



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UMA
RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR EM DIFERENTES ZONAS
CLIMÁTICAS DE PORTUGAL PELO RCCTE**

PEDRO FILIPE DELGADO CONSTANTINO

Área: Construção Civil

Orientador: Professor Roberto Lamberts, PhD

Florianópolis, 2010

PEDRO FILIPE DELGADO CONSTANTINO

**“Avaliação da eficiência energética de uma residência unifamiliar em
diferentes zonas climáticas de Portugal pelo RCCTE”**

Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil da Universidade Federal de
Santa Catarina, como requisito para Graduação.

Orientador: Prof. Roberto Lamberts PhD

Florianópolis

Julho de 2010

PEDRO FILIPE DELGADO CONSTANTINO

**“Avaliação da eficiência energética de uma residência unifamiliar em
diferentes zonas climáticas de Portugal pelo RCCTE”**

Este trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção de Graduação em Engenharia Civil e aprovado em sua forma final junto à Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, SC.

Banca Examinadora, integrada pelos Professores:

Orientador: Prof. Roberto Lamberts, PhD

Dr. Martin Ordenes Mizgier

Dr. Deivis Marinoski

Florianópolis

Julho de 2010

Agradecimentos

Aos meus pais António e Maria Teresa, por tudo o que têm feito por mim, ao longo das suas vidas.

Ao meu irmão Júlio, pelo apoio e amizade.

Aos meus avós Avelino e Maria Amélia, por todo o carinho e preocupação.

À Rita, por acreditar nas minhas capacidades, por todo o incentivo e por todos os momentos inesquecíveis.

Ao meu orientador Roberto Lamberts, por ter permitido a realização deste trabalho e por toda a disponibilidade.

Aos meus amigos Bruno Curado, Joana Pinto, João Presa, Miguel Oliveira, Ricardo Sousa, Rodrigo Lopes e Teresa Sousa, por terem ajudado a tornar este ano inesquecível.

A todos os meus amigos em Portugal, pelo constante desejo do meu regresso.

Resumo

O setor dos edifícios é responsável por cerca de 40% do consumo da energia final na Europa. No entanto, estudos provam que mais de 50% deste consumo pode ser reduzido através de medidas de eficiência energética, o que pode representar uma redução anual de 400 milhões de toneladas de CO₂ – o que satisfaria quase na plenitude o compromisso da União Europeia no âmbito do Protocolo de Kioto.

Assim, os Estados-Membros da União Europeia têm vindo a desenvolver um conjunto de medidas com vista a promover a melhoria do desempenho energético e das condições de conforto dos edifícios.

Em Portugal, o Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 Abril, Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), indica as regras a observar no projeto de todos os edifícios de habitação e dos edifícios de serviços sem sistemas de climatização centralizados de modo que as exigências de conforto térmico, seja ele de aquecimento ou de arrefecimento, e de ventilação para garantia de qualidade do ar no interior dos edifícios, bem como as necessidades de água quente sanitária, possam vir a ser satisfeitas sem dispêndio excessivo de energia;

É nesse regulamento que este trabalho se baseia tendo como objetivo estudar a influência de clima, envolvente exterior, equipamentos de aquecimento e produção de águas quentes sanitárias e tendo em vista a obtenção de uma classificação energética de excelência

Se avaliou a eficiência energética do mesmo projeto para três zoneamentos climáticos distintos, em Portugal alterando em primeiro lugar a envolvente opaca exterior, seguido do tipo de envidraçados e dos sistemas de aquecimento e produção de águas quentes sanitárias.

Os resultados obtidos permitiram concluir que uma das zonas climáticas escolhidas é demasiado condicionante para regulamentar o projeto inicial; a alteração da espessura de isolamento térmico e do tipo de envidraçados afeta a eficiência energética de um edifício, mas para o caso estudado só depois da alteração dos sistemas de aquecimento e produção de águas quentes sanitárias se conseguiu obter uma classificação A+.

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. A CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL	1
1.1.1. O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL	1
1.1.2. A CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL.....	3
1.1.2.1. EVOLUÇÃO HISTÓRICA.....	3
1.1.2.2. MATERIAIS, PRODUTOS E RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO.....	6
1.2. ENERGIA.....	8
1.2.1. ENQUADRAMENTO E EVOLUÇÃO HISTÓRICA.....	8
1.2.2. CONSUMO ENERGÉTICO EM PORTUGAL	9
1.2.3. INTRODUÇÃO À EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	12
1.3. NOVA LEGISLAÇÃO PARA OS EDIFÍCIOS.....	15
1.3.1. A CERTIFICAÇÃO DOS EDIFÍCIOS	15
1.3.2. REGULAMENTO DOS SISTEMAS ENERGÉTICOS DE CLIMATIZAÇÃO EM EDIFÍCIOS (RSECE).....	17
1.3.3. REGULAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS DE COMPORTAMENTO TÉRMICO DOS EDIFÍCIOS (RCCTE) .	18
1.4. OBJETIVO	20
1.4.1. OBJETIVO GERAL	20
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
1.4.3. FLUXOGRAMA COM AS ETAPAS DO TRABALHO	20
1.5. ESTRUTURA DO TRABALHO	21
2. BIOCLIMATOLOGIA E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	22
2.1. CONCEITOS PRINCIPAIS.....	22
2.1.1. GEOMETRIA SOLAR	23
2.1.2. ORIENTAÇÃO DE FACHADAS ENVIDRAÇADAS	24
2.1.3. ENVOLVENTE DOS EDIFÍCIOS	26
2.1.3.1. ENVOLVENTE EXTERIOR	26
2.1.3.2. COBERTURAS.....	27
2.1.3.3. VIDROS E JANELAS	28
2.1.4. VENTILAÇÃO NOS EDIFÍCIOS	29
2.2. AQUECIMENTO E ARREFECIMENTO.....	31
2.2.1. SISTEMAS PASSIVOS PARA AQUECIMENTO.....	35
2.2.2. SISTEMAS PASSIVOS PARA ARREFECIMENTO	37
2.2.3. SISTEMAS ATIVOS PARA AQUECIMENTO E ARREFECIMENTO	38
2.2.3.1. SISTEMA DE AQUECIMENTO CENTRAL	38
2.2.3.2. AR CONDICIONADO.....	39
2.3. PRODUÇÃO DE ÁGUA QUENTE PARA USO DOMÉSTICO	41
2.3.1. ESQUENTADORES A GÁS E CALDEIRAS.....	41

2.3.2. TERMOACUMULADORES ELÉTRICOS	42
2.3.3. PAINÉIS SOLARES	42
3. REGULAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS DE COMPORTAMENTO TÉRMICO DOS EDIFÍCIOS.....	48
3.1. ESTRUTURA DO REGULAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS DE COMPORTAMENTO TÉRMICO DOS EDIFÍCIOS (RCCTE).....	48
3.2. MÉTODO DE CÁLCULO DAS NECESSIDADES DE AQUECIMENTO (N_{IC})	55
3.2.1. PERDAS DE CALOR POR CONDUÇÃO ATRAVÉS DA ENVOLVENTE, Q_T	55
3.2.1.1. PERDAS PELA ENVOLVENTE EM ZONA CORRENTE, Q_{EXT}	56
3.2.1.2. PERDAS PELA ENVOLVENTE EM ZONA CORRENTE, Q_{LNA}	57
3.2.1.3. PERDAS POR PAVIMENTOS E PAREDES EM CONTACTO COM O SOLO, Q_{PE}	58
3.2.1.4. PERDAS DE CALOR PELAS PONTES TÉRMICAS LINEARES, Q_{PT}	59
3.2.2. PERDAS DE CALOR RESULTANTES DA RENOVAÇÃO DE AR, Q_V	60
3.2.2.1. DETERMINAÇÃO DA TAXA DE RENOVAÇÃO HORÁRIA NOMINAL.....	61
3.2.3. GANHOS TÉRMICOS ÚTEIS NA ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO, Q_{GU}	62
3.2.3.1. GANHOS TÉRMICOS BRUTOS RESULTANTES DE FONTES INTERNAS, Q_I	63
3.2.3.2. GANHOS SOLARES BRUTOS ATRAVÉS DOS ENVIDRAÇADOS, Q_S	65
3.3. MÉTODO DE CÁLCULO DAS NECESSIDADES DE ARREFECIMENTO (N_{VC})	73
3.3.1. CARGAS ATRAVÉS DA ENVOLVENTE OPACA EXTERIOR, Q_{OPACO}	74
3.3.2. GANHOS SOLARES ATRAVÉS DOS VÃOS ENVIDRAÇADOS, Q_S	75
3.3.3. CARGAS DEVIDAS À RENOVAÇÃO DO AR, Q_V	76
3.3.4. CARGAS INTERNAS, Q_I	76
3.4. MÉTODO DE CÁLCULO DAS NECESSIDADES DE ENERGIA PARA PREPARAÇÃO DE AQS (N_{AC})	77
3.4.1. ENERGIA DISPENDIDA COM SISTEMAS CONVENCIONAIS DE PREPARAÇÃO DE AQS, Q_A	77
3.4.2. EFICIÊNCIA DE CONVERSÃO DO SISTEMA DE PREPARAÇÃO DAS AQS, η_A	78
3.4.3. CONTRIBUIÇÃO DE SISTEMAS SOLARES DE PREPARAÇÃO DE AQS, E_{SOLAR}	78
3.4.4. CONTRIBUIÇÃO DE OUTRAS FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEL, E_{REN}	78
3.4.5. NECESSIDADES GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA, N_{TC}	79
3.5. COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA, U	81
3.6. INÉRCIA TÉRMICA, I_T	83
3.7. LIMITAÇÃO DAS NECESSIDADES NOMINAIS GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA ...	85
3.7.1. VALORES LIMITES DAS NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO, N_I	85
3.7.2. VALORES LIMITES DAS NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO, N_V	86
3.7.3. VALORES LIMITES DAS NECESSIDADES DE ENERGIA PARA PREPARAÇÃO DAS AQS, N_A	86
3.7.4. O VALOR MÁXIMO ADMISSÍVEL DE NECESSIDADES NOMINAIS GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA, N_T	86
4. CASO DE ESTUDO	88

4.1. CASO 1 – ANÁLISE TÉRMICA DA EDIFICAÇÃO LOCALIZADA EM 3 DIFERENTES ZONAS CLIMÁTICAS	88
4.1.1. INTRODUÇÃO.....	88
4.1.2. A EDIFICAÇÃO	89
4.1.2.1. DADOS ARQUITETÔNICOS	89
4.1.2.2. VÃOS ENVIDRAÇADOS	90
4.1.2.3. DADOS CLIMÁTICOS.....	91
4.1.2.4. PRESSUPOSTOS DE CÁLCULO PARA AQS.....	92
4.1.2.5. SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO	94
4.1.3. QUANTIFICAÇÃO DOS REQUISITOS ENERGÉTICOS	94
4.1.3.1. NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL DE AQUECIMENTO, N_i	94
4.1.3.2. NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL DE ARREFECIMENTO, N_v	94
4.1.3.3. LIMITAÇÃO DAS NECESSIDADES DE ENERGIA PARA PREPARAÇÃO DAS AQS, N_a	95
4.1.3.4. LIMITAÇÃO DAS NECESSIDADES NOMINAIS GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA, N_T	95
4.1.4. QUANTIFICAÇÃO DOS PARÂMETROS TÉRMICOS.....	95
4.1.4.1. COEFICIENTES DE TRANSMISSÃO TÉRMICA, U	95
4.1.4.2. COEFICIENTES DE TRANSMISSÃO TÉRMICA LINEAR, ψ	98
4.1.4.3. INÉRCIA TÉRMICA, I_T	99
4.1.5. RESULTADOS	100
4.1.5.1. QUANTIFICAÇÃO DOS REQUISITOS ENERGÉTICOS	100
4.1.5.2. VERIFICAÇÃO DO RCCTE	101
4.1.5.3. INTERPRETAÇÃO DE RESULTADOS	103
4.2. CASO 2 – ANÁLISE TÉRMICA DA MORADIA NA COVILHÃ E OVAR COM MELHORIA DE CARACTERÍSTICAS DA ENVOLVENTE.	105
4.2.1. INTRODUÇÃO.....	105
4.2.2. PRESSUPOSTOS DE CÁLCULO	105
4.2.3. RESULTADOS	107
4.2.3.1. QUANTIFICAÇÃO DOS REQUISITOS ENERGÉTICOS	107
4.2.3.2. VERIFICAÇÃO DO RCCTE	108
4.2.3.3. INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS	109
4.3. CASO 3 – ANÁLISE TÉRMICA DO CASO DA MORADIA NA ZONA CLIMÁTICA DE OVAR COM MELHORIA DE CARACTERÍSTICAS DOS ENVIDRAÇADOS EXTERIORES.	
110	
4.3.1. INTRODUÇÃO.....	110
4.3.2. PRESSUPOSTOS DE CÁLCULO	110
4.3.3. RESULTADOS	110
4.3.3.1. QUANTIFICAÇÃO DOS REQUISITOS ENERGÉTICOS	110
4.3.3.2. VERIFICAÇÃO DO RCCTE	111
4.3.3.3. INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS	111

4.4. CASO 4 – ANÁLISE TÉRMICA DO CASO DA MORADIA NA ZONA CLIMÁTICA DE OVAR COM MELHORIA DE CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS DE AQUECIMENTO E PREPARAÇÃO DE AQS.....	112
4.4.1. INTRODUÇÃO.....	112
4.4.2. PRESSUPOSTOS DE CÁLCULO	112
4.4.3. RESULTADOS	113
4.4.3.1. QUANTIFICAÇÃO DOS REQUISITOS ENERGÉTICOS	113
4.4.3.2. VERIFICAÇÃO DO RCCTE	113
4.4.3.3. INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS	113
5. CONCLUSÕES.....	115
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	118
7. ANEXOS.....	120

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Pilares do desenvolvimento sustentável	2
Figura 2 - Modelo Pressão-Estado-Resposta [3].....	3
Figura 3 - Aspectos competitivos na construção tradicional.....	4
Figura 4 - Construção eco-eficiente	4
Figura 5 - Construção sustentável.....	5
Figura 6 - Ciclo de vida de um edifício	7
Figura 7 - Três fontes de energia renovável: solar, eólica e biomassa	8
Figura 8 - Consumos energéticos por atividade [7].....	10
Figura 9 - Consumo energético de edifícios residenciais [7]	11
Figura 10 - Modelo de certificação energética para edifícios	17
Figura 11 - Percursos do Sol ao longo do ano	23
Figura 12 - Isolamento térmico em cobertura horizontal	28
Figura 13 - Isolamento térmico em cobertura inclinada.....	28
Figura 14 - Mapas climáticos de Portugal	34
Figura 15 - Sistema de ganho direto [11]	35
Figura 16 - Sistema de ganho indireto - Parede de Trombe [11].....	36
Figura 17 - Sistema de ganho isolado [11].....	37
Figura 18 - Exemplos de um radiador e de um toalheiro.....	39
Figura 19 - Sistemas de ar condicionado	40
Figura 20 - Esquentador a gás	41
Figura 21 - Termoacumulador elétrico	42
Figura 22 - Esquema de um coletor plano [16].....	43
Figura 23 - Esquema de um coletor concentrador [16]	44
Figura 24 - Esquema de um coletor de tubo de vácuo [16].....	44
Figura 25 - Representação de um sistema tipo termossifão	45
Figura 26 - Representação de um sistema de circulação forçada.....	45
Figura 27 - Inclinação ideal dos painéis consoante as estações do ano [17].....	46
Figura 28 - Radiação solar horizontal diária em Portugal [9].....	46
Figura 29 - Elementos de construção em contacto com o solo	58
Figura 30 - Ponte térmica linear numa ligação entre duas paredes verticais	59

Figura 31 - Zonas climáticas consideradas	88
Figura 32 – Alçados da moradia em estudo	90
Figura 33 – Quantificação e comparação de N_{ic} , N_{vc} e N_{ac}	103
Figura 34 – Quantificação e comparação de N_{tc} . Valores de N_{tc}/N_t	103
Figura 35 - Classes energéticas	104
Figura 36 - Classificação da eficiência energética – Ovar (Caso 1)	104
Figura 37 - Quantificação e comparação de N_{ic} , N_{vc} e N_{ac}	109
Figura 38 - Quantificação e comparação de N_{tc} . Valores de N_{tc}/N_t	109
Figura 39 - Classificação da eficiência energética – Ovar (Caso 4)	114

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Exigências do RCCTE.....	87
Tabela 2 - Intensidade da radiação solar	92
Tabela 3 - Dados de ocupação	93
Tabela 4 - Energias e Equipamentos para Climatização.....	94
Tabela 5 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica para a Parede exterior....	96
Tabela 6 - Cálculo da inércia térmica, I_t	100
Tabela 7 - Quantificação dos requisitos energéticos.....	101
Tabela 8 - Verificação do RCCTE – Covilhã	101
Tabela 9 - Verificação do RCCTE – Ovar	102
Tabela 10 - Verificação do RCCTE – Évora.....	102
Tabela 11 - Espessuras de isolamentos (Casos 1 e 2)	105
Tabela 12 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica para a Parede exterior	106
Tabela 13 - Coeficientes de transmissão térmica (casos 1 e 2).....	107
Tabela 14 - Quantificação dos requisitos energéticos.....	107
Tabela 15 - Verificação do RCCTE – Covilhã	108
Tabela 16 - Verificação do RCCTE – Ovar	108
Tabela 17 - Quantificação dos requisitos energéticos.....	110
Tabela 18 - Verificação do RCCTE – Ovar	111
Tabela 19 - Quantificação dos requisitos energéticos.....	113
Tabela 20 - Verificação do RCCTE – Ovar	113

1. INTRODUÇÃO

1.1. A CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL

1.1.1. O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

O tema do desenvolvimento sustentável começou a aparecer na segunda metade do século XX como resultado da percepção, por parte do Homem, da progressiva degradação que o desenvolvimento estava provocando no Meio Ambiente.

A definição do conceito “desenvolvimento sustentável” já teve algumas mudanças ao longo do tempo e é Brundtland que o define da forma que é mais utilizada nos dias de hoje: “Por desenvolvimento sustentável entende-se o desenvolvimento que satisfaz as necessidades atuais sem comprometer a capacidade das gerações futuras para satisfazerem as suas próprias necessidades.” [1]

Na senda de continuar a explorar melhor o tema em questão, realizou-se, no Rio de Janeiro a Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente e o Desenvolvimento (segunda "Cimeira da Terra"), onde nasce a Agenda 21, e são aprovadas a Convenção sobre Alterações Climáticas, Convenção sobre Diversidade Biológica (Declaração do Rio), bem como a Declaração de Princípios sobre Florestas. A Agenda 21 continha recomendações e referências sobre como alcançar um desenvolvimento sustentável e que deveriam ser implantadas até ao início do século 21. Ao mesmo tempo que criticava o modelo de desenvolvimento vigente na altura, avançava com uma nova sociedade, justa, ecologicamente responsável e que fosse ao mesmo tempo produtora e produto do desenvolvimento sustentável. [2]

De maneira a alcançar os objetivos estabelecidos na referida cimeira, Portugal, entre outros países, definiu um conjunto de metas que visam promover a sustentabilidade. Estas estratégias abrangem diversas áreas, entre as quais:

- Garantir o desenvolvimento equilibrado do território;
- Melhorar a qualidade do ambiente;
- Promover a produção e consumo sustentáveis;
- Contribuir para uma sociedade solidária e do conhecimento.

O desenvolvimento sustentável apresenta três dimensões: **econômica**, **social** e **ambiental**. As metas atrás referidas assentam exatamente nesses três pilares, como se pode observar na figura seguinte. [3]



Figura 1 - Pilares do desenvolvimento sustentável

À medida que o conceito de desenvolvimento sustentável começou a ser mais interiorizado pelas instituições, houve a necessidade de avaliar o desempenho das economias com base nesse novo conceito. Assim se tornou fundamental o estabelecimento de **indicadores** que pudessem dar a medida do desempenho de um país em matéria de sustentabilidade. Uma vez estabelecidas as metas, se poderia então, em qualquer altura, avaliar a distância que separa o país/ região do fim em vista. Entre todos os indicadores, destacam-se os seguintes:

- Indicadores econômicos
- Indicadores sociais
- Indicadores ambientais

O modelo Pressão-Estado-Resposta desenvolvido pela OECD (Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico) em 1998, para o estudo de indicadores ambientais globais vem sendo aceito e adotado internacionalmente.[3] Baseia-se no conceito de causalidade: as atividades humanas exercem pressão sobre o ambiente alterando a qualidade e a quantidade de recursos naturais, ou seja, alterando o seu estado. A sociedade responde a essas mudanças mediante políticas ambientais, econômicas ou setoriais, como já foi referido anteriormente.



Figura 2 - Modelo Pressão-Estado-Resposta [3]

1.1.2. A CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL

1.1.2.1. EVOLUÇÃO HISTÓRICA

O termo “construção sustentável” foi proposto pela primeira vez pelo professor Kibbert (1994) para descrever as responsabilidades da indústria da construção no que respeita ao conceito e aos objetivos da sustentabilidade. De acordo com Kibbert, existe a necessidade de uma mudança para se atingirem os objetivos de sustentabilidade e, assim, como prioridade se deverá referir a necessidade de se analisarem as características da construção tradicional e as comparar com o novo critério sustentável para os materiais de construção, os produtos e os processos de construção.

Assim, a **qualidade**, **tempo** e **custo**, que eram os fatores tradicionalmente considerados competitivos na indústria da construção, foram progressivamente alterando devido a esta nova linha de pensamento.[4]

Tradicionalmente, uma construção só era competitiva se tivesse o nível de qualidade exigido pelo projeto, se utilizasse sistemas construtivos que otimizassem a produtividade durante a fase de construção e que conduzissem à diminuição do período de construção, permitindo maior velocidade na recuperação de investimento. Tudo isto, sem alterar os custos da construção.

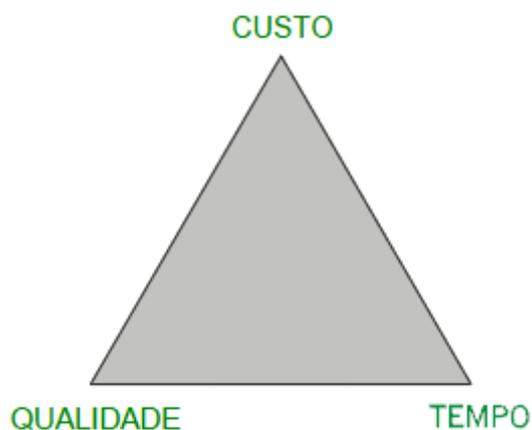


Figura 3 - Aspectos competitivos na construção tradicional

Entretanto, com a introdução das preocupações ambientais, o conceito de qualidade na construção passou a abranger esses aspectos, dando origem à chamada construção eco-eficiente, vulgarmente conhecida por construção “verde”. Este tipo de construção se traduz em construir com impacte ambiental mínimo, e se possível, conseguir o efeito oposto, ou seja, criar edifícios com conseqüências reparadoras do meio ambiente.

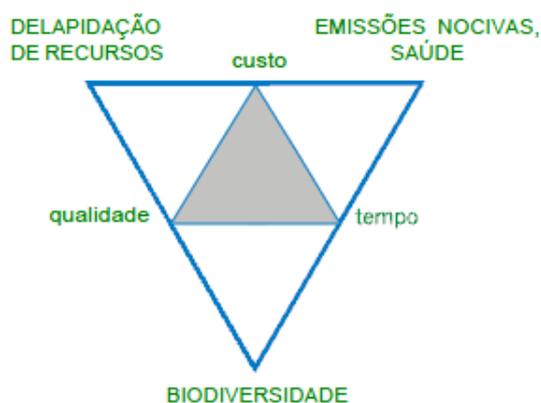


Figura 4 - Construção eco-eficiente

Por fim, se se associarem os princípios da eco-eficiência às condicionantes econômicas, à equidade social e ao legado cultural (introduzindo um novo aspecto ao nível do conceito “tempo”), se está na presença dos já referidos pilares da construção sustentável. [4]

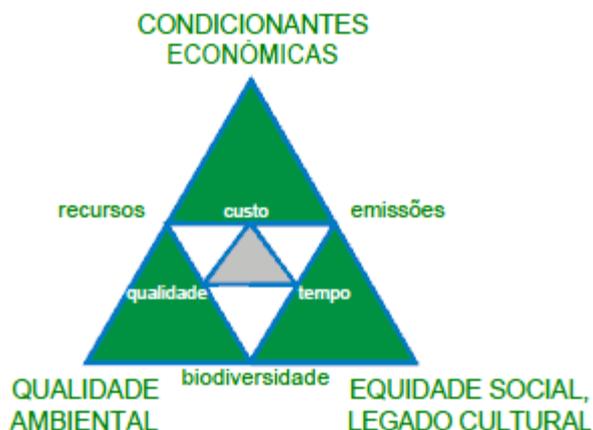


Figura 5 - Construção sustentável

Nesta ótica, se pode apresentar uma lista de prioridades construtivas que contribuem para a sustentabilidade:

Água

- Permeabilidade do solo;
- Utilização de água pluvial;
- Limitação do uso de água tratada apenas para fins onde é necessária a água potável;
- Introdução de equipamentos economizadores de água;
- Redução na geração de esgoto.

Energia

- Otimização do desempenho energético através do bom desempenho térmico da edificação;
- Uso de aparelhos energeticamente eficientes;
- Aproveitamento da iluminação natural e uso de sistemas de iluminação eficientes;

- Uso de fontes renováveis de energia;
- Uso de materiais que colaboram para minimização dos efeitos de ilha de calor;
- Estratégias de ventilação natural.

Materiais

- Gestão de resíduos da construção;
- Reutilização de recursos;
- Reciclagem de recursos;
- Uso de materiais regionais;
- Uso de materiais de rápida renovação;
- Uso de madeira certificada;
- Uso de materiais de baixa emissão de gases.

1.1.2.2. MATERIAIS, PRODUTOS E RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO

A sustentabilidade na construção, de modo a ser corretamente implementada, necessita que haja cumplicidade entre todas as fases da construção, desde a fase do planejamento do território, onde existe a intervenção de políticos e urbanistas, passando pela fase de projeto até à fase do uso por parte dos utilizadores, que têm que ter consciência de modo a racionalizarem o seu uso.

A fase mais crítica, quando da construção de um edifício, em termos de gastos energéticos é a fase da produção dos materiais na qual, consoante o número de matérias-primas que se utilizam, se gastam elevadas energias de produção.

Durante a fase da obra, há consumos que dizem respeito à manutenção e transporte dos equipamentos (eletricidade e combustível).

A fase de utilização é a que se traduz em maior gasto energético. Basta referir os consumos de conforto e manutenção: climatização, ventilação, iluminação. Quando da fase de projeto, estes aspectos têm que ser tidos em conta, de modo a que possíveis erros dêem origem a gastos elevados na utilização final.

As diversas fases descritas anteriormente se podem esquematizar no seguinte gráfico.

