribuir para a optimização do posicionamento e orientação do edifício

face ao percurso solar, ao dimensionamento e abertura de vãos e respectivos sistemas de sombreamento, face aos níveis interiores de iluminação natural, entre outros, que daí resultam.

Apesar de neste trabalho não terem sido realizadas simulações relativas aos níveis de iluminação natural, sombreamentos, temperatura média radiante e orientação do edifício, o co-relacionamento, suportado na bibliografia e nas ferramentas informáticas para estas simulações, podem contribuir de forma ainda mais significativa para a redução do consumo energético.

A utilização do Ecotect como simulador dinâmico provou ser uma ferramenta útil, de fácil manuseamento e compreensão.

6.2. Desenvolvimentos Futuros

Os desenvolvimentos possíveis deste estudo podem focar-se na elaboração de um conjunto de orientações passíveis de serem utilizadas pelos projectistas, tendo em consideração os contextos climáticos, o desenho e construção de uma base de dados de resultados padrão que auxiliem na avaliação e comparação das melhores práticas para a cada região e tipologia de edifício.

7. BIBLIOGRAFIA

ADENE. -*Eficiência Energética - O Sistema de Certificação Energética e o seu Impacto*. Energia 2020, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 2010. http://energia2020.fc.ul.pt/energia2020/apresentacoes/Paulo_Santos_Energia2020.pdf (10/02/2014)

ADENE. -*Guia da Eficiência Energética*.Agência para a Enegia, Portugal, 2012.

ADENE, LNEG, ANQEP, DGEG. -*Projecto Builg up Skills Portugal 2012. Formação para as renováveis e Eficiência Energética no Sector da Construção. http://www.lneg.pt/download/6668/Draft%20of%20analysis%20report%20of%20national%20status%20quo_May_2012_PT.pdf (12/03/2014)*

Aelenei, D. -*RCCTE "Light"*. Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa, 2009.

Afonso, J. -*Estudo do Comportamento Térmico de Edifícios Antigos- Um Caso de Estudo*, Dissertação de Mestrado Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Monte de Caparica, 2009

Amado, M.P., 2002. -*Energy Conservation in Habitation Buildings and the Level of Environmental Comfort*. Housing Construction – An Interdisciplinary Task. Coimbra, Portugal: Wide Dreams – Projectos Multimédia, 2002.

Amado, M. P.,Pinto, A.J, Santos, C.V. - *The Sustainable Building Process*, in CD: Ron Wakefield (eds.): RMIT University, Australia, ISBN: 978-1-921166-68-6, 2007

APEMIP. -*Catálogo Estudos de Mercado*, Lisboa, 2013. http://www.apcmc.pt/noticias/2013/img/APEMIP_Catalogo_Estudos.pdf (15/01/2014)

Araújo, L., Coelho, M.J. -*Políticas públicas de energia e ambiente: Rumo a um país sustentável? Sociologia, Problemas e Práticas*, nº 72, págs.145–158, Editora Mundos Sociais, 2013.

Athientis, A.K., Santamouris, M. -*Thermal Analysis and Design of Passive Solar Buildings, James and James Science publishers* 2002.

Autodesk Ecotect. 2013. http://sustainabilityworkshop.autodesk.com/buildings/Ecotect-heat-gainslosses, (21/02/2014)

Balaras, C.A.,Droutsa, K., Argiriou, A.A., Asimakopoulos,D.N. - *Potential for energy conservation in apartment buildings. Energy and Buildings*, vol.31, nº2, págs.143–154, 2000.

Beattie, K.H., Ward, I.C. -*The Advantages of Building Simulation For Building Design Engineers.* Proceedings from the Building Simulation Conference 2: págs. 1071- 1078, 1999.

Boyano, A., Hernandez, P., Wolf, O. -*Energy demands and potential savings in European office buildings: Case studies based on EnergyPlus simulations. Energy and Buildings*, vol.65, págs.19–28, 2013.