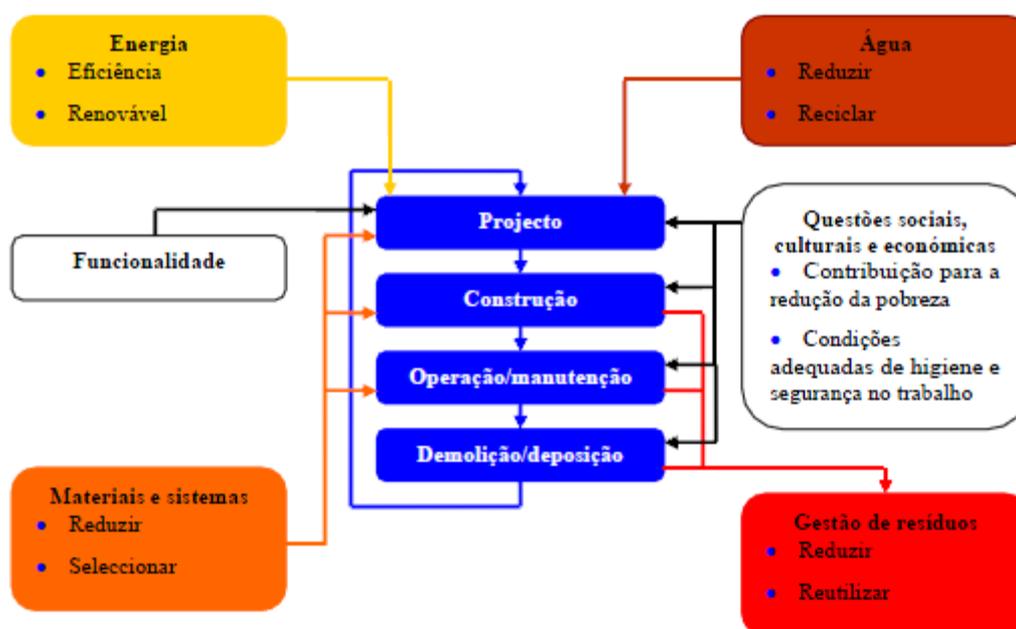


Figura 6 - Ciclo de vida de um edifício

1.2. ENERGIA

1.2.1. ENQUADRAMENTO E EVOLUÇÃO HISTÓRICA

Existem, essencialmente, dois grandes grupos de energia: as não renováveis e as renováveis. As energias não renováveis, quando utilizadas, não podem ser repostas pela ação humana ou pela natureza, a um prazo útil, enquanto que a energia renovável é aquela que é obtida de fontes naturais capazes de se regenerar e, portanto, virtualmente inesgotável, ao contrário dos recursos não-renováveis.



Figura 7 - Três fontes de energia renovável: solar, eólica e biomassa

O consumo de energia pela sociedade pode ser separado em duas escalas de tempo bem distintas e nas quais o tipo de energia consumida se alterou substancialmente.

Assim, antes da Revolução Industrial (há cerca de 200 anos), as energias eram quase exclusivamente renováveis. Inicialmente, o Sol era a fonte primária de energia, sendo utilizada na iluminação e aquecimento. Mais tarde, a navegação à vela, a moagem de cereais, entre outras, eram efetuadas usando a energia eólica; a confecção e aquecimento de edifícios eram alimentados pela biomassa (lenha) e a energia hídrica era usada, sobretudo, na moagem de cereais.

Depois da Revolução Industrial, se começou a usar o carvão mineral com bastante intensidade e, a partir do início do século XX, este foi substituído pelo petróleo e suas energias secundárias. A sua sobreutilização começou causando um problema para a Natureza, uma vez que estes combustíveis (fósseis) estiveram sendo acumulados e formados na Terra ao longo de vários milhões de anos e sua transmissão para a atmosfera leva à sua exaustão e causa outras conseqüências

ambientais e climáticas. Em meados da década de 70, ocorreu uma crise denominada Crise Petrolífera. Nessa altura a energia proveniente do petróleo representava cerca de 50% da energia total produzida, sendo que o gás natural contribuía com cerca de 20%, crescendo ligeiramente após a referida crise. Até 1982, o consumo de petróleo diminuiu significativamente, aumentando um pouco até 1990, em que 38.6% da energia comercial a nível mundial era obtida através do petróleo. Esta diminuição aconteceu porque os países mais desenvolvidos do Mundo começaram a se preocupar com as consequências nocivas que aquela exacerbada utilização iria ter no futuro. [5]

Assim, e como já foi referido anteriormente, a sociedade começou dando importância a estas questões, originando inúmeras conferências ambientais por parte dos líderes dos países, tais como a já falada Cimeira do Rio de Janeiro (1992) e a Cimeira de Kioto (1997).

Em Kioto, onde participaram cerca de 125 entidades governamentais de todo o Mundo, o principal objetivo foi a adoção de um protocolo legalmente vinculativo em que 39 países industrializados se comprometeram a limitar, durante o período de 2008 até 2012, as suas emissões de gases com efeito de estufa na atmosfera. Portugal estabeleceu como meta a atingir até 2012, reduzir as suas emissões em 27% em relação ao ano de 1990. Se o Protocolo de Kioto for implementado com sucesso em todos os países, se estima que a temperatura global reduza entre 1,4°C e 5,8°C até ao ano de 2100. Em Portugal, o objetivo não está muito perto de ser alcançado, visto que em 2003 as emissões excederam em cerca de 9% o valor acordado no Protocolo de Kioto. [1]

1.2.2. CONSUMO ENERGÉTICO EM PORTUGAL

A energia elétrica produzida em Portugal é, na sua maior parte, proveniente de fontes de energia não renováveis, sendo produzida através de combustíveis fósseis (carvão mineral, gasóleo e gás natural).

Portugal é um país dependente sob o ponto de vista energético (importa cerca de 88% da energia que consome), visto que não possui quaisquer reservas petrolíferas ou de gás natural. Assim, para além dos problemas ambientais resultantes da produção de energia através de combustíveis fósseis, existem também problemas

econômicos, resultantes da tendência natural de crescimento do preço do barril de petróleo. Por outro lado, estudos que têm em conta os consumos atuais das energias não renováveis estimam que as reservas disponíveis de gás natural e de petróleo só serão suficientes para cerca de 50 anos. Quanto às reservas de carvão, se estima que estas serão suficientes para mais 1000 anos, mas este nunca poderia ser utilizado como energia alternativa devido aos efeitos devastadores que provocaria no meio ambiente. [6]

O setor dos edifícios, pela sua expressão, é aquele que, dentro da indústria da construção, é responsável pela maior parte dos consumos energéticos.

Apesar de, na última década, ter havido uma diminuição na construção de novos edifícios residenciais, se prevendo até um cenário de estagnação nos próximos anos, os consumos energéticos, em Portugal, no setor dos edifícios apresentam uma taxa de crescimento bastante significativa, representando cerca de 20% (fatias de Serviços e Doméstico) da energia total consumida em Portugal, como se pode verificar no gráfico que contém dados do Balanço Energético Nacional de 2000. [7]

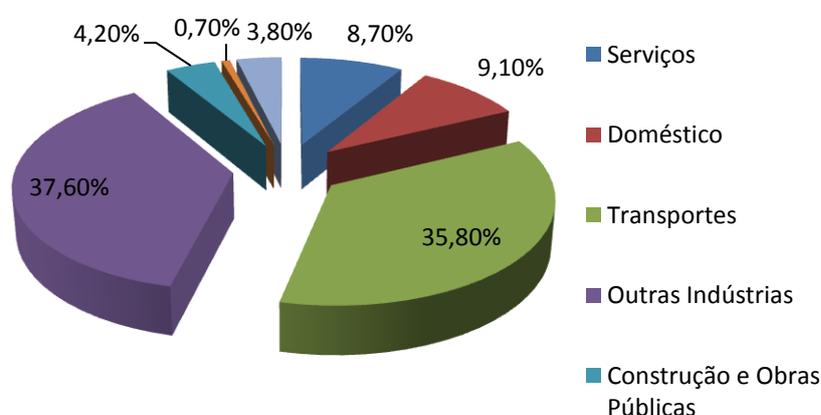


Figura 8 - Consumos energéticos por atividade [7]

Apesar de Portugal se encontrar abaixo da média Europeia no que respeita ao consumo de energia no setor dos edifícios, o nível de qualidade e de conforto dos edifícios tem aumentado, exponencialmente, na última década.

Esta diferença se deve ao fato de o clima em Portugal ser bastante mais ameno do que a maioria dos países do resto da Europa, que têm necessidades de aquecimento mais elevadas.

O consumo energético nos edifícios tem subido bastante devido ao crescimento do padrão de vida dos portugueses e conseqüente aumento das exigências de conforto individual e das famílias. Nos últimos anos, têm surgido novos equipamentos em resultado do forte desenvolvimento tecnológico que se tem verificado, o que, conjuntamente com as maiores exigências ao nível do condicionamento térmico interior, tem levado ao crescimento do consumo energético.

Outra razão para o aumento do consumo de energia se deve à falta de manutenção e substituição dos equipamentos obsoletos, ao uso indevido dos diversos equipamentos e à falta de reabilitação dos edifícios, o que, por vezes, seria amortizável em poucos anos de utilização.

O consumo de energia nos edifícios residenciais se distribui aproximadamente da seguinte forma: 50% para as cozinhas e produção de águas quentes sanitárias (AQS), 25% para o aquecimento e arrefecimento e os restantes 25% para a iluminação e equipamentos (eletrodomésticos).

Obviamente, estes valores traduzem o consumo de uma amostra, admitindo variações entre regiões ou mesmo entre setores populacionais.

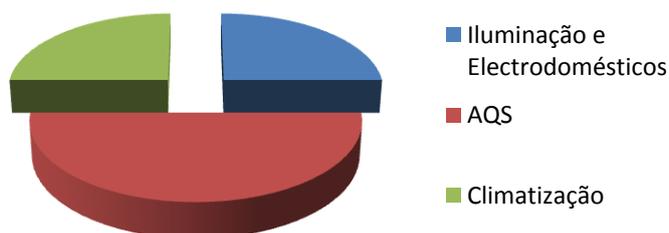


Figura 9 - Consumo energético de edifícios residenciais [7]

Como se pode constatar, a água quente sanitária tem um peso significativo nos consumos globais de energia, pelo que se torna de extrema importância a utilização

de coletores solares, como está previsto no Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), que mais adiante se apresenta.

Os consumos energéticos provocados pela iluminação e eletrodomésticos também representam um valor significativo na fatura mensal de eletricidade, sendo que poderá ser reduzido intervindo na otimização da iluminação natural. Em relação aos eletrodomésticos, se torna fundamental aumentar a sua eficiência energética, através do processo de etiquetagem, que facilita a escolha dos produtos por parte do consumidor. [7]

Finalmente, há o consumo relacionado com a climatização do edifício. Este consumo está diretamente relacionado com o conforto térmico do utilizador; geralmente, em todas as regiões de Portugal, há necessidade de aquecimento, no Inverno, e de arrefecimento, no Verão. Hoje em dia, existe uma grande oferta de equipamentos de climatização com diversas tecnologias nas quais o consumo de energia é reduzido pela utilização de energias endógenas, diminuindo a tarifa elétrica. Como foi referido anteriormente, a evolução, ao longo dos últimos anos, do consumo de energia despendida no conforto térmico, tem aumentado exponencialmente, aumento esse causado pelas exigências cada vez maiores de conforto individual. Contudo, de forma a evitar a quase exclusiva utilização destes sistemas mecânicos, se deve dar prioridade à construção bioclimática que, como se verá à frente, tem como objetivo atingir as condições de equilíbrio e conforto térmico através da alteração de algumas características construtivas.

Resta salientar que, para se reduzirem as emissões de gases provocadores do efeito estufa associados ao sector da construção, deverá haver uma especial atenção, por parte de todos os agentes envolvidos, em diminuir os consumos energéticos dos edifícios. É fundamental que os novos edifícios sejam menos consumidores e que os existentes que possuam mau desempenho, sejam melhorados.

1.2.3. INTRODUÇÃO À EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A utilização racional de energia visa proporcionar o mesmo nível de qualidade de vida com o recurso a tecnologias que reduzam os consumos, diminuindo assim as emissões de poluentes associadas à conversão de energia.

De maneira a responder às metas traçadas pela União Europeia, Portugal, ao longo do tempo, foi criando alguns programas com o intuito de “educar” a população em relação a questões como a poupança de energia, contribuindo dessa forma para a redução significativa das emissões de gases poluentes para a atmosfera, provenientes da queima de combustíveis fósseis usados na produção de calor e eletricidade.

Inicialmente, surgiu o Programa de Eficiência Energética e Energias Endógenas, também denominado por Programa E4 (Resolução do Conselho de Ministros 154/2001), cujos objetivos principais eram a promoção da eficiência energética e valorização das energias endógenas, a contribuição para a melhoria da competitividade da economia portuguesa e para a modernização da sociedade, salvaguardando a qualidade de vida das gerações vindouras e a redução das emissões responsáveis pelas alterações climáticas. Este programa é de importância capital quando se fala no cumprimento das estratégias assumidas no Protocolo de Kioto. [8]

Relativamente à eficiência energética, o referido programa promove a utilização racional de energia, abrangendo os diversos consumos existentes numa habitação. Nestes consumos se inclui o aquecimento de águas quentes sanitárias, a iluminação, a climatização e eletrodomésticos e outros equipamentos, assegurando assim o conforto dos utilizadores do edifício. Por outro lado, quando refere às energias endógenas, o programa pretende promover a utilização das energias renováveis e das novas tecnologias energéticas tais como Energia Solar Fotovoltaica, Energia de Biomassa, Energia Eólica e Energia Geotérmica.

Devido ao fato do Programa E4 abranger diversos setores do panorama nacional, se criou um programa específico para o setor dos edifícios, designado por Programa Nacional para a Eficiência Energética nos Edifícios (P3E). Este programa estabelece um conjunto de medidas com o objetivo de melhorar a eficiência energética dos edifícios em Portugal. Algumas das medidas mais importantes estabelecidas neste programa são a revisão dos regulamentos térmicos dos edifícios, RCCTE e RSECE e, a criação de um sistema de certificação energética.

Em 2006, Portugal, em conjunto com a União Europeia, se comprometeu a atingir algumas metas, entre as quais se destacam as seguintes:

- Redução em 20% das emissões de gases poluentes para a atmosfera;
- Melhoria em 20% da eficiência energética dos edifícios;
- Aumento de 20% da utilização das energias renováveis.

Em 2007, surgiu o Decreto-Lei no 363/2007 de 02 de Novembro que estabelece o regime de micro produção de eletricidade, possibilitando aos consumidores domésticos a venda da energia produzida através da utilização de energias renováveis, como é o caso dos painéis solares fotovoltaicos e da energia eólica. Apesar do preço do KWh ser bastante elevado, este preço apenas é fixado para um período de 5 anos, sendo que posteriormente poderá ser significativamente menor (A EDP¹, é obrigada a adquirir a energia ao produtor individual a um preço superior ao que ela produz nas suas fontes tradicionais). Os custos de investimento para instalação de equipamentos de energias renováveis ainda são demasiadamente elevados, pelo que o tempo de amortização se torna longo consoante o tipo de sistema pretendido.

¹ A EDP é a principal empresa do sector energético existente em Portugal.

1.3. NOVA LEGISLAÇÃO PARA OS EDIFÍCIOS

De modo a satisfazer as recentes necessidades da população, o consumo energético dos edifícios sofreu um crescimento significativo. Durante muito tempo, a legislação que regula o sector energético dos edifícios, se manteve inalterada. Contudo, de modo a satisfazer os requisitos do protocolo de Kioto e para manter o nível de conforto atingido, houve a necessidade de atualizar a legislação vigente. Assim, a União Europeia criou uma diretiva relativa ao desempenho energético dos edifícios. Os objetivos desta diretiva passam por levar os Estados-membros a criar mecanismos que permitam melhorar o desempenho energético dos edifícios através da utilização de fontes de energia renovável e criação de um sistema de certificação energética que permita a divulgação das características dos edifícios. [9]

De modo a cumprir a normativa estabelecida pela UE, Portugal criou um pacote legislativo relativo às características e requisitos energéticos dos edifícios, dos quais se destacam os seguintes:

- Decreto-lei no 78/2006, que define o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior dos Edifícios (**SCE**); [12]
- Decreto-lei no 79/2006, que aprova o novo Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (**RSECE**); [13]
- Decreto-lei no 80/2006, que aprova o novo Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (**RCCTE**). [14]

1.3.1. A CERTIFICAÇÃO DOS EDIFÍCIOS

O Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE) enquadra-se no âmbito da Diretiva n.º 2002/91/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro de 2002, relativa ao desempenho energético dos edifícios. Essa diretiva estabelece que os Estados-Membros da União Europeia devem implementar um sistema de certificação energética de forma a informar o cidadão sobre a qualidade térmica dos edifícios, quando da construção, da venda ou do arrendamento dos mesmos.

De acordo com a Diretiva, a certificação energética deve permitir aos futuros utilizadores obter informação sobre os consumos nominais de energia dos

edifícios ou frações autônomas, passando o critério dos custos energéticos, durante o funcionamento normal do edifício, a integrar o conjunto dos demais aspetos importantes para a caracterização do edifício.

De modo a facilitar a escolha entre vários imóveis, os utentes têm acesso ao Certificado Energético do Edifício, o qual inclui o cálculo dos consumos de energia previstos e respectivos custos, descrevendo a situação efetiva do desempenho energético. No que se refere aos edifícios de habitação, o decreto-lei se aplica a edifícios novos, edifícios reabilitados e aluguel/venda de edifícios existentes. [9]

A certificação energética permite comparar a correta aplicação da regulamentação térmica em vigor, bem como a obrigatoriedade de instalar sistemas de energias renováveis e ainda assegurar a qualidade do ar interior. Esta regulamentação serve também para informar o consumidor sobre potenciais medidas que melhorem o desempenho energético do edifício e da sua viabilidade económica.

A cada edifício é atribuída uma classe de eficiência energética, semelhante às etiquetas energéticas dos eletrodomésticos, consoante o seu desempenho. A etiqueta energética dos edifícios classifica o desempenho energético em termos das necessidades de energia primária do mesmo. A etiqueta energética apresenta nove classes de eficiência energética, sendo a classe *A+* a mais eficiente e a classe *G* a menos eficiente.

Todos os edifícios construídos desde Julho de 2006 têm que apresentar uma classe energética igual ou superior a *B-*. A redução das necessidades energéticas entre classes consecutivas compreendidas entre *B-* e *A+* é de 25% (um edifício classificado com etiqueta *A* terá necessidades energéticas inferiores em pelo menos 25% comparativamente com um edifício com a classificação *B*). Para as classes de eficiência energética compreendidas entre *C* e *G* a diferença é de 50%, isto é, uma fração autónoma com classificação *D* terá necessidades energéticas superiores em 50% a uma fração com etiqueta energética classe *C*.

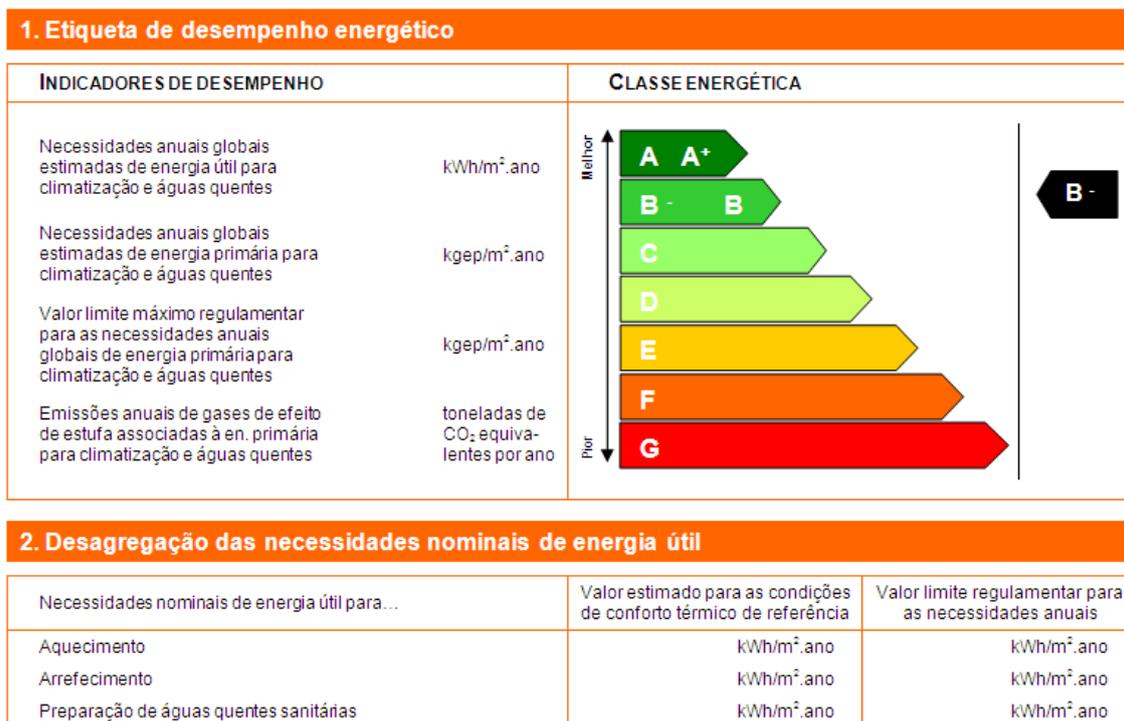


Figura 10 - Modelo de certificação energética para edifícios

1.3.2. REGULAMENTO DOS SISTEMAS ENERGÉTICOS DE CLIMATIZAÇÃO EM EDIFÍCIOS (RSECE)

O RSECE veio definir um conjunto de requisitos aplicáveis a edifícios de serviços e de habitação dotados sistemas de climatização, os quais, para além dos aspectos da qualidade da envolvente e da limitação dos consumos energéticos, abrangem também a eficiência e manutenção dos sistemas de climatização dos edifícios, obrigando igualmente à realização de auditorias periódicas aos edifícios de serviços. Neste regulamento, a qualidade do ar interior surge também com requisitos que abrangem as taxas de renovação do ar interior nos espaços e a concentração máxima dos principais poluentes nocivos à saúde.

O regulamento aqui abordado contempla duas fases distintas, que são o projeto e a utilização do edifício. Na fase de projeto, o RSECE apresenta um conjunto de objetivos a cumprir, dos quais se salientam os seguintes:

- Dimensionamento correto dos sistemas de climatização para garantir a qualidade e segurança das instalações;

- Estimativa dos consumos energéticos dos edifícios que permita obter uma ordem de grandeza do consumo global em termos de conforto térmico;
- Escolha correta dos sistemas energéticos do edifício, avaliando a viabilidade económica da adoção de energias renováveis e de tecnologias disponíveis de climatização já referidos (recuperação de calor, arrefecimento gratuito, gestão centralizada), na ótica da sustentabilidade ambiental.

Na fase de utilização normal dos edifícios o regulamento impõe que o consumo do edifício não ultrapasse determinados valores que sejam considerados excessivos, sendo este limite de 80% das necessidades nominais de energia máxima, calculadas com base no RCCTE para aquecimento e arrefecimento.

Para garantir o cumprimento da normativa se instituiu um sistema de auditorias periódicas, sendo posteriormente emitido um certificado energético para classificação do edifício em questão.

1.3.3. REGULAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS DE COMPORTAMENTO TÉRMICO DOS EDIFÍCIOS (RCCTE)

Este regulamento foi inicialmente concebido para preencher duas lacunas que existiam em Portugal: a melhoria de condições de conforto térmico no interior dos edifícios e a ordenação e disciplinarização do dispêndio energético resultante desta melhoria.

O RCCTE impõe que a envolvente dos edifícios tenha níveis mínimos de isolamento térmico nas paredes, pavimentos e coberturas, bem como sombreamento no Verão, de maneira a tentar assegurar que, tanto para a estação de aquecimento como de arrefecimento, não seja necessário o recurso a climatização artificial para garantir o conforto. Porém, caso este conforto não possa ser obtido passivamente, e sendo necessário climatizar o edifício, que isto seja feito com o menor consumo de energia possível.

Outra das obrigadoriedades deste regulamento é a instalação de painéis solares destinados ao aquecimento das águas sanitárias (AQS), contribuindo para a redução da dependência energética e, ao mesmo tempo, a diminuição da emissão de dióxido de carbono na atmosfera.

Para o cumprimento integral dos requisitos impostos pelo RCCTE, se torna necessária a aplicação deste regulamento desde a fase de licenciamento.

Outros aspectos relevantes do regulamento são:

- Maior preocupação com a qualidade do ar interior e com os sistemas de ventilação;
- Inclusão de vários tipos de obstruções no cálculo da radiação solar incidente;
- Limitação dos valores de referência relativos ao consumo de águas quentes sanitárias.

O presente regulamento se aplica a cada uma das frações autônomas dos novos edifícios de habitação e aos edifícios reabilitados.

Como foi referido anteriormente, uma das exigências do novo RCCTE é a utilização de sistemas solares para aquecimento de água sanitária, pelo que se torna importante um adequado dimensionamento dos coletores, ou seja, que maximizem a captação de radiação solar. Contudo, se a energia captada for equivalente à dos coletores solares e se for viável, se poderá optar pelo recurso a outro tipo de sistema de energia renovável.

1.4. OBJETIVO

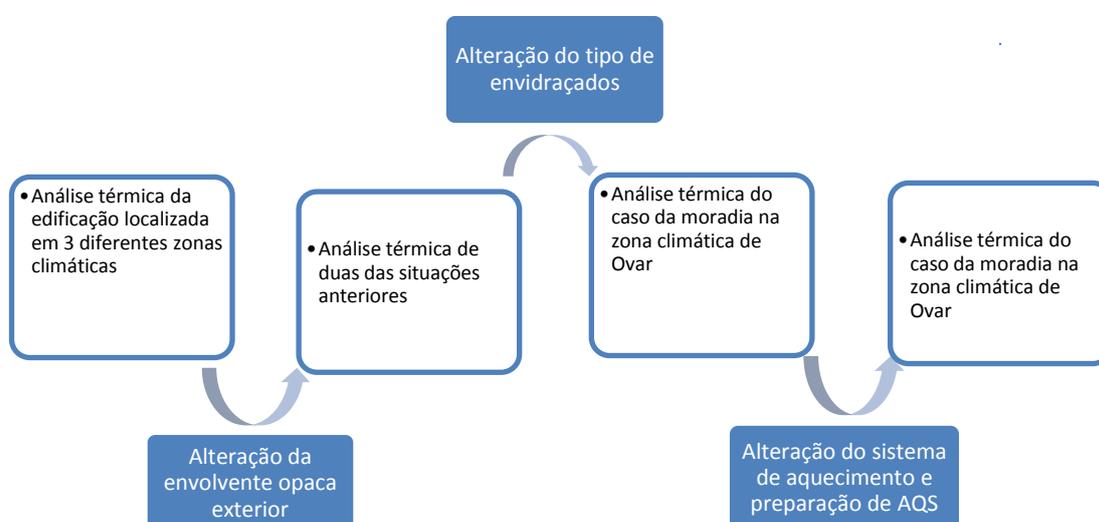
1.4.1. OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo geral, avaliar a eficiência energética de uma moradia unifamiliar situada em três diferentes zonas climáticas em Portugal e verificar o efeito de alterações a alguns parâmetros.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a influência do zoneamento climático no desempenho energético de um edifício.
- Avaliar a influência da alteração da envolvente opaca exterior no desempenho energético de um edifício.
- Avaliar a influência da alteração do tipo de envidraçados no desempenho energético de um edifício.
- Avaliar a influência da alteração dos sistemas de aquecimento e produção de águas quentes sanitárias no desempenho energético de um edifício.
- Obter a classificação energética A+.
- Analisar a importância dos sistemas de aquecimento e preparação de águas quentes sanitárias nas necessidades energéticas e classificação energética de um edifício.

1.4.3. FLUXOGRAMA COM AS ETAPAS DO TRABALHO



1.5. ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está estruturado em cinco capítulos:

No capítulo 1 foi apresentada uma introdução, na qual foi feita uma descrição e discutida a evolução histórica da problemática em estudo. Constam também, nesse capítulo, itens como objetivos do trabalho e descrição do objeto de estudo.

O capítulo 2 consta de uma descrição de todas as definições principais e assuntos relativamente à temática da bioclimatologia e eficiência energética. Se demonstram, também, as ferramentas empregadas no processo de análise realizado no estudo

No capítulo 3 se encontra uma descrição do Regulamento das Características do Comportamento Térmico das Edificações.

No capítulo 4, se apresenta o caso de estudo efetuado, bem como todos os resultados, explicando e justificando os valores obtidos.

Por fim, no capítulo 5, são apresentadas as conclusões.

2. BIOCLIMATOLOGIA E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

2.1. CONCEITOS PRINCIPAIS

A construção bioclimática consiste em pensar e projetar um edifício tendo em conta toda a envolvência do clima e características ambientais do local em que se insere. Se pretende assim otimizar o conforto ambiental no interior do edifício (conforto térmico, luminoso, acústico, etc.) utilizando apenas o design e os elementos arquitetônicos disponíveis.

As variáveis climáticas que mais influenciam os edifícios, em termos de transferência de calor, são a temperatura do ar exterior e a radiação solar. A temperatura do ar, variável indutora das trocas de calor através da envolvente do edifício, determina o estabelecimento de fluxos energéticos do interior para o exterior, fluxos estes que ocorrem fundamentalmente no período de Inverno, se tratando neste caso de perdas térmicas, enquanto que, no Verão, o sentido do fluxo tem tendência a se inverter e se estará numa situação de ganhos térmicos. [10]

No primeiro caso se está perante as denominadas perdas térmicas, que no Inverno constituem a razão principal para a diminuição da temperatura interior num edifício que é um dos principais aspectos a acautelar no projeto. A redução das perdas constitui, então, uma das medidas mais eficazes no sentido de melhorar as condições de conforto no interior dos edifícios, e as medidas normalmente adotadas resultam na utilização de soluções de isolamento térmico nos elementos opacos (paredes, cobertura e pavimentos) e/ou a utilização de vidros duplos nos vãos envidraçados.

Já a situação dos ganhos térmicos por troca de calor, em que o fluxo de transferência de calor, tem o sentido exterior–interior, ocorre, preferencialmente, no verão e é uma situação que contribui para aumentar a carga térmica do edifício e, conseqüentemente, sua temperatura interna. É, portanto algo a evitar numa situação de verão.

A outra variável de grande importância para os edifícios é a radiação solar. Esta variável tem um papel determinante no conforto térmico em qualquer edifício, sendo que no Inverno constitui uma fonte de calor muito importante, contribuindo para o

aumento da temperatura interior, constituindo no Verão uma fonte de calor a evitar, precisamente para evitar o aumento da temperatura interior nos edifícios.

O Sol é, pois, uma fonte de calor que importa compreender na sua interação com os edifícios, quer em termos energéticos (valores da radiação solar), bem como em termos da sua posição, ao longo de todo o ano, para desta forma, melhor projetar o edifício na perspectiva aqui utilizada, ou seja, em termos bioclimáticos.

2.1.1. GEOMETRIA SOLAR

É importante conhecer os diferentes percursos do sol ao longo do dia para as diferentes estações do ano no sentido de:

- aproveitar da melhor forma os ganhos solares para o interior do edifício nos casos em que o contributo da radiação se afigura necessário;
- restringir a sua entrada, nos casos em que o mesmo efeito se afigura inconveniente.

O estudo da forma do edifício e das obstruções à incidência de radiação solar designa-se habitualmente por “Geometria da Insolação ou Geometria Solar”. Geralmente se incluem neste estudo os efeitos de brises e sombreamentos do próprio edifício, bem como os efeitos sombreadores devidos aos edifícios vizinhos, a árvores, vegetação e à forma urbana do espaço circundante (praças, ruas, avenidas, etc.). [10]

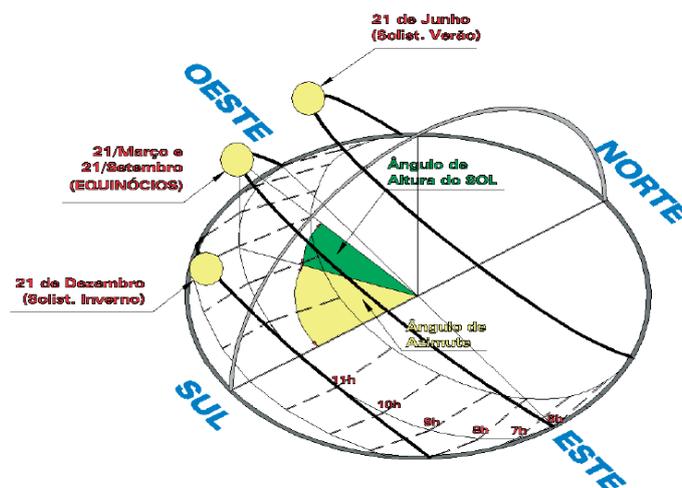


Figura 11 - Percursos do Sol ao longo do ano

A figura anterior representa os percursos que o Sol tem durante um ano em Portugal. No solstício de Inverno (21 de Dezembro) o Sol nasce relativamente próximo da orientação Sudeste e se põe relativamente próximo da orientação Sudoeste, variando o ângulo de azimute do Nascer e do Pôr-do-Sol com a latitude do lugar. Neste dia, o ângulo de altura do Sol apresenta os valores mais baixos de todo o ano. Nos Equinócios (21 de Março e 21 de Setembro) o Sol nasce exatamente na orientação Este e põe-se exatamente na orientação Oeste.

No solstício de Verão (21 de Junho) o Sol nasce relativamente próximo da orientação Nordeste e se põe relativamente próximo da orientação Noroeste, variando o ângulo de azimute do Nascer e do Pôr-do-Sol com a latitude do lugar. Neste dia, o ângulo de altura do Sol apresenta os valores mais altos de todo o ano.

2.1.2. ORIENTAÇÃO DE FACHADAS ENVIDRAÇADAS

A “localização” do Sol ao longo do ano tem uma grande importância, no que respeita à definição da localização das fachadas envidraçadas num edifício, à sua dimensão e ao tipo de vidro que se escolhe.

Falando sempre em relação a Portugal, verifica-se que em termos anuais, uma fachada envidraçada orientada a **Sul**, receberá um maior nível de radiação solar do que fachadas noutras orientações, sendo que no Verão é uma fachada mais facilmente protegida dessa mesma radiação.

- No Inverno, sendo necessário aquecer os edifícios, a estratégia correta será a de captar a radiação solar disponível. É a orientação a sul aquela que propicia maiores ganhos solares. O percurso do Sol no Inverno é vantajoso para esta orientação, uma vez que o seu percurso se efetua para azimutes muito próximos do Sul geográfico.

- No Verão, torna-se necessário minimizar os ganhos solares, uma vez que, no seu percurso de nordeste (onde nasce) até noroeste (onde se põe), o Sol “vê” todas as orientações, sendo que é a horizontal (coberturas), que recebe maior nível de radiação. Assim, se verifica que o percurso do Sol, sendo próximo do zênite, apresenta um ângulo de incidência com a normal de valor mais elevado. Carrega menos ganhos solares, facilmente atenuáveis se existir um brise sobre o vidro, no caso de uma fachada orientada a sul.

Numa fachada orientada a **Leste**, o dimensionamento dos vãos envidraçados deverá ter em conta que:

- No Inverno, uma fachada com esta orientação recebe pouca radiação, uma vez que o Sol nasce próximo da orientação Sudeste, incidindo na fachada durante poucas horas do período da manhã e com um pequeno ângulo de incidência.

- No Verão, a radiação solar incide em abundância numa fachada com esta orientação, durante longas horas da manhã, desde o nascer do Sol, que ocorre cedo e próximo da orientação Nordeste, até ao meio-dia. Os ângulos de incidência são próximos da perpendicular à fachada, o que maximiza a captação de energia solar, que nesta estação é indesejável.

Na fachada orientada a **Oeste**, sendo simétrica em relação à fachada orientada a **Leste**, os efeitos da ação Solar são semelhantes aos desta, diferindo apenas no período do dia em que ocorrem. É no período da tarde que ocorrem as maiores temperaturas do ar no exterior, se conjugando, assim, dois efeitos muito negativos:

- No Inverno, uma Fachada orientada a Oeste recebe pouca radiação durante poucas horas do período da tarde. Os ângulos de incidência são elevados, o que reduz o efeito da radiação.

- No Verão, a radiação solar incide em abundância numa fachada com esta orientação, durante longas horas da tarde, desde o meio-dia, até ao pôr do Sol, que ocorre tarde e próximo da orientação Noroeste. Esta é a fachada mais problemática em termos de Verão. Estas fachadas são responsáveis por grandes cargas térmicas nos edifícios, sendo necessário ter um maior cuidado com elas, quer em termos de áreas, tipos de vidros e sombreamentos.

A fachada orientada a **Norte** é a menos problemática num edifício em termos de radiação solar, visto que é a mais fria:

- No Inverno, não recebe nenhuma radiação direta, porém recebe radiação difusa a partir da abóbada celeste;

- No Verão, recebe uma pequena fração de radiação direta do Sol no princípio da manhã e fim da tarde.

Resumindo, no Inverno interessa promover os ganhos de radiação, pelo que se apresenta benéfica a abertura de vãos envidraçados no quadrante Sul.

No Verão interessa restringir esses mesmos ganhos, pelo que se apresenta importante que os vãos sejam dotados de dispositivos sombreadores eficazes. Principalmente nos vãos a Poente e Nascente.

Nos quadrantes Norte, Nascente e Poente, seria desejável que a abertura de vãos se restrinja a menores dimensões, desde que isso seja aceitável em termos das outras exigências também presentes no edifício. [10]

2.1.3. ENVOLVENTE DOS EDIFÍCIOS

A transmissão de calor por condução através da envolvente dos edifícios, quer sejam as perdas de calor através dos elementos construtivos da envolvente no Inverno, quer os ganhos indesejáveis de calor através dos mesmos elementos no Verão, são fenômenos que muito influenciam o comportamento térmico dos edifícios.

2.1.3.1. ENVOLVENTE EXTERIOR

Do ponto de vista energético, o desempenho de um edifício depende em larga extensão das características dos elementos que fazem a fronteira entre a casa e o ambiente exterior, ou seja, da sua envolvente (fachadas, janelas, coberturas). As características principais a ter em conta, no que diz respeito aos ganhos e perdas de energia, são a **inércia térmica** dos materiais utilizados e o seu **poder isolante** que limitam a transferência de calor entre o interior e o exterior de um edifício. Um edifício mal isolado acarreta maiores custos com a climatização, pois consome mais energia: no Inverno arrefece rapidamente podendo ocorrer condensações no seu interior e no Verão aquece mais e num curto espaço de tempo. Por esta razão é essencial diminuir as perdas e os ganhos de calor utilizando técnicas de isolamento adequadas nos edifícios.

Assim, há algumas características que o edifício deve possuir de modo a proporcionar um nível baixo de transmissão de calor:

- Todas as partes estruturais deverão estar posicionadas no interior da área isolada;
- Se deve evitar o aparecimento de pontes térmicas, ou seja, áreas em que o calor é dissipado em maior quantidade do que no resto do edifício (zonas de junção entre materiais diferentes, possíveis descontinuidades na colocação do isolamento, como pode acontecer nos pilares, nas vigas ou no recorte das janelas);
- Ter cuidado com a instalação de janelas e portas, de maneira a que sejam de evitar as entradas e saídas de calor;
- Os elementos estruturais das sacadas e terraços não devem estar em contacto com o exterior.

Um isolamento da envolvente do edifício adequado proporciona poupanças ao nível dos custos de aquecimento e arrefecimento.

O sistema de isolamento das paredes exteriores é o mais eficaz e consiste na aplicação de placas de material isolante ou aplicação contínua de uma espuma nas paredes exteriores e em cobrir esses materiais com um revestimento, reforço ou reboco adequado, que pode ser pintado ou revestido de outros materiais, se obtendo assim uma aparência tradicional. Esta forma de isolar as paredes exteriores proporciona vantagens significativas em termos de capacidade de aquecimento do edifício. Uma vez que o isolamento externo é ininterrupto, as pontes térmicas são quase que totalmente eliminadas.

2.1.3.2. COBERTURAS

A cobertura de um edifício tem uma contribuição decisiva para o conforto e o abrigo que o espaço interior deve proporcionar. Um dos fatores que concorrem para estas funções da cobertura é o isolamento térmico.

A necessidade de isolar termicamente a cobertura de um edifício se torna particularmente evidente ao se verificar que a cobertura, de todos os elementos da envolvente, é aquele que se encontra mais exposto, tanto no Inverno (estação de aquecimento), como especialmente no Verão (estação de arrefecimento).

Há dois tipos principais de coberturas: horizontal e inclinada.

Cobertura Horizontal

A aplicação do isolante térmico pelo exterior deve ser realizada com a solução cobertura invertida: o isolamento térmico, sob a forma de placas, é aplicado sobre a impermeabilização da laje de betão, e protegido superiormente pela aplicação de uma proteção pesada

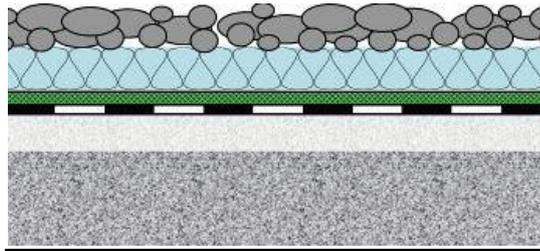


Figura 12 - Isolamento térmico em cobertura horizontal

Cobertura Inclinada

Em coberturas inclinadas com desvão habitável, o isolamento exterior deve, sempre que possível, ser colocado sob o telhado e sobre a impermeabilização da laje (isolamento das vertentes).

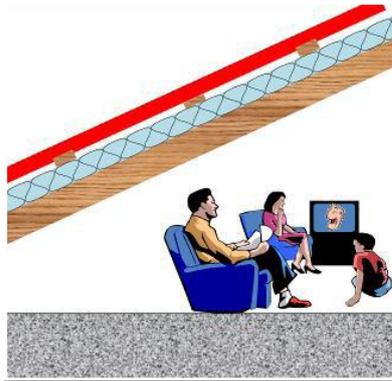


Figura 13 - Isolamento térmico em cobertura inclinada

2.1.3.3. VIDROS E JANELAS

As superfícies envidraçadas desempenham um papel muito importante no domínio da eficiência térmica do edifício. Se estima que até 25% das necessidades de aquecimento sejam devidas a perdas de calor com origem nas janelas. Se, por um lado, podem contribuir para a entrada de calor sem custos, por outro, podem ser

saídas através das quais o calor se dissipa, quando não são construídas e montadas de uma forma apropriada.

A intervenção ao nível das janelas deve ser feita com o intuito de reduzir as infiltrações de ar não controladas, aumentar a captação de ganhos solares no Inverno, reforçar a proteção da radiação solar durante o Verão e melhorar as condições de ventilação natural.

O isolamento térmico de uma janela depende da **qualidade do vidro** e do **tipo de caixilharia** utilizado. As janelas que possuem vidros duplos têm maior capacidade de isolamento do que os vidros simples, já que o espaço entre os dois vidros reduz quase a metade as perdas de calor. Para prevenir a entrada de calor em excesso no Verão, o vidro exterior pode ser reflector. Para tornar as janelas mais eficientes reduzindo as perdas ou ganhos de calor, podem ser executadas intervenções simples, de custo pouco significativo e sem que para isso seja necessário contratar mão-de-obra especializada. Por exemplo, para reduzir a excessiva penetração de ar podem ser aplicadas tiras vedantes nas juntas das janelas ou injetar borracha de silicone nas fissuras.

2.1.4. VENTILAÇÃO NOS EDIFÍCIOS

Os edifícios estão sujeitos a trocas de massa de ar entre o interior e o exterior, dependendo das diferenças de temperatura no caso de processos de ventilação natural. Em outros edifícios a ventilação é forçada por equipamento mecânico, de forma regulada e controlada. Uma terceira ação, a do vento, poderá influenciar também de forma significativa o desempenho energético dos edifícios, contribuindo também para a ventilação natural.

Qualquer destes processos induz no edifício a uma carga térmica (fria ou quente) que importa ter em atenção no balanço térmico de qualquer edifício. No primeiro caso, se está perante um processo de infiltrações que se efetuam através das frinchas das portas e janelas e podem representar uma carga considerável de arrefecimento no Inverno, que deverá ser contrariada através de uma boa vedação dessas frinchas.

A ação do vento deverá também ser tomada em consideração pelo projetista, particularmente naquelas regiões em que o clima apresenta esta característica como muito marcante. A utilização de vegetação para proteção de ventos dominantes que provocam efeitos desconfortáveis nos edifícios, bem como a existência de sistemas de captação do vento e de indução de correntes de circulação de ar para arrefecimento, são estratégias que os projetistas deverão avaliar de maneira a selecionarem as que forem mais corretas para o clima do local.

Acresce que estes processos são, na maioria dos casos, os únicos que permitem a renovação do ar interior, necessária por questões de salubridade, e a necessidade de se manter esse mesmo ar num estado higrométrico que possa evitar a ocorrência de condensações interiores.

De salientar o importante papel da ventilação natural no Verão, como processo de arrefecimento noturno ou quando tal se torna necessário no sentido de arrefecer o ambiente interior. Mas também não é só no Verão que tal efeito é importante.

Nas estações intermédias, Outono e Inverno, a ventilação natural é o processo mais eficiente no controle do sobre/subaquecimento dos edifícios.

2.2. AQUECIMENTO E ARREFECIMENTO

Na concepção de um edifício, a adoção de certas estratégias poderá influenciar significativamente o desempenho desse edifício em termos do conforto térmico no seu interior e, conseqüentemente, dos seus ocupantes.

Como o consumo energético depende das condições de conforto que os ocupantes querem atingir, se o edifício estiver pouco adaptado ao clima será necessário maior consumo de energia para atingir as condições de conforto térmico pretendido. As estratégias que têm em atenção às condições climáticas do local e da sua interação com o clima, proporcionando a adequação do edifício ao clima, se designam geralmente por Estratégias Bioclimáticas. São no fundo regras gerais que se destinam a orientar a concepção do edifício tirando partido das condições climáticas de cada local.

Quando na concepção de um edifício são utilizadas as estratégias bioclimáticas corretas, o edifício está mais próximo de atingir as condições de conforto térmico ou de diminuir os respectivos consumos energéticos para atingir esses fins.

O projeto de um edifício solar passivo ou bioclimático deverá começar por uma criteriosa escolha da implantação e da orientação do edifício, de forma a otimizar os ganhos solares no mesmo. Importa, já nesta fase, saber se o clima é favorável a esses ganhos solares nas diferentes estações do ano, e quais os cuidados a ter quanto às proteções solares no período de Verão. O conhecimento da temperatura exterior ao longo do ano, a sua amplitude térmica é de extrema importância em virtude do papel que desempenha no estabelecimento de fluxos energéticos: perdas e ganhos térmicos e do potencial em termos de ventilação natural.

De modo a se obterem os tipos de estratégias que devem ser utilizadas para cada clima particular, utiliza-se a carta bioclimática de Baruch-Givoni.

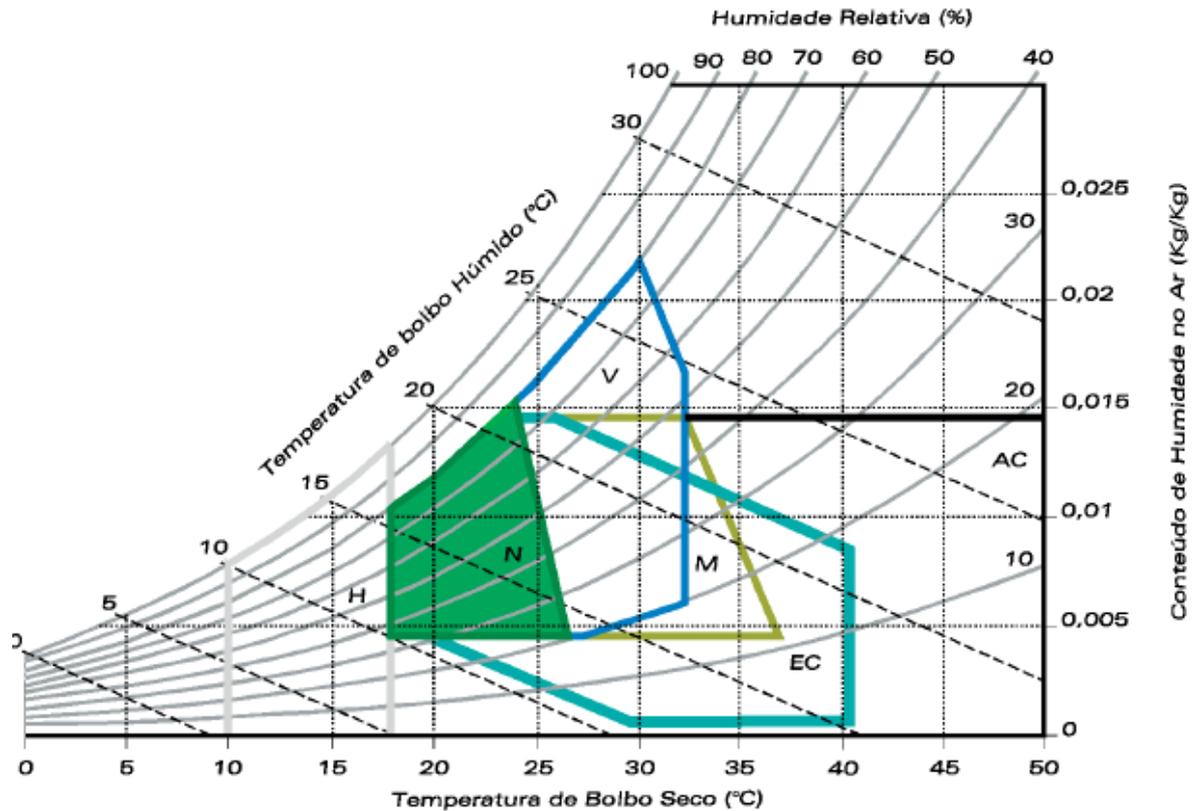


Figura 2.4. Carta bioclimática de Baruch-Givoni

Nesta carta, são registradas as ocorrências dos estados do ar (em termos de temperatura e umidade) verificados no exterior. As diferentes localizações dessas ocorrências na carta assumem geralmente a forma de uma mancha, sendo essa localização indicadora do tipo de clima do local e conseqüentemente do tipo de estratégias mais adequadas ao bom desempenho do edifício nesta matéria. [10]

Estratégias Bioclimáticas de Aquecimento:

- Restringir a perdas por condução – **Zonas H** na Carta Bioclimática, correspondendo a climas de Inverno agressivo – aplicação de materiais isolantes nos elementos construtivos (paredes, coberturas, pavimentos e envidraçados) são exemplos deste tipo de estratégias;

- Restringir as perdas por infiltração e restringir o efeito da ação do vento no exterior do edifício – **Zonas H** na Carta Bioclimática, correspondendo a climas de Inverno agressivo – como exemplos de aplicação destas estratégias temos a execução de caixilharias de janelas com uma vedação eficiente, proteção dos ventos dominantes com vegetação e escolha de uma boa localização para o edifício;

- Promover os Ganhos Solares – **Zonas H** da Carta Bioclimática, correspondendo a climas de Inverno agressivo – existem bons exemplos de aplicações deste tipo de estratégias nos sistemas solares passivos para aquecimento;

Estratégias Bioclimáticas de Arrefecimento:

- Promover ventilação natural – **Zonas V**, da Carta Bioclimática, correspondendo a climas de tipo tropical e equatorial, ou temperado de influência marítima;

- Restringir ganhos solares – **Zonas V, EC, AC, M e W**, da Carta Bioclimática, correspondendo a todos os climas que necessitam de arrefecimento;

- Promover o arrefecimento por evaporação – **Zonas EC e M** da Carta Bioclimática, correspondendo a climas temperados secos, e climas de regiões desérticas áridas e muito secas;

- Promover o arrefecimento por radiação – **Zonas M**, da Carta Bioclimática, correspondendo a todos os climas quentes de influência continental de elevadas amplitudes térmicas – são exemplos desta estratégia toda a arquitetura do médio Oriente e também no Sul da Europa particularmente em Portugal (Alentejo e Algarve) e Espanha (Andaluzia);

- A **zona N** corresponde à zona (Neutra) de conforto para o ser humano onde as condições de clima exterior estão próximas das condições de conforto.

- Nas **zonas AC** não é possível atingir estados de conforto térmico sem recurso à utilização de meios mecânicos não passivos.

O mapa climático de Portugal Continental divide-se em 3 zonas para o Verão e 3 zonas para o Inverno.

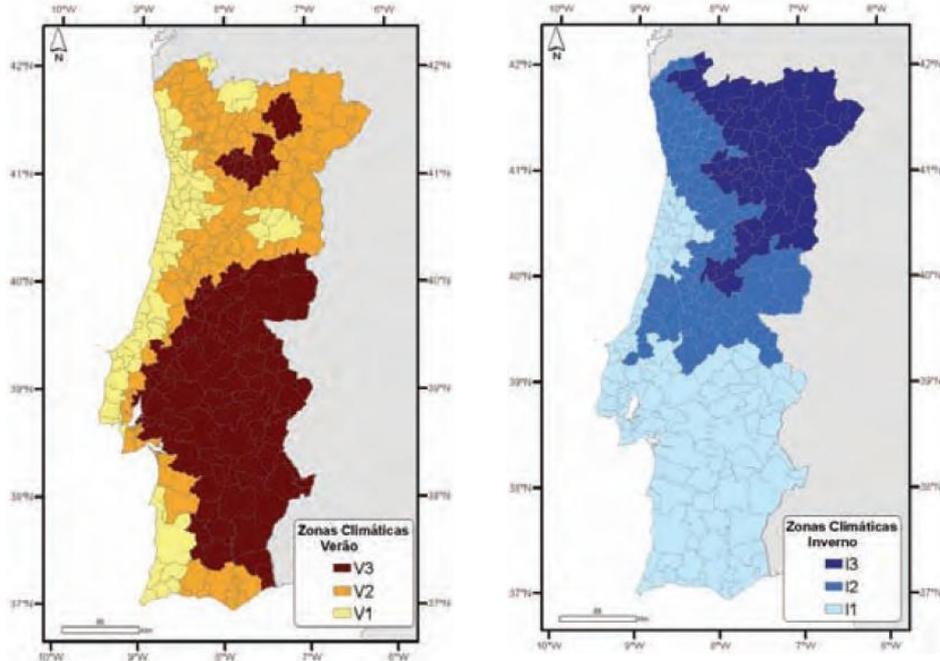


Figura 14 - Mapas climáticos de Portugal

Assim, resumidamente, os estudos efetuados mostram que no Inverno, havendo três zonas climáticas definidas para Portugal Continental (I1, I2, I3) interessa em primeiro lugar e como estratégia principal isolar a envolvente dos edifícios numa graduação proporcional àquela divisão climática, sendo a zona I3 aquela que maior cuidado necessita. Complementarmente, é necessário salvaguardar excessos de infiltrações de ar frio exterior. Por outro lado, interessa, em qualquer das zonas climáticas, promover os ganhos solares, sendo também a zona I3 a mais necessitada. A obtenção destes ganhos é feita através de vãos envidraçados devidamente orientados, sendo que a área de captação deverá ter em conta a especificidade de cada edifício (orientação, tipo de vidro e clima local).

No Verão, as três zonas climáticas (V1, V2, V3) também apresentam características comuns, ainda que com severidades distintas. Como regra a seguir em todas as zonas, interessa restringir os ganhos solares mediante adoção de soluções eficazes de sombreamento dos vãos envidraçados, e promover a ventilação natural durante períodos em que a temperatura exterior seja favorável, dependendo de cada zona e de cada tipo de edifício. Para evitar a necessidade de ar condicionado no Verão, não basta evitar os ganhos solares. É também sempre necessário adotar soluções construtivas de inércia elevada, para que possa haver estabilidade da temperatura

interior e, portanto, se minimizem situações de sobreaquecimento. A inércia é também essencial para um correto aproveitamento dos ganhos solares no Inverno.

2.2.1. SISTEMAS PASSIVOS PARA AQUECIMENTO

Os sistemas solares passivos para aquecimento podem ser classificados segundo três categorias distintas, consoante o tipo de captação e armazenamento da energia, em:

- Ganho direto;
- Ganho indireto;
- Ganho isolado.