Cabral, P. *O PNAER e as perspetivas de futuro para a PRE Renovável,* 2012. http://www.apren.pt/fotos/editor2/conferencia_apren_pedro_cabral_dgeg.pdf (26/01/2014)

CAD, 2013. http://planetacad.com/. (20/01/2014)

Capros, P., Mantzo, L., Parousos, L., Tasios, N., Klaassen, G., Ierland, T. -*Analysis of the EU policy package on climate change and renewables*. *Energy Policy*, vol.39, nº 3, págs. 1476–1485, 2011.

Casquiço, M., Santos, P. -*Energy Performance Certification in Portugal as a tool to achieve real energy savings in buildings*, 2010. http://www2.adene.pt/pt-pt/SubPortais/SCE/Informacao/Publicoemgeral/Documents/IISBE_de1003.pdf (05/02/2014)

Construção Sustentável, 2013. http://www.construcaosustentavel.pt/. (04/01/2014)

Correia, R. -*Construção sustentável de edifícios de balanço energético quase zero*. Dissertação de Mestrado Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Monte de Caparica, 2012.

Costa, S. - *Desempenho energético de edifícios residenciais no contexto da regulamentação térmica com recurso ao Energy Plus e TRNSYS*. Dissertação de Mestrado Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Monte de Caparica, 2012.

Crawley, D.B., Hand, J., Kummert, M., Griffth, B. -*Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs. Building and Environment*, vol.43, nº4, págs..661–673, 2008.

DGEG - Direcção Geral de Energia e Geologia, 2014. http://www.dgeg.pt (10/02/2014)

DGGE- Direcção Geral de Geologia e Energia. *Reabilitação energética da envolvente de edifícios residenciais*,Lisboa, ISBN:972-8268-33-5, 2004

Directiva 2002/91/CE. Directiva 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de Dezembro de 2002. , relativa ao desempenho energético dos edifícios. Jornal Oficial das Comunidades Europeias, vol.4.1.2003, págs L 1/65 - L 1/71. 2003.

Djongyang, N., Tchinda, R., Njomo, D. -*Thermal comfort: A review paper.Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol.14, nº9, págs. 2626–2640, 2010.

Duarte, A.P. *Construção Sustentável : Oportunidades e Boas Práticas*. Semana Europeia da Energia Sustentável, Celorico da Beira, 2011. http://repositorio.lneg.pt/bitstream/10400.9/1443/1/Construcao%20Sustentavel.pdf (21/03/2014)

Ecocasa. *Arquitectura Bioclimática - Orientação Solar*, 2013. http://ecocasa.pt/construcao_content.php?id=22. (22/03/2014)

EnergyPlus. -*Getting Started with EnergyPlus - Basic Concepts Manual - Essential information wou need about running Energyplus*, University of Illinois, 2013. http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/pdfs/gettingstarted.pdf (25/01/2014)

Feng, Y. -*Thermal design standards for energy efficiency of residential buildings in hot summer/cold winter zones. Energy and Buildings*, vol.36, nº12, págs.1309–1312, 2004.

Fernandes, D., Santos, C., Faria, P.. *A Realidade da Reabilitação em Portugal – Uma Abordagem Térmico-Energética*, Congresso Internacional da Habitação no espaço Lusófuno, 2013.

Ferreira, J., Pinheiro, M. -*In search of better energy performance in the Portuguese buildings— The case of the Portuguese regulation*. *Energy Policy*, vol.39, nº12, págs.7666–7683, 2011.

Frontczak, M. & Wargocki, P. -*Literature survey on how different factors influence human comfort in indoor environments. Building and Environment*, vol.46, nº 4, págs.922–937, 2011.

Ganhão, A. -*Construção Sustentável - Propostas de melhoria da eficiência energética em edifícios de habitação*. Dissertação de Mestrado Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Monte de Caparica, 2011.

Ghisi, E., Tinker, J. a. -*Evaluating the potential for energy savings on lighting by integrating fibre optics in buildings. Building and Environment*, vol.41, nº12, págs.1611–1621, 2006.

Gonçalves, H., Graça, J.M. -*Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal*,Lisboa, ISBN: 972-8268-34-3, 2004.