O ganho direto é o método mais simples de captação de energia de radiação solar para aquecimento do interior do edifício. Denomina-se por ganho direto, por se tratar de um mecanismo de absorção, armazenamento e libertação de energia que é feito diretamente nos diversos compartimentos de uma habitação, isto é, a radiação incidente num vão ou numa parede exterior é transmitida ao compartimento correspondente. Devido ao efeito de estufa, a massa térmica que o elemento exterior possui é aquecida através da radiação solar durante o período diurno, sendo libertada para o interior do edifício durante o período noturno. Para que este sistema seja o mais eficaz possível, se deve ter em atenção a dimensão e a orientação do vão envidraçado, preferencialmente a Sul, de modo a que as perdas por condução de calor não superem os ganhos, no Inverno. Outro aspecto importante a considerar é o isolamento térmico eficiente dos elementos opacos e a proteção móvel dos envidraçados, de modo a reduzir as perdas de calor

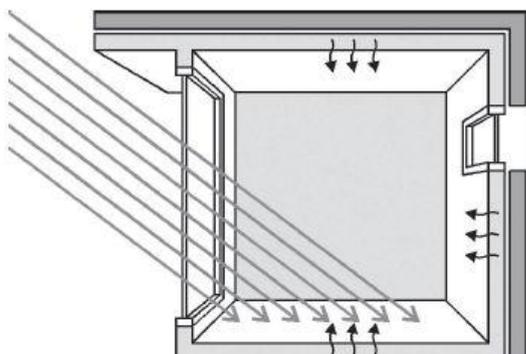


Figura 15 - Sistema de ganho direto [11]

Nos sistemas passivos de aquecimento por ganho indireto, a radiação solar que incide na envolvente de um edifício provoca o aquecimento da massa de ar situada entre a envolvente exterior e o interior do compartimento. A energia solar é transformada em energia térmica sendo depois transferida para o interior do edifício através de ventilação natural, permitindo ao utilizador regular o sistema de forma a evitar sobreaquecimentos. O sistema mais usual de ganho indireto é a parede acumuladora, conhecida por parede de Trombe, podendo existir outros mecanismos como por exemplo as paredes e coberturas de água e o ganho indireto através do pavimento. A figura representa a parede de Trombe funcionando como uma mini estufa, constituída por um vidro exterior, uma caixa-de-ar e uma parede de grande inércia. Esta parede interior apresenta um conjunto de orifícios possibilitando a recirculação de ar, fazendo com que todo o edifício possa ser aquecido através deste sistema.

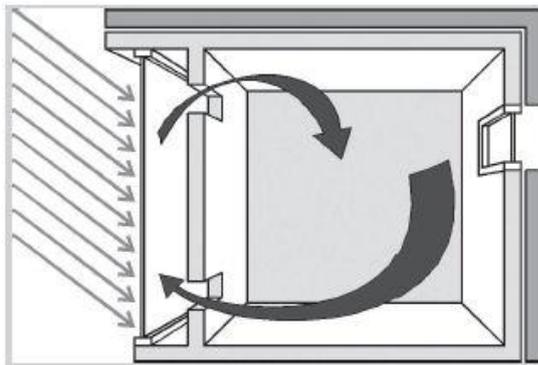


Figura 16 - Sistema de ganho indireto - Parede de Trombe [11]

O objetivo deste sistema é a captação e acumulação de energia proveniente da radiação solar. Esta radiação, ao incidir no vidro, faz com que o ar existente na caixa-de-ar seja aquecido, provocando também o aquecimento da parede interior, fazendo com que a energia acumulada por esta parede seja transferida para o interior do edifício durante o período noturno. A inércia da parede interior se torna importante para retardar a transmissão de energia, servindo de acumulador.

Por último, o ganho isolado que, como o próprio nome indica, capta a energia da radiação solar através de um espaço ou elemento separado da zona habitável do edifício. Normalmente se opta pela construção de uma estufa acoplada ao edifício ou, no caso de se pretender captar energia apenas através de um elemento, se utiliza um sistema de termossifão. Importa referir que, durante a concepção da

estufa e fundamental ter em atenção alguns aspectos de modo a torná-la o mais eficiente possível, tais como, a orientação solar e o tipo de material utilizado. Assim, o ideal será a estufa estar orientada a sul, empregando para a sua construção material que possua um amplo espectro de transmissividade, possibilitando um aumento da quantidade de energia transmitida e retida. Caso se pretenda instalar um sistema de termossifão, normalmente a captação, absorção e o armazenamento de energia, se faz através de um depósito de material granular colocado sob o espaço que se quer aquecer, ao qual estão ligadas duas condutas para a carga e descarga térmica da energia acumulada, pela circulação de ar quente e frio.

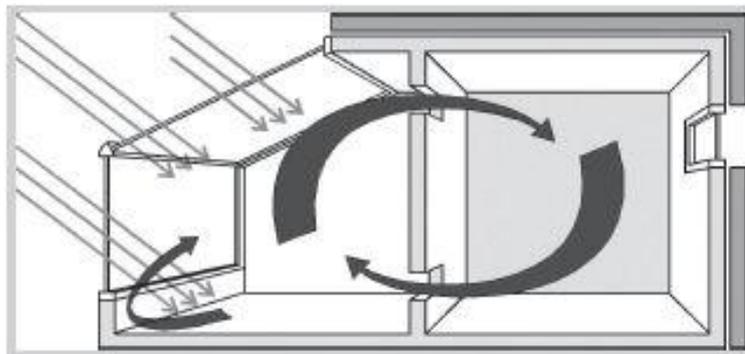


Figura 17 - Sistema de ganho isolado [11]

2.2.2. SISTEMAS PASSIVOS PARA ARREFECIMENTO

Os principais sistemas passivos de arrefecimento são a ventilação natural e o arrefecimento pelo solo. No entanto também há o arrefecimento evaporativo e o radiativo.

A ventilação natural é um processo em que existe entrada de ar frio e saída de ar quente, provocado por diferenças de pressão entre o interior e o exterior, devido ao diferencial de temperaturas. Para retirar o máximo das potencialidades deste sistema é importante dimensionar corretamente as aberturas úteis para entrada e saída de ar, de forma a satisfazer o caudal de renovação de ar exigível.

No caso de se tratar de um sistema de arrefecimento pelo solo, o ar é conduzido por um sistema de condutas enterradas, entrando no edifício pelo piso inferior e, conseqüentemente, expulsando o ar quente na parte superior através de aberturas reguladas. O desempenho destes sistemas depende do tipo de condutas e da profundidade a que são colocadas, bem como da temperatura do ar e do solo.

O arrefecimento evaporativo se baseia na diminuição de temperatura associada à mudança de fase da água do estado líquido ao estado de vapor. Quando o decréscimo é acompanhado de um aumento do conteúdo do vapor de água, se trata de um arrefecimento evaporativo direto. Neste caso, o ar exterior é arrefecido por evaporação da água, antes de entrar no edifício.

No arrefecimento radiativo, a emissão de radiação por parte dos elementos da envolvente exterior de um edifício poderá ser utilizada no arrefecimento do mesmo. As perdas por radiação ocorrem durante os períodos diurnos e noturnos, tratando-se pois de um processo contínuo. É, no entanto, durante o período noturno que os seus efeitos se fazem mais sentir em virtude da ausência de radiação solar direta.

2.2.3. SISTEMAS ATIVOS PARA AQUECIMENTO E ARREFECIMENTO

Existem vários sistemas que, hoje em dia, são utilizados no cotidiano das pessoas para lhes fornecer conforto térmico. Esses instrumentos, além de serem aqueles com maior impacto no ambiente de uma habitação, são, também, responsáveis por grande parte da fatura elétrica da mesma e pelas emissões de gases poluentes na atmosfera. Assim, é importante que a sua eficiência energética seja um item fundamental.

Seguidamente, exemplificam-se alguns destes sistemas mais utilizados nos dias de hoje.

2.2.3.1. SISTEMA DE AQUECIMENTO CENTRAL

O aquecimento central, é um sistema que permite um aumento da temperatura ambiente sem retirar as principais qualidades do ar que respiramos, é silencioso e permite que todo o espaço seja aquecido, não se restringindo a apenas uma divisão.

Este é um sistema cada vez mais comum nas habitações pois, para além de aquecer os seus diversos ambientes durante o Inverno, também produz água quente para uso doméstico.

Para que um sistema de aquecimento central funcione é necessário uma caldeira ou recuperador de calor que aqueça a água.

Esta água quente percorre toda a rede de tubagem até chegar aos diversos elementos emissores de calor (radiadores e toalheiros) que compõem o sistema. [10] A circulação de água quente nos radiadores permite então o aumento da temperatura ambiente, de uma forma homogênea e natural.

O funcionamento de um sistema de aquecimento central pode ser controlado e otimizado através dos indispensáveis sistemas de controle, programadores e termostatos, para que o sistema de aquecimento central seja o mais eficiente possível. Aos utilizadores garante-se todo o conforto, com o controlo dos gastos de energia.



Figura 18 - Exemplos de um radiador e de um toalheiro

2.2.3.2. AR CONDICIONADO

Uma unidade de ar condicionado é um complexo sistema que controla a temperatura, a humidade, a limpeza e o movimento do ar.

As unidades de ar condicionado permitem um controle preciso da temperatura. Pode-se sempre criar o clima em que cada habitante se sente melhor, com a temperatura certa.

Uma unidade de ar condicionado pode também funcionar como arrefecimento e como aquecimento. Pode proporcionar uma temperatura constante o ano todo, independentemente das condições atmosféricas exteriores. [10]

O consumo anual de um ar condicionado pode ser baixo, mediante as características de utilização.

Portas abertas ou más regulações de temperatura não ajudam a um bom rendimento do aparelho.

Sem esquecer outras vantagens como a maior facilidade de instalação, operação e manutenção, existem também outros fatores que não devem ser subestimados, como o ruído produzido pelas unidades e a dificuldade de controlar a umidade de forma adequada no Inverno.



Figura 19 - Sistemas de ar condicionado

2.3. PRODUÇÃO DE ÁGUA QUENTE PARA USO DOMÉSTICO

Na maioria dos casos, a produção de água quente para uso doméstico é efetuada através de esquentadores a gás ou termoacumuladores elétricos. No entanto, como já foi referido atrás, quando existe o recurso ao aquecimento central, este também é capaz de produzir água quente.

O processo de aquecimento de água apresenta um grande impacto no consumo de energia (duchas prolongadas, banhos de imersão, etc), logo, a utilização eficiente dos seguintes sistemas é um fator muito importante.

2.3.1. ESQUENTADORES A GÁS E CALDEIRAS.

Os esquentadores a gás e as caldeiras são dispositivos que aquecem imediatamente a água no momento em que é necessária. Estes aparelhos se podem dividir em:

- Aparelhos de potência fixa, em que a temperatura da água baixa com o aumento do fluxo. Assim, caso se abra uma torneira enquanto uma pessoa toma ducha, a água deste ficará mais fria;
- Aparelhos de potência variável, que não apresentam o problema referido anteriormente, porque os fluxos de gás e água estão relacionados entre si, de forma a manter a temperatura tanto quanto possível constante. Estes aparelhos estão a substituir os anteriores por oferecerem maior conforto aos utilizadores e, também, maior economia.



Figura 20 - Esquentador a gás

Como já foi referido, as caldeiras de aquecimento central também podem produzir águas quentes sanitárias. No caso das caldeiras murais, o funcionamento é muito semelhante ao de um esquentador, mas a sua eficiência de produção de águas quentes é um pouco inferior.

Convém referir que, no caso dos aparelhos a gás a opção pelo gás natural é a mais vantajosa, tanto do ponto de vista econômico como ambiental.

2.3.2. TERMOACUMULADORES ELÉTRICOS

O aquecimento da água com termoacumuladores não é imediato encontrando-se dependente da potência da resistência elétrica e da capacidade do aparelho. Assim, é sempre necessário aguardar algum tempo até que a água aqueça e possa ser utilizada.



Figura 21 - Termoacumulador elétrico

Os termoacumuladores elétricos são especialmente indicados para zonas onde a entrada da água não é demasiado fria, onde a disponibilidade de energia seja uma condicionante, ou onde os períodos de utilização sejam descontínuos, como por exemplo em apartamentos de férias. Ainda assim, em todos os casos, o aparelho deve ser instalado de preferência em um local quente e estrategicamente colocado entre a cozinha o banheiro, para minimizar o comprimento da canalização necessária e conseqüentemente diminuir as perdas de calor, nunca devendo ser instalado em cave não aquecida. [10]

2.3.3. PAINÉIS SOLARES

Os painéis solares térmicos transformam a radiação solar diretamente em energia térmica para o aquecimento de águas. Um sistema solar térmico pode reduzir até um terço a fatura energética de cada habitação. Estes equipamentos captam a radiação solar através de coletores, que a transformam em calor e a transmitem à água que é utilizada na edificação. [15]

Existem vários tipos de coletores solares, sendo os mais usuais nos edifícios:

- Coletor Plano: se trata do coletor mais comum que é usado principalmente para AQS (Água Quente Sanitária), atingindo uma temperatura máxima de cerca de 60°C. Estes sistemas são constituídos, basicamente, por uma cobertura transparente, uma placa absorvente e uma caixa isolada. E através da placa absorvente que se dá a transformação da energia solar em energia térmica, passando essa energia para um fluido térmico que circula numa rede de canais e que por sua vez aquecem a água contida no depósito de armazenamento.



Figura 22 - Esquema de um coletor plano [16]

- Coletores Concentradores: estes sistemas apenas captam a radiação direta, ao contrário do sistema descrito anteriormente que capta também a radiação difusa. Contudo, estes coletores conseguem tirar um máximo proveito da energia do Sol, fazendo com que o fluido térmico atinja temperaturas elevadas, podendo ser utilizados tanto para o aquecimento de águas quentes sanitárias como para o aquecimento de piscinas. Porém, estes sistemas são mais adequados para climas secos, atendendo a que apresentam um rendimento relativamente baixo em zonas onde o tempo seja predominantemente nublado.

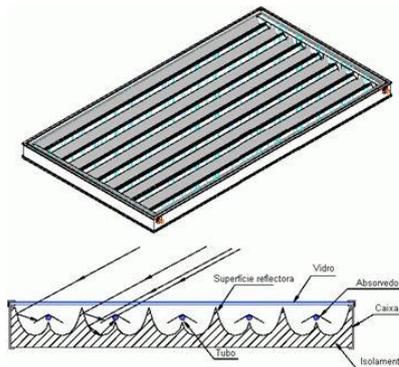


Figura 23 - Esquema de um coletor concentrador [16]

- **Coletores de Tubos de Vácuo:** consistem em tubos de vidro transparente sendo colocados no seu interior tubos metálicos, normalmente de cobre, que constituem o absorvedor onde circula o fluido térmico que transporta a energia para o tanque de armazenamento. O fato dos tubos de vidro estarem em vácuo contribui para a redução significativa das perdas térmicas para o exterior, possibilitando desta forma um maior ganho de energia captada, o que permite que a água atinja temperaturas na ordem dos 100°C.

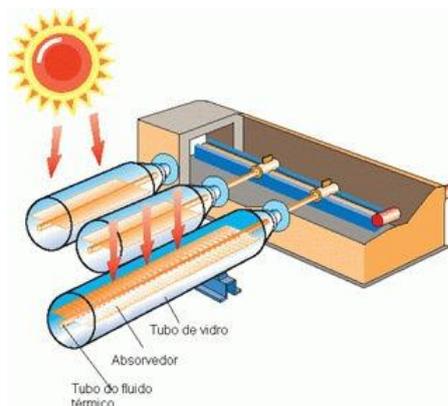


Figura 24 - Esquema de um coletor de tubo de vácuo [16]

Quanto ao modo de funcionamento dos coletores, existem dois tipos de sistemas:

- **Sistemas de circulação natural (termossifão)** - A radiação solar, ao atingir o painel solar, aquece o líquido térmico (normalmente, constituído por água e anticongelante), que sendo menos denso que o restante, sobe até ao tanque de armazenamento e aquece a água contida neste. Ora esse fenómeno provoca o arrefecimento do líquido térmico que volta ao início do ciclo através das forças de

convecção, designado por circulação natural ou termosifão. É possível acoplar ao tanque de armazenamento da água um termostato para suprir as necessidades, caso o sistema não tenha capacidade para aquecer a quantidade de água desejada.

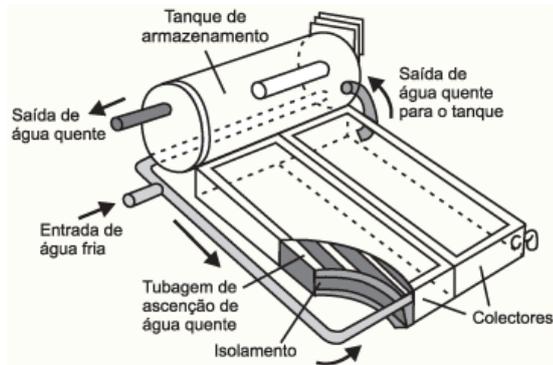


Figura 25 - Representação de um sistema tipo termosifão

- Sistemas de circulação forçada: Quando não é possível o recurso ao sistema anteriormente descrito, se utiliza um sistema de circulação forçada através da instalação de uma bomba de água, ou seja, fazendo com que o líquido térmico percorra o circuito e aqueça a água que se encontra no depósito. Dependendo do sistema instalado, a bomba entra em funcionamento quando se verifica um diferencial de temperatura, cerca de 4 ou 5°C, entre as sondas colocadas no depósito e no coletor. Quando as condições de clima não permitem o aquecimento da água através dos painéis solares pode ser aplicada uma resistência elétrica no depósito.

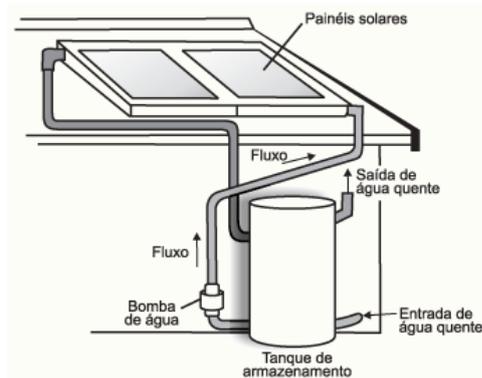


Figura 26 - Representação de um sistema de circulação forçada

Durante a fase de seleção de um sistema de aproveitamento solar, é importante ter em atenção os seguintes aspetos: a climatologia local, a orientação e a inclinação dos colectores solares. Só assim será possível retirar o máximo proveito do sistema e tornar a instalação economicamente viável.

Verificando as imagens abaixo (caso de Portugal) se constata que no Inverno a radiação solar incide com pouca inclinação, sendo desejável que o painel seja mais inclinado para permitir que a radiação incida o mais perpendicular possível. No verão ocorre a situação inversa, ou seja, como o Sol se apresenta mais alto o coletor deverá ser menos inclinado. Em termos de orientação solar, esta deverá ser preferencialmente a Sul. A figura seguinte ilustra a inclinação ideal consoante as estações do ano.

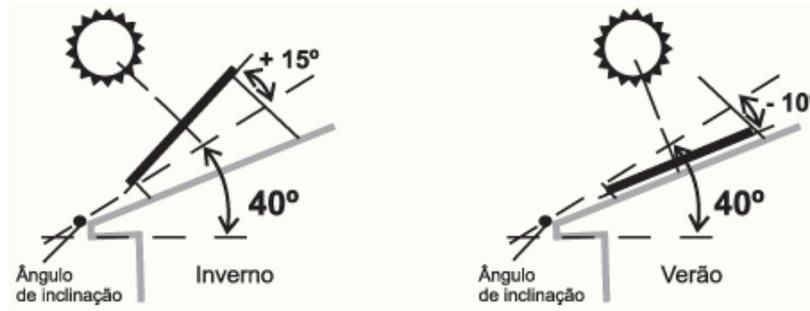


Figura 27 - Inclinação ideal dos painéis consoante as estações do ano [17]

Portugal é um dos países da Europa com maior disponibilidade de radiação solar. Uma forma de dar idêa desse fato é em termos do número médio anual de horas de Sol, que varia entre 2.200 e 3.000 para Portugal e, por exemplo, para Alemanha varia entre 1.200 e 1.700 h. A radiação solar horizontal diária em Portugal se apresenta na seguinte figura. [9]

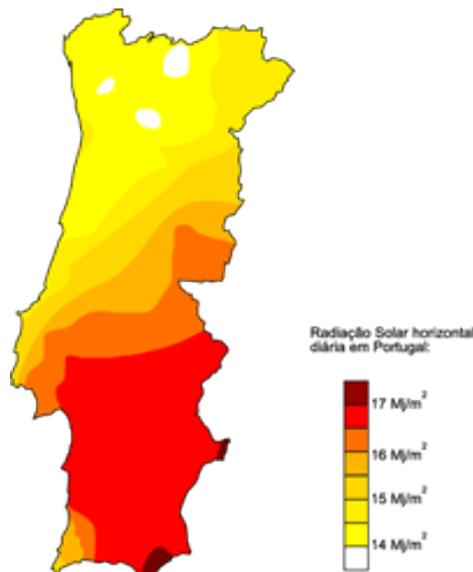


Figura 28 - Radiação solar horizontal diária em Portugal [9]

Como se poderá verificar de seguida, a utilização de painéis solares em Portugal passou a ser regulamentar e obrigatória em 2006, sempre que a edificação possuir boa exposição solar.

3. REGULAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS DE COMPORTAMENTO TÉRMICO DOS EDIFÍCIOS

3.1. ESTRUTURA DO REGULAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS DE COMPORTAMENTO TÉRMICO DOS EDIFÍCIOS (RCCTE)

Este Regulamento é composto por 20 Artigos e 9 Anexos. Assim, os artigos definem toda a organização do regulamento remetendo para anexo todas as definições, dados climáticos e metodologias de cálculo.

Resumidamente os artigos que constituem este regulamento são:

1º Artigo - aqui são expostos quais os objetivos que este regulamento pretende atingir com a sua implementação (estes já foram referidos anteriormente);

2º Artigo - neste ponto é introduzido o âmbito de aplicação do regulamento e exceções prevista. Também é definido o significado de fração autónoma e grandes remodelações.

3º Artigo - este ponto refere que todas as definições e referências necessárias para a aplicação deste regulamento se encontram no Anexo II;

4º Artigo - aqui são introduzidos os índices utilizados na quantificação energética do edifício – N_{iC} ; N_{vC} ; N_{aC} ; N_{tC} , assim como os parâmetros complementares a quantificar – U (coeficiente de transmissão térmica); inércia do edifício; Fator solar dos envidraçados e taxa de renovação horária;

5º Artigo - este ponto refere que cada fração autónoma não pode ultrapassar o valor máximo admissível das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento, N_i , valor este que é fixado no artigo 17.º.

6º Artigo - este artigo é semelhante ao anterior mas relativamente ao valor das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento, N_v ;

7º Artigo - este artigo é semelhante ao anterior, mas relativamente ao valor das necessidades nominais anuais de energia útil para produção de águas quentes sanitárias, N_a ; além de definir a obrigatoriedade de implementação de um sistema de coletores solares térmicos para águas quentes sanitárias, sempre que haja uma exposição solar adequada;

8º Artigo - este ponto refere que as necessidades nominais globais de energia primária dos edifícios, N_{tc} , não podem ultrapassar um valor máximo de energia primária, N_t , o qual é fixado no artigo 17º, definido como a soma dos valores máximos determinados nos artigos 5º, 6º e 7º, convertidos para energia primária a partir de Fatores de Ponderação, F_{pui} , F_{puv} , F_{pua} ;

9º Artigo - aqui é referido que os valores máximos de N_i e N_v têm de ser obtidos sem ultrapassar os requisitos mínimos em relação ao coeficiente de transmissão térmica e fator solar, definido no artigo 18º;

10º Artigo - neste ponto refere-se que os edifícios isentos de satisfação dos artigos 5º, 6º e 8º, têm de cumprir os valores máximos de coeficiente de transmissão térmica, área e fator solar dos vãos envidraçados, inércia térmica e proteção solar das coberturas, caso contrário é anulada a isenção referida;

11º Artigo - aqui é referido que os métodos de cálculo a utilizar na obtenção dos valores das necessidades nominais de aquecimento, arrefecimento, águas quentes sanitárias e os parâmetros referidos nos artigos 9º e 10º, são descritos nos anexos IV, V, VI e VII;

12º Artigo - este ponto define as obrigações das entidades com competência para o licenciamento dos edifícios, nos termos da certificação energética e qualidade do ar interior;

13º Artigo - este artigo define a informação mínima necessária que deve conter qualquer pedido de licenciamento, para demonstração do cumprimento deste regulamento;

14º Artigo - aqui se define quem possui a responsabilidade pela demonstração da conformidade do projeto e da execução da construção com as exigências deste regulamento;

15º Artigo - neste artigo são regulamentadas as violações ao projeto passíveis de serem consideradas contra-ordenações puníveis com coima, assim como o valor das coimas a aplicar;

16º Artigo - este ponto indica as condições interiores de referência das habitações:

- condições de conforto para estação de aquecimento – 20°C e para a estação de arrefecimento – 25°C e 50% de umidade relativa
- taxa mínima de renovação do ar – 0.6 RPH
- consumo de referência para água quente sanitária – 40 lts de água quente a 60°C por dia e por pessoa;

17º Artigo - aqui são definidos os valores máximos das necessidades de energia útil para aquecimento, arrefecimento e águas quentes sanitárias.

18º Artigo - neste ponto é referido que o valor dos requisitos de qualidade térmica previamente mencionados está definido no anexo IX do RCCTE. Também se refere que, para espaços não-úteis, se o valor de π (definido no anexo IV do RCCTE) for superior a 0.7, o elemento de separação entre o espaço útil e o não-útil têm os mesmos requisitos que um elemento da envolvente exterior;

19º Artigo - aqui são definidos alguns valores limite referidos previamente no regulamento, tal como a área útil de pavimento máxima que isenta uma habitação unifamiliar da demonstração do cumprimento do valor de N_a ;

20º Artigo - o último artigo apresenta os fatores de conversão entre energia útil e primária (F_{pu}), assim como o rendimento de alguns equipamentos (η);

Seguidamente, vai-se explicar, de forma resumida, o conteúdo de cada um dos 9 anexos que constituem o RCCTE. De modo a facilitar a compreensão do Regulamento, todas as referências a Quadros e Tabelas serão efetuadas utilizando a mesma nomenclatura citada no RCCTE.

Anexo I

Neste ponto são definidos os espaços que podem ser considerados como não-úteis, os quais não são incluídos no cálculo de N_{ic} , N_{vc} e N_{tc} .

“Área útil de pavimento”, é a soma das áreas, medidas em planta pelo perímetro interior das paredes, de todos os compartimentos de uma fração autónoma de um edifício, incluindo vestíbulos, circulações internas, instalações sanitárias, arrumos interiores e outros compartimentos de função similar e armários nas paredes.

Assim, espaço não-útil é o conjunto dos locais fechados, fortemente ventilados ou não, que não se encontram englobados na definição de área útil de pavimento, e que não se destinam à ocupação humana em termos permanentes e, portanto, em regra, não são climatizados. Incluem-se aqui armazéns, garagens, sótãos e caves não habitados, circulações comuns a outras frações autônomas do mesmo edifício, etc. Consideram-se ainda como espaços não-úteis as lojas não climatizadas com porta aberta ao público.

Os espaços não-úteis não podem ser incluídos no cálculo dos valores de N_{ic} , N_{vc} e N_{tc} :

Anexo II - aqui são apresentadas todas as definições consideradas significativas e com importância para uma melhor compreensão do regulamento.

Anexo III - este ponto apresenta o zoneamento climático por concelhos² e zonas climáticas e os dados climáticos de referência, com correções consoante a altitude do local. Também é apresentada a energia solar média incidente numa superfície vertical durante a estação de aquecimento e os valores médios da temperatura exterior e a intensidade da radiação solar durante a estação de arrefecimento.

Como já foi referido no Capítulo anterior, Portugal é dividido em três zonas climáticas de Inverno, I1, I2 e I3 e em três zonas climáticas de Verão V1, V2 e V3.

As zonas de Verão estão divididas em Região Norte e Região Sul. A Região Sul abrange toda a área a sul do rio Tejo e ainda os seguintes concelhos dos distritos de Lisboa e Santarém: Lisboa, Oeiras, Cascais, Amadora, Loures, Odivelas, Vila Franca de Xira, Azambuja, Cartaxo e Santarém.

No quadro III.1 indica-se o zoneamento climático discriminado por concelhos e ainda, os seguintes dados climáticos de referência de Inverno e de Verão:

- número de graus-dias de aquecimento (na base de 20°C) correspondente à estação convencional de aquecimento;
- duração da estação de aquecimento;

² Concelho é uma divisão administrativa do território. Cada cidade que possui Prefeitura possui um concelho.

- temperatura exterior de projeto de Verão;
- amplitude térmica média diária do mês mais quente.

Alguns locais, devido às suas características geográficas e/ou climatéricas são considerados exceções. Assim:

- nos concelhos de Pombal (I2), Leiria (I2) e Alcobaça (I2), os locais situados numa faixa litoral com 10 km de largura são incluídos na zona climática de Inverno I1 e se adotam os seguintes dados climáticos de referência: $GD = 1500^{\circ}\text{C.dias}$ e Duração da estação de aquecimento de 6 meses;

- nos concelhos de Pombal (V3) e Santiago do Cacém (V3), os locais situados numa faixa litoral com 15 km de largura são incluídos na zona climática de Verão V1 e se adoptam os seguintes dados climáticos de referência: Temperatura exterior de projeto de Verão de 31°C e Amplitude térmica média diária do mês mais quente de 10°C ;

- no concelho de Alcácer do Sal (V3), os locais situados numa faixa litoral com 10 km de largura são incluídos na zona climática de Verão V2 e se adotam os seguintes dados climáticos de referência: Temperatura exterior de projeto de Verão de 33°C e Amplitude térmica média diária do mês mais quente de 13°C .

Nos quadros III.2 e III.3 se indicam as alterações, em função da altitude dos locais, a introduzir relativamente ao zoneamento e aos dados climáticos de referência indicados no quadro III.1.

As regiões autónomas dos Açores e da Madeira também têm um tratamento diferenciado.

- Região Autónoma dos Açores

Zonas climáticas de Inverno

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 cada local, o número médio de graus-dias de aquecimento (na base de 20°C) da estação convencional de aquecimento pode ser calculado, em função da respectiva altitude, z , pela seguinte expressão:

$$GD_{20} (\text{est. aquec.}) = 1,5 z + 650$$

A duração média da estação convencional de aquecimento, em função da altitude, é dada no Quadro III.4.

Zonas climáticas de Verão

Toda a Região Autónoma dos Açores é classificada como V1. Para cada local, a temperatura exterior de projeto de Verão e a amplitude térmica diária do mês mais quente, em função da respectiva altitude, são dadas no Quadro III.5.

- Região Autónoma da Madeira

Zonas climáticas de Inverno

I1 - locais situados até 800 m de altitude

I2 - locais situados entre 800 m e 1100 m de altitude

I3 - locais situados acima de 1100 m de altitude

Para cada local, o número médio de graus-dias de aquecimento da estação convencional de aquecimento pode ser calculado, em função da respectiva altitude, z , pela seguinte expressão:

$$\begin{array}{ll} z < 400 \text{ m} & GD_{20} (\text{est. aquec.}) = 2,4 z + 50 \\ z \geq 400 \text{ m} & GD_{20} (\text{est. aquec.}) = 1,6 z + 380 \end{array}$$

A duração média da estação convencional de aquecimento, em função da altitude, é dada no Quadro III.6.

Zonas climáticas de Verão

Toda a Região Autónoma da Madeira é classificada como V1. Para cada local, a temperatura exterior de projeto de Verão e a amplitude térmica diária do mês mais quente, em função da respectiva altitude, são dadas no Quadro III.5.

Anexo IV - neste ponto é definido o método de cálculo das necessidades de aquecimento. Este método está dividido em três parcelas: perdas de calor pela envolvente; perdas de calor por renovação de ar; ganhos úteis. Assim, é apresentada a forma para calcular estas três parcelas, além de serem fornecidas várias folhas de cálculo, assim como várias tabelas necessárias para o cálculo das necessidades de aquecimento.

Anexo V - aqui é definido o método de cálculo das necessidades de arrefecimento. Este método está dividido em quatro parcelas: cargas térmicas pela envolvente; cargas térmicas por renovação de ar; ganhos térmicos devido à radiação solar pelos envidraçados; ganhos térmicos internos. Assim, é apresentada a forma para calcular todas estas parcelas, além de fornecer várias folhas de cálculo, assim como tabelas necessárias para o cálculo das necessidades de arrefecimento.

Anexo VI - neste ponto é definido o método de cálculo das necessidades de energia para preparação de águas quentes sanitárias.

Anexo VII - este ponto apresenta os princípios de cálculo de dois parâmetros térmicos necessários para a aplicação deste regulamento, o Coeficiente de Transmissão Térmica (U) e a Inércia Térmica do Edifício;

Anexo VIII - aqui são apresentadas as fichas de preenchimento necessário por forma a obter a licença de construção e utilização das habitações;

Anexo IX - neste ponto são definidos os requisitos mínimos que os edifícios têm de respeitar de forma a cumprir este regulamento. Assim, são apresentados os Coeficientes de transmissão térmica máximos admissíveis para zonas correntes e não correntes, o fator solar máximo admissível e os valores de referência para dispensa da verificação detalhada do RCCTE.

3.2. MÉTODO DE CÁLCULO DAS NECESSIDADES DE AQUECIMENTO (N_{ic})

As necessidades nominais de aquecimento de uma fração autônoma de um edifício são a energia útil que é necessária fornecer para manter permanentemente no seu interior a temperatura de referência durante toda a estação convencional de aquecimento. Este valor não representa necessariamente o consumo real dessa zona do edifício, já que, em geral, os seus ocupantes não impõem permanentemente situações exatamente iguais às de referência, podendo mesmo ocorrer diferenças substanciais por excesso ou por defeito entre as condições reais de funcionamento e as admitidas ou convencionadas como de referência para efeitos deste Regulamento.

As necessidades nominais de aquecimento resultam do valor integrado na estação de aquecimento da soma algébrica de três parcelas:

- Perdas de calor por condução através da envolvente dos edifícios, Q_t
- Perdas de calor resultantes da renovação de ar, Q_v
- Ganhos de calor úteis, Q_{gu} , resultantes da iluminação, dos equipamentos, dos ocupantes e dos ganhos solares através dos envidraçados.

As necessidades anuais de aquecimento do edifício, N_{ic} são calculadas pela expressão seguinte:

$$N_{ic} = \frac{Q_t + Q_v - Q_{gu}}{A_p} \text{ (kWh/m}^2 \text{ ano)} \quad (1)$$

em que A_p representa a área útil (m^2).

A metodologia de cálculo de cada um dos três termos acima identificados é definida individualmente a seguir.

3.2.1. PERDAS DE CALOR POR CONDUÇÃO ATRAVÉS DA ENVOLVENTE, Q_t

As perdas de calor pela envolvente durante toda a estação de aquecimento, isto é, pelas paredes, pelos envidraçados, pela cobertura e pelo pavimento, devidas à diferença de temperatura entre o interior e o exterior do edifício, resultam da seguinte expressão:

$$Q_t = Q_{ext} + Q_{lna} + Q_{pe} + Q_{pt} \text{ (W)} \quad (2)$$

em que:

Q_{ext} - perdas de calor pelas zonas correntes das paredes, envidraçados, coberturas e pavimentos em contacto com o exterior;

Q_{lna} - perdas de calor pelas zonas correntes das paredes, envidraçados e pavimentos em contacto com locais não-aquecidos;

Q_{pe} - perdas de calor pelos pavimentos e paredes em contacto com o solo;

Q_{pt} - perdas de calor pelas pontes térmicas lineares existentes no edifício.

3.2.1.1. PERDAS PELA ENVOLVENTE EM ZONA CORRENTE, Q_{EXT}

As perdas instantâneas pelas zonas correntes das paredes, envidraçados, coberturas e pavimentos exteriores Q_{ext} são calculadas pela expressão:

$$Q_{ext} = UA(\theta_i - \theta_{atm}) \text{ (W)} \quad (3)$$

em que:

U - coeficiente de transmissão térmica do elemento da envolvente (em $W/m^2 \cdot ^\circ C$);

A - área do elemento medida pelo interior (m^2);

θ_i - temperatura do ar no interior do edifício ($20^\circ C$);

θ_{atm} - temperatura do ar exterior (em $^\circ C$).

Durante toda a estação de aquecimento, a energia necessária para compensar estas perdas é, para cada elemento da envolvente exterior, calculada pela expressão:

$$Q_{ext} = 0,024UA \times GD \text{ (kWh)} \quad (4)$$

em que:

0,024 - resultado obtido pela expressão: 24 horas /1000;

GD - Graus-Dias de aquecimento – é o somatório das diferenças positivas registradas entre a temperatura base (de 20°C) e a temperatura do ar exterior ao longo da estação de aquecimento (Quadro III.1):

U – coeficiente de transmissão térmica (cálculo descrito no anexo VII)

3.2.1.2. PERDAS PELA ENVOLVENTE EM ZONA CORRENTE, Q_{LNA}

As perdas pelas zonas correntes das paredes, envidraçados e pavimentos que separam um espaço aquecido de um local não-aquecido Q_{lna} , são calculadas através da expressão:

$$Q_{lna} = UA(\theta_i - \theta_a) \text{ (W)} \quad (5)$$

em que:

U - representa coeficiente de transmissão térmica do elemento da envolvente ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$);

A – área do elemento medida pelo interior (m^2);

θ_i - temperatura do ar no interior do edifício (20°C);

θ_a - temperatura do ar do local não-aquecido ($^\circ\text{C}$).

A temperatura do ar do local não-aquecido, θ_a , toma um valor intermédio entre a temperatura atmosférica exterior θ_{atm} e a temperatura da zona aquecida θ_i . Assim, utiliza-se a expressão seguinte:

$$\theta_a = \theta_i - \tau(\theta_i - \theta_{atm}) \text{ (}^\circ\text{C)} \quad (6)$$

em que τ é um parâmetro adimensional cujos valores estão indicados na Tabela IV.1 para várias situações comuns de espaços não-aquecidos.

Assim, integrando a equação (5), obtém-se, para cada elemento da envolvente, a energia necessária para compensar as perdas:

$$Q_{lna} = 0,024 UA \times GD \times \tau \text{ (kWh)} \quad (7)$$

3.2.1.3. PERDAS POR PAVIMENTOS E PAREDES EM CONTACTO COM O SOLO, Q_{pe}

As perdas de calor através dos elementos de construção em contato com o terreno são calculadas pela expressão:

$$Q_{pe} = \sum \psi_j B_j (\theta_i - \theta_{atm}) = L_{pe} (\theta_i - \theta_{atm}) \quad (W) \quad (8)$$

em que:

ψ_j - coeficiente de transmissão térmica linear do elemento j ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) (Tabelas IV.2);

B_j - desenvolvimento da parede medido pelo interior do elemento j (m);

L_{pe} - perdas unitárias de calor (por $^\circ C$ de diferença de temperatura entre os ambientes interior e exterior) através dos elementos de construção em contacto com o terreno, $L_{pe} = \sum \psi_j \cdot B_j$ ($W/^\circ C$).

Durante toda a estação de aquecimento, a energia necessária para compensar estas perdas lineares é, para cada elemento da envolvente em contacto com o solo, calculada pela expressão:

$$Q_{pe} = 0,024 L_{pe} \cdot GD \quad (kWh) \quad (9)$$

Na figura seguinte, representa-se o princípio de quantificação da transmissão de calor através dos elementos de construção em contacto com o solo.

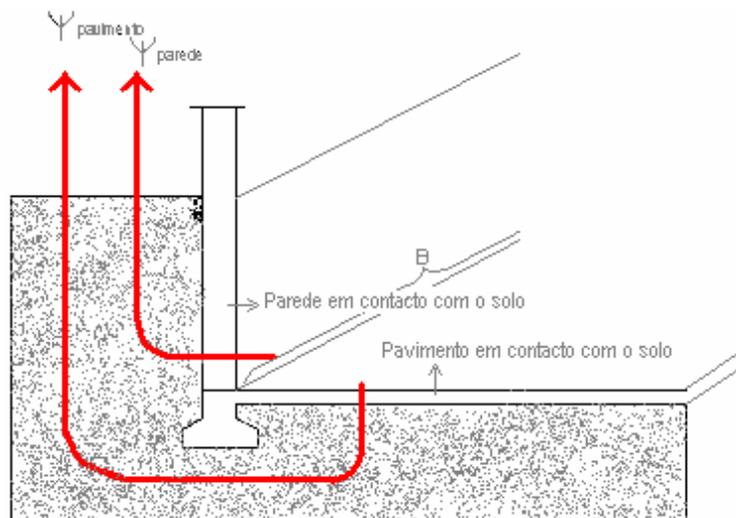


Figura 29 - Elementos de construção em contacto com o solo

3.2.1.4. PERDAS DE CALOR PELAS PONTES TÉRMICAS LINEARES, Q_{pt}

As perdas de calor através das pontes térmicas lineares são calculadas pela seguinte expressão:

$$Q_{pt} = \sum \psi_j B_j (\theta_i - \theta_{atm}) = L_{pt} (\theta_i - \theta_{atm}) \quad (W) \quad (10)$$

em que:

ψ_j - coeficiente de transmissão térmica linear da ponte térmica linear j ($W/m^2 \cdot ^\circ C$);

B_j - desenvolvimento da ponte térmica linear j medido pelo interior (m);

L_{pt} - perdas unitárias de calor (por $^\circ C$ de diferença de temperatura entre os ambientes interior e exterior) através das pontes térmicas, $L_{pt} = \sum \psi_j B_j$ ($W/^\circ C$).

Para efeitos deste Regulamento, a análise se limita às pontes térmicas bidimensionais, sendo indicados na tabela IV.3 os valores de ψ correspondentes às situações mais correntes na construção em Portugal.

Durante toda a estação de aquecimento a energia necessária para compensar estas perdas térmicas lineares é, para cada ponte térmica da envolvente, calculada pela expressão:

$$Q_{pt} = 0,024 L_{pt} \cdot GD \quad (kWh) \quad (11)$$

Na figura seguinte, representa-se, a título ilustrativo, a transmissão de calor através de uma ponte térmica linear.

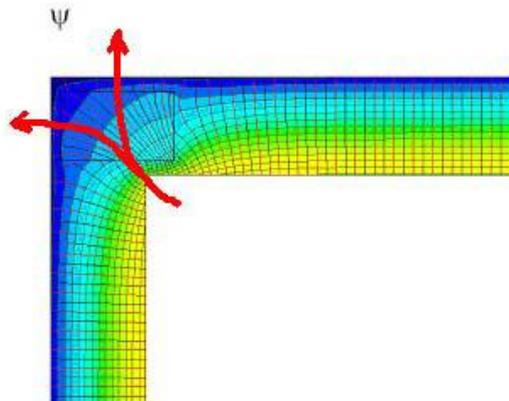


Figura 30 - Ponte térmica linear numa ligação entre duas paredes verticais

3.2.2. PERDAS DE CALOR RESULTANTES DA RENOVAÇÃO DE AR, Q_v

As perdas de calor por unidade de tempo correspondentes à renovação do ar interior, Q_v , são calculadas pela expressão:

$$Q_v = \rho C_p R_{ph} V (\theta_i - \theta_{atm}) / 3600 = 0,34 R_{ph} V (\theta_i - \theta_{atm}) \text{ (W)} \quad (12)$$

em que:

ρ - massa volúmica do ar (1,219 kg/m³);

C_p - calor específico do ar (1005,6 J/kg.°C);

R_{ph} - número de renovações horárias do ar interior (h⁻¹). Este valor é estabelecido na metodologia que será exposta mais à frente (3.2.2.1.)

V - volume interior da fração autónoma que, na generalidade dos casos, pode ser calculado como o produto da área útil de pavimento A_p pelo pé-direito medio P_d ;

0,34 - resultado obtido pela expressão $\rho \cdot C_p / 3600$.

Durante toda a estação de aquecimento, a energia necessária para compensar estas perdas é calculada pela expressão:

$$Q_v = 0,024 \cdot (0,34 \cdot R_{ph} \cdot A_p \cdot P_d) \cdot GD \quad (13)$$

ou, no caso de a ventilação ser assegurada por meios mecânicos providos de dispositivos de recuperação de calor do ar extraído,

$$Q_v = 0,024 \cdot 0,34 R_{ph} \cdot V \cdot GD (1 - \eta_v) \text{ (kWh)} \quad (14)$$

onde η_v é o rendimento do sistema de recuperação de calor.

Quando o edifício dispuser de sistemas mecânicos de ventilação, à energia Q_v calculada pela expressão anterior deve ser adicionada a energia elétrica E_v necessária ao seu funcionamento, que se considera ligado em permanência durante 24 horas por dia, durante a estação de aquecimento:

$$E_v = P_v \cdot 24 \cdot 0,03 \cdot M \text{ (kWh)} \quad (15)$$

em que:

P_v - soma das potências elétricas de todos os ventiladores instalados (W);

M - duração média da estação convencional de aquecimento (meses)
(Quadro III.1)

24 - horas diárias;

0,03 - resultado obtido pela expressão: 30 dias/1000.

No caso de um ventilador comum a várias frações autônomas, a energia total correspondente ao seu funcionamento deve ser dividida entre cada uma dessas frações autônomas, numa base diretamente proporcional aos caudais de ar nominais correspondentes a cada uma delas.

3.2.2.1. DETERMINAÇÃO DA TAXA DE RENOVAÇÃO HORÁRIA NOMINAL

A taxa de renovação do ar é, por definição, o caudal horário de entrada de ar novo num edifício ou fração autônoma para renovação do ar interior, expresso em múltiplos do volume interior útil do edifício ou da fração autônoma.

Ventilação Natural

Sempre que os edifícios estejam em conformidade, o que deve ser objeto de demonstração clara e inequívoca pelo responsável pela aplicação do RCCTE, o valor de R_{ph} a adotar é de $0,6 \text{ h}^{-1}$.

No caso de o único dispositivo de ventilação mecânica presente no edifício ou fração autônoma ser o exaustor na cozinha, dado que este só funcionará, normalmente, durante períodos curtos, se considera que o edifício é ventilado naturalmente. Neste e nos restantes casos de edifícios ventilados naturalmente, o valor de R_{ph} é determinado de acordo com o Quadro IV.1, em função da tipologia do edifício, da sua exposição ao vento, e da permeabilidade ao ar da sua envolvente.

Ventilação Mecânica

No caso dos sistemas em que a ventilação recorre a sistemas mecânicos, a taxa de renovação horária R_{ph} é calculada com base na expressão:

$$R_{ph} = \frac{\dot{V}_f}{V} + \frac{\dot{V}_x}{V} \text{ (h}^{-1}\text{)} \quad (16)$$

em que:

V_f - caudal devido à ventilação mecânica (m^3/h);

V_x - caudal devido à ventilação natural (as infiltrações devidas ao efeito do vento e ao efeito de chaminé) (m^3/h);

V - volume útil interior da fração autónoma (m^3).

O caudal devido à ventilação mecânica é avaliado da seguinte maneira:

$$\dot{V}_f \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \text{sistemas mecânicos de caudal constante} \rightarrow \max[\dot{V}_{ins}, \dot{V}_{ev}] \\ \text{sistemas mecânicos de caudal variável} \rightarrow \max[\dot{V}_{ins-med}, \dot{V}_{ev-med}] \end{array} \right\} \quad (17)$$

em que:

V_{ins} - caudal insuflado (m^3/h);

V_{ev} - caudal evacuado à ventilação natural (m^3/h);

$V_{ins-med}$ - caudal médio diário insuflado (m^3/h);

V_{ev-med} - caudal médio diário evacuado (m^3/h).

3.2.3. GANHOS TÉRMICOS ÚTEIS NA ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO, Q_{GU}

Os ganhos térmicos a considerar no cálculo das necessidades nominais de aquecimento do edifício têm duas origens:

- i) ganhos térmicos associados a fontes internas de calor, Q_i ;
- ii) ganhos térmicos associados ao aproveitamento da radiação solar, Q_s

Os ganhos térmicos brutos, Q_g , são calculados com base na equação seguinte:

$$Q_g = Q_i + Q_s \quad (\text{kWh}) \quad (18)$$

Tendo em conta que nem todos os ganhos térmicos brutos se traduzem num aquecimento útil do ambiente interior, dando origem por vezes apenas a um sobreaquecimento interior, os ganhos térmicos brutos são convertidos em ganhos

úteis através do fator de utilização dos ganhos térmicos (η), definido no seguidamente em 3.2.3.1. em função da inércia térmica do edifício e da relação entre aqueles e as perdas térmicas totais do edifício:

$$Q_{gu} = \eta Q_g \text{ (kWh)} \quad (19)$$

3.2.3.1. GANHOS TÉRMICOS BRUTOS RESULTANTES DE FONTES INTERNAS, Q_i

Os ganhos térmicos internos, Q_i , incluem qualquer fonte de calor situada no espaço a aquecer, excluindo o sistema de aquecimento, nomeadamente:

- ganhos de calor associados ao metabolismo dos ocupantes;
- calor dissipado nos equipamentos e nos dispositivos de iluminação.

Os ganhos de calor de fontes internas durante toda a estação de aquecimento são calculados com base na equação seguinte:

$$Q_i = q_i M A_p \times 0.720 \text{ (kWh)} \quad (20)$$

em que:

q_i - ganhos térmicos internos médios por unidade de área útil de pavimento, em W/m^2 (Quadro IV.3), numa base de 24 h/dia, todos os dias do ano no caso dos edifícios residenciais, e em cada dia em que haja ocupação nos edifícios de serviços;

M - duração média da estação convencional de aquecimento em meses (Quadro III.1);

0.720 é o resultado obtido pela expressão (24 horas \times 30 dias)/1000.

Factor de utilização dos ganhos térmicos, η

O fator de utilização dos ganhos térmicos define-se como a fração dos ganhos solares captados e dos ganhos internos que contribuem de forma útil para o aquecimento ambiente durante a estação de aquecimento.

Situação de Inverno

Durante a estação de aquecimento, o objetivo é que a temperatura no interior do edifício seja mantida igual a 20°C. Quando se verificam ganhos internos e solares

excessivos, a temperatura interior sobe acima do valor de referência dando origem a um sobre aquecimento. Os ganhos indesejáveis são classificados como “ganhos não úteis” sendo que os ganhos efetivamente utilizados para o objetivo enunciado de manter a temperatura interior igual a de referência, são considerados “ganhos úteis”

Para efeitos de cálculo dos ganhos térmicos úteis na estação de aquecimento, o η é definido como o fator de utilização dos ganhos térmicos (ganhos úteis) e é calculado pelas seguintes expressões:

$$\left\{ \begin{array}{l} \eta = \frac{1-\gamma^a}{1-\gamma^{a+1}} \quad \text{se } \gamma \neq 1 \\ \eta = \frac{a}{a+1} \quad \text{se } \gamma = 1 \end{array} \right. \quad (21)$$

em que,

γ - relação entre os ganhos totais brutos (internos e solares) e as perdas térmicas totais do edifício. É calculado pela seguinte expressão:

$$\gamma = \frac{\text{ganhos totais brutos}}{\text{perdas térmicas totais}} = \frac{Q_g}{Q_t + Q_v} \quad (22)$$

a – parâmetro em função da inércia térmica do edifício:

$$a = \left\{ \begin{array}{l} 1,8 - \text{edifícios com inércia térmica fraca} \\ 2,6 - \text{edifícios com inércia térmica média} \\ 4,2 - \text{edifícios com inércia térmica forte} \end{array} \right.$$

Situação de Verão

Durante a estação de arrefecimento (Verão), o objetivo é que a temperatura no interior do edifício seja mantida igual a 25°C (os valores de temperatura do ar interior superiores ao valor de referência são associados a sobreaquecimento).

Os ganhos de calor não úteis são os que os sistemas de condicionamento de ar têm de retirar, e representam, portanto, as necessidades de arrefecimento.

Uma vez que os ganhos e as perdas de calor de Inverno são distintos das do Verão pelas razões óbvias, o fator de utilização dos ganhos térmicos η na estação de aquecimento é obtido a partir de um coeficiente γ calculado da seguinte forma:

$$\gamma = \frac{\text{ganhos totais brutos}}{\text{perdas térmicas totais}} = \frac{Q_i + Q_s + Q_{ar-Sol}}{Q_{ext} + Q_v} \quad (23)$$

em que,

Q_i - ganhos internos

Q_s - ganhos solares através dos vãos envidraçados;

Q_{ar-Sol} - ganhos solares através da envolvente opaca;

Q_{ext} - perdas pela envolvente em contacto com o exterior;

Q_v - representam as perdas por ventilação.

3.2.3.2. GANHOS SOLARES BRUTOS ATRAVÉS DOS ENVIDRAÇADOS, Q_s

Os ganhos solares (brutos) através dos vãos envidraçados são dados pela expressão

$$Q_s = G_{sul} \sum_j \left[X_j \sum_n \left(A \cdot F_h \cdot F_o \cdot F_f \cdot F_g \cdot F_w \cdot g_{\perp} \right)_{nj} \right] M \text{ (kWh)} \quad (24)$$

em que:

G_{sul} - valor médio mensal da energia solar média incidente numa superfície vertical orientada a sul de área unitária durante a estação de aquecimento, (kWh/m².mês) (Quadro III.8);

X_j - fator de orientação, para as diferentes exposições (Quadro IV.4);

A - área efetiva coletora da radiação solar da superfície n que tem a orientação j , (m²);

g_{\perp} - fator solar do vão envidraçado; representa a relação entre a energia solar transmitida para o interior através do vão envidraçado em relação à radiação solar incidente na direção normal ao envidraçado;

F_0 - fatores solares que tomam conta de existência de eventuais “obstáculos” associados a transmissão da radiação solar para o interior do espaço útil através do vão envidraçado. Devido ao fato de o sol descrever uma trajetória distinta em cada estação, os fatores solares devem ser substituídos por valores calculados em separado para cada estação;

M - duração média da estação convencional de aquecimento (meses) (Quadro III.1).

Factores Solares, F_0

Situação de Inverno

O cálculo dos ganhos solares brutos através dos vãos envidraçados pode ser realizado por uma de duas metodologias:

- i) Método detalhado;
- ii) Método simplificado.

i) Método Detalhado

No método detalhado, os ganhos solares são calculados pela Equação 20, em que os respectivos fatores F_0 são:

- F_h - fator de sombreamento do horizonte. Toma em conta o sombreamento provocado num vão envidraçado por outros edifícios e/ou outras obstruções construídas ou naturais (próximas ou longínquas). F_h depende do ângulo do horizonte α , latitude, orientação, clima local e da duração da estação de aquecimento (tabela IV.5).

O ângulo do horizonte α , deve ser calculado, em cada edifício ou fração autônoma, para cada vão (ou para grupos de vãos semelhantes) de cada fachada. Caso não exista informação disponível que permita o cálculo do ângulo de horizonte, F_h deve ser calculado por defeito adotando os seguintes valores:

- $\alpha = 45^\circ$, em ambiente urbano;
- $\alpha = 20^\circ$, edifícios isolados fora das zonas urbanas.

• F_0 - fator de sombreamento por elementos horizontais sobrepostos ao vão envidraçado. Toma em conta o sombreamento provocado num vão envidraçado por brises, varandas ou outros elementos horizontais. F_0 depende do ângulo de incidência da radiação solar, das características geométricas do elemento de sombreamento sobreposto ao vão e da orientação deste (tabela IV.6).

• F_f - fator de sombreamento por elementos verticais adjacentes ou sobrepostos ao vão envidraçado. Toma em conta o sombreamento provocado num vão envidraçado por palas opacas verticais ou outros elementos com efeito semelhante. F_f depende do ângulo de incidência da radiação solar, das características geométricas do elemento de sombreamento sobreposto ao vão e da orientação deste varandas ou outros elementos horizontais. F_0 depende do ângulo de incidência da radiação solar, das características geométricas do elemento de sombreamento sobreposto ao vão e da orientação deste (tabela IV.7).