Henriques, F. -*Comportamento Higrotérmico De Edifícios. Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa, Monte de Caparica*, 2007.

Hong, T., Chou, S., Bong, T. - *Building simulation: an overview of developments and information sources. Building and Environment*, vol.35, nº 4, págs.347–361, 2000.

IDEAL-EPBD, 2014. http://www.ideal-epbd.eu/. (19/02/2014)

INE, I.P., DGEG. -*Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico 2010*,Lisboa, ISBN: 978-989-25-0130-7 2010.

INE, I.P. *Estatísticas da Construção e Habitação 2011-Lisboa-Portugal*,ISBN:978-989-25-0165-9, 2011.

INE.I.P, LNEC. *O Parque Habitacional e a sua Reabilitação Análise e Evolução 2001-2011*, Lisboa, ISBN: 978-989-25-0246-5, 2013.

International Energy Agency. Key World Energy Statistics, 2013. http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2013.pdf (11/12/2013)

Isolani, T.P. et al. -*Eficiência energética nos edifícios residenciais, Manual do Consumidor*. Lisboa, DECO, 2008

Kayfeci, M., Keçebaş, A., Gedik, E. -*Determination of optimum insulation thickness of external walls with two different methods in cooling applications. Applied Thermal Engineering*, vol.50, nº 1, págs.217–224, 2013.

Kim, G., Lim, H., Lim, T., Schaefer, L., Kim, J. -*Comparative advantage of an exterior shading device in thermal performance for residential buildings*. *Energy and Buildings*, vol.46, págs.105–111, 2012.

Land, S. van der., Schouten, A.P., Feldberg, F., Hooff, B., Huysman, M. -*Lost in space? Cognitive fit and cognitive load in 3D virtual environments. Computers in Human Behavior.vol.* 29, nº 3, págs.1054–1064, 2013.

Larsen, S.F., Filippín, C., Beascochea, A., Lesino, G. -*An experience on integrating monitoring and simulation tools in the design of energy-saving buildings*. *Energy and Buildings*, vol.40, nº 6, págs.987–997, 2008.

LNEC. -*A Iluminação natural nos edifícios- Uma abordagem no contexto do conforto e da eficiência energética*,Lisboa, 2013. http://www.lnec.pt/congressos/eventos/pdfs/ste14.pdf (12/02/2014)

Macedo, M. -*Contributos para a construção de manual de boas práticas para a reabilitação energética de edifícios de habitação*. Dissertação de Mestrado Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Monte de Caparica,2013.

Magalhães, S.M.C., Leal, V.M.S. -*Characterization of thermal performance and nominal heating gap of the residential building stock using the EPBD-derived databases: The case of Portugal mainland. Energy and Buildings*, vol.70, págs.167–179 , 2014.

Manz, H. -*On minimizing heat transport in architectural glazing*. *Renewable Energy*, vol.33, nº 1, págs.119–128,2008.

Mateus, P., Soares,S. -*The potential for energy efficient buildings in Portugal*. Portugal, 2011. http://www2.adene.pt/pt-pt/SubPortais/SCE/Informacao/Publicoemgeral/Documents/Article_PCEEE_ADENE_120622.pdf (14/02/2014)

Mendonça, P. -*Habitar sob uma segunda pele : estratégias para a redução do impacto ambiental de construções solares passivas em climas temperados*, Tese de Doutoramento em Engenharia Civil, Universidade do Minho,2005.

Morrissey, J., Moore, T., Horne, R.E. -*Affordable passive solar design in a temperate climate: An experiment in residential building orientation*. *Renewable Energy*, vol.36, nº 2, págs.568–577, 2011.

Mourão, J; Branco, J. -*Sustentabilidade Ambiental da Habitação e Áreas Residenciais*, Lisboa: Ed LNEC, 2005.

Nascimento, C., Gonçalves, H. *Prémio DGE 2003 Eficiência Energética em Edifícios*,Lisboa, ISBN: 972-8268-36-X, 2005.