Quando o envidraçado não dispuser de quaisquer palas de sombreamento (horizontais ou verticais), para contabilizar o efeito de sombreamento do contorno do vão deve considerar-se o produto:

$$F_0 \cdot F_f = 0,90 \quad (25)$$

No RCCTE, o produto $F_h \cdot F_0 \cdot F_f$ denomina-se fator de obstrução F_s . Para ter em conta o fato de se verificar sempre radiação incidente difusa e refletida nos envidraçados, o regulamento estabelece que o produto do fator de orientação X_j (Quadro IV.4) pelo fator de obstrução F_s não pode ser inferior a 0,27:

$$X_j \cdot F_h \cdot F_0 \cdot F_f \geq 0,27 \quad (26)$$

ii) Método Simplificado

Para dispensar um cálculo exaustivo dos coeficientes F_0 para cada orientação, pode se adotar por defeito:

$$F_h \cdot F_0 \cdot F_f \cdot F_g \cdot F_w = 0,46 \quad (27)$$

desde que sejam satisfeitas as seguintes condições:

- Para cada orientação, tendo em conta o ponto médio de cada uma das fachadas do edifício ou da fração autônoma, não devem existir obstruções situadas acima de um plano inclinado a 20° com a horizontal e também entre os planos verticais que fazem 60° para cada um dos lados da normal ao ponto médio da fachada, a menos de pequenos obstáculos sem impacto significativo, do tipo postes de iluminação, de telefones, ou equivalente;

- Os envidraçados não devem ser sombreados por elementos do edifício, como palas por exemplo, sendo esta aproximação satisfatória quando os elementos horizontais que se projetam sobre a janela têm um comprimento inferior a 1/5 da altura da janela e que os elementos verticais adjacentes às janelas não se projetam mais de 1/4 da largura da janela.

Na equação atrás referida (27),

F_g - fração envidraçada. Traduz a redução da transmissão da energia solar associada à existência da caixilharia, sendo dada pela relação entre a área envidraçada e a área total do vão envidraçado (Quadro IV.5).

F_w - fator de correção da seletividade angular dos envidraçados. Traduz a redução dos ganhos solares causada pela variação das propriedades do vidro com o ângulo de incidência da radiação solar direta. Para vidros correntes simples e duplos assume o valor $F_w = 0,9$.

Para outros tipos de envidraçados, devem ser utilizados os valores fornecidos pelos fabricantes.

Assim, os ganhos solares brutos através dos vãos envidraçados podem ser calculados, para cada fachada, pela equação:

$$Q_s = G_{sul} \sum_j [X_j \cdot 0,46 \cdot A_j \cdot g_{\perp}] M \quad (28)$$

Situação de Verão

Tal como no caso da situação de Inverno, o cálculo dos ganhos solares brutos na estação de Verão pode ser realizado recorrendo a um método detalhado ou a um método simplificado.

i) Método Detalhado

No método detalhado, os ganhos solares são calculados pela Equação 24, em que os respectivos fatores F_{f} são:

F_{h} - fator de sombreamento do horizonte. Na estação de arrefecimento considera-se que a fachada do edifício em estudo não é sombreada, logo:

$$F_{\text{h}} = 1 \quad (29)$$

F_{o} - fator de sombreamento por elementos horizontais sobrepostos ao vão envidraçado. Toma o mesmo significado já descrito na situação de Inverno. F_{o} é obtido por consulta direta do Quadro V.1. No caso de projeções móveis (toldos, palas reguláveis, etc.), o F_{o} pode ser calculado da seguinte forma:

$$F_{\text{o}} = 0,7F_{\text{o}, \text{protecção activada}} + 0,3F_{\text{o}, \text{protecção desactivada}} \quad (30)$$

F_{f} - fator de sombreamento por elementos verticais adjacentes ou sobrepostos ao vão envidraçado. Toma o mesmo significado já descrito na situação de Inverno. F_{f} é obtido por consulta direta do Quadro V.2. No caso de projeções móveis (toldos, palas reguláveis, etc.) admite-se que o F_{f} seja calculado da seguinte forma:

$$F_{\text{f}} = 0,7F_{\text{f}, \text{protecção activada}} + 0,3F_{\text{f}, \text{protecção desactivada}} \quad (31)$$

F_{g} - a fração envidraçada. O valor do F_{g} permanece o mesmo, e portanto, pode ser obtido por consulta direta do Quadro IV.5.

F_{w} - o fator de correção da seletividade angular dos envidraçados. Para vidros correntes simples e duplos pode ser obtido por consulta direta do Quadro V.3.

ii) Método Simplificado

Para dispensar um cálculo exaustivo dos coeficientes F_0 para cada orientação, pode-se adotar por defeito:

$$F_h \cdot F_0 \cdot F_f \cdot F_g \cdot F_w = 0,51 \quad (32)$$

Mas, a seguinte condição tem que ser satisfeita: Os envidraçados não devem ser sombreados por elementos do edifício, como palas, por exemplo, sendo esta aproximação satisfatória quando os elementos horizontais que se projetam sobre a janela têm um comprimento inferior a 1/5 da altura da janela e que os elementos verticais adjacentes às janelas não se projetam mais de 1/4 da largura da janela.

Nestas condições os ganhos solares brutos através dos vãos envidraçados podem ser calculados, para cada fachada, pela equação:

$$Q_s = \sum_j \left[I_{r_j} \sum_n (A_j \cdot 0,51 \cdot g_{\perp})_{nj} \right] \quad (33)$$

Fator solar de um vão envidraçado, g_{\perp}

O fator solar de um vão envidraçado se define como o cociente entre a energia solar que entra através do vão envidraçado e a energia de radiação que nele incide.

Situação de Inverno

Os valores dos vários tipos de vidros sem dispositivos de proteção solar são apresentados na Tabela IV.4.

Para maximizar o aproveitamento da radiação solar, os dispositivos de proteção solar móveis (estores, portadas, cortinas, etc.) se admitem totalmente abertos, nessas circunstâncias sendo considerado apenas o valor do fator solar do vidro $g_{\perp v}$. Sempre que previsível a utilização de cortinas ou de outros dispositivos de proteção solar que normalmente permanecem fechados, estes devem ser considerados no fator solar do vão envidraçado. Assim, no cálculo do fator solar de vãos envidraçados do setor residencial, deve ser considerada a existência, pelo menos, de cortinas interiores muito transparentes de cor clara:

- Vidro simples incolor c/cortinas interiores muito transparentes: $g_{\perp}=0,70$;
- Vidro duplo incolor c/cortinas interiores muito transparentes: $g_{\perp}=0,63$.

No valor de g_{\perp} do vão envidraçado não se considera a obstrução criada pelos perfis, porque esta é considerada através da fração envidraçada F_g .

Situação de Verão

O fator solar do envidraçado deve ser tomado com dispositivos de sombreamento móveis ativados a 70%. Nesse caso o fator solar do vão envidraçado é igual à soma de 30% do fator solar do vidro g_{lv} mais 70% do fator solar do vão envidraçado com a proteção solar móvel atuada g'_{\perp} , ou seja:

$$g_{\perp} = 0,3g_{lv} + 0,7g'_{\perp} \quad (34)$$

Os valores de fator solar do vão envidraçado com a proteção solar móvel ativada a 100% (g'_{\perp}) estão listados no Quadro V.4.

Caso sejam aplicados vidros especiais diferentes dos incolores correntes, o fator solar dos vãos envidraçados com dispositivos de proteção solar interiores ou com proteção exterior não opaca é obtido pelas Equações 35 ou 36, consoante se trate de vãos com vidro simples ou vidro duplo:

$$g_{\perp} = \frac{g'_{\perp} \times g_{lv}}{0,85} \quad (35)$$

$$g_{\perp} = \frac{g'_{\perp} \times g_{lv}}{0,75} \quad (36)$$

Caso exista uma proteção solar exterior opaca (tipo persiana) o valor do fator solar do vão com vidros especiais é obtido diretamente do Quadro V.4.

Nos vãos protegidos por mais do que uma proteção solar, deve ser utilizada a Equação 37 ou 38, consoante sejam vãos com vidro simples ou vidro duplo, considerando apenas as proteções solares existentes do lado exterior até ao interior até à primeira proteção solar opaca:

$$g_{\perp} = g_{lv} \prod_i \frac{g'_{\perp}}{0,85} \quad (37)$$

$$g_{\perp} = g_{lv} \prod_i \frac{g'_{\perp}}{0,75} \quad (38)$$

De notar que o valor final do fator solar do envidraçado para os casos particulares descritos pelas Equações 37 e 38 deverá ainda ser calculado aplicando ao valor obtido a regra definida pela Equação 34.

3.3. MÉTODO DE CÁLCULO DAS NECESSIDADES DE ARREFECIMENTO (N_{vc})

A metodologia de cálculo proposta pelo RCCTE para as necessidades de arrefecimento é muito semelhante à metodologia de cálculo para as necessidades de aquecimento, mas com algumas adaptações para o Verão. Enquanto que, para as necessidades de aquecimento são utilizados os Graus-Dia, para as necessidades de arrefecimento é utilizada a Temperatura ar-sol (temperatura fictícia que representa o efeito combinado da radiação solar incidente na envolvente e as trocas de calor por radiação e convecção entre a superfície e o meio envolvente). Por outro lado, estas metodologias referidas são complementares, pois enquanto que, para o Inverno os ganhos diminuem e as perdas aumentam, no Verão se passa o contrário.

As necessidades nominais de arrefecimento de uma fração autônoma de um edifício correspondem à energia útil que seria necessária retirar para que no seu interior não seja excedida a temperatura de 25 °C, durante toda a estação convencional de arrefecimento (desde Junho até Setembro, inclusive). As necessidades de arrefecimento são calculadas com recurso à expressão:

$$N_{vc} = \frac{Q_g(1-\eta)}{A_p} \text{ (kWh/m}^2 \text{ ano)} \quad (39)$$

em que:

(1- η) - fator de utilização dos ganhos solares e internos na estação de arrefecimento;

Q_g - ganhos totais brutos do edifício ou da fração autônoma. Embora o coeficiente η tenha o mesmo significado que o definido na situação de Inverno, este parâmetro, no Verão, é calculado com base em condições distintas das utilizadas para a estação de aquecimento.

Os ganhos térmicos brutos (Q_g) estão divididos em quatro componentes. Esta divisão é executada de forma muito semelhante ao caso das necessidades de aquecimento. Assim, o termo Q_g é composto por: cargas térmicas resultantes da diferença de temperatura entre o interior e o exterior de edifícios e da incidência da radiação solar na envolvente opaca exterior (Q_{opaco}); cargas térmicas resultantes da incidência da radiação solar na envolvente transparente (Q_s); cargas térmicas

resultantes da renovação de ar (Q_v); cargas térmicas resultantes de fontes internas ao edifício (Q_i), como equipamentos, pessoas, etc.

3.3.1. CARGAS ATRAVÉS DA ENVOLVENTE OPACA EXTERIOR, Q_{OPACO}

As cargas através da envolvente opaca exterior resultam dos efeitos combinados da temperatura do ar exterior T_{atm} e da radiação solar incidente G . Para o seu cálculo, se adota uma metodologia simplificada baseada na “temperatura ar-Sol”, que, consoante a sua orientação, se traduz na seguinte equação:

$$Q_{opaco} = UA(\theta_{ar-Sol} - \theta_i) = UA(\theta_{atm} - \theta_i) + UA\left(\frac{\alpha G}{h_e}\right) \quad (W) \quad (40)$$

em que:

U - coeficiente de transmissão térmica de cada elemento (explicitado seguidamente em 3.4.)

θ_{ar-Sol} - Temperatura ar-Sol ($^{\circ}C$);

α - coeficiente de absorção (para a radiação solar) da superfície exterior da parede (Quadro V.5);

G - intensidade de radiação solar instantânea incidente em cada orientação (W/m^2);

h_e - condutância térmica superficial exterior do elemento da envolvente, que toma o valor de $25 W/m^2 \cdot ^{\circ}C$.

Em termos de toda a estação convencional de arrefecimento, Q_{opaco} é obtido pela integração dos ganhos instantâneos ao longo dos 4 meses em causa (122 dias), o que conduz à seguinte equação final:

$$Q_{opaco} = 2,928 UA(\theta_m - \theta_i) + UA\left(\frac{\alpha I_r}{h_e}\right) = -Q_{ext} + Q_{ar-Sol} \quad (kWh) \quad (41)$$

em que:

Q_{ext} - fluxo de calor devido à diferença de temperatura interior-exterior:

$Q_{\text{opaco}}=2,928.U.A.(\theta_m - \theta_i)$. Dado que a temperatura média exterior, θ_m , durante toda a estação de arrefecimento para todas as regiões climáticas em Portugal é sempre inferior à temperatura interior de referência θ_i , o valor desta expressão é sempre negativo. Nestas condições, a diferença de temperatura interior-exterior, em termos médios e ao longo de toda a estação de arrefecimento, está na origem de uma perda de calor;

$Q_{\text{ar-Sol}}$ - representa os ganhos solares pela envolvente opaca devidos à incidência da radiação solar: $Q_{\text{ar-sol}} = U.A.(\alpha \cdot I_r / h_e)$;

2,928 é o resultado obtido pela expressão: $(122 \text{ dias} \times 24 \text{ h}) / 1000$;

θ_m - temperatura média do ar exterior na estação convencional de arrefecimento na zona climática de Verão onde se localiza o edifício ($^{\circ}\text{C}$) (Quadro III.9);

I_r - intensidade média de radiação total incidente em cada orientação durante toda a estação de arrefecimento (kWh/m^2) (Quadro III.9).

3.3.2. GANHOS SOLARES ATRAVÉS DOS VÃOS ENVIDRAÇADOS, Q_s

Os ganhos solares (brutos) através dos vãos envidraçados são dados pela expressão:

$$Q_s = \sum_j \left[I_{r_j} \sum_n \left(A \cdot F_h \cdot F_o \cdot F_f \cdot F_g \cdot F_w \cdot g_{\perp} \right)_{nj} \right] \text{ (kWh)} \quad (42)$$

em que:

A - área efetiva coletora da radiação solar da superfície n que tem a orientação j , (m^2);

I_{r_j} - intensidade da radiação solar incidente no vão envidraçado com a orientação j , na estação de arrefecimento (kWh/m^2) (Quadro III.9);

F_0 e g_{\perp} - representam os fatores solares conforme o definido anteriormente. Devido ao facto de o sol descrever uma trajetória distinta em cada estação, os fatores solares na estação de Verão são diferentes dos utilizados na estação de Inverno.

3.3.3. CARGAS DEVIDAS À RENOVAÇÃO DO AR, Q_v

A metodologia de cálculo é igual à indicada na Secção 3.2.3.2.:

$$Q_v = 0,34R_{ph}V(\theta_i - \theta_{am}) \text{ (W)} \quad (43)$$

Em termos de toda a estação de arrefecimento Q_v é obtido pela integração da Equação 3 ao longo dos 122 dias:

$$Q_v = 2,928 \cdot 0,34 \cdot R_{ph} \cdot V(\theta_m - \theta_i) \text{ (kWh)} \quad (44)$$

Tal como na situação de Inverno, quando o edifício dispuser de sistemas mecânicos de ventilação, se deve adicionar à energia Q_v , a energia elétrica E_v necessária ao seu funcionamento, que se considera ligado em permanência durante 24 horas por dia, durante a estação de aquecimento:

$$E_v = P_v \cdot 24 \cdot 0,03 \cdot 4 \text{ (kWh)} \quad (45)$$

em que:

P_v - soma das potências elétricas de todos os ventiladores instalados (W);

4 - duração média da estação convencional de arrefecimento (meses);

24 - horas;

0,03 - resultado obtido pela expressão: 30 dias/1000.

3.3.4. CARGAS INTERNAS, Q_i

O cálculo das cargas térmicas resultantes de fontes internas é executado de forma semelhante ao caso de Inverno, sendo assim necessário: determinar a área útil de pavimento (A_p); obter os ganhos térmicos internos médios por área útil (q_i) e aplicar a seguinte fórmula:

$$Q_i = 2,928 \cdot q_i \cdot A_p \text{ (kWh)} \quad (46)$$

3.4. MÉTODO DE CÁLCULO DAS NECESSIDADES DE ENERGIA PARA PREPARAÇÃO DE AQS (N_{ac})

Como está descrito no Anexo VI do RCCTE, para efeitos regulamentares, as necessidades anuais de energia útil para preparação de Água Quente Sanitária (AQS), N_{ac} , são calculadas através da expressão:

$$N_{ac} = \frac{\frac{Q_a}{\eta_a} - E_{solar} - E_{ren}}{A_p} \text{ (kWh/m}^2 \text{ ano)} \quad (47)$$

em que:

Q_a - energia útil dispendida com sistemas convencionais de preparação de AQS;

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

E_{solar} - contribuição de sistemas de coletores solares para o aquecimento de AQS;

E_{ren} - 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;

A_p - área útil de pavimento da respectiva fração (m^2).

3.4.1. ENERGIA DISPENDIDA COM SISTEMAS CONVENCIONAIS DE PREPARAÇÃO DE AQS, Q_a

A energia dispendida com sistemas convencionais utilizados na preparação das AQS durante um ano, Q_a , é dada pela expressão:

$$Q_a = \frac{M_{AQS} \cdot 4187 \cdot \Delta T \cdot n_d}{3600000} \text{ (kWh/ano)} \quad (48)$$

em que:

M_{AQS} - consumo médio diário de referência de AQS. Nos edifícios residenciais, $M_{AQS} = 40 \cdot n^{\circ}$ de ocupantes (o número convencional de ocupantes de cada fração autónoma está definido no Quadro VI.1);

ΔT - aumento de temperatura necessário para preparar as AQS ($\Delta T=45^{\circ}\text{C}$);

n_d - número anual de dias de consumo de AQS; n_d depende do período convencional de utilização dos edifícios e é indicado no Quadro VI.2.

3.4.2. EFICIÊNCIA DE CONVERSÃO DO SISTEMA DE PREPARAÇÃO DAS AQS, η_A

A eficiência de conversão do sistema de preparação das AQS, η_a , é definida pelo respectivo fabricante com base em ensaios normalizados. Na ausência de informação mais precisa, podem se utilizar os valores convencionais indicados no Quadro VI.3.

Caso o sistema de preparação das AQS não esteja definido em projeto, considera-se que a fração autónoma vai dispor de um termoacumulador elétrico com 5cm de isolamento térmico ($\eta_a=0,90$) em edifícios sem alimentação de gás, ou um esquentador a gás natural ou GPL ($\eta_a=0,50$) quando estiver previsto o respectivo abastecimento.

3.4.3. CONTRIBUIÇÃO DE SISTEMAS SOLARES DE PREPARAÇÃO DE AQS, E_{SOLAR}

O cálculo do E_{solar} deve ser efetuado utilizando o software *SOLTERM* do *INETI*. A contribuição de sistemas solares só pode ser contabilizada, para efeitos do RCCTE, se os sistemas ou equipamentos forem certificados de acordo com as normas e legislação em vigor, instalados por instaladores acreditados pela DGGE, e, cumulativamente, se houver a garantia de manutenção do sistema em funcionamento eficiente durante um período mínimo de 6 anos após a instalação.

3.4.4. CONTRIBUIÇÃO DE OUTRAS FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEL, E_{REN}

A contribuição de outras formas de energias renováveis, tais como solar fotovoltaica, biomassa, eólica, ou geotérmica, para a preparação de AQS, bem como de quaisquer formas de recuperação de calor de equipamentos ou de fluidos residuais, deve ser calculada com base num método devidamente justificado e reconhecido, e aceite pela entidade licenciadora.

3.4.5. NECESSIDADES GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA, N_{TC}

As necessidades globais anuais nominais específicas de energia primária N_{TC} de uma fração autônoma são calculadas com base na seguinte expressão:

$$N_{TC} = 0,1 \left(\frac{N_{ic}}{\eta_i} \right) \cdot F_{pui} + 0,1 \left(\frac{N_{vc}}{\eta_v} \right) \cdot F_{piv} + N_{ac} \cdot F_{pua} \quad (\text{kgep/m}^2 \text{ ano}) \quad (49)$$

em que:

F_{pui} , F_{piv} e F_{pua} - fatores de ponderação das necessidades de aquecimento, de arrefecimento e de preparação de AQS;

η_i - eficiência nominal dos equipamentos utilizados para os sistemas de aquecimento;

η_v - eficiência nominal dos equipamentos utilizados para os sistemas de arrefecimento;

0,1 - redução de 10%. Esta redução aplicada relativamente às situações de arrefecimento e aquecimento se baseia no fato de as habitações não serem aquecidas nem arrefecidas 24 horas por dia, ao longo de toda a estação correspondente.

Os fatores de conversão F_{pu} entre energia útil e energia primária adotados pelo RCCTE são:

a) $F_{pu} = 0,290$ kgep/kWh no caso da eletricidade;

b) $F_{pu} = 0,086$ kgep/kWh no caso dos combustíveis sólidos, líquidos e gasosos.

Para a eficiência nominal dos equipamentos deverão ser utilizados os valores correspondentes aos equipamentos instalados, fornecidos pelos fabricantes na base de ensaios normalizados. Na ausência informação mais precisa, podem ser adotados os valores de referência indicados no Quadro VI.4.

Quando um edifício não tiver previsto, especificamente, um sistema de aquecimento ou de arrefecimento ambiente ou de aquecimento de água quente sanitária, considera-se, para efeitos do cálculo de N_{tc} , que:

- o sistema de aquecimento é obtido por resistência elétrica;
- o sistema de arrefecimento é uma máquina frigorífica com eficiência (COP) de 3;
- o sistema de produção de AQS é um termoacumulador elétrico com 50mm de isolamento térmico em edifícios sem alimentação de gás, ou um esquentador a gás natural ou GPL quando estiver previsto o respectivo abastecimento.

3.5. COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA, U

Como se encontra definido no anexo VII do RCCTE, o coeficiente de transmissão térmica, por definição, representa a quantidade de calor que atravessa perpendicularmente, um elemento de faces planas e paralelas, por unidade de tempo e de superfície, quando sujeito a um gradiente de temperatura unitário ($^{\circ}\text{C}$) entre ambientes que separa.

Este coeficiente é de extrema importância no cálculo da eficiência energética de uma edificação.

O coeficiente de transmissão térmica de elementos constituídos por um ou vários materiais, em camadas de espessura constante, é calculado pela seguinte fórmula:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + \sum R_j + \frac{1}{h_e} \quad (50)$$

em que:

U - coeficiente de transmissão térmica ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$);

R_j - resistência térmica da camada j ($\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{W}$);

$1/h_i$ - resistência térmica superficial interior ($\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{W}$);

$1/h_e$ - resistência térmica superficial exterior ($\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{W}$).

Tratando-se de camadas de materiais homogêneos, a resistência térmica, R_j é calculada como sendo o quociente entre a espessura da camada j, e_j (m), e o valor de cálculo da condutividade térmica do material que a constitui, λ_j ($\text{W}/\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C}$).

Para camadas não homogêneas (alvenarias, lajes aligeiradas, espaços de ar, etc.) os valores das correspondentes resistências térmicas devem ser obtidos diretamente em tabelas. Os valores da condutibilidade térmica dos materiais correntes de construção e das resistências térmicas das camadas homogêneas mais utilizadas constam na publicação *ITE50* do Laboratório Nacional de Engenharia Civil que contém uma listagem extensa do valor dos coeficientes de transmissão térmica (U) dos elementos de construção mais comuns, obtidos segundo este método.

Os valores das resistências térmicas superficiais em função da posição do elemento construtivo e do sentido do fluxo de calor constam do Quadro VII.1.

No Quadro VII.2 apresentam-se os valores da resistência térmica dos espaços de ar não ventilados, que devem ser adotados para o cálculo do coeficiente de transmissão térmica, em função da posição e da espessura do espaço de ar, e do sentido do fluxo de calor.

3.6. INÉRCIA TÉRMICA, I_t

O cálculo da Inércia Térmica é explicitada no Anexo VII do RCCTE.

A inércia térmica interior de uma fração autônoma é função da capacidade calorífica que os locais apresentam e depende da massa superficial útil de cada um dos elementos da construção.

A massa superficial útil por metro quadrado de área útil de pavimento é calculada pela expressão:

$$I_t = \frac{\sum M_{si} \cdot S_i \cdot r_i}{A_p} \text{ (kg/m}^2 \text{ pavimento)} \quad (51)$$

em que:

M_{si} - massa superficial útil do elemento i (kg/m^2);

S_i - área da superfície interior do elemento i (m^2);

r_i - fator de redução que toma em conta a influência dos revestimentos superficiais interiores com propriedades de “isolamento térmico”;

A_p - área útil de pavimento da respectiva fração (m^2).

As classes de inércia térmica são definidas no RCCTE de seguinte modo:

$$\left\{ \begin{array}{ll} I_t < 150 \text{ kg/m}^2 & \rightarrow \text{Classe fraca} \\ 150 \leq I_t \leq 400 \text{ kg/m}^2 & \rightarrow \text{Classe média} \\ I_t > 400 \text{ kg/m}^2 & \rightarrow \text{Classe forte} \end{array} \right. \quad (52)$$

A massa superficial útil M_{si} dos elementos de construção depende da massa total por unidade de área do elemento m_t e, ainda, dos seguintes aspectos:

- a sua localização no edifício;
- a própria massa superficial e da sua constituição, nomeadamente do posicionamento e da qualidade do isolamento térmico;
- as características térmicas do revestimento superficial interior.

Os valores do fator de redução (r_i) em função da qualidade térmica dos revestimentos superficiais interiores são dados no Quadro VII.7.

3.7. LIMITAÇÃO DAS NECESSIDADES NOMINAIS GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA

Como é referido no Anexo IX do RCCTE, os valores de N_{ic} , N_{vc} e N_{ac} calculados para cada fração autónoma sujeita a verificação regulamentar deverão ser inferiores aos correspondentes valores limites de referência N_v , N_i e N_a impostos no RCCTE. Para além destas condições, as necessidades nominais anuais globais N_{tc} , de cada uma das frações autónomas de um edifício não podem exceder um valor máximo admissível de energia primária N_t .

3.7.1. VALORES LIMITES DAS NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO, N_i

Os valores limites das necessidades nominais de energia útil para aquecimento de uma fração autónoma dependem dos valores do Fator de Forma (FF) da fração autónoma e dos Graus-Dias (GD) correspondentes ao concelho onde o edifício se situa, e são os seguintes:

$FF \leq 0,5$	$N_i = 4,5 + 0,0395 \text{ GD (kWh/m}^2\text{.ano);}$
$0,5 \leq FF \leq 1$	$N_i = 4,5 + (0,021 + 0,037 \text{ FF}) \text{ GD (kWh/m}^2\text{.ano);}$
$1 \leq FF \leq 1,5$ (kWh/m ² .ano);	$N_i = [4,5 + (0,021 + 0,037 \text{ FF}) \text{ GD}] (1,2 - 0,2 \cdot \text{FF})$
$FF > 1,5$	$N_i = 4,05 + 0,06885 \text{ GD (kWh/m}^2\text{.ano);}$

O fator de forma traduz a compacidade do edifício (fração autónoma), sendo que quanto menor for o FF, menor o valor do N_i .

$$FF = \frac{(\sum A_{ext}) + \sum_i (\tau \cdot A_{int})_i}{V} \quad (53)$$

O factor de forma de um edifício se define como o quociente entre o somatório das áreas da envolvente exterior A_{ext} , e as áreas da envolvente interior A_{int} afectadas do coeficiente τ , através dos quais se verificam trocas de calor, e o respectivo volume interior V correspondente:

3.7.2. VALORES LIMITES DAS NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO, N_v

Os valores limite das necessidades nominais de energia útil para arrefecimento de uma fração autónoma dependem da zona climática do local:

$$V1 \text{ (Norte) } N_v = 16 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano};$$

$$V1 \text{ (Sul) } N_v = 22 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano};$$

$$V2 \text{ (Norte) } N_v = 18 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano};$$

$$V2 \text{ (Sul) } N_v = 32 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano};$$

$$V3 \text{ (Norte) } N_v = 26 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano};$$

$$V3 \text{ (Sul) } N_v = 32 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano};$$

$$\text{Açores } N_v = 21 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano};$$

$$\text{Madeira } N_v = 23 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ano}.$$

3.7.3. VALORES LIMITES DAS NECESSIDADES DE ENERGIA PARA PREPARAÇÃO DAS AQS, N_a

O limite máximo para os valores das necessidades de energia para preparação das águas quentes sanitárias é calculado pela equação:

$$N_a = \frac{0,081 \cdot M_{AQS} \cdot n_d}{A_p} \text{ (kWh/m}^2 \text{ ano)} \quad (54)$$

em que as variáveis correspondem às definições indicadas em 3.4.1.

3.7.4. O VALOR MÁXIMO ADMISSÍVEL DE NECESSIDADES NOMINAIS GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA, N_t

O valor máximo admissível de energia primária N_t é dado pela expressão:

$$N_t = 0,9(0,01N_i + 0,01N_v + 0,15N_a) \text{ (kgep/m}^2 \text{ ano)} \quad (55)$$

Os fatores de ponderação presentes nesta equação são provenientes levantamentos estatísticos.

Os coeficientes de N_i , N_v e N_a derivam da aplicação dos valores das eficiências nominais dos sistemas de aquecimento, arrefecimento e de produção de AQS que o RCCTE assume, e dos correspondentes fatores de conversão para energia primária.

Assim, e de forma resumida, a seguinte tabela apresenta as exigências dos edifícios abrangidos pelo RCCTE.

Tabela 1 - Exigências do RCCTE

Aquecimento	$N_{ic} < N_i$
Arrefecimento	$N_{vc} < N_v$
AQS	$N_{ac} < N_a$
Global	$N_{tc} = f(N_{ic}; N_{vc}; N_{ac}) < N_t = f(N_i; N_v; N_a)$

4. CASO DE ESTUDO

4.1. CASO 1 – ANÁLISE TÉRMICA DA EDIFICAÇÃO LOCALIZADA EM 3 DIFERENTES ZONAS CLIMÁTICAS

4.1.1. INTRODUÇÃO

No presente trabalho se pretende fazer um estudo do comportamento térmico de um edifício e, alterar alguns elementos da sua envolvente de modo a que se verifique um aumento da sua eficiência energética.

Para melhor se compreender as diferenças existentes nas diversas regiões de Portugal do ponto de vista climático, se optou por considerar o mesmo edifício em três zonas climáticas diferentes, situadas nas seguintes cidades de Ovar, Évora e Covilhã.

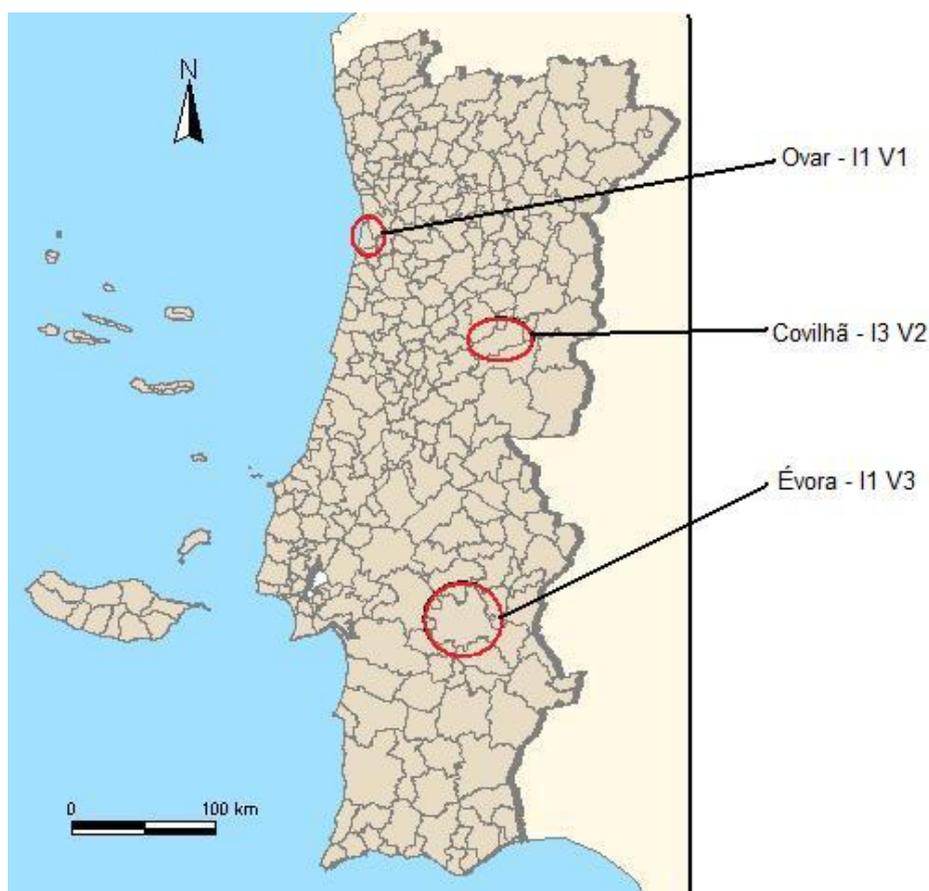


Figura 31 - Zonas climáticas consideradas

Como já foi explicado anteriormente, se pretende assegurar que as exigências de conforto térmico, sejam elas de aquecimento ou de arrefecimento, e de ventilação para garantia da qualidade do ar no interior do edifício, bem como as necessidades de água quente sanitária, possam vir a ser satisfeitas sem dispêndio excessivo de energia.

4.1.2. A EDIFICAÇÃO

O edifício ou fração em estudo é um edifício residencial, afeto a uma moradia unifamiliar e possui uma cave e dois pisos habitáveis. As suas plantas, alçados e cortes são apresentados em anexo a este trabalho.

4.1.2.1. DADOS ARQUITETÔNICOS

A edificação possui uma área útil de 228,86m² e um pé direito médio ponderado de 2,67m.

A construção se desenvolve em 3 níveis distintos, com espaços habitacionais e espaços não úteis, como garagem e compartimentação técnica.

O conjunto forma uma edificação de tipologia T3 (três quartos).

Se considera-se também, para efeitos de projeto, que o edifício faceia com arruamento público a Poente; possui boa exposição solar, se considerando haver sombreamento no horizonte dos regulamentares.

Se considera também que a envolvente exterior vertical (paredes exteriores) é de cor clara e que a cobertura é revestida com chapa tipo *Sandwish* de cor clara.

Na figura seguinte, se pode ter uma idéia do formato da edificação através da visualização dos 4 alçados.



Figura 32 – Alçados da moradia em estudo

4.1.2.2. VÃOS ENVIDRAÇADOS

Os vãos envidraçados das várias zonas independentes são constituídos por vidros duplos (4-16-5-mm) com caixilharia em alumínio laçada com corte térmico, simples, sem quadrícula, tendo proteção solar exterior do tipo estore em plástico. No seu interior haverá uma cortina muito transparente.

Foram ainda contabilizados os fatores de sombreamento resultantes do sombreamento no horizonte bem como do sombreamento resultante de brises horizontais e verticais nos casos de existência de elementos construtivos responsáveis pelo mesmo.

Foi considerada a não existência de sombreamento de elementos salientes nas fachadas.

É de referir que esta estrutura de parede permite de forma regulamentar efetuar a correção das pontes térmicas planas nas zonas de vigas e pilares com espessuras de 20cm, colocando na zona do elemento de concreto armado um isolamento de XPS de 4cm e uma forra de tijolo de 3cm, seguindo de um reboco final de 2cm.

Pressupostos de cálculo para renovação de ar - Ventilação Natural

Para o projeto, consideram-se os seguintes dados:

- Caixilharia sem classe
- Não existência de dispositivos de admissão de fachada;
- Não existência de aberturas auto – reguladas;
- Área de envidraçados superior a 15% da área útil de pavimento;
- Com Caixa de Estore;

4.1.2.3. DADOS CLIMÁTICOS

Zonas Climáticas

Como já foi referido anteriormente, Para efeitos do RCCTE, o país é dividido em três zonas climáticas de Inverno (I1, I2 e I3) e três zonas climáticas de Verão (V1, V2 e V3). A cidade da Covilhã, se situa na zona climática de Verão V2 e na zona climática de Inverno I3, enquanto que Ovar pertence à zona climática de Verão V1 e à zona climática de Inverno I1. Por sua vez a região de Évora se insere nas zonas climáticas I1 e V3, respectivamente no Inverno e no Verão. De referir que a análise à zona da Covilhã, apesar de não ser completamente condicionante na estação de inverno (V2), toma particular interesse devido às suas características de altitude.

Graus dias de aquecimento

Para o edifício em estudo, o número de graus-dias de aquecimento correspondente à estação convencional de aquecimento é igual a 2850°C.dias no caso do edifício se situar em Covilhã, 1390°C.dias para a região de Ovar e, na cidade de Évora apresenta um valor de 1290°C.dias (Quadro III.1 do RCCTE).

Duração da estação de aquecimento

A duração da estação de aquecimento para a fração em estudo é igual a 8,0 meses na Covilhã, 6,0 meses em Ovar e 5,7 meses em Évora (Quadro III.1 do RCCTE).

Energia solar incidente na estação de aquecimento

Neste estudo, a região da Covilhã pertence à zona climática I3, pelo que o valor de G_{sul} corresponde a 90 kWh/m².mês. No caso do edifício se situar em Ovar ou em Évora, esta variável toma o valor de 108 kWh/m².mês (Quadro III.8 do RCCTE).

Intensidade da radiação solar para a estação de arrefecimento

Através da consulta do Quadro III.9 do RCCTE facilmente se constata que a intensidade da radiação solar para a estação de arrefecimento varia em função da zona climática em que o edifício está inserido. Neste caso concreto, as três regiões consideradas pertencem a zonas climáticas de Verão distintas conforme se referiu num ponto anterior, se situando a Norte (Covilhã e Ovar) ou a Sul (Évora) de Portugal Continental, pelo que os valores de I_r são os apresentados na seguinte tabela.

Tabela 2 - Intensidade da radiação solar

Zona Climática	Intensidade da radiação solar - I_r (kWh/m ²)								
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Hor.
V1 - Norte	200	300	420	430	380	430	420	300	730
V2 - Norte	200	320	450	470	420	470	450	320	790
V3 - Sul	210	330	460	460	400	470	460	330	820

Temperatura média mensal do ar para a estação de arrefecimento

A temperatura do ar exterior para a estação convencional de arrefecimento é igual a 19°C, no caso da fração em estudo se localizar na zona climática V1 ou V2 – Norte (Covilhã e Ovar respectivamente), ou 23°C caso se situe em Évora (Quadro III.9 do RCCTE).

4.1.2.4. PRESSUPOSTOS DE CÁLCULO PARA AQS

Se torna obrigatório com o atual regulamento, a contabilização das necessidades nominais de AQS. O princípio de cálculo leva em conta a tipologia da fração em estudo, bem como o equipamento considerado para o aquecimento de AQS e tipo de utilização referência para a referida fração.

Deste modo foi definido como equipamento base de referência um esquentador a gás butano com rendimento de 0,75, da marca Vulcano, modelo WRD 11-KME, considerando a necessidade de proteção da rede de águas quente com manga de 10mm pelo menos. No que se refere à ocupação entrou-se em consideração com as seguintes referências:

Tabela 3 - Dados de ocupação

Tipologia	Tipo de Utilização	Dias de Ocupação	Nº Ocupantes
T3	Residencial	Permanente	4

Considerações relativas a Sistemas Solares Térmico

No seguimento do n.º 2 do Artigo 7.º, é obrigatório o recurso a sistemas solares térmicos para produção de AQS sempre que haja uma exposição solar adequada. A simulação do sistema deve ser na base de 1 m² de coletor por ocupante convencional, podendo o mesmo valor ser reduzido com o intuito da área de coletores não ultrapassar 50% da área de cobertura total disponível.

Se entenda por exposição solar adequada, cobertura em terraço ou cobertura inclinada com uma água com orientação dentro de uma gama de azimutes de 90º entre sudeste e sudoeste, que não possuam obstáculos de sombreamento significativos num período que inicia duas horas após o nascer do sol e duas horas antes do pôr do sol.

Neste sentido, para o presente projeto se optou pelo dimensionamento de um sistema solar térmico com as seguintes características:

- Modelo: AQUATERM GU 1 23 com 2.15m²/painel
- Área de Coletores: 4.30m²
- Depósito: V = 160 l
- Sistema de Apoio: (gás butano)
- Permutador de serpentina

- Temperatura de consumo: 60°

4.1.2.5. SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO

Prevê-se para o edifício, a utilização de uma resistência elétrica para aquecimento e uma máquina frigorífica (ciclo de compressão) para arrefecimento.

Tabela 4 - Energias e Equipamentos para Climatização

	Energia utilizada	Equipamento utilizado
Aquecimento	Eletricidade	Resistência Elétrica
Arrefecimento	Eletricidade	Máquina frigorífica (compressão)

4.1.3. QUANTIFICAÇÃO DOS REQUISITOS ENERGÉTICOS

Como já foi referido, para que um edifício cumpra o RCCTE, é necessário que as suas necessidades nominais anuais de energia (N_{ic} , N_{vc} , N_{ac} e N_{tc}) não excedam os valores máximos admissíveis, que se designam respectivamente por N_i , N_v , N_a e N_t .

4.1.3.1. NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL DE AQUECIMENTO, N_i

O valor das necessidades anuais de energia útil para aquecimento varia de acordo com o valor dos graus dia para a zona climática em estudo, pelo que para as três regiões aqui consideradas os valores calculados são os seguintes:

$$\text{Covilhã: } N_i = 121,78 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano}) ;$$

$$\text{Ovar: } N_i = 81,64 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano}) ;$$

$$\text{Évora: } N_i = 76,95 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano}).$$

4.1.3.2. NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL DE ARREFECIMENTO, N_v

O valor limite das necessidades nominais de energia útil para arrefecimento (N_v) de uma fração autónoma depende apenas da sua zona climática:

$$\text{Zona V1 (Norte) - } N_v = 16 \text{ kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{ano} - \text{Ovar}$$

Zona V2 (Norte) - $N_v = 18 \text{ kWh/m}^2\text{.ano}$ - Covilhã

Zona V3 (Sul) - $N_v = 32 \text{ kWh/m}^2\text{.ano}$ – Évora

4.1.3.3. LIMITAÇÃO DAS NECESSIDADES DE ENERGIA PARA PREPARAÇÃO DAS AQS, N_A

O limite máximo das necessidades de energia para preparação das águas quentes sanitárias (N_a) da fração autônoma é $20,67 \text{ kWh/m}^2\text{.ano}$. Este valor depende dos valores de área útil, consumo médio diário de referência e número anual de dias de consumo.

4.1.3.4. LIMITAÇÃO DAS NECESSIDADES NOMINAIS GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA, N_T

Este valor é calculado com base nos valores de N_i , N_v e N_a . Assim, para cada uma das regiões,

Covilhã: $N_t = 4,05 \text{ kgep}/(\text{m}^2\text{.ano})$;

Ovar: $N_t = 3,67 \text{ kgep}/(\text{m}^2\text{.ano})$;

Évora: $N_t = 3,77 \text{ kgep}/(\text{m}^2\text{.ano})$.

4.1.4. QUANTIFICAÇÃO DOS PARÂMETROS TÉRMICOS

4.1.4.1. COEFICIENTES DE TRANSMISSÃO TÉRMICA, U

Os coeficientes de transmissão térmica (U) dos diversos elementos constituintes do edifício em estudo foram determinados com base nas características dos vários materiais utilizados na sua construção. Os pormenores construtivos dos elementos aqui apresentados são apresentados em anexo.

Paredes Exteriores Genéricas das Fachadas Principais

As paredes exteriores são duplas com espessura final de 0.30m, são constituídas, a partir do seu interior, por chapisco com 2.0 cm, tijolo 11 cm, caixa de ar, preenchida com 4 cm de isolamento tipo XPS – Poliestireno Expandido Extrudido, Tijolo 11 cm, tendo como última camada um reboco de cimento com 2.0 cm de espessura, se obtendo assim um $U = 0.521 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$. De referir que esta estrutura de parede permite de forma regulamentar efetuar a correção das pontes térmicas planas nas zonas de vigas e pilares com espessuras de 20cm, colocando na zona do elemento

de concreto armado um isolamento de XPS de 4cm e uma forra de tijolo de 3cm, seguindo de um reboco final de 2.0cm, se obtendo nesta zona um $U = 0.689 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$.

A título exemplificativo se mostra na seguinte tabela o cálculo do coeficiente de transmissão térmica para as paredes exteriores genéricas.

Tabela 5 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica para a Parede exterior

Parede exterior em zona corrente					
Camada	λ [W/m°C]	e [m]	Msi [kg/m ²]	R [m ² °C/W]	U [W/m ² °C]
fluxo de ar exterior				0,04	0,521
Chapisco	0,18	0,02	150	0,111	
Tijolo furado 11	0,407	0,11	150	0,27	
XPS (exp > 2,5)	0,04	0,04	150	1,081	
Tijolo furado 11	0,407	0,11	150	0,27	
Reboco cimento	1,3	0,02	150	0,015	
fluxo de ar interior				0,13	

Parede em Contacto com Instalações Técnica e Garagem

A parede interior é simples com espessura final de 15cm, constituída, a partir do seu interior, por revestimento de chapisco com 2cm, tijolo 11 cm, tendo como última camada um chapisco de 2cm, obtendo-se assim um $U = 1.329 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$.

Pavimento dos Pisos em contacto com Instalações Técnicas e Garagem

Assim se considerou um pavimento do piso, em contacto com instalações técnica e garagem constituído, inferiormente reboco com espessura de 2.0cm, por uma estrutura de concreto armado de 20cm de espessura, uma camada de forma com 6cm constituída por um concreto leve com grão de argila expandida, 5cm de isolamento tipo XPS, betonilha de regularização de 3cm e por fim um revestimento cerâmico ou flutuante de madeira, se obtendo um $U = 0.516 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$.

Cobertura Interior – Zona dos compartimentos no r/c adjacentes à biblioteca

Se considerou um teto falso constituído por placas de gesso cartonado com 1.6cm de espessura, isolado com lá de rocha com 8.0cm, se obtendo assim um **U = 0.442 W/m² °C**.

Cobertura Exterior 1 – Zona do hall de entrada e quartos

Se considerou a estrutura do teto do piso constituído por um teto falso formado por placas de gesso cartonado com 1.6cm de espessura, uma caixa de ar com 15cm, uma estrutura de concreto armado com 25cm de espessura, uma caixa de ar, ventilada com 10cm e como revestimento final exterior, uma chapa de alumínio tipo *Sandwish* com 5cm de poliuretano prensado, se obtendo assim um **U = 0.467/0.440, asc/desc W/m² °C**.

Cobertura Exterior 2 – Zona da biblioteca

Considerou-se a estrutura do teto do piso constituído por um teto falso formado por placas de gesso cartonado com 1,6cm de espessura, uma caixa de ar com 25cm, uma estrutura de concreto armado com 25cm de espessura, uma caixa de ar, ventilada com 10cm e como revestimento final exterior, uma chapa de alumínio tipo *Sandwish* com 5cm de poliuretano prensado, se obtendo um **U = 0.467/0.440, asc/desc W/m² °C**.

Cobertura em terraço

Se considerou a estrutura do teto do piso constituído por chapisco com 1cm de espessura, uma estrutura de concreto armado com 25cm de espessura, uma camada de forma com 6cm constituída por um concreto leve com grão de argila expandida, 5 cm de isolamento tipo XPS, betonilha de regularização de 3cm, tela de impermeabilização e por fim um revestimento cerâmico com 1,5cm de espessura, se obtendo um **U = 0.530 W/m² °C**.

Pavimentos exteriores

Se considerou a estrutura do teto do piso constituído por reboco de cimento pintado a branco com 1cm de espessura, uma estrutura de betão armado com 25cm de espessura, uma camada de forma com 6cm constituída por um betão leve com grão de argila expandida, 5cm de isolamento tipo XPS, betonilha de regularização de

3cm, tela de impermeabilização e por fim um revestimento cerâmico com 1,50cm de espessura, se obtendo um **$U = 0.554 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$** .

Porta Exterior

Se considerou para porta exterior um painel de madeira exótica, maciça, com 4cm, se obtendo um **$U = 2.581 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$** .

Envidraçados Exteriores

Os envidraçados são em vidro duplo incolor com 4-16-5 mm, com caixilho em Alumínio Lacado, simples, com corte térmico, sem classe à permeabilidade do ar, pelo que terão um valor de **$U = 2.50 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$**

4.1.4.2. COEFICIENTES DE TRANSMISSÃO TÉRMICA LINEAR, Ψ

Os valores definidos para o coeficiente ψ dos elementos da envolvente são:

Fachada em contacto com pavimentos exteriores ou não aquecidos

As fachadas em contacto com pavimentos exteriores ou não aquecidos, são constituídas por paredes duplas, com isolamento na caixa-de-ar. Os pavimentos possuem uma espessura de 25cm com isolamento aplicado no chão, pelo que terão um valor de **$\psi = 0,70 \text{ W/m} \cdot \text{ }^\circ\text{C}$** .

Fachada em contacto com pavimentos intermédios

As fachadas em contacto com pavimentos intermédios, são constituídas por paredes duplas, com isolamento na caixa de ar. Os pavimentos possuem uma espessura de 25cm, pelo que terão um valor de **$\psi = 0,25 \text{ W/m} \cdot \text{ }^\circ\text{C}$** .

Fachada em contacto com Cobertura inclinada ou terraço

As fachadas em contacto com esteira, são constituídas por paredes duplas. O isolamento é contínuo sobre esteira. Os pavimentos possuem uma espessura de 25cm, pelo que terão um valor de **$\psi = 0,70 \text{ W/m} \cdot \text{ }^\circ\text{C}$** .

Fachada em contacto com varanda

As fachadas em contacto com varandas possuem uma espessura de pelos menos 30cm. Os pavimentos possuem uma espessura de 25cm, pelo que terão um valor de **$\psi = 0,40 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$** .

Duas paredes verticais em contacto

As fachadas em contacto, são constituídas por paredes duplas com isolamento na caixa de ar, pelo que terão um valor de **$\psi = 0,20 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$** .

Ligação da Fachada com padieira, ombreira ou peitoril

Como a fachada é isolada pela caixa-de-ar, assim a caixilharia não está em contacto com o isolamento, pelo menos nas ombreiras e soleiras, apenas na parte superior do caixilho das janelas, existe contacto, considerando-se apenas a zona do peitoril ou soleira dos vãos e ombreiras, pelo que terá um valor de **$\psi = 0.20 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$** .

Ligação da Fachada com pavimento térreo

Como a fachada é isolada pela caixa-de-ar, possuindo um pavimento de piso com espessura de 25cm, pelo que terá um valor de **$\psi = 0.60 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$**

4.1.4.3. INÉRCIA TÉRMICA, I_T

Como foi definido em 3.6, a tabela seguinte mostra o cálculo de I_T para a moradia em questão.

Tabela 6 - Cálculo da inércia térmica, I_t

Elemento	Área (m ²)	Massa Inercial
Paredes exteriores e PTP em paredes exteriores	189,4	28410
Pavimentos exteriores e PTP em pav. exteriores	23,73	3559,5
Coberturas exteriores e PTP em cob. exteriores	118,24	17736
Paredes e Pavimentos em contacto com o solo	52,69	7903,5
Paredes em contacto com espaços não úteis e PTP	34,07	5110,5
Pavimentos sobre espaços não úteis e suas PTP	103,35	15502,5
Coberturas sob espaços não úteis e suas PTP	21,06	3159
Envidraçados de separação com espaços não úteis	0	0
Elementos interiores sem requisitos (paredes + pavimentos + coberturas)	205,29	61587
Total	747,83	142968
	Ap - Área útil (m ²)	228,82
	Inércia Térmica (Kg/m²)	624,81

A fração autônoma em estudo apresenta uma inércia térmica forte ($I_t \geq 400 \text{ kg/m}^2$).

4.1.5. RESULTADOS

4.1.5.1. QUANTIFICAÇÃO DOS REQUISITOS ENERGÉTICOS

Os índices térmicos fundamentais a quantificar são os valores das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (N_{ic}), das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (N_{vc}), das necessidades nominais anuais de energia para produção de águas quentes sanitárias (N_{ac}), bem como das necessidades globais de energia primária (N_{tc}). A tabela seguinte apresenta os índices térmicos fundamentais que foram quantificados através da utilização do RCCTE para as três localizações acima referidas.

Tabela 7 - Quantificação dos requisitos energéticos

	Nic (kWh/(m ² ·ano))	Nvc (kWh/(m ² ·ano))	Nac (kWh/(m ² ·ano))	Ntc (kgep/(m ² ·ano))
Covilhã	118,41	2,42	5,12	1,91
Ovar	73,45	2,05	5,12	1,25
Évora	70,57	17,21	5,12	1,37

4.1.5.2. VERIFICAÇÃO DO RCCTE

De acordo com os artigos 5º, 6º, 7º e 8º, a verificação do RCCTE pressupõe:

$$N_{ic} \leq N_i \text{ [kWh/(m}^2\text{.ano)]}$$

$$N_{vc} \leq N_v \text{ [kWh/(m}^2\text{.ano)]}$$

$$N_{ac} \leq N_a \text{ [kWh/(m}^2\text{.ano)]}$$

$$N_{tc} \leq N_t \text{ [kgep/(m}^2\text{.ano)]}$$

Covilhã

Tabela 8 - Verificação do RCCTE – Covilhã

Nic (kWh/(m ² ·ano))	Ni (kWh/(m ² ·ano))	Nic/Ni	Nvc (kWh/(m ² ·ano))	Nv (kWh/(m ² ·ano))	Nvc/Nv
134,41	121,78	1,1	2,42	18,00	0,13

Nac (kWh/(m ² ·ano))	Na (kWh/(m ² ·ano))	Nac/Na	Ntc (kgep/(m ² ·ano))	Nt (kgep/(m ² ·ano))	Ntc / Nt
5,12	20,67	0,25	1,91	4,05	0,47

Ovar

Tabela 9 - Verificação do RCCTE – Ovar

Nic (kWh/(m ² ·ano))	Ni (kWh/(m ² ·ano))	Nic/Ni	Nvc (kWh/(m ² ·ano))	Nv (kWh/(m ² ·ano))	Nvc/Nv
73,45	81,64	0,90	2,05	16,00	0,13

Nac (kWh/(m ² ·ano))	Na (kWh/(m ² ·ano))	Nac/Na	Ntc (kgep/(m ² ·ano))	Nt (kgep/(m ² ·ano))	Ntc / Nt
5,12	20,57	0,25	1,25	3,67	0,34

Évora

Tabela 10 - Verificação do RCCTE – Évora

Nic (kWh/(m ² ·ano))	Ni (kWh/(m ² ·ano))	Nic/Ni	Nvc (kWh/(m ² ·ano))	Nv (kWh/(m ² ·ano))	Nvc/Nv
70,57	76,95	0,92	17,21	32,00	0,54

Nac (kWh/(m ² ·ano))	Na (kWh/(m ² ·ano))	Nac/Na	Ntc (kgep/(m ² ·ano))	Nt (kgep/(m ² ·ano))	Ntc / Nt
5,12	20,67	0,25	1,37	3,77	0,36

Seguidamente, se resumem estes resultados de forma gráfica.