Nguyen, A.-T., Reiter, S., Rigo, P. -*A review on simulation-based optimization methods applied to building performance analysis. Applied Energy*, vol.113, págs.1043–1058, 2014.

Nicol, J.F., Humphreys, M. a. -*Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. Energy and Buildings*, vol.34, nº 6, págs.563–572, 2002.

Norhidayah, A., Chia-Kuang, L., Azhar, M.K., Nurulwahida, S. -*Indoor Air Quality and Sick Building Syndrome in Three Selected Buildings. Procedia Engineering*, vol.53, págs.93–98, 2013.

Pacheco, R., Ordóñez, J., Martínez, G. -*Energy efficient design of building: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol.16, nº 6, págs.3559–3573, 2012.

Palhinha, M. -*Sistemas de Sombreamento em Arquitectura: Proposta de um novo método de concepção e dimensionamento*,Dissertação de Mestrado Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2009.

PORTUGAL2020. -*Programa Nacional de Reformas*, 2011. http://ec.europa.eu/europe2020/pdf/nrp/nrp_portugal_pt.pdf (22/02/2014)

Rasmussen, B. -*Sound insulation between dwellings – Requirements in building regulations in Europe. Applied Acoustics*, vol. 71, nº 4, págs.373–385, 2010.

RCCTE - *"Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios"* - Decreto-Lei n.º 80/2006, de 4 de Abril,Portugal, 2006.

Resolução do Conselho de Ministros n.º 80/2008. Diário da República, vol. 1.ª Série - N.º 97 -20 de Maio de 2008, 2008.

Resolução do Concelho de Ministros n.º20/2013.Diário da República, 1.ªsérie - nº 70-10 de Abril de 2013, 2013.

Roriz, L., Silva, O. -*Efeitos da metodologia aplicada na simulação energética de edifícios*, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2008.

Sadineni, S.B., Madala, S., Boehm, R.F. -*Passive building energy savings: A review of building envelope components*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol.15, nº 8, págs.3617–3631,2011.

Samuel, D.G.L., Nagendra, S.M.S., Maiya, M.P., 2013. -*Passive alternatives to mechanical air conditioning of building: A review*. *Building and Environment*, vol.66, págs.54–64, 2013.

Santos, P., Baptista, N. -*Desempenho energético dos edifícios – o impacto dos regulamentos na construção e as oportunidades de melhoria do parque habitacional*, Adene, Lisboa, 2010.

Sarbu, I., Sebarchievici, C. -*Aspects of indoor environmental quality assessment in buildings*. *Energy and Buildings*, vol.60, págs.410–419, 2013.

Silva, S. -*A Sustentabilidade e o Conforto das Construções*. Tese de Doutoramento em Engenharia Civil, Universidade do Minho, 2009.

Silva, V. - *Guia para a Reabilitação: Isolamento térmico de edifícios correntes com poliestireno extrudido*, Portugal, 2013.

Sirgado, J. -*Análise do Impacte dos Vãos Envidraçados no Desempenho Térmico dos Edifícios*. Dissertação de Mestrado Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2010.

Soares, N., COsta, J.J., Gaspar, A.R., Santos, P. -*Review of passive PCM latent heat thermal energy storage systems towards buildings' energy efficiency*. *Energy and Buildings*, vol.59, págs.82–103, 2013

Soubdhan, T., Feuillard, T., Bade, F. -*Experimental evaluation of insulation material in roofing system under tropical climate*. *Solar Energy*, vol.79, nº 3, págs.311–320, 2005.

Veiga, R.M., Malanho, S. -*Sistemas Compósitos de Isolamento Térmico pelo Exterior (ETICS): Comportamento global e influência dos componentes*, Portugal,LNEC, 2010.

Viegas, J.C. *Ventilação Natural de Edifício de Habitação*,Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1995.

WBCSD. - *World Business Council for Sustainable Development, Transforming the Market: Energy Efficiency in Buildings,* 2009.

Wu, C.-F., Chiang, M.-C. -*Effectiveness of applying 2D static depictions and 3D animations to orthographic views learning in graphical course. Computers & Education*, vol. 63, págs.28–42, 2013.