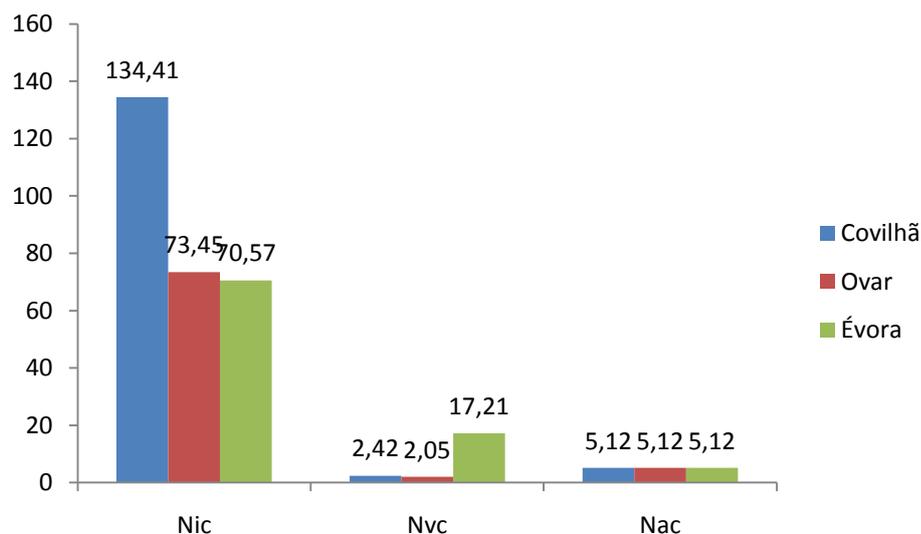


Figura 33 – Quantificação e comparação de N_{ic} , N_{vc} e N_{ac}

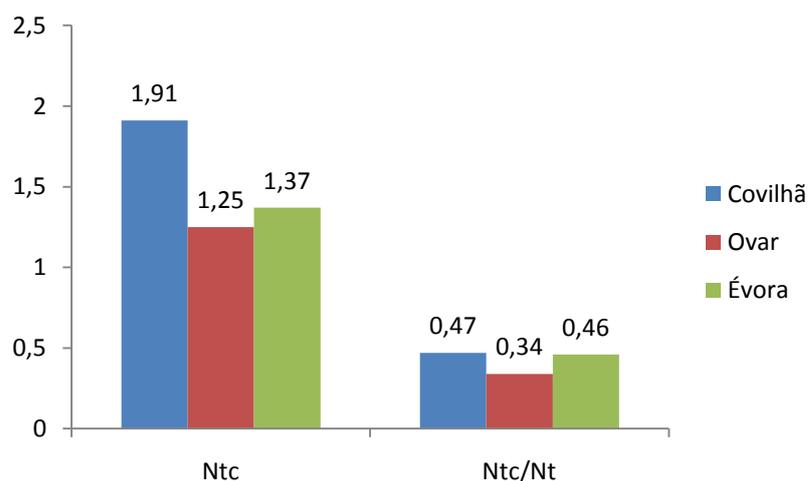


Figura 34 – Quantificação e comparação de N_{tc} . Valores de N_{tc}/N_t

4.1.5.3. INTERPRETAÇÃO DE RESULTADOS

Como se pode observar pela verificação das tabelas 8,9 e 10, o primeiro caso é o único que se encontra em situação não regulamentar: as necessidades nominais de aquecimento são superiores ao valor regulamentar ($N_{ic} > N_i$).

Os restantes casos apresentam valores bastante aceitáveis. O valor de N_{tc}/N_t de 0,34 $\text{kgep}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$ para o caso de Ovar, lhe confere uma eficiência energética de classificação A, como se pode observar pelas figuras seguintes.

Classe energética	$R = N_{tc}/N_t$
A+	$R \leq 0,25$
A	$0,25 < R \leq 0,50$
B	$0,50 < R \leq 0,75$
B-	$0,75 < R \leq 1,00$
C	$1,00 < R \leq 1,50$
D	$1,50 < R \leq 2,00$
E	$2,00 < R \leq 2,50$
F	$2,50 < R \leq 3,00$
G	$3,00 < R$

Edifícios existentes

Edifício novos

Figura 35 - Classes energéticas

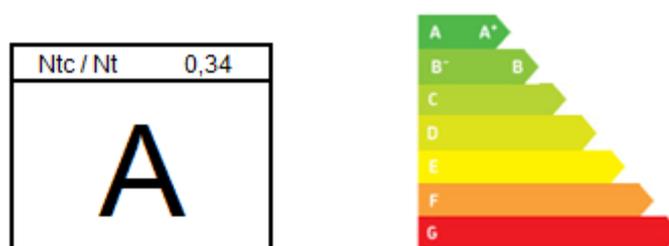


Figura 36 - Classificação da eficiência energética – Ovar (Caso 1)

Como se pôde constatar anteriormente, o edifício consegue ser regulamentar em dois dos casos estudados mas, as exigências da zona climática da Covilhã foram demasiado elevadas para as características da envolvente definida. Conseqüentemente, neste caso, a fração não se encontra regulamentar na estação de aquecimento, não podendo, assim, receber etiqueta energética.

A fração que obteve melhor desempenho térmico é, como seria de esperar (devido a ser a que se encontra numa zona climática menos adversa) a que está situada na zona climática de Ovar.

Em anexo, se encontram todas as folhas de cálculo do RCCTE demonstrativas desta solução.

4.2. CASO 2 – ANÁLISE TÉRMICA DA MORADIA NA COVILHÃ E OVAR COM MELHORIA DE CARACTERÍSTICAS DA ENVOLVENTE.

4.2.1. INTRODUÇÃO

Tendo em conta os resultados obtidos anteriormente, se optou por voltar a aplicar o RCCTE às frações das zonas climáticas da Covilhã e de Ovar, mas desta vez com algumas alterações à envolvente, nomeadamente um aumento significativo na espessura do isolamento térmico da envolvente e um aumento da espessura da porta exterior.

Com este aumento, se tem como objetivo regulamentar o caso da moradia na zona climática da Covilhã e tentar que o caso da zona climática de Ovar consiga uma classificação energética de A+ ($N_{tc}/N_t \leq 0,25 \text{ kgep}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$).

De referir que não se efectou esta alteração para o caso de Évora, visto que esta é uma situação intermédia relativamente às duas anteriores.

4.2.2. PRESSUPOSTOS DE CÁLCULO

Como já foi referido, se optou, em primeiro lugar, pelo aumento das espessuras de isolamento térmico da envolvente. Assim, as alterações estão definidas no quadro seguinte:

Tabela 11 - Espessuras de isolamentos (Casos 1 e 2)

	Espessura de Isolamento (m)	
	Caso 1	Caso 2
Paredes	0,04	0,1
Pavimentos	0,05	0,1
Coberturas	0,05	0,1

Se optou também, pelo aumento da espessura da porta exterior de 4cm iniciais para 8cm, mantendo o mesmo material (madeira exótica).

Assim, foram calculados os valores dos coeficientes de transmissão térmica com as alterações previstas.

De maneira a poder obter uma comparação das diferenças dos valores de U para os dois casos, segue uma tabela semelhante à Tabela 5.:

Tabela 12 - Cálculo do coeficiente de transmissão térmica para a Parede exterior

Parede exterior em zona corrente					
Camada	λ [W/m°C]	e [m]	Msi [kg/m ²]	R [m ² C/W]	U [W/m ² C]
fluxo de ar exterior				0,04	0,283
Chapisco	0,18	0,02	150	0,111	
Tijolo furado 11	0,407	0,11	150	0,27	
XPS (exp > 2,5)	0,04	0,1	150	2,703	
Tijolo furado 11	0,407	0,11	150	0,27	
Reboco cimento	1,3	0,02	150	0,015	
fluxo de ar interior				0,13	

Como se pode verificar, a diferença de espessura do isolamento térmico fez alterar o valor do coeficiente de transmissão térmica desta parede dos 0,521 W/m²C iniciais para 0,283 W/m²C.

Assim, segue uma tabela com todos os valores do coeficiente de transmissão térmica tanto para o primeiro caso estudado com para o novo caso:

Tabela 13 - Coeficientes de transmissão térmica (casos 1 e 2)

Elemento	Coeficiente de transmissão térmica, U (W/m ² °C)	
	Caso 1	Caso 2
Parede exterior em zona corrente	0,52	0,28
Parede exterior em zona de pilar e viga	0,69	0,32
Caixa de estores	0,92	0,51
Porta exterior	2,58	1,4
Cobertura em terraço	0,53	0,28
Pavimento exterior	0,55	0,29
Cobertura exterior 1-Zona da biblioteca	0,47/0,44	0,22/0,21
Cobertura exterior 2- Zona do Hall e Quartos	0,47/0,44	0,22/0,21
Parede em contacto com zona de inst. técnicas	1,33	1,03
Parede em contacto com garagem	1,33	1,03
Pavimento do piso em contacto com caixa de ar, gar. e inst. téc.	0,52	0,43

Assim, com estes novos elementos, voltou-se a aplicar o RCCTE para os casos das zonas climáticas da Covilhã e de Ovar.

4.2.3. RESULTADOS

4.2.3.1. QUANTIFICAÇÃO DOS REQUISITOS ENERGÉTICOS

Os resultados obtidos para os dois casos em questão se apresentam na seguinte tabela:

Tabela 14 - Quantificação dos requisitos energéticos

	Nic (kWh/(m ² ·ano)	Nvc (kWh/(m ² ·ano)	Nac (kWh/(m ² ·ano)	Ntc (kWh/(m ² ·ano)
Covilhã	109,94	2,72	5,12	1,65
Ovar	57,70	3,80	5,12	1,09

4.2.3.2. VERIFICAÇÃO DO RCCTE

Assim, procedendo da mesma maneira que no primeiro caso, se comparam estes valores com os casos de referência de modo a ver se se encontram regulamentares.

Deste modo, para o caso da Covilhã, tem-se:

Tabela 15 - Verificação do RCCTE – Covilhã

Nic (kWh/(m ² ·ano))	Ni (kWh/(m ² ·ano))	Nic/Ni	Nvc (kWh/(m ² ·ano))	Nv (kWh/(m ² ·ano))	Nvc/Nv
109,94	121,78	0,90	2,72	18,00	0,15

Nac (kWh/(m ² ·ano))	Na (kWh/(m ² ·ano))	Nac/Na	Ntc (kgep/(m ² ·ano))	Nt (kgep/(m ² ·ano))	Ntc / Nt
5,12	20,67	0,25	1,85	4,05	0,46

Do mesmo modo, para o caso de Ovar, tem-se:

Tabela 16 - Verificação do RCCTE – Ovar

Nic (kWh/(m ² ·ano))	Ni (kWh/(m ² ·ano))	Nic/Ni	Nvc (kWh/(m ² ·ano))	Nv (kWh/(m ² ·ano))	Nvc/Nv
57,70	81,64	0,71	3,80	16,00	0,24

Nac (kWh/(m ² ·ano))	Na (kWh/(m ² ·ano))	Nac/Na	Ntc (kgep/(m ² ·ano))	Nt (kgep/(m ² ·ano))	Ntc / Nt
5,12	20,57	0,25	1,09	3,67	0,30

Uma vez mais, se seguem os gráficos ilustratórios destas situações:

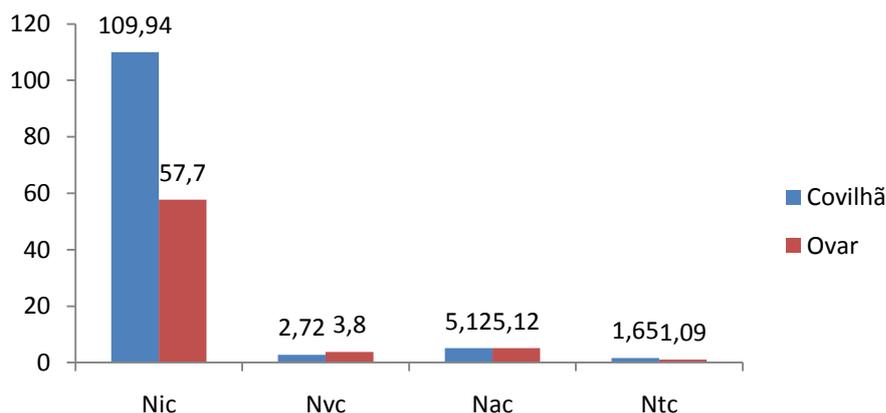


Figura 37 - Quantificação e comparação de N_{ic}, N_{vc} e N_{ac}

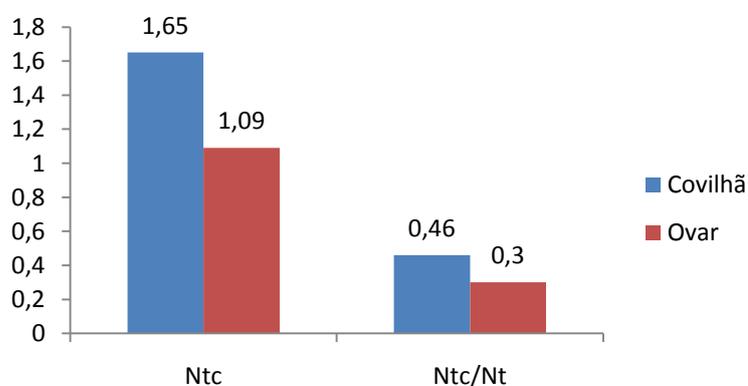


Figura 38 - Quantificação e comparação de N_{tc}. Valores de N_{tc}/N_t

4.2.3.3. INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Se pode observar, recorrendo às tabelas anteriores, que o caso da moradia situada na zona climática da Covilhã já se encontra regulamentar para a estação de aquecimento. Assim, já está de acordo com as exigências do RCCTE e, com o valor de N_{tc}/N_t de 0,46 kgep/(m²·ano), obtém uma eficiência energética com classificação A.

Quanto à moradia situada na zona climática de Ovar, apesar de se ter conseguido reduzir em 13% o valor das necessidades nominais de energia, N_{tc} (de 1,25 para 1,09), e obtendo uma classificação de A, não se conseguiu atingir o objetivo proposto (que a sua eficiência energética seja de A+ (N_{tc}/N_t ≤ 0,25 kgep/(m²·ano))).

4.3. CASO 3 – ANÁLISE TÉRMICA DO CASO DA MORADIA NA ZONA CLIMÁTICA DE OVAR COM MELHORIA DE CARACTERÍSTICAS DOS ENVIDRAÇADOS EXTERIORES.

4.3.1. INTRODUÇÃO

No seguimento dos dois casos anteriores e, com o objetivo de alterar a classificação energética da moradia na zona climática de Ovar de A para A+, vai-se voltar a fazer uma aplicação do RCCTE alterando, desta vez, as características dos envidraçados exteriores.

4.3.2. PRESSUPOSTOS DE CÁLCULO

Um pouco à semelhança da alteração efetuada nas paredes exteriores, o parâmetro das características dos envidraçados que mais influência poderá ter no resultado final é o seu coeficiente de transmissão térmica (U_{wdn}).

Assim, recorrendo ao ITE 50 (*Pina dos Santos, 2006*), que fornece dados sobre alguns coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios, se escolheu o envidraçado com o valor de U_{wdn} mais reduzido.

Desse modo, se alterou a solução de envidraçado inicial para um envidraçado em vidro duplo incolor com 4-16-5 mm, com caixilho em plástico. Esta solução tem um coeficiente de transmissão térmica de referência de $1,9 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$, valor este que é 24% inferior aos $2,5 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ iniciais.

4.3.3. RESULTADOS

4.3.3.1. QUANTIFICAÇÃO DOS REQUISITOS ENERGÉTICOS

Com esta nova alteração, se voltou a aplicar o Regulamento ao caso em questão, se obtendo o seguinte resultado:

Tabela 17 - Quantificação dos requisitos energéticos

	Nic (kWh/(m ² ·ano))	Nvc (kWh/(m ² ·ano))	Nac (kWh/(m ² ·ano))	Ntc (kWh/(m ² ·ano))
Ovar	51,23	3,53	5,12	1,02

4.3.3.2. VERIFICAÇÃO DO RCCTE

Como se pode observar, os valores de Nic, Nvc e Ntc diminuíram ligeiramente. Fazendo novamente o comparativo com os valores regulamentares, se obtém:

Tabela 18 - Verificação do RCCTE – Ovar

Nic (kWh/(m ² ·ano))	Ni (kWh/(m ² ·ano))	Nic/Ni	Nvc (kWh/(m ² ·ano))	Nv (kWh/(m ² ·ano))	Nvc/Nv
51,23	81,64	0,61	3,53	16,00	0,22

Nac (kWh/(m ² ·ano))	Na (kWh/(m ² ·ano))	Nac/Na	Ntc (kgep/(m ² ·ano))	Nt (kgep/(m ² ·ano))	Ntc / Nt
5,12	20,57	0,25	1,02	3,67	0,28

4.3.3.3. INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Analisando os resultados obtidos, verifica-se uma diminuição do valor de N_{tc}/N_t de **0,30** kgep/(m²·ano) para **0,28** kgep/(m²·ano).

A sua classificação energética continua cifrada em A, não se conseguindo atingir o objetivo proposto (que a sua eficiência energética seja de A+ ($N_{tc}/N_t \leq 0,25$ kgep/(m²·ano))).

4.4. CASO 4 – ANÁLISE TÉRMICA DO CASO DA MORADIA NA ZONA CLIMÁTICA DE OVAR COM MELHORIA DE CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS DE AQUECIMENTO E PREPARAÇÃO DE AQS.

4.4.1. INTRODUÇÃO

Com base no resultado obtido no Caso de Estudo 3 e, continuando com o objetivo de chegar a uma classificação de A+, se voltou a fazer uma alteração de projeto.

Assim, de modo a poder verificar a influência dos instrumentos de sistemas de Aquecimento e Preparação de AQS, se voltou a aplicar o regulamento na solução anterior, desta vez alterando os referidos sistemas.

4.4.2. PRESSUPOSTOS DE CÁLCULO

Recorrendo ao artigo 18º do RCCTE, se podem verificar os valores de eficiência nominal de um determinado número de equipamentos de aquecimento e arrefecimento do ambiente. Como será de esperar, quanto maior a eficiência dos equipamentos, maior será a eficiência energética da habitação.

Com isso em mente, se optou por efetuar duas alterações no projeto original. Assim, no lugar da Caldeira a Combustível Líquido para o aquecimento, que tem um rendimento de 80%, utilizou-se uma Caldeira a Combustível gasoso que tem um aumento de 7 valores percentuais no seu rendimento total, comparando com a anterior (87%).

Simultaneamente, com base nos valores fornecidos na Secção VI.3 do RCCTE, alterou-se também o sistema de preparação de AQS de um “Termoacumulador a gás com 50m a 100mm de isolamento térmico” para uma “Caldeira mural com acumulação com pelo menos 100mm de isolamento térmico”. Enquanto que a primeira tinha um rendimento de 75%, a nova solução fornece um rendimento de 87%.

4.4.3. RESULTADOS

4.4.3.1. QUANTIFICAÇÃO DOS REQUISITOS ENERGÉTICOS

Depois de aplicado o Regulamento à solução referida, se obteve o seguinte resultado:

Tabela 19 - Quantificação dos requisitos energéticos

	Nic (kWh/(m ² ·ano))	Nvc (kWh/(m ² ·ano))	Nac (kWh/(m ² ·ano))	Ntc (kWh/(m ² ·ano))
Ovar	51,23	3,53	4,41	0,92

4.4.3.2. VERIFICAÇÃO DO RCCTE

Como seria de esperar, o valor de N_{ac} teve uma diminuição, provocando assim também uma diminuição no valor de N_{tc} . Fazendo o comparativo com os valores regulamentares, se tem:

Tabela 20 - Verificação do RCCTE – Ovar

Nic (kWh/(m ² ·ano))	Ni (kWh/(m ² ·ano))	Nic/Ni	Nvc (kWh/(m ² ·ano))	Nv (kWh/(m ² ·ano))	Nvc/Nv
51,23	81,64	0,61	3,53	16,00	0,22

Nac (kWh/(m ² ·ano))	Na (kWh/(m ² ·ano))	Nac/Na	Ntc (kgep/(m ² ·ano))	Nt (kgep/(m ² ·ano))	Ntc / Nt
4,41	20,57	0,21	0,89	3,67	0,24

4.4.3.3. INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Finalmente, com um novo valor de 0,24 kgep/(m²·ano) para N_{tc}/N_t , se conseguiu obter o objetivo de tornar a edificação situada na zona climática de Ovar, uma edificação com classificação energética de A+ (0,24<0,25).



Figura 39 - Classificação da eficiência energética – Ovar (Caso 4)

5. CONCLUSÕES

O presente trabalho tinha como principal objectivo a avaliação da eficiência energética de uma residência unifamiliar em Portugal.

Através da recolha de diversas informações, se constatou que o tema da eficiência energética tem estado no centro das preocupações de várias organizações mundiais, incluindo Portugal que, em conjunto com outros estados membros da União Europeia, estabeleceu algumas metas a nível energético, incentivando a poupança de energia. Foram inúmeros programas e protocolos, entre os quais se destaca o Protocolo de Kioto, em que participaram entidades governamentais de todo o Mundo, traçando medidas para reduzir as emissões dos gases poluentes na atmosfera, provocados principalmente pela produção de energia.

O setor dos edifícios é um dos grandes consumidores de energia em Portugal e por isso o projeto de novos edifícios e grandes reabilitações, tem que ir para além da funcionalidade e da estética e tem que ter preocupações energéticas.

No projeto de um edifício, uma boa orientação geográfica é fundamental para a redução dos consumos energéticos. Um edifício corretamente orientado a Sul, possui um enorme aproveitamento direto da radiação solar, que lhe reduz as necessidades de aquecimento e iluminação.

Outra das grandes preocupações a ter é projetar edifícios bem isolados, mas com sistemas de ventilação, natural ou mecânica, capazes de garantir o conforto térmico de seus utilizadores, bem como evitar o aparecimento de umidades, patologia que no clima português é bastante frequente.

Através de estratégias bioclimáticas e de eficiência energética que foram descritas ao longo deste estudo, é possível que quase todas as edificações, existentes ou novas, atinjam as metas atrás referidas, se tornando mais eficientes e, assim, melhores para o utilizador e para o meio ambiente.

A última parte deste trabalho, se refere ao estudo de um caso concreto, através da aplicação dos conceitos abordados ao longo da parte teórica. Numa primeira fase, recorrendo sempre ao Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios, se realizou um estudo relativo a uma moradia que, para efeito

acadêmico, foi implantada em três diferentes localizações em Portugal. Assim, o trabalho permitiu concluir que o clima em Portugal é bastante diferente consoante a região considerada. Desse modo, um edifício que cumpra os requisitos térmicos na zona de Ovar ou Évora, poderá não cumprir na região da Covilhã, visto que o clima é mais frio. Se constatou que o edifício na Covilhã, só com um aumento de espessura de isolamento térmico em média de 6 cm em toda a envolvente opaca, conseguiu cumprir os mínimos regulamentares. Desse modo, se pôde confirmar que a Covilhã, apesar de não se encontrar no zoneamento climático mais condicionante, possui um clima suficientemente frio (devido à sua altitude) durante a estação de aquecimento para que o projeto inicial não seja regulamentar.

Foi também verificado que o aumento da espessura de isolamento térmico na moradia situada na zona climática de Ovar reduziu em 13% o valor das necessidades nominais de energia, N_{tc}

De seguida, de modo a se verificar a importância da envolvente envidraçada na eficiência energética de um edifício, se voltou a aplicar o regulamento (desta vez só para o caso de Ovar) com uma diferente solução de envidraçado (envidraçado duplo incolor com 4-16-5 mm, com caixilho em plástico. Os resultados obtidos diminuíram as necessidades nominais de energia, mas a diminuição não foi suficiente para que a eficiência energética da moradia passasse a ser A+. Isso permite concluir que a solução de envidraçados inicial já era uma solução boa, sendo que a melhoria verificada quando se utilizou a melhor solução possível, não foi significativa.

Por fim, de maneira a verificar a influência dos instrumentos de sistemas de Aquecimento e Preparação de AQS, se voltou a aplicar o regulamento para a moradia situada em Ovar, desta vez alterando os referidos sistemas. Assim, no lugar da Caldeira a Combustível Líquido para o aquecimento, que tem um rendimento de 80%, utilizou-se uma Caldeira a Combustível gasoso que tem um aumento de 7 valores percentuais no seu rendimento total, comparando com a anterior (87%). Alterou-se também o sistema de preparação de AQS de um “Termoacumulador a gás com 50m a 100mm de isolamento térmico” para uma “Caldeira mural com acumulação com pelo menos 100mm de isolamento térmico” sendo que o seu rendimento passou a ser de 87% ao invés dos 75% iniciais.

O valor das necessidades nominais de energia útil passaram de 0,28 kgep/(m²·ano) para 0,24 kgep/(m²·ano).

Assim se pode concluir que os sistemas de aquecimento e preparação de águas sanitárias são possuidores de uma grande importância no valor de eficiência energética de uma moradia. Essa importância, apesar de já ser expectável devido à distribuição do consumo energético nos edifícios residenciais, é justificada com o fato da fórmula utilizada para o cálculo das necessidades nominais de energia útil possuir uma ponderação bastante elevada na parcela de AQS.

Se conseguiu, assim, alcançar uma classificação de A+ para a eficiência energética da moradia situada em Ovar.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Boyle, Godfrey; *Energy Systems and Sustainability*; Oxford: University Press; 2003
- [2] CIB; *Agenda 21 on Sustainable Construction*; CIB Report Publication; Rotterdam; 1999
- [3] Gomes, Maria; Marcelino, Maria; Espada, Maria; *Proposta para um Sistema de Indicadores de Desenvolvimento Sustentável*; Direcção Geral do Ambiente; 2000
- [4] Alexander, G.; *The context of Renewable Energy Technologies*, in Boyle, G. (ed); *Renewable Energy – Power for a Sustainable future*; Oxford University and Open University; Oxford; 1996
- [5] Mendonca, Paulo; *Desempenho Energetico dos Edificios – Manual de Acompanhamento das Acções de Formação da Ordem dos Arquitectos*; 2007
- [6] DGE – Direcção Geral de Geologia e Energia; 2007; <http://www.dgge.pt>
- [7] DGE; *Eficiência Energética nos Edifícios*; Direcção Geral de Energia – Ministério da Economia; 2002
- [8] Communities, Commission of the European; *Eu Energy Policy Data*; European Commission; 2007
- [9] ADENE – Agencia de Energia; <http://www.adene.pt>
- [10] Goncalves, Helder; *Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal*; DGGE; 2004
- [11] CONSTRUIR PORTUGAL; <http://www.construirportugal.pt>
- [12] Decreto-Lei no 78/2006, de 4 de Abril; *Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior dos Edifícios*, 2006
- [13] Decreto-Lei no 79/2006, de 4 de Abril; RSECE – *Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios*, 2006
- [14] Decreto-Lei no 80/2006, de 4 de Abril; RCCTE – *Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios*, 2006

[15] Everett, B; *Solar Thermal Energy*, in Boyle, G. (ed); Renewable Energy Power for Sustainable future; Oxford University and Open University; Oxford; 1996

[17] 4EOLIC ENERGIAS RENOVAVEIS; 2007; <http://www.4eolic.pt>

- Outras fontes consultadas:

- Simões, Nuno. *Aplicação do Novo RCCTE (Decreto-Lei n.º 80/2006)*. Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra, 2007.
- *EDP Energias de Portugal*. Publicação On-Line. 2010. <http://www.edp.pt>
- Aelenei, Daniel. *RCCTE "Light"*. Departamento de Engenharia Civil da Universidade Nova de Lisboa, 2008.
- CONSTRUCAO SUSTENTAVEL; 2007; <http://www.quercus-construcaosustentavel.com/>
- ENAT – Energias Naturais; <http://www.enat.pt>
- Energy and Environmental Issues in the Building Sector; <http://www.greenbuilding.ca>
- ERSE – Entidade Reguladora dos Edifícios Energeticos; <http://www.erse.pt>
- Santos, Carlos, e Luís Matias. *ITE 50 – Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente*. LNEC Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2006.
- Valério, Jorge. *Avaliação do Impacte das Pontes Térmicas no Desempenho Térmico e Energético de Edifícios Residenciais Correntes*. Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, 2007.
- *Utilização de Colectores Solares para Aquecimento de Água no Sector Doméstico*. DGE / IP-AQSpP, 2003.
- Portugal, Ogilvy & Mather. *Eficiência Energética nos Edifícios*. Direcção Geral de Energia - Ministério da Economia, 2002.

7. ANEXOS

Anexo 1 – Peças desenhadas do projecto

Anexo 2 – Folhas de cálculo do RCCTE (caso 1 – Ovar)

Anexo 3 – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE)