UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
Engenharia

Estratégias passivas para a otimização do desempenho energético de edifícios no âmbito do REH

Tânia Marisa Bárrios Leitão

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Civil
(Ciclo de Estudos Integrado)

Orientador: Prof. Doutor Miguel Costa Santos Nepomuceno

Covilhã, outubro de 2015

“ Sem sonhos a vida não tem brilho

Sem metas o sonho não tem alicerce e

Sem prioridades os sonhos não se tornam reais…”

Augusto Cury

Aos meus Pais e Irmã

Agradecimentos

A elaboração desta dissertação contou valiosamente com a colaboração direta e indireta de várias pessoas às quais eu pretendo agradecer profundamente.

Em primeiro lugar gostaria de expressar o meu profundo agradecimento ao Prof. Doutor Miguel Nepomuceno, orientador científico desta dissertação, pela constante disponibilidade, dedicação e motivação, assim como por todos os conhecimentos transmitidos, essenciais ao desenvolvimento desta dissertação.

Aos meus pais e irmã, gostaria de agradecer todo o incentivo, confiança, carinho e apoio, sempre demonstrados ao longo da vida. Avó e restante família por em todos os momentos da minha vida estarem ao meu lado quando precisei.

À Vera Vicente gostaria de agradecer toda a ajuda, amizade e apoio prestado. Gostaria ainda de agradecer à Marta Duarte, Mara Vilela, Fátima Bispo, Josefa Dias, Norberto Gomes, João Libério, Vânia Ferreira, pelo incentivo, companheirismo e amizade sempre demonstrados ao longo desta dissertação, assim como a todos os amigos e colegas que sempre me apoiaram e lutaram comigo pela concretização desta etapa.

Gostaria de expressar o meu agradecimento ao Celestino Afonso, engenheiro civil, mas acima de tudo amigo, pela constante disponibilidade, ajuda e amizade.

Gostaria também de agradecer a todos os Professores envolvidos na minha formação académica, pelos conhecimentos transmitidos.

Resumo

A situação ambiental do nosso planeta tem-se revelado cada vez mais preocupante ao longo dos anos, sendo a gestão dos recursos energéticos uma das principais causas desta preocupação. A energia é um bem essencial, mas a sua produção e consumo têm registado um grande impacto ambiental, ameaçando o equilíbrio do planeta e a salvaguarda de gerações futuras. Atualmente, o sector dos edifícios é um dos principais responsáveis pelo consumo energético mundial, pelo que a melhoria do seu desempenho energético pode contribuir significativamente para a sustentabilidade energética e ambiental do planeta.

A grande inovação resulta então, quanto a nós, de dois grandes fatores: da multidisciplinaridade necessária para conceber um projeto eficiente, tendo em conta o aproveitamento energético potencial do local a que se destina, e da sua inserção no tema da sustentabilidade. Uma das estratégias principais dos sistemas solares passivos consiste na proteção do edifício contra ganhos solares excessivos, diminuindo o consumo energético e simultaneamente permitir adequados níveis de iluminação natural, abrandando a necessidade de iluminação artificial. Devem os ganhos solares ser otimizados, isto é, durante a estação de aquecimento, os ganhos solares úteis devem ser maximizados e, durante a estação de arrefecimento, as necessidades energéticas devidas aos ganhos solares devem ser minimizadas.

Os dispositivos de sombreamento dos vãos envidraçados devem provocar o sombreamento dos vãos, durante a estação de arrefecimento e, não o provocar durante a estação de aquecimento. As palas horizontais para sombreamento de vãos envidraçados são particularmente adequadas a vãos orientados a sul. No entanto, verifica-se que, de uma forma geral, segundo a metodologia de cálculo prevista pelo REH, a existência de palas horizontais de sombreamento é penalizadora da eficiência energética dos edifícios.

Neste trabalho é apresentada uma metodologia de cálculo das necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento partindo da forma e orientação do edifício, da orientação e área dos vãos envidraçados e das palas de sombreamento. Através desta metodologia, espera-se contribuir para a obtenção de uma mais elevada classe de eficiência energética do edifício. Assim, só com a arquitetura é possível concebendo um edifício com sistemas solares passivos sem meios ativos, conseguindo uma poupança de 56,21% das necessidades energéticas.

Palavras-chave

Cor, Eficiência Energética, Estratégias Passivas, Fator de Forma, Inércia, Orientação, Palas de Sombreamento, Vãos Envidraçados.

Abstract

The environmental situation of our planet has proved increasingly worrying over the years, and the management of energy resources is the major cause of this concern. Energy is an essential commodity, but its production and consumption have made great environmental impact, threatening the balance of the planet and the safeguard of future generations. Currently, the building sector is a major contributor to the global energetic consumption, so the improvement of its energetic performance can significantly contribute to energetic and environmental sustainability of the planet.

The great innovation results so, in our view of two major factors: the multidisciplinary approach needed to develop an efficient design, taking into account the energy use of the potential place for which it is intended, and its inclusion in the theme of sustainability. One of the main strategy of passive solar systems is the protection of the building against excessive solar gains, reducing energetic consumption and simultaneously allowing adequate levels of natural lighting, mitigating the need for artificial lighting. Solar gain should be optimized, that is, during the heating season, the gains. The useful solar gains should be maximized, and during the cooling season, the energetic requirements due to solar gain must be minimized.

Shading devices of glazed areas must cause the shading of the openings during the cooling season and not the cause during the heating season. The horizontal shading visors of glazed areas are particularly suitable for openings facing south. However, it appears that, in general, according to the calculation method provided by SHR, the existence of horizontal shading visors penalizes the energetic efficiency of building

In this work a methodology for calculating the energetic requirements of heating and cooling is presented, starting from the shape and orientation of the building, the orientation and size of glazed areas and shading visors. Through this methodology it is expect to contribute to achieve a higher energetic efficiency class of the building. Thus, only through architecture is it possible conceiving a building with passive solar systems without active means, achieving a saving of 56,21% of energetic needs.

Keywords

Colour, Energy Efficiency, Passive strategies, Shape Factor, Inertia, Orientation, Shading visors, Glazed areas.

Índice Geral

1. Introdução 1

1.1. Enquadramento do tema 1

1.2. Objetivos e justificação do tema 3

1.3. Organização da dissertação 3

2. A energia e o ambiente construído 5

2.1. O Panorama energético mundial 5

2.1.1. Os consumos energéticos a nível mundial 5

2.1.2. Os riscos do atual padrão de consumo 7

2.2. As emissões de CO_2 e as alterações climáticas 8

2.3. O sector dos edifícios 9

2.4. O panorama energético em Portugal 10

2.4.1. O consumo energético 10

2.5. O ambiente construído em Portugal 12

2.5.1. A explosão do sector da construção 12

2.5.2. O parque habitacional português 12

2.5.3. O consumo energético nos edifícios 13

2.6. Eficiência Energética 14

2.6.1. A eficiência energética como prioridade 14

2.6.2. Eficiência energética nos edifícios 15

2.6.3. Enquadramento das políticas energéticas em Portugal 15

2.6.4. Objetivo e âmbito da aplicação do REH 20

2.6.4.1. Objetivo do REH 20

2.6.4.2. Âmbito da aplicação do REH 20

2.6.5. Eficiência energética versus conforto térmico 21

3. Contributo dos sistemas passivos 23

3.1. Sistemas passivos e estratégias passivas 23

3.1.1. Orientação e implementação do edifício face ao percurso solar 23

3.1.1.1. Orientação de fachadas envidraçadas 25

3.1.1.2. Exposição da habitação aos ventos dominantes 27

3.1.1.3. Utilização de árvores de folha caduca 28

3.1.2. Forma e localização do edifício 28

3.1.3. Qualidade e caraterísticas da envolvente exterior 33

3.1.3.1. Paredes 33

3.1.3.2. Coberturas 34

3.1.3.3. Pavimentos 35

3.1.3.4. Envidraçados 35

3.1.3.5. Pintura 36
3.1.4. Sombreamento 36
3.1.4.1. Soluções de proteção solar 37
3.1.4.1.1. Sombreamento Externo 37
3.1.4.1.2. Sombreamento Interno 40
3.2. Outros sistemas passivos nos edifícios 42
3.2.1. Sistemas de aquecimento passivo 42
3.2.1.1. Sistema de ganho direto 42
3.2.1.2. Sistema de ganho indireto ou desfasado 44
3.2.1.2.1. Paredes acumuladoras 44
3.2.1.2.2. Paredes dinâmicas 45
3.2.1.2.3. Parede de Trombe 45
3.2.1.2.4. Paredes de água 46
3.2.1.2.5. Cobertura de água 47
3.2.1.2.6. Sistema indireto pelo pavimento 48
3.2.1.3. Sistema de ganho isolado 49
3.2.1.3.1. Estufas 49
3.2.1.3.2. Termossifão 50
3.2.1.3.3. Sistema Barra-Constantini 51
3.2.2. Sistemas de arrefecimento passivo 51
3.2.2.1. Ventilação Natural 52
3.2.2.1.1. Ventilação cruzada 52
3.2.2.1.2. Ventilação por estratificação 53
3.2.2.1.3. Câmara solar 53
3.2.2.1.4. Aspiradores estáticos 54
3.2.2.1.5. Torre de vento 54
3.2.2.1.6. Construções Enterradas 55
3.2.2.2. Fachadas duplas transparentes ventiladas 55

4. Metodologia do caso de estudo 57
4.1. Introdução 57
4.2. Descrição do caso de estudo 59
4.2.1. Caracterização geométrica e orientação 59
4.2.2. Caracterização construtiva da envolvente 61
4.2.2.1. Paredes exteriores 61
4.2.2.2. Cobertura exterior 61
4.2.2.3. Vãos envidraçados exteriores 62
4.2.2.4. Pontes térmicas lineares da envolvente exterior 63
4.2.2.5. Pavimentos interiores 63
4.2.3. Efeito dos materiais (inércia térmica) 63

4.2.4. Efeito da cor 63
4.2.5. Efeito da ventilação 64
4.2.6. Área e orientação dos vãos envidraçados 64
4.2.7. Efeito das palas nos vãos envidraçados 65

5. Apresentação e discussão dos resultados 67
5.1. Introdução 67
5.2. Fator de forma e orientação 67
5.3. Vãos envidraçados 68
5.4. Efeito das palas 71
5.5. Efeito da inércia 75
5.6. Efeito da cor 76
5.7. Influência relativa do fator de forma 77
5.8. Proposta de estratégias passivas 78

6. Conclusões e propostas para trabalhos futuros 81
6.1. Conclusões 81
6.2. Propostas para trabalhos futuros 82

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 83

ANEXOS 87

Índice de Figuras

2.1. Consumo de energia mundial em 1973 e 2012 6

2.2. Evolução do consumo mundial de energia final, por região, em Mtep 6

2.3. Evolução do consumo mundial de energia final, por fonte, em Mtep 7

2.4. Consumo de CO_2 mundial em 1973 e 2012 8

2.5. Evolução das emissões mundiais de CO_2, por região, em Mt 8

2.6. Evolução das emissões de GEE, em Portugal (Mton CO_2) 10

2.7. Percentagens do consumo de energia final, em Portugal, por sector, em 2004 e 2013 13

2.8. Percentagens do consumo total de energia final, em Portugal, por fonte 13

3.1. Ângulo de incidência solar nos edifícios durante as estações de inverno e verão 24

3.2. Percursos do sol ao longo do ano 24

3.3. Orientação das fachadas 25

3.4. Radiação solar ao longo do ano por orientações 27

3.5. Correta utilização de um sistema de ventilação natural face aos ventos dominantes 27

3.6. Utilização de árvores de folha caduca no quadrante sul 28

3.7. Diferentes formas de um edifício com o mesmo volume 29

3.8. Diferentes formas com o mesmo volume 29

3.9. Exemplo de habitações com a mesma área e FF distintos 30

3.10. Zonas climáticas de inverno e verão, respetivamente, no continente 33

3.11. Esquema de funcionamento de uma claraboia 35

3.12. Lâminas verticais móveis 38

3.13. Lâminas horizontais móveis 39

3.14. Tipologias de palas em grelha 39

3.15. Tipologias de venezianas ou persianas 40

3.16. Cortina 41

3.17. Persianas 41

3.18. Tipologias de toldos e estores 42

3.19. Sistema de ganho direto 43

3.20. Edifício com sistema de ganho direto, ULS Guarda 43

3.21. Esquema de funcionamento de uma parede acumuladora 45

3.22. Esquema de funcionamento de uma parede dinâmica 45

3.23. Esquema de funcionamento de:

1. Parede de trombe com efeito de estufa durante o dia de inverno 46

2. Parede de trombe com efeito de estufa durante a noite de verão 46

3. Parede de trombe usada como um meio de ventilação 46

3.24. Esquema de funcionamento de uma parede de água 47

3.25. Esquema de funcionamento de uma cobertura de água 47
3.26. Esquema de funcionamento de um sistema indireto pelo pavimento 48
3.27. Esquema de funcionamento de uma estufa 50
3.28. Esquema de funcionamento de um termossifão 50
3.29. Esquema de funcionamento do Sistema Barra-Constantini 51
3.30. Esquema de funcionamento de ventilação cruzada 53
3.31. Esquema de funcionamento de ventilação por estratificação 53
3.32. Esquema de funcionamento de uma câmara solar 54
3.33. Esquema de funcionamento de um aspirador estático 54
3.34. Esquema de funcionamento de uma torre de vento 55
3.35. Esquema de funcionamento de uma construção enterrada 55

4.1. Metodologia do caso de estudo 58
4.2. Solução A, paralelipipedo 8,5*8,5*6, 2 pisos 59
4.3. Solução B, paralelipipedo 12*6*6, 2 pisos 60
4.4. Solução C, paralelipipedo 12*12*3, 1 piso 60
4.5. Solução D, paralelipípedo 24*6*3, 1 piso 60
4.6. Solução E, Cruz, 1 piso 60
4.7. Solução F, lagarta, 1 piso 61
4.8. Vãos envidraçados de vidro duplo, incolor 6+16+5 mm, com proteção exterior de estores venezianos de lamelas fixas metálicas, cor clara 62

5.1. Variação do fator forma para diferentes soluções geométricas 67
5.2. Necessidades energéticas das diferentes soluções, com o mesmo volume 68
5.3. Necessidades energéticas (solução B) com diferentes percentagens de envidraçados a sul 70
5.4. Envolvente opaca com envidraçados, da solução B 70
5.5. Influência da pala horizontal com diferentes α na fachada sul, na Solução B 71
5.6. Influência da pala horizontal com α=10º e pala vertical com diferentes $ß_{dir}$ na fachada sul, na Solução B 73
5.7. Influência da pala horizontal com α=10º e pala vertical com $ß_{dir}$=10º na fachada sul e pala vertical com diferentes $ß_{dir}$ na fachada oeste, na Solução B 74
5.8. Influência das palas, na Solução B 74
5.9. Influência da inércia 75
5.10. Influência da cor do edifício (fachadas e cobertura) 76
5.11. Sequência das estratégias passivas adotadas para a redução das necessidades energéticas 79

Índice de Tabelas

2.1. Consumo de energia primária, em Portugal, total e por fonte 11
2.2. Classes energéticas na nova legislação 20

3.1. NUTS III 31
3.2. Critérios para a determinação da zona climática de inverno 32
3.3. Critérios para a determinação da zona climática de verão 33

4.1. Percentagem de envidraçados por fachada 64

5.1. Variação do fator forma para diferentes soluções geométricas 67
5.2. Necessidades energéticas (solução B) com diferentes percentagens de envidraçados a sul 69
5.3. Envolvente opaca com envidraçados, da solução B 70
5.4. Influência da pala horizontal com diferentes α na fachada sul, da solução B 71
5.5. Influência da pala horizontal com α=10º e pala vertical com diferentes $ß_{dir}$ na fachada sul, da solução B 72
5.6. Influência da pala horizontal com α=10º e pala vertical com $ß_{dir}$=10º na fachada sul e pala vertical com diferentes $ß_{dir}$ na fachada oeste, na solução B 73
5.7. Influência da inércia do edifício 75
5.8. Influência da cor do edifício (fachadas e cobertura) 76
5.9. Influência relativa dos Fatores de Forma 77

A.1. Envolvente opaca sem envidraçados, inércia fraca e cor escura 89
A.2. Envolvente opaca com envidraçados, inércia fraca e cor escura 91
A.3. Envolvente opaca com envidraçados e pala horizontal nos envidraçados a sul, inércia fraca e cor escura 93
A.4. Envolvente opaca com envidraçados e palas horizontal e vertical nos envidraçados a sul, inércia fraca e cor escura 95
A.5. Envolvente opaca com envidraçados e palas horizontal e vertical nos envidraçados a sul, pala vertical nos envidraçados a oeste, inércia fraca e cor escura 97
A.6. Envolvente opaca com envidraçados e palas horizontal e vertical nos envidraçados a sul, pala vertical nos envidraçados a oeste, inércia fraca e cor clara, inércia forte e cor escura, inércia forte e cor clara 99

Siglas e Acrónimos

ADENE	Agencia para a Energia
APA	Agência Portuguesa do Ambiente
AQS	Água Quente Sanitária
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
CE	Comissão Europeia
CEE	Comunidade Económica Europeia
CO_2	Dióxido de Carbono
DECA	Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura
DGEG	Direção-Geral de Energia e Geologia
EM	Estados Membros
EPBD	Energy Performance of Buildings Directive
EPS	Poliestireno Expandido Moldado
ETP	Energy Technologies Perspectives
EU	Estados da União
FEUP	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
GEE	Gases com Efeito de Estufa
Gt	Giga toneladas
ICB	Aglomerado de Cortiça Expandida
IEA	Agência Internacional de Energia
IEE	Indicador de Eficiência Energética
INE	Instituto Nacional de Estatística
IPCC	Painel Intergovernamental para as alterações climáticas
ISEL	Instituto Superior de Engenharia de Lisboa
ktep	Quilotoneladas equivalentes de petróleo
KWE	Key World Energy
Mt	Mega toneladas
Mtep	Mega toneladas equivalentes de petróleo (ou Mtoe)
Mton CO_2	Mega toneladas de dióxido de carbono
MW	Lã Mineral
NUTS	Nomenclatura das Unidades Territoriais para fins estatísticos
NZEB	Near Zero Energy Buildings
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico
OMS	Organização Mundial da Saúde
PE	Parlamento Europeu
ppm	Partes por milhão
PUR	Espuma Rígida de Poliuretano
PVC	Cloreto de Polivinilo
QAI	Qualidade do Ar Interior

RCCTE	Regulamento das Caraterísticas de Comportamento Térmico dos Edifícios
RECS	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comercio e Serviços
REH	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação
Rph	Taxa nominal horária de renovações de ar interior
RSECE	Regulamento dos Sistemas Energéticos e Climatização em Edifícios
SCE	Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios
tcma	Taxa de crescimento media anual
tep	Toneladas equivalentes de petróleo
UBI	Universidade da Beira Interior
UE	União Europeia
ULS	Unidade Local de Saúde
WEO	World Energy Outlook
WWF	World Wide Fund for Nature
XPS	Poliestireno Expandido Extrudido

Simbologia

Alfabeto Latino

%	Percentagem
°C	Temperatura, grau Celsius
A	Área, m^2
A_{ext}	Área exterior, m^2
A_{int}	Área interior, m^2
b_{tr}	Coeficiente de redução de perdas
cm	Centímetros
E	Este
E_{ren}	Energia produzida a partir de fontes renováveis, [KWh/ano]
$E_{ren,ext}$	Energia exportada proveniente de fontes renováveis, [KWh/ano]
FF	Fator de Forma
GD	Números de graus-dia aquecimento
Hab	Habitação
I1	Inverno, zona 1
I2	Inverno, zona 2
I3	Inverno, zona 3
III	Três
kWh	Quilowatt-hora
m	Metros

N	Norte
N_i	Valor máximo para as necessidades nominais de energia útil para aquecimento
N_{ic}	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento, [KWh/(m^2.ano)]
N_t	Valor máximo para as necessidades nominais de energia primária
N_{tc}	Necessidades nominais anuais globais de energia primária, [KWh_{EP}/(m^2.ano)]
N_v	Valor máximo para as necessidades nominais de energia útil para arrefecimento
N_{vc}	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento, [KWh/(m^2.ano)]
Pa	Pascal
Q_a	Energia útil necessária para preparação de AQS, [KWh/ano]
R_{Nt}	Rácio de Classe Energética
S	Sul
S	Superfície, m^2
S/V	Superfície/Volume
U	Coeficiente de transmissão térmica superficial do elemento, W/(m^2.ºC)
V	Volume interior, m^3
V1	Verão, zona 1
V2	Verão, zona 2
V3	Verão, zona 3
W	Oeste
W_{vm}	Energia elétrica necessária ao funcionamento do sistema de ventilação mecânica, [KWh/ano]
XX	Século Vinte

Alfabeto grego

$\Theta_{ext,v}$	Temperatura média exterior da estação convencional de arrefecimento (verão)
τ	Coeficiente de redução das perdas térmicas para locais não aquecidos
ψ	Coeficiente de transmissão térmica linear, W/(m ºC)

1. Introdução

1.1. Enquadramento do tema

Atualmente a sociedade enfrenta questões desafiantes pela falta de sustentabilidade do meio ambiente (Soares, 2013). O atual consumo energético e o seu crescimento, com o recurso às atuais fontes energéticas, implicam o crescimento das emissões de dióxido de carbono (CO_2). A atual concentração de CO_2 na atmosfera é já uma ameaça à estabilidade do planeta. É, assim, fundamental reduzir o consumo e alterar as fontes de energia. Torna-se também essencial perceber quais são as implicações do atual padrão de consumo energético a nível mundial, para atuação e resolução deste problema (Gavião, 2012). Assim sendo, o conceito de consumo energético é um assunto de elevada importância quer a nível económico quer a nível ambiental.

A maior parte das necessidades energéticas de qualquer país desenvolvido é garantida essencialmente pela utilização de recursos fósseis, que cada vez são mais escassos em todo o mundo e inexistentes/inexplorados, como se verifica em Portugal. A dependência energética do exterior torna-se uma realidade, e é então imprescindível apelar a medidas que providenciem a alternativa a esta dependência, conduzindo à diminuição do custo financeiro bem como do impacto ambiental (Machado, 2014).

Num primeiro olhar sobre este assunto, o impacto ambiental registado ao longo dos anos é um tópico que suscita elevada preocupação. A produção e consumo de energia de forma excessiva e inadequada proporcionam sérias ameaças ao nosso planeta, das quais se destacam as alterações climáticas. Assim sendo, surge a necessidade de definir medidas a nível global para combate a esta situação, nomeadamente quanto à libertação de gases com efeito de estufa para a atmosfera, o que deu origem ao primeiro tratado jurídico internacional – Protocolo de Quioto. Mais tarde, com o período definido por este protocolo a chegar ao fim, surge a correção de Doha ao Protocolo de Quioto visando um novo período de compromisso até 2020 (Machado, 2014).

Esta situação alerta a comunidade mundial e promove a ideia de sustentabilidade, que se traduz no equilibro entre o ambiente, a economia e a sociedade, procurando estratégias e medidas que contribuam para este equilíbrio e para a salvaguarda das gerações futuras. Alcançar um desenvolvimento que satisfaça as nossas necessidades atuais sem comprometer a possibilidade das gerações futuras para satisfazer as suas próprias necessidades é o grande desafio global, designado como desenvolvimento sustentável. Neste contexto, a União Europeia estabeleceu uma estratégia assente em três objetivos fundamentais visando promover o desenvolvimento sustentável. Conhecidos como objetivos 20/20/20, consistem na definição de metas a atingir até 2020 a respeito da redução das emissões de gases com efeito de estufa (20%), do aumento da

quota de energias renováveis (20%) e da melhoria da eficiência energética (20%) (Machado, 2014).

A eficiência energética nos edifícios é um requisito essencial para a diminuição dos consumos energéticos e para a melhoria da qualidade de vida dos ocupantes (Pereira, 2014), tanto a nível da sua produção, como a nível da redução do seu respetivo consumo (Machado, 2014). Segundo a Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG), o sector dos edifícios é um dos principais responsáveis pelo consumo de energia final da europa (Machado, 2014). Os países da OCDE têm uma participação do setor da construção no consumo total de energia entre 25% e 40% (Morrissey *et al*, 2011). Com base nisto, é pertinente considerar a intervenção ao nível do desempenho energético dos edifícios, de modo a torná-los energeticamente eficientes, atendendo à satisfação das necessidades de habitação, nomeadamente as condições de conforto térmico, bem-estar e saúde, através de reduzidos consumos de energia (Machado, 2014). O desempenho energético dos edifícios (EPBD) constitui um passo significativo da União Europeia para manter a competitividade, a segurança do abastecimento de energia e cumprir os compromissos sobre as mudanças climáticas feitas sob o Protocolo de Quioto (Diretiva 2010/31/EU).

A maior parte do consumo de energia nos edifícios deve-se ao aumento de utilização de sistemas de aquecimento e arrefecimento por parte dos seus ocupantes, para atingir os níveis de conforto interior desejados (Pereira, 2014). Neste contexto, Pereira (2014) cita trabalhos de Sadineni *et al*. (2014), onde este refere que se torna necessário aumentar o nível de eficiência dos edifícios, desenvolvendo estratégias passivas, que cada vez mais são soluções viáveis para a redução tanto do consumo de energia, como da poluição ambiental. As estratégias passivas podem ajudar a aumentar o conforto interior, reduzindo a necessidade de sistemas ativos.

As técnicas de *design* solar passivo foram desenvolvidas e utilizadas ao longo dos séculos por várias civilizações ao redor do mundo, mas ao longo dos anos foram perdendo a sua força devido ao advento dos combustíveis fósseis baratos, que permitiram o controlo artificial da temperatura e da luz a custos acessíveis. A crise energética mundial e as preocupações com o ambiente fizeram com que hoje a arquitetura solar adquirisse a sua verdadeira importância no conforto e na poupança de energia, pois o uso da energia solar e das medidas passivas podem reduzir consideravelmente os custos e as necessidades energéticas do edifício, sem diminuir o nível de conforto (Santos, 2014).

Tendo em conta que este tipo de arquitetura é um desafio à criatividade do arquiteto, as técnicas solar passivas devem ser aplicadas de acordo com o clima e o contexto particular do edifício, promovendo sempre uma melhoria das condições de conforto e uma minimização do consumo energético (Santos, 2014).

1.2. Objetivos e justificação do tema

A Diretiva 2010/31/UE (*Recast EPBD*) do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de maio de 2010, relativa ao desempenho energético dos edifícios, foi transposta para a ordem jurídica nacional através da publicação do Dec. Lei nº 118/2013 de 20 de agosto. O novo regulamento inclui um mapa evolutivo de requisitos com horizonte temporal até 2020, no sentido da promoção de edifícios cada vez mais eficientes. É introduzido o conceito de edifício com necessidades quase nulas de energia NZEB, que passará a constituir o padrão para a nova construção a partir de 2020, ou de 2018, no caso de edifícios novos de entidades públicas, e uma referência para as grandes intervenções no edificado existente. Nesse sentido, são necessárias medidas para aumentar a eficiência energética dos edifícios.

As medidas em questão, passam em primeiro lugar pela adoção de estratégias passivas adaptadas ao clima e condições locais, complementadas com sistemas ativos que transformam energia renovável em energia térmica ou elétrica. As estratégias passivas incluem várias medidas importantes de redução das necessidades energéticas dos edifícios; quando aplicadas isoladamente essas medidas são capazes de contribuir até certo ponto para a redução das necessidades energéticas, mas para níveis muito elevados de desempenho é necessário combinar várias estratégias, por vezes concorrentes entre si. A melhor combinação é avaliada através da análise global do desempenho energético do edifício, fortemente relacionada com o clima e o ambiente interior do edifício.

É objetivo deste trabalho a análise da melhor combinação de medidas de sustentabilidade para a região centro de Portugal e apresentar diretrizes para a implementação de estratégias passivas na otimização do desempenho energético dos edifícios de habitação nesta região.

1.3. Organização da dissertação

A presente dissertação desenvolve-se ao longo de seis capítulos, incluindo este. Esses capítulos serão organizados da seguinte forma:

No capítulo 1, apresentam-se as linhas mestras da problemática em estudo e define-se o objetivo da dissertação.

No capítulo 2, é feita uma análise bibliográfica onde se desenvolvem os aspetos de contextualização que caracterizam o cenário que serve de enquadramento ao desenvolvimento da investigação, onde é explorada a energia e o ambiente construído: o panorama energético mundial, as emissões de CO_2 e as alterações climáticas, o setor dos edifícios, o panorama energético em Portugal, o ambiente construído em Portugal e a eficiência energética.

No capítulo 3 ainda continuará a ser apresentada a análise bibliográfica (estado da arte), mas agora mais centrada no contributo dos sistemas passivos para a melhoria do desempenho energético dos edifícios, principal ponto de interesse deste trabalho. Neste capítulo serão explorados sistemas passivos e estratégias passivas.

No capítulo 4 será descrita a metodologia do caso de estudo. Neste capítulo serão apresentadas: a caraterização geométrica e orientação, a caraterização construtiva, efeito dos materiais, cor, ventilação, área e orientação dos vãos envidraçados e o efeito das palas nos vãos envidraçados.

No capítulo 5, apresentam-se e discutem-se os resultados obtidos pela simulação de várias diretrizes de modo a obter uma solução de um edifício com baixas necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento no seu interior.

No capítulo 6, expõem-se as conclusões do estudo, focando sistemas passivos que levam à redução do consumo energético. Este capítulo termina com a apresentação de algumas propostas para trabalhos futuros.

No final do trabalho apresentam-se as referências bibliográficas e anexos.

2. A energia e o ambiente construído

2.1. O panorama energético mundial

2.1.1. Os consumos energéticos a nível mundial

A energia é hoje a base de todos os processos produtivos, determinando desta forma a influência e importância que a mesma possui no planeta e no desenvolvimento do Homem. O principal fator para o aumento da importância e relevância da energia foi o crescimento do seu consumo, especialmente o consumo de energia associado aos combustíveis fosseis, que representam cerca de 80% do consumo energético mundial (IEA, 2008).

Os combustíveis fósseis, como fonte de energia não renovável, têm uma produção limitada, embora lhes esteja associado um custo de produção relativamente baixo. Este fator económico imediato é apontado como sendo a principal razão para a escolha desta fonte de energia em detrimento de outras. Contudo, os fatores ambientais começam a ter cada vez mais peso, promovendo uma reflexão acerca da viabilidade desta fonte de energia. A utilização excessiva dos combustíveis fósseis como principal fonte de energia acabará por esgotar as reservas existentes e por produzir efeitos prejudiciais no clima, tornando-o mais volátil e extremo. Esta situação originará níveis de conforto inferiores, resultando assim numa maior utilização de energia e clivando ainda mais o fraco desempenho energético vigente (IEA, 2008).

Em termos gerais, a energia foi e é um elemento diferenciador entre sociedades. Todas as sociedades desenvolvidas basearam o seu crescimento no uso de energia, e os países em desenvolvimento almejam obter essa mesma energia de forma a alcançarem os níveis de prosperidade dos países mais desenvolvidos. A energia será, portanto, o motor do desenvolvimento no futuro, tal como o foi no ano 2013 (Oliveira, 2014).

Os países pertencentes da OCDE serão os principais responsáveis pelo aumento do consumo de energia primária em todo o mundo. As projeções conduzem a uma conclusão semelhante quando se pretende realizar a projeção do consumo de energia por fonte, onde se assiste a um aumento do consumo de energia em todas as fontes, incluindo as fontes de energia não renováveis (Oliveira, 2014).

Contudo, a necessidade de alteração das fontes de energia não deve ser vista apenas pelo prisma numérico dos padrões de consumo e produção de energia. A pressão demográfica mundial e o desenvolvimento económico e técnico das sociedades constituem a principal causa do aumento da concentração de gases com efeito estufa na atmosfera - devido ao seu processo de obtenção e

extração de energia, do qual resulta uma acentuada descaracterização e alteração do clima do planeta (Oliveira, 2014).

Em 1973 o consumo de energia final era de 6.106 Mtep tendo em 2012 passado para o dobro com um consumo de 13.371 Mtep, como se pode observar na figura 2.1 (KWE Statistics, 2014).

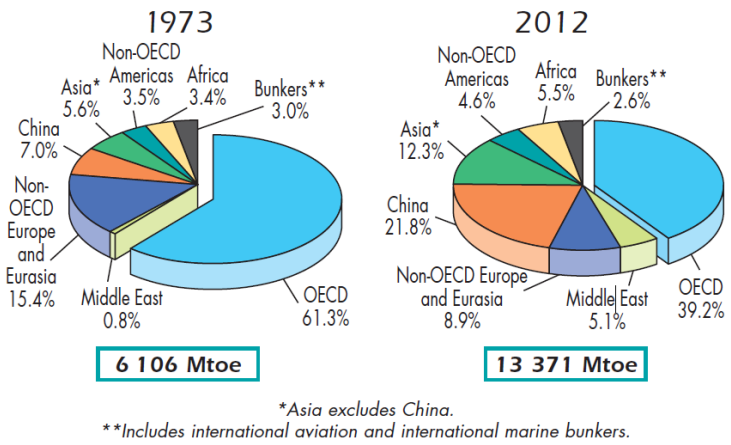

Figura 2.1. Consumo de energia mundial em 1973 e 2012 (KWE Statistics, 2014)

Excluindo os períodos onde houve crises petrolíferas, em 1973 e em 1978/83, altura onde houve um decréscimo do consumo de energia, nos restantes houve um aumento constante do consumo de energia. A nível mundial, o maior consumo de energia regista-se nos países que integram a OCDE com uma taxa de 39,2% de energia final em 2012, apesar do peso do seu consumo energético ter vindo a diminuir de forma clara, com 61,3% em 1973 (KWE Statistics, 2014).

A atual conjuntura financeira fez com que a procura descesse ou estagnasse na generalidade dos países. Entretanto, o contínuo crescimento económico da China e o correspondente crescimento das suas necessidades energéticas fez com que se mantivesse o ritmo de crescimento do consumo energético global, tal como mostra a figura 2.2.

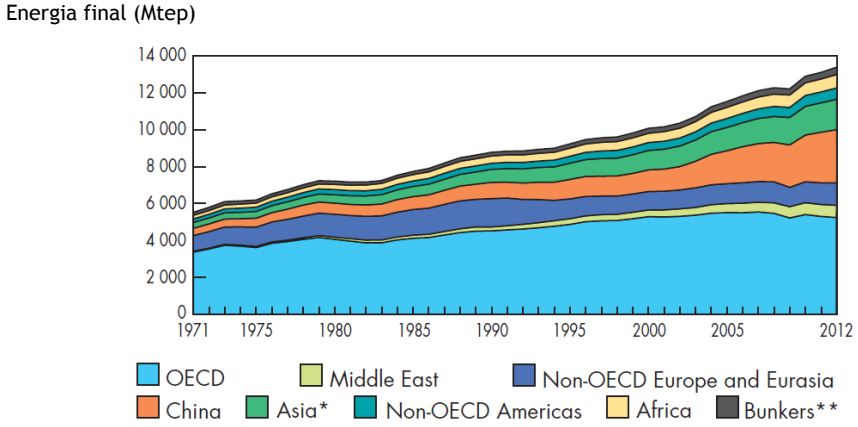

Figura 2.2. Evolução do consumo mundial de energia final, por região, em Mtep (KWE Statistics, 2014)

Como se verifica nas figuras 2.1 e 2.2., o consumo energético da China correspondeu a 21,8% da energia final consumida no mundo em 2012, enquanto em 1973 correspondia a 7,0% (KWE Statistics, 2014). No que se refere aos tipos de energia consumida, com a exceção do carvão, verifica-se um aumento generalizado do consumo de todas as formas de energia. O petróleo mantém-se como a fonte de energia mais utilizada e há um significativo aumento da procura energética sob a forma de eletricidade tal como mostra a figura 2.3.

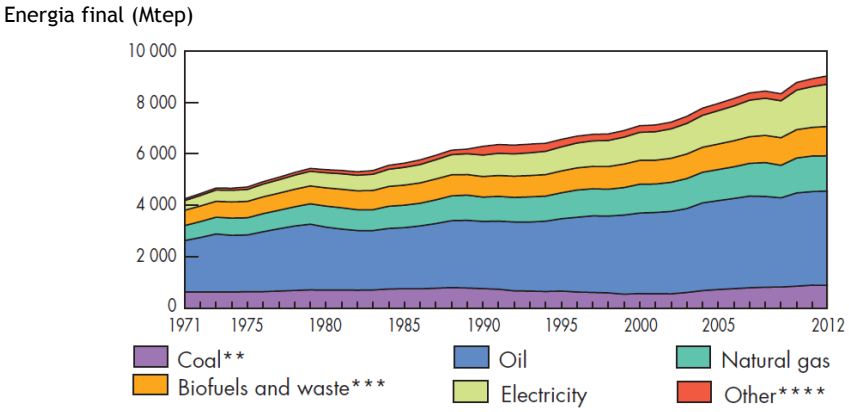

Figura 2.3. Evolução do consumo mundial de energia final, por fonte, em Mtep (KWE Statistics, 2014)

2.1.2. Os riscos do atual padrão de consumo

Um dos grandes problemas no panorama energético mundial reside no padrão de consumo energético para responder às necessidades de crescimento e desenvolvimento dos países (Gavião, 2012). A dependência energética, sobretudo de petróleo, obriga os países produtores a encontrarem soluções de curto prazo, como a pesquisa de novas reservas e a extração em zonas arenosas (Gavião, 2012). O preço do barril de petróleo em 2015 ronda os 59 dólares (Oil-Price.Net, 2015). O preço do barril de petróleo será estimado de 120 dólares em 2030, valor que justificaria o esforço associado à sua extração da areia betuminosa (IEA, 2008).

Uma das maiores preocupações é a insegurança no abastecimento. Este processo ficou claro na Europa durante o impasse de fornecimento de grandes países como a Rússia e a Ucrânia para países mais pequenos e dependente do abastecimento das grandes potências (Gavião, 2012). Uma maior insegurança a curto prazo parece inevitável à medida que a variedade geográfica da oferta diminui e aumenta a dependência das direções de fornecimento vulneráveis. A insegurança funciona como a lei da procura do mercado, quanto maior for a procura de petróleo e gás destas regiões, mais provável é que estas regiões estabeleçam preços elevados e os mantenham, adiando o investimento e limitando a produção (Birol, 2009).

2.2. As emissões de CO_2 e as alterações climáticas

O crescimento do consumo energético, com o recurso às atuais fontes energéticas, implica o crescimento das emissões de dióxido de carbono (CO_2). As emissões de CO_2 em todo o mundo correspondiam a um valor superior a 15633 Mt de CO_2 em 1973. No ano de 2012, as mesmas emissões quase que duplicaram apresentando um valor de 31734 Mt de CO_2, como se pode observar na figura 2.4 (KWE Statistics, 2014).

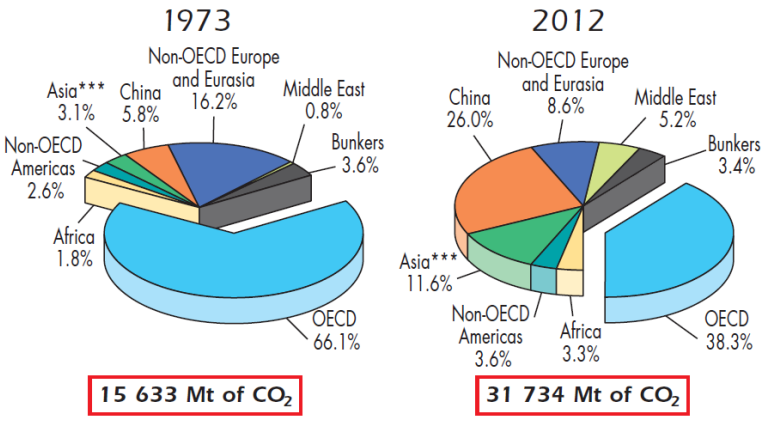

Figura 2.4. Consumo de CO_2 mundial em 1973 e 2012 (KWE Statistics, 2014)

Apesar das emissões a nível mundial terem aumentado neste período de tempo, o seu valor nos países da OCDE manteve-se estável nos últimos anos. Com tendência contrária encontram-se os países asiáticos, particularmente a China, que é já responsável por uma fatia significativa das emissões totais, tal como mostra a figura 2.5.

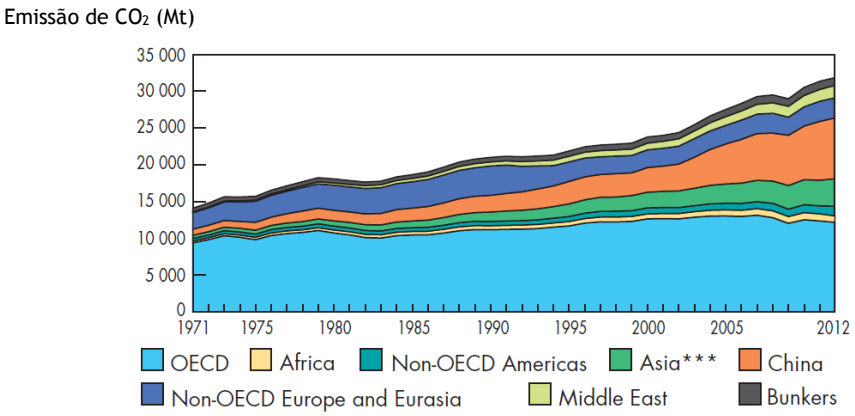

Figura 2.5. Evolução das emissões mundiais de CO_2, por região, em Mt (KWE Statistics, 2014)

O CO_2 é o gás mais importante, que tem origem na ação humana, origina o efeito de estufa (GEE) e representa 77% do total dos GEE. O Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas (IPCC) refere que a maior parte do aquecimento que se tem observado desde meados do século

XX no planeta deve-se, muito provavelmente, a um aumento dos GEE de origem humana (IPCC, 2007). Prevê-se uma subida da temperatura global da superfície terrestre entre 1,4 °C e 5,8 °C, até 2100. Este aquecimento vai ter uma maior incidência nas áreas mais extensas e sobre latitudes mais altas; a frequência de situações climatéricas extremas será maior levando ao surgimento de fenómenos como as cheias e secas; haverá mais ondas de calor; a frequência e intensidade de fenómenos como o *El Niño* irão aumentar; estima-se uma subida do nível do mar entre 9 e 88 cm até ao fim do século (OMS, 2005).

2.3. O setor dos edifícios

Um dos maiores consumidores de energia é o setor dos edifícios, sendo responsável por 38% do consumo energético mundial em 2005, com um valor de 2.900 Mtep. O consumo de eletricidade foi de 57% relativamente ao consumo total (ETP, 2008). Se não forem tomadas medidas sobre o consumo energético nos edifícios este crescerá cerca de 80%, atingindo 5.257 Mtep em 2050, sendo o setor residencial responsável por 58% do consumo e o de serviços por 31%. O crescimento das emissões de CO_2 associadas será de 129%, passando de 8,8 Gt em 2005 a 20,1 Gt em 2050 (ETP, 2008).

As medidas prioritárias a serem tomadas para reduzir o consumo energético e as emissões de CO_2 são as seguintes (ETP, 2008):

- Todos os edifícios novos a partir de 2015, em climas frios, deverão atingir os padrões *Passive House* (em 2030 este objetivo deverá ser alargado aos edifícios em climas moderados);
- Deverá haver uma renovação dos edifícios existentes, de modo a atingir os padrões *Passive House*;
- Deverá haver uma alteração nas fontes energéticas de abastecimento do edifício;
- Deverão ser aplicadas as melhores tecnologias existentes nos sistemas da envolvente do edifício, nos sistemas de AVAC, na iluminação e equipamentos.

Este novo cenário exige um grande investimento em novas tecnologias para o melhoramento do setor dos edifícios adotando novas práticas e técnicas na construção. Este sistema obriga também à transferência de conhecimentos e tecnologias aplicadas nos novos edifícios na renovação dos edifícios existentes e uma maior e melhor articulação entre os decisores, investidores, promotores, construtores, instaladores e consumidores (ETP, 2008). A reduzida taxa de desativação (desocupação e/ou demolição dos edifícios) do parque habitacional nos países da OCDE é considerada pela IEA um entrave na redução das necessidades de aquecimento e arrefecimento, sobretudo nos cenários mais ambiciosos para a redução das emissões de CO_2. É considerada a necessidade de renovação, tendo em vista os novos padrões energéticos, de 200

milhões de edifícios nos países da OCDE, para se alcançar os objetivos traçados a longo prazo (ETP, 2008).

2.4. O panorama energético em Portugal

2.4.1. O consumo energético

Em Portugal, desde 2002 que as emissões totais de gases com efeito de estufa têm vindo a decrescer. Em 2002, Portugal perfez um total de emissões estimado em cerca de 88,1 Mton CO_2, sendo que este valor representa um aumento em cerca de 45% em relação aos valores estimados em 1990. De facto, 2002 foi mesmo o pior ano no que toca a emissões de GEE das últimas duas décadas em Portugal, figura 2.6 (DGEG, 2013).

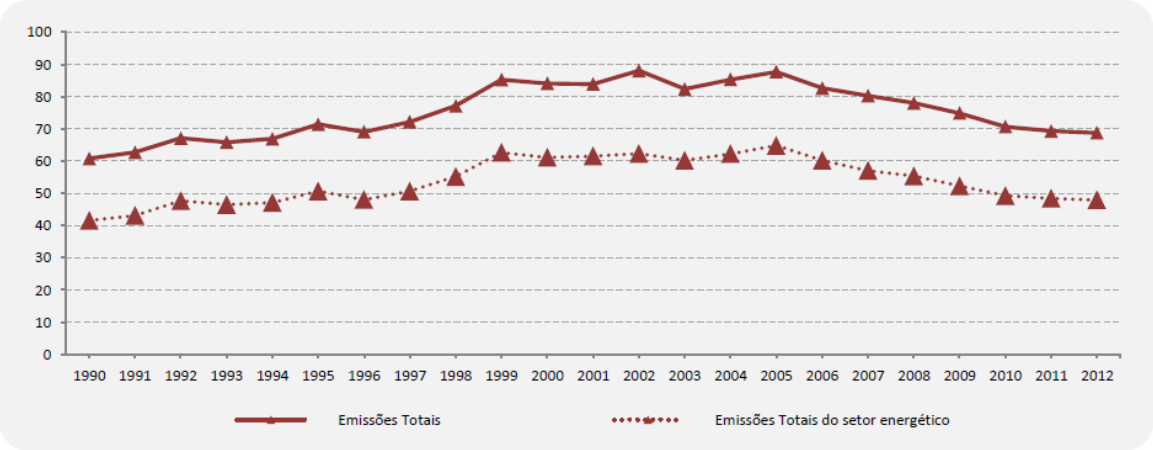

Figura 2.6. Evolução das emissões de GEE, em Portugal (Mton CO_2) (APA/DGEG, 2013)

Contudo, devido às medidas que têm vindo a ser desenvolvidas no país desde 2002, Portugal tem conseguido reduzir as suas emissões. Em 2010, já se havia conseguido uma diminuição de 16,7 Mton CO_2 em relação ao ano de 2002. Desta forma, em 2010 os valores conseguidos já eram semelhantes aos de 1995, ano em que as emissões apenas representavam mais 15% dos valores estimados em 1990, figura 2.6 (DGEG, 2013).

Segundo a Resolução do Conselho de Ministros nº 20/2013, foi estabelecido para Portugal um objetivo de redução no consumo de energia primária de 25% até 2020. Estima-se que na última década se tenham registado 2 ciclos distintos no que respeita ao consumo de energia primária, o primeiro compreendido entre 2000 e 2005 em que a taxa de crescimento média anual (tcma) registou um aumento em cerca de 1,4%, e um segundo ciclo compreendido entre 2005 e 2010 em que se registou um decréscimo da tcma para cerca de -3,3% (Resolução do Conselho de Ministros nº 20/2013).

Em termos globais, na última década em Portugal, o consumo de energia primária apresentou uma tcma de menos um ponto percentual. Esta tendência de decréscimo deve-se ao facto do consumo de combustíveis fósseis ter decrescido com alguma expressão entre 2005 e 2010. Destes combustíveis fósseis, destacam-se a redução no consumo de carvão em cerca de 13,1% da tcma e o petróleo em cerca de 6,7% da tcma. Este decréscimo terá sido colmatado pela produção de energia a partir de fontes renováveis, tabela 2.1 (Resolução do Conselho de Ministros nº 20/2013).

Tabela 2.1. – Consumo de energia primária, em Portugal, total e por fonte (adaptada de DGEG, 2013)

	Unid.	**1995**	**1996**	**1997**	**1998**	**1999**	**2000**	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**	**2010**	**2011**	**2012**
Consumo Total de Energia Primária	ktep	20474	20363	21935	23209	24880	25254	25244	26334	25737	26445	27087	25971	25350	24215	23911	23102	22099	21474
Carvão	ktep	3604	3430	3513	3232	3747	3813	3201	3500	3355	3375	3349	3310	2883	2526	2858	1657	2222	2915
Petróleo e Produtos de Petróleo	ktep	13649	13147	14444	15634	15993	15568	15799	16417	15257	15411	15877	14305	13567	12365	11533	11241	10331	9293
Gás natural	ktep	0	0	87	700	1956	2064	2267	2743	2649	3316	3761	3595	3821	4157	4233	4507	4483	3950
Renováveis	ktep	3143	3690	3642	3620	3258	3728	3956	3511	4236	3785	3496	4267	4410	4316	4836	5417	4739	4477
Resíduos Industriais	ktep	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	26	25	40	40	54	80	160
Saldo Importador de Eletricidade	ktep	79	96	249	24	- 74	80	21	163	240	557	587	468	644	811	411	226	242	679

O facto de Portugal não dispor de recursos endógenos fósseis, conduz o país a uma elevada dependência energética exterior em termos de energia primária. Em 2009, esta dependência representava cerca de 81,2%, sendo que em 2010 este valor sofreu uma redução ao ter atingindo os 76,1%. Estima-se que esta redução se deva à aposta nas energias renováveis, destacando-se a energia hídrica e a eólica. Em 2012, o valor de dependência energética voltou a subir, tendo nesse ano atingido os 79,4%, sendo que este aumento tem sido justificado com a diminuição da energia hídrica e do consequente aumento de importações de carvão e eletricidade em cerca de 1,2% (Resolução do Conselho de Ministros nº 20/2013).

Segundo a Direção Geral de Energia e Geologia, em 2012 o saldo importador representava cerca de 7.137 milhões de euros, sendo que na última década o ano de 2008 foi aquele em que este saldo importador foi maior, cerca de 8.252 milhões de euros. Desde 2004 que a percentagem de energias renováveis no consumo final bruto de energia em Portugal tem vindo a aumentar, representando em 2012 cerca de 24,6%. Em 2012, as energias renováveis representavam 47,6% no

consumo de eletricidade e 33% de toda a energia utilizada para a satisfação de necessidades de aquecimento e arrefecimento.

2.5. O ambiente construído em Portugal

2.5.1. A explosão do setor da construção

Em Portugal, nas décadas de 1980 e 1990, ocorreu um grande aumento na construção, com um crescimento acentuado do mercado imobiliário. De acordo com o Instituto Nacional de Estatística (INE), no ano de 1981 existiam 2.507.706 edifícios, em 1991 existiam 2.861.719, em 2001 existiam 3.160.043 edifícios e em 2011 existiam 3.544.389 edifícios (INE, 2015). Tal crescimento do parque edificado deveu-se certamente ao clima de otimismo geral (estabilidade política, adesão à Comunidade Económica Europeia, descida das taxas de juro, crescimento económico acelerado) conjugado com a escassez de habitação devida ao atraso estrutural que Portugal sofria (Thames Consultores, 2008).

A taxa média contratada nos empréstimos à habitação era de 16,6% em 1993, ao passo que em 1999 reduziu-se para apenas 5,0%. Combinando a variação da taxa de juro, com a inflação média anual, passou-se de uma taxa de juro real de 10,1% em 1993 para 2,7% em 1999. A concessão de crédito habitação, pelas várias instituições do mercado, passou de um montante acumulado de 9.421,7 milhões de euros em 1993 para 42.122,9 milhões de euros em 1999, o que corresponde a taxas de crescimento anuais superiores a 25%. Este foi um período ímpar para o setor da construção e do mercado imobiliário. Desde então tem-se registado uma queda acentuada; em 2000 foram concluídos 107.900 fogos, ao passo que em 2006 o valor foi de 70.010 fogos (Thames Consultores, 2008).

2.5.2. O parque habitacional português

O parque habitacional português sofreu uma grande mudança nos últimos anos, como se pode verificar pela comparação entre os censos de 2001 e 2011. Numa análise simplista, existe um maior número de edifícios, casas desabitadas e casas sobrelotadas, um maior número de casas para arrendar e ainda mais edifícios devolutos (Machado, 2014).

Um dos factos mais relevantes que se pode constatar é o número de alojamentos ser superior ao número de famílias em Portugal. Por norma, a relação entre o número de alojamentos familiares e o número de famílias clássicas é tendencialmente muito próxima. Contudo, nas últimas três décadas, o número de alojamentos quase duplicou, tendo-se registado um ritmo de crescimento sempre superior ao das famílias clássicas (INE, 2015).

2.5.3. O consumo energético nos edifícios

De acordo com a Direção-Geral de Energia e Geologia (DGEG, 2013), no ano de 2013, o setor residencial foi responsável por 17% dos consumos de energia final (figura 2.7) e por cerca de 26% dos consumos de eletricidade (figura 2.8).

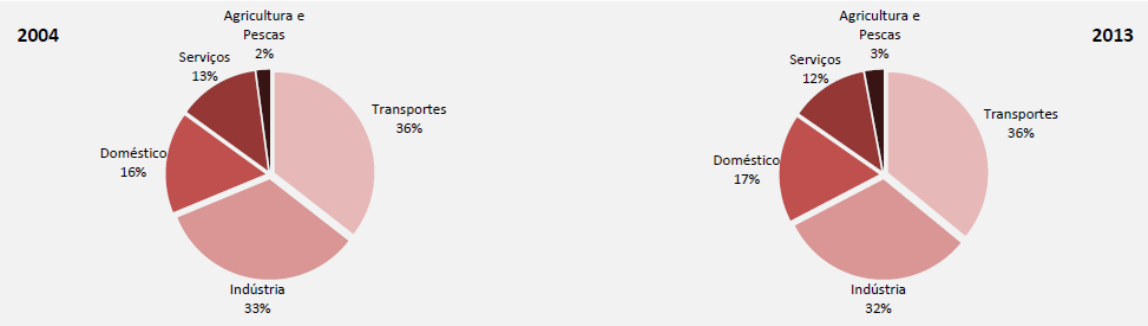

Figura 2.7. Percentagens do consumo de energia final, em Portugal, por setor, em 2004 e 2013 (DGEG, 2013)

Figura 2.8. Percentagens do consumo total de energia final, em Portugal, por fonte (DGEG, 2013)

O consumo de energia no setor residencial em Portugal tem apresentado um aumento muito significativo, sendo responsável por um consumo de 5,8 Mtep, que corresponde a 30% do consumo total de energia primária do país e 62% dos consumos de eletricidade em 2005 (DGEG, 2013). Os 3,3 milhões de edifícios existentes contribuem para 17% dos consumos de energia primária, representando cerca de 26 % dos consumos de eletricidade. Este aumento no consumo de energia, com repercussão na emissão de gases que contribuem para o aquecimento global, é traduzido pelo investimento na qualidade e conforto dos edifícios (Morais, 2009).

O aumento registado no consumo de energia pode estar relacionado com o padrão de comodidade que foi sendo posto gradualmente à disposição dos utilizadores dos edifícios de habitação, nomeadamente na satisfação de necessidades básicas de higiene, de conservação dos alimentos, conforto térmico (aquecimento e arrefecimento), e ainda o uso de equipamentos de entretenimento, assim como equipamentos de apoio às tarefas (computadores, eletrodomésticos, etc.). Outra causa para este aumento reside na enorme multiplicidade de

pequenas e grandes ineficiências resultantes, quer dos próprios equipamentos consumidores utilizados no setor, edifícios incluídos, quer dos procedimentos e hábitos inadequados na utilização dos mesmos.

É necessário ter presente que os edifícios residenciais são utilizados por um universo de mais de 10 milhões de consumidores, existindo assim alguma inércia na adoção de padrões eficientes de consumo de energia devido, não só a razões comportamentais dos consumidores, mas também ao período necessário para a substituição dos equipamentos e progressiva recuperação dos edifícios. Em termos de utilizações finais, os consumos de energia nos edifícios residenciais distribuem-se aproximadamente da seguinte forma: 50% em cozinhas e águas quentes sanitárias, 25% em aquecimento e arrefecimento e 25% em iluminação e eletrodomésticos (Morais, 2009).

Em termos absolutos, a energia gasta com a iluminação, o aquecimento (incluindo as águas quentes sanitárias (AQS) e a refrigeração das habitações, locais de trabalho e de lazer, é superior à consumida pelos dois setores que mais consomem energia em Portugal: transportes e indústria (Morais, 2009).

2.6. Eficiência Energética

2.6.1. A eficiência energética como prioridade

As maiores preocupações no que diz respeito ao consumo energético e as primeiras medidas de poupança integradas nas políticas energéticas dos países desenvolvidos ficaram a dever-se sobretudo ao primeiro choque petrolífero ocorrido em 1973. São exemplo de medidas de ampla abrangência, a limitação de velocidade dos transportes rodoviários e o estabelecimento da hora de verão/inverno. A redução do consumo de energia tornou-se imprescindível e para atingir esse objetivo houve que recorrer à racionalização dos consumos e à supressão dos consumos supérfluos (Gavião, 2012).

A UE definiu que a eficiência energética como uma das grandes prioridades por três razões principais: primeira razão a segurança de abastecimento, pois a dependência externa seria de 70% em 2030 se nada fosse feito; a segunda razão a proteção do ambiente, uma vez que a produção e utilização de energia são responsáveis por 94% das emissões de CO_2; a terceira razão é que as opções na oferta de energia são limitadas, sendo que a União Europeia pode atuar na procura energética, forçando a diminuição do consumo energético (Gavião, 2012).

2.6.2. Eficiência energética nos edifícios

O setor dos edifícios, como já foi referido, é um grande consumidor de energia. Tem também um grande potencial de poupança energética, sendo, deste modo, um setor estratégico para a mudança de paradigma do consumo energético.

A (IEA, 2008) refere algumas medidas onde se podem introduzir melhorias no setor edifícios:

- Estabelecer requisitos para uma maior eficiência energética nos edifícios;
- Aumentar os apoios aos edifícios energeticamente passivos, segundo padrões *Passive House*, e aos edifícios quase zero em energia;
- Promover o recurso a janelas e vidros energeticamente eficientes.

O Parlamento Europeu aprovou, em Maio de 2010, a revisão da "*Energy Performance of Buildings Directive*" (EPBD) (Diretiva 2010/31/EU, 19 de maio de 2010). A revisão da EPBD introduziu as seguintes novidades:

- O seu âmbito incide sobre todos os edifícios independentemente do seu tamanho;
- Todos os novos edifícios deverão ser edifícios com necessidades quase nulas de energia no final de 2020, no setor público deverá acontecer no final de 2018, devendo as restantes necessidades de energia ser cobertas por fontes de energia renováveis;
- Requisitos mínimos de desempenho energético para todos os edifícios existentes que sofram qualquer renovação energética relevante;
- Reforço do papel e qualidade dos certificados de desempenho energético;
- Incentivos financeiros para investimentos ao nível da eficiência energética no setor dos edifícios.

A Diretiva para o Desempenho Energético de Edifícios (EPBD) assumiu-se como a principal ferramenta europeia para aumentar a eficiência energética (Diretiva 2010/31/EU, 19 de maio de 2010).

2.6.3. Enquadramento das políticas energéticas em Portugal

Em 1990 foi publicado em Portugal o Decreto-Lei n.º 40/90, de 6 de fevereiro, que aprovou o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE). A introdução deste primeiro regulamento representou uma alteração significativa na prática construtiva, introduzindo um novo projeto de especialidade, até então inexistente. A sua introdução permitiu sensibilizar os vários intervenientes na construção: arquitetos, engenheiros, construtores e promotores imobiliários. Passou-se a considerar a utilização de isolamento térmico na zona corrente da envolvente e surgiram novas preocupações na conceção dos edifícios, com o tratamento das pontes térmicas planas e a contabilização da inércia térmica no comportamento global do edifício (Nepomuceno, 2014).

Com este primeiro RCCTE de 1990, ocorrem alterações na configuração da alvenaria, pela necessidade de corrigir as pontes térmicas planas. Tais alterações conduziram inicialmente a alguns problemas de instabilidade, nomeadamente por fissuração nas fachadas junto aos cunhais, vãos e juntas de apoio dos panos exteriores de alvenaria. Por outro lado, as correções das pontes térmicas planas em vigas e pilares propostas no RCCTE (1990) tiveram pouca expressão na redução das perdas térmicas, ainda que tenham contribuído para reduzir parcialmente o problema da condensação superficial nesses elementos. Basicamente eram propostas correções simples e duplas, com a aplicação de panos de alvenaria de 4 e de 7 cm, respetivamente (Nepomuceno, 2014).

Ainda a respeito deste primeiro RCCTE (1990), importa referir que apenas eram contabilizadas as necessidades energéticas para a estação de aquecimento (inverno) e para a estação de arrefecimento (verão). Nessa contabilização eram desprezadas as perdas pelos elementos em contacto com o solo e não se quantificam as perdas por pontes térmicas lineares. As perdas por pontes térmicas planas (vigas e pilares) eram contabilizadas através de um fator de concentração de perdas aplicado a toda a envolvente (Nepomuceno, 2014).

Um dos problemas do primeiro RCCTE (1990) residia no facto da conformidade regulamentar dos cálculos do projeto de especialidade não ser verificada, nem a sua execução ser confrontada aquando da construção do edifício. Em muitas situações, a constituição das paredes efetivamente construídas em obra não correspondia às especificações de projeto (Nepomuceno, 2014).

Em 1998 foi publicado o Decreto-Lei n.º 118/98, de 7 de maio, que aprovou o Regulamento dos Sistemas de Climatização em Edifícios (RSECE). Este regulamento destinava-se aos grandes edifícios de comércio e serviços, onde os sistemas técnicos têm maior impacto, mas teve pouca expressão prática, a não ser na responsabilidade técnica (Nepomuceno, 2014).

Ainda em 1998, surgiu o Protocolo de Quioto da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas. Os países que assinaram este protocolo estabeleceram o seu compromisso a longo prazo de manter a subida da temperatura global abaixo dos 2 °C e de reduzir até 2020 as emissões globais de gases com efeito de estufa em pelo menos 20% em relação aos níveis de 1990 (Nepomuceno, 2014).

Em 2002 a União Europeia aprova a Diretiva 2002/91/CE (EPBD – *Energy Performance of Buildings Directive*) do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de dezembro de 2002, relativa ao desempenho energético dos edifícios. Esta diretiva estabelece uma tabela de referência comum para os países da União relativamente ao desempenho energético dos edifícios, quantificação das

necessidades energéticas, taxa de emissão de CO_2 e classificação energética (Nepomuceno, 2014).

Em 2006 a Diretiva 2002/91/CE é transposta para a ordem jurídica nacional. São revogados o Decreto-Lei n.º 40/90, de 6 de Fevereiro (RCCTE) e o Decreto-Lei n.º 118/98 (RSECE) de 7 de maio e são publicados simultaneamente três diplomas (Nepomuceno, 2014):

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

Em 2010 a União Europeia aprova a Diretiva 2010/31/UE (Recast EPBD – *Energy Performance of Buildings Directive)* do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de maio de 2010, relativa ao desempenho energético dos edifícios. Esta nova diretiva clarifica o quadro geral comum para a metodologia de cálculo do desempenho energético dos edifícios e reforça as medidas da Diretiva 2002/CE no que respeita à melhoria do desempenho energético dos edifícios, visando as metas e os desafios acordados pelos Estados-Membros para 2020 (Nepomuceno, 2014).

O desempenho energético do edifício é determinado com base na energia anual calculada ou efetivamente consumida para satisfazer as diferentes necessidades associadas à sua utilização típica, nomeadamente a necessidade de energia para aquecimento no inverno e arrefecimento no verão (a energia necessária para evitar o sobreaquecimento) para manter as condições de temperatura interior previstas para o edifício, bem como as necessidades de energia para preparação de água quente sanitária (AQS) (Nepomuceno, 2014).

No preâmbulo da Diretiva 2010/31/UE são evidenciados alguns aspetos que justificaram a sua implementação e os principais objetivos a alcançar (Nepomuceno, 2014).

i. Os edifícios representam cerca de 40% do consumo de energia total da União. A redução do consumo de energia e a utilização de energia proveniente de fontes renováveis neste setor constituem medidas importantes, necessárias para reduzir a dependência energética da União e as emissões de gases com efeito de estufa. Estas medidas permitirão à União cumprir o Protocolo de Quioto e honrar o seu compromisso a longo prazo de manter a subida da temperatura global abaixo dos 2 °C e o seu compromisso de reduzir até 2020 as emissões globais de gases com efeito de estufa pelo menos 20% em relação aos níveis de 1990, e em 30% no caso de se alcançar um acordo internacional. É ainda objetivo da União a promoção da eficiência energética no contexto de um objetivo

vinculativo para a energia proveniente de fontes renováveis equivalente a 20% do consumo de energia total da União em 2020.

Objetivos 20-20-20 da UE para 2020:

- 20% aumento em eficiência energética;
- 20% redução da emissão de CO_2;
- 20% energia proveniente de fontes renováveis.

ii. As medidas de melhoria do desempenho energético dos edifícios deverão ter em conta as condições climáticas e locais, bem como o ambiente interior e a rentabilidade económica. Essas medidas não deverão afetar outros requisitos relativos aos edifícios, tais como a acessibilidade, a segurança e a utilização prevista do edifício.

iii. O desempenho energético dos edifícios deve ser calculado com base numa metodologia diferenciada a nível nacional e regional e deve ter em conta as normas europeias. Para além das características térmicas, outros fatores com influência crescente devem ser considerados, como as instalações de aquecimento e ar condicionado, a aplicação de energia proveniente de fontes renováveis, os sistemas de aquecimento e arrefecimento passivo, os sombreamentos, a qualidade do ar interior, a luz natural adequada e a conceção dos próprios edifícios.

iv. Os requisitos mínimos para os edifícios deverão ser estabelecidos visando alcançar um equilíbrio ótimo em termos de rentabilidade entre os investimentos efetuados e os custos de energia economizados ao longo do ciclo de vida do edifício, ou seja, o desempenho energético que leva ao custo mais baixo durante o ciclo de vida económico estimado.

v. São necessárias medidas para aumentar o número de edifícios que não se limitem a cumprir os atuais requisitos mínimos de desempenho energético, mas que os ultrapassem. Nessa medida, a nova Diretiva estabelece que os Estados-Membros deverão elaborar planos nacionais para aumentar o número de edifícios com necessidades quase nulas de energia (NZEB). Os NZEB são edifícios com um desempenho energético muito elevado e necessidades de energia quase nulas ou muito pequenas, satisfeitas em grande medida por energia proveniente de fontes renováveis.

vi. Deverá ser dada prioridade à implementação de estratégias que contribuam para melhorar o desempenho energético dos edifícios durante o verão, que evitem o uso excessivo de aparelhos de ar condicionado. Para tal, deverão privilegiar-se medidas que evitem o sobreaquecimento, tais como a proteção solar e uma inércia térmica suficiente na construção do edifício, e o desenvolvimento e aplicação de técnicas de arrefecimento passivo, principalmente as que melhorem a qualidade do clima interior e o microclima em torno dos edifícios.

vii. Os Estados-Membros deverão habilitar e incentivar os arquitetos e responsáveis pelo planeamento a ponderar a combinação ótima das melhorias em matéria de eficiência energética, o recurso a energia proveniente de fontes renováveis e as redes urbanas de

aquecimento e arrefecimento no planeamento, conceção, construção e renovação de zonas industriais ou residenciais.

Em 2013 a Diretiva 2010/31/UE é transposta para a ordem jurídica nacional. São revogados o Decreto-Lei n.º 78/2006 de 4 de abril (SCE), o Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 de abril (RSECE) e o Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de abril (RCCTE) e é aprovado o Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de agosto (Nepomuceno, 2014).

Com a entrada em vigor do Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de agosto ocorreram essencialmente duas modificações (Nepomuceno, 2014):

- A primeira modificação ocorreu ao nível da estrutura e sistematização da legislação, que traduziu na aglutinação dum só diploma de um assunto antes regulado em três diplomas. Assim, o novo regulamento inclui: o Sistema de Certificação Energética nos Edifícios (SCE), o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS).
- A segunda modificação refletiu-se na separação clara do âmbito de aplicação do REH e do RECS, reconhecendo a especificidade técnica de cada tipo de edifício naquilo que é mais relevante para a caraterização e melhoria do desempenho energético. Assim, o REH inclui apenas os edifícios de habitação, enquanto o RECS inclui os pequenos e os grandes edifícios de comércio e serviços. A intervenção de arquitetos e engenheiros civis, como projetistas desta especialidade ou como peritos qualificados, poderá ocorrer, quer no REH, quer nos pequenos edifícios de comércio e serviços do RECS.

A estrutura de funcionamento do SCE mantém-se, coordenando a certificação energética e, implicitamente, a aplicação do REH e do RECS (Nepomuceno, 2014). Mantém-se a obrigatoriedade de certificação dos edifícios novos e dos edifícios sujeitos a grandes intervenções em duas fases: o pré-certificado emitido para obtenção da Licença de Construção e o certificado SCE emitido no final da obra para obtenção da Licença de Utilização (Nepomuceno, 2014).

A definição dos requisitos mínimos é diferenciada para edifícios novos, edifícios sujeitos a grande intervenção e edifícios existentes, e a avaliação do desempenho energético passa a basear-se nos seguintes pilares: no REH assumem posição de destaque o comportamento térmico e a eficiência dos sistemas; no RECS, para além do comportamento térmico e a eficiência dos sistemas, acrescem a instalação, a condução e a manutenção dos sistemas técnicos (Nepomuceno, 2014).

No caso de pré-certificados e certificados SCE de edifícios de habitação, a classe energética é determinada através do rácio de classe energética (R_{Nt}), conforme ilustra a tabela 2.2, sendo $R_{Nt}=N_{tc}/N_t$, onde N_{tc} é o valor das necessidades nominais anuais de energia primária em $kWh_{EP}/(m^2.ano)$ e N_t o valor limite regulamentar dessas necessidades (Nepomuceno, 2014).

Tabela 2.2. Classes energéticas na nova legislação (Despacho 15793-J-2013, 2013)

Classe Energética	Valor de R_{Nt}
A+	$R_{Nt} \leq 0,25$
A	$0,26 \leq R_{Nt} \leq 0,50$
B	$0,51 \leq R_{Nt} \leq 0,75$
B-	$0,76 \leq R_{Nt} \leq 1,00$
C	$1,01 \leq R_{Nt} \leq 1,50$
D	$1,51 \leq R_{Nt} \leq 2,00$
E	$2,01 \leq R_{Nt} \leq 2,50$
F	$R_{Nt} \geq 2,51$

O novo regulamento inclui um mapa evolutivo de requisitos com horizonte temporal no limite até 2020, no sentido da promoção de edifícios cada vez mais eficientes. É introduzido o conceito de edifício com necessidades quase nulas de energia (NZEB), que passará a constituir o padrão para a nova construção a partir de 2020, ou de 2018, no caso de edifícios novos de entidades públicas, bem como uma referência para as grandes intervenções no edificado existente (Nepomuceno, 2014). São introduzidos requisitos mínimos de eficiência energética para os principais tipos de sistemas técnicos dos edifícios, nomeadamente os sistemas de climatização, de preparação de AQS, de iluminação e de aproveitamento de energias renováveis. Ainda no âmbito deste regulamento, foram eliminadas as auditorias da QAI (Nepomuceno, 2014). Mantém-se a promoção da utilização de fontes de energia renovável, com clarificação dos métodos de quantificação (Nepomuceno, 2014).

2.6.4. Objetivo e âmbito da aplicação do REH

2.6.4.1. Objetivo do REH

De acordo com o Artigo 22º do Decreto-Lei 118 de 20 de agosto de 2013, os objetivos a alcançar com o REH são os seguintes (Nepomuceno, 2014):

a) Promover a melhoria do comportamento térmico;
b) Promover a eficiência dos sistemas técnicos;
c) Minimizar o risco de ocorrência de condensações superficiais nos elementos da envolvente.

2.6.4.2. Âmbito da aplicação do REH

De acordo com o Artigo 23º do Decreto-Lei 118 de 20 de agosto de 2013, o REH aplica-se aos edifícios destinados a habitação, nas seguintes situações (Nepomuceno, 2014):

- Projeto e construção de edifícios novos;
- Grande intervenção na envolvente ou nos sistemas técnicos de edifícios existentes;

- Avaliação energética dos edifícios novos, sujeitos a grande intervenção e existentes, no âmbito do SCE.

Os requisitos do REH devem ser aplicados a cada uma das unidades do edifício destinadas a habitação, objeto de transação autónoma, como a seguir se indica (Nepomuceno, 2014):

- Edifícios de habitação unifamiliares: aplica-se a todo o edifício;
- Edifícios de habitação multifamiliares: aplica-se a cada fração constituída ou, em edifícios em projeto ou em construção, para cada fração prevista constituir;
- Edifícios mistos: aplica-se a cada uma das frações destinadas a habitação, independentemente da aplicação do RECS às restantes frações.

Excluem-se os seguintes edifícios e situações particulares:

- Edifícios não destinados a habitação;
- Monumentos e edifícios individualmente classificados ou em vias de classificação, e aqueles a que seja reconhecido especial valor arquitetónico ou histórico pela entidade licenciadora ou por outra entidade competente para o efeito;
- Edifícios integrados em conjuntos ou sítios classificados ou em vias de classificação, ou situados dentro de zonas de proteção, quando seja atestado pela entidade licenciadora ou por outra entidade competente para o efeito que o cumprimento de requisitos mínimos de desempenho energético é suscetível de alterar de forma inaceitável o seu caráter ou o seu aspeto.

2.6.5. Eficiência energética versus conforto térmico

A eficiência energética do edifício pode ser entendida como o quociente entre o serviço prestado (conforto térmico, qualidade do ar, água quente sanitária) e o consumo de energia associado. A eficiência energética depende das características do edifício, dos seus equipamentos de climatização (e outros), mas também dos ocupantes, das suas preferências de conforto e da forma como estes utilizam (ou não) os dispositivos e controlos à sua disposição. Este aspeto dos ocupantes é decisivo na avaliação da eficiência energética dos edifícios e na definição das soluções ótimas (Energuia, 2014).

Desde o RCCTE de 1990 que a avaliação do desempenho térmico e energético dos edifícios é realizada comparando o indicador necessidades térmicas nominais do edifício face a um valor de referência, admitindo que existe "climatização" em permanência. Esta abordagem, desfasada dos hábitos portugueses e que majora as necessidades térmicas do edifício, pode ser sensata para comparar edifícios quando a referência é sensata, mas é claramente inadequada para efetuar estudos de viabilidade técnico-económica de medidas de utilização racional de energia e

definir níveis ótimos de rentabilidade de soluções construtivas e da eficiência de equipamentos, pois não considera o efeito do utilizador (Energuia, 2014).

Na nova versão da regulamentação (REH) para avaliar a eficiência energética dos edifícios, foram atualizadas as metodologias de cálculo face aos referenciais normativos europeus, foi reduzida a temperatura interior de aquecimento para 18 °C como sucedia no RCCTE de 1990, foram incrementadas as exigências de isolamento térmico e continua a ser assumida a climatização permanente das habitações. Estes dois últimos aspetos merecem uma reflexão, pois nos edifícios novos e grandes intervenções, esta abordagem conduz ao incremento das exigências das soluções construtivas, com impacto limitado nas necessidades térmicas reais e com reduzido impacto no conforto interior (Energuia, 2014).

É importante refletir sobre os valores de referência dos coeficientes de transmissão térmica, dado os atuais (REH) não se traduzirem em melhorias significativas do conforto e as eventuais poupanças de energia serem limitadas face às condicionantes construtivas que implicam. Para os edifícios NZEB, além do adequado isolamento térmico da envolvente é necessário assegurar ganhos de calor (internos e solares), o que sugere a procura de outras soluções para além do isolamento (Energuia, 2014).

Em conclusão, a nova regulamentação evoluiu no sentido de incorporar as metodologias de cálculo das normas europeias e dessa forma permitir aos técnicos uma melhor avaliação do comportamento térmico de diferentes soluções. É desejável que no futuro se caminhe para uma avaliação das condições de conforto e não apenas para as necessidades energéticas (corrigidas de fatores de utilização) e que se racionalizem os valores dos coeficientes de transmissão térmica de referência do REH em concordância com as soluções ótimas adaptadas a Portugal (Energuia, 2014).

3. Contributo dos sistemas passivos

3.1. Sistemas passivos e estratégias passivas

Nos últimos anos, a procura de soluções técnicas para otimizar o desempenho energético dos edifícios tem sido constante. Através destas soluções, torna-se possível criar edifícios com baixo consumo energético, ou quase nulo, garantindo um conforto ambiental adequado. Nesta perspetiva, é cada vez mais importante que as exigências de conforto dos ocupantes sejam asseguradas por sistemas passivos, complementados ou não, por sistemas ativos adequados (Pereira, 2014).

Os sistemas passivos podem contribuir para reduzir o consumo energético dos edifícios associado ao aquecimento, arrefecimento e energia de iluminação. Na estação de aquecimento (inverno) pretende-se que estes sistemas maximizem a captação do sol através de vãos envidraçados bem orientados e dimensionados, aos quais se podem associar elementos massivos, que permitirão o armazenamento da energia solar e sua utilização em horas posteriores. Relativamente à estação de arrefecimento (verão), pretende-se arrefecer os edifícios através de fontes frias, como por exemplo o ar exterior que a determinadas horas do dia (manhã e noite) apresenta temperaturas inferiores em relação à temperatura interior dos edifícios. Este fenómeno decorre das grandes amplitudes térmicas diárias no período de verão que se verificam no nosso país, podendo portanto ser uma estratégia de ventilação eficaz nesses períodos do dia (Gonçalves e Graça, 2004).

As estratégias passivas devem ser desenvolvidas tendo em conta a orientação do edifício e a sua envolvente, de forma a promover a melhoria do desempenho energético e das condições de conforto interior. Apresentam-se de seguida algumas das soluções ou estratégias passivas que podem ser implementadas em edifícios com o objetivo de reduzir o consumo energético.

3.1.1. Orientação e implantação do edifício face ao percurso solar

Devido à sua localização no continente Europeu, Portugal surge como um dos países com enormes potencialidades para o aproveitamento de energia solar. Portugal dispõe de um número médio anual de horas de sol compreendidas entre as 2200 a 3000 h/ano, sendo assim um dos países Europeus com índices mais elevados de radiação solar por unidade de superfície. A Alemanha surge como o 1º país da Europa no aproveitamento da radiação solar, contudo apenas dispõe de cerca de 1200 a 1700 h/ano de exposição solar. Comparando este país com Portugal, percebe-se que Portugal apresenta um elevado potencial energético de aproveitamento da energia solar que se tem vindo lentamente a desenvolver (Pinto, 2014).

A orientação correta de um edifício deve ter em atenção o percurso solar, de modo a permitir um melhor aproveitamento da energia do sol como fonte de conforto (luminoso e térmico). A diferença do ângulo de incidência do sol nas diferentes estações do ano permite um aproveitamento diferenciado da energia solar (Ganhão, 2011). Essa situação atinge os extremos nas estações de inverno e verão, de acordo com as figuras 3.1 e 3.2.

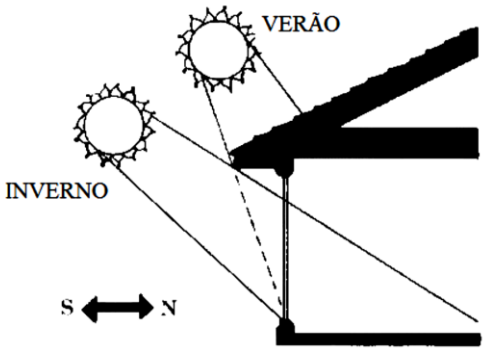

Figura 3.1. Ângulo de incidência solar nos edifícios durante as estações de inverno e verão (Ganhão, 2011)

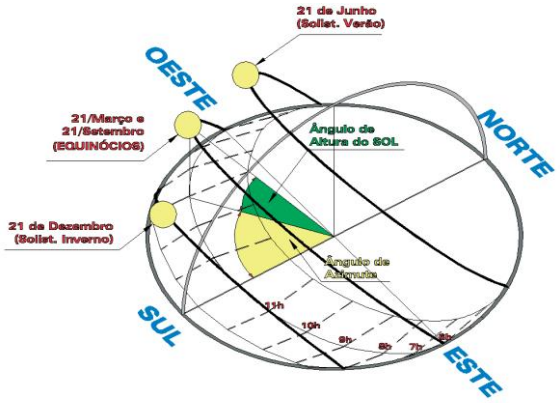

Figura 3.2. Percursos do sol ao longo do ano (Gonçalves e Graça, 2004)

No inverno, o percurso solar na orientação sul é vantajoso para maximizar os ganhos solares, uma vez que o seu percurso se efetua para azimutes muito próximos do sul geográfico. No verão, esta orientação recebe menos ganhos solares, sendo facilmente atenuáveis por uma proteção sobre o vidro (Gonçalves e Graça, 2004), observável na figura 3.3.

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

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

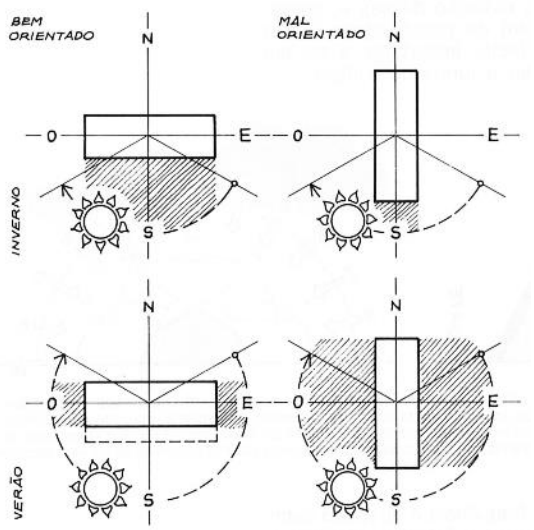

Figura 3.3. Orientação das fachadas (Moita, 1987)

3.1.1.1. Orientação de fachadas envidraçadas

A orientação do sol ao longo do ano tem uma grande importância, no que respeita à definição da localização das fachadas envidraçadas num edifício, a sua dimensão e o tipo de vidro que se escolhe. Para Portugal tem que se ter em conta algumas linhas mestras de orientação referente à utilização das fachadas envidraçadas para a latitude de Portugal. Em termos anuais verifica-se que 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 (Gonçalves e Graça, 2004):

- 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 maior nível de radiação recebe (figura 3.4). Assim, verifica-se que o percurso do sol, sendo próximo do zénite, apresenta um ângulo de incidência com a normal de valor mais elevado. Carrega menos ganhos solares,

facilmente atenuáveis se existir uma pala sombreadora sobre o vidro, no caso de uma fachada orientada a sul.

Numa fachada orientada a este, o dimensionamento dos vãos envidraçados deverá ter em conta o seguinte (Gonçalves e Graça, 2004):

- 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 este, 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, conjugando-se assim dois efeitos muito negativos. Assim (Gonçalves e Graça, 2004):

- 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, sendo pois a mais fria (Gonçalves e Graça, 2004):

- 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.

Na figura 3.4 apresentam-se valores para a radiação solar ao longo do ano para a cidade de Lisboa. Neste gráfico pode comprovar-se como a orientação sul é, de todas, a que fornece um maior contributo de energia solar nos meses mais frios. Pode também verificar-se como uma

superfície envidraçada horizontal pode ser inconveniente no verão, em que os ganhos de radiação solar se tornam indesejáveis (Gonçalves e Graça, 2004).

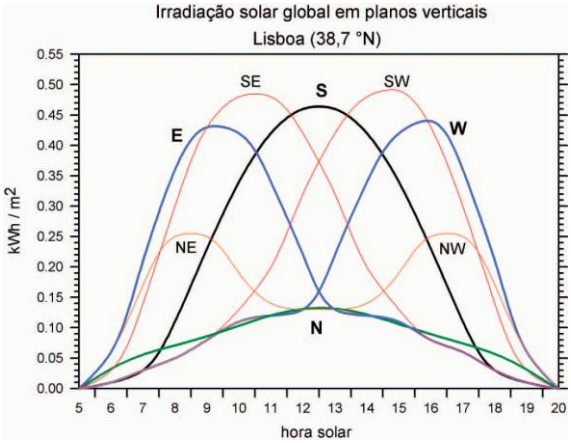

Figura 3.4. Radiação solar ao longo do ano por orientações (Gonçalves e Graça, 2004)

3.1.1.2. Exposição da habitação aos ventos dominantes

Outra característica a ter em atenção ainda durante a fase de planeamento é a orientação do edificado atendendo aos ventos dominantes do local, uma vez que, com as condições adequadas, podem ser aproveitados de forma a se conseguir alguma produção de energia de origem renovável através de estratégias passivas capazes de utilizar estes ventos de forma a se conseguir obter um modo eficiente de reaproveitamento desta energia normalmente subvalorizada (Coutinho, 2014).

Sendo um fluido, o ar, quando lhe é restringida a área sobre a qual o seu movimento é feito, sofre alterações a nível de velocidade. A diminuição desta área implica um aumento considerável da sua velocidade o que origina um certo grau de desconforto para os utentes. No entanto é possível utilizar este processo de modo a efetuar operações de ventilação, o que torna o correto direcionamento do edifício (figura 3.5), ou dispositivos passivos, segundo a direção dominante do vento, um assunto com uma importância relativamente grande (Coutinho, 2014).

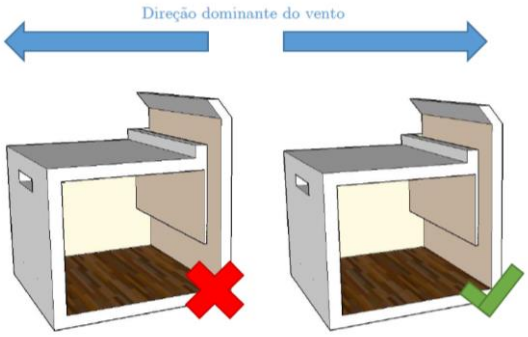

Figura 3.5. Utilização de um sistema de ventilação natural face aos ventos dominantes (Coutinho, 2014)

3.1.1.3. Utilização de árvores de folha caduca

Uma estratégia bastante simples, tendo em conta as características do local e a disponibilidade de aplicação, é a utilização de espécimes de árvores de folha caduca na proximidade de envidraçados com orientações cujos ganhos na estação de arrefecimento sejam prejudiciais à sustentabilidade energética da habitação (Coutinho, 2014).

Tendo em conta que os ganhos provenientes dos envidraçados constituem uma grande parte da energia responsável por efeitos negativos durante a estação de verão e benéficos durante a de inverno, é plausível assumir que uma correta utilização de uma técnica tão simples possa facilmente valorizar a utilização destes ganhos de forma a obter um balanço ideal destes fatores, através da criação de sombreamentos que irão impedir a passagem de energia por radiação indesejada, facilitando a sua passagem quando o seu impacto for benéfico (Coutinho, 2014). Um exemplo desta solução é ilustrado na figura 3.6.

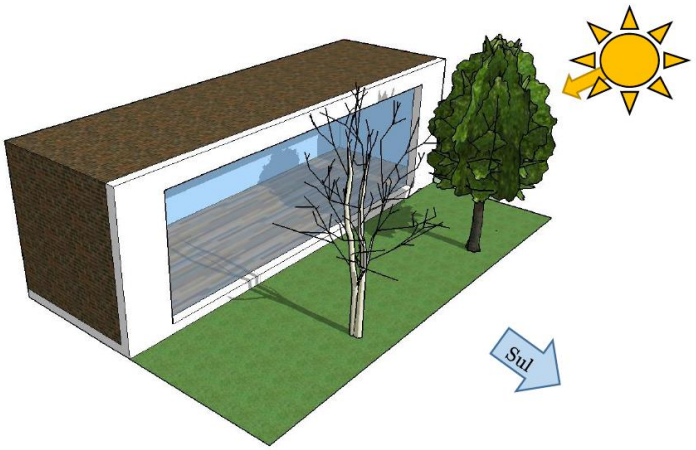

Figura 3.6. Utilização de árvores de folha caduca no quadrante sul (Coutinho, 2014)

3.1.2. Forma e localização do edifício

A forma do edifício tem um forte impacto na eficiência energética do mesmo. A necessidade de aquecer um edifício no inverno advém do facto do calor gerado no seu interior ser continuamente transmitido para o exterior através das paredes, telhado, janelas e pavimentos, ou seja, através das superfícies externas dos edifícios. Logo, quanto maior for a superfície (S) que envolve o volume (V) aquecido, maior será a transferência de calor.

A razão entre o somatório das superfícies da envolvente e o volume útil interior do edifício é correntemente designado de fator de forma (FF). Existem no entanto algumas variantes do fator de forma. Por exemplo, no RCCTE (DL 80/2006) o fator de forma (FF) era obtido pelo quociente entre o somatório das áreas da envolvente exterior (A_{ext}) e interior (A_{int}) do edifício ou fração autónoma com exigências térmicas e o respetivo volume útil interior (V) correspondente:

$$FF = \frac{A_{ext} + \sum(\tau \times A_{int})}{V} \quad (3.1)$$

Onde:

A_{ext} é a área da envolvente exterior, em m^2;

A_{int} é a área da envolvente interior, em m^2;

τ é definido na Tabela IV.1 do Anexo IV do RCCTE;

V é o volume útil do edifício (A_p x P_d), em m^3.

As figuras 3.7 e 3.8 ilustram figuras geométricas com o mesmo volume e diferentes superfícies envolventes, resultando em diferentes fatores de forma. Exemplo semelhante é ilustrado na figura 3.9 para duas habitações. Segundo Morais (2009) um edifício deve ter um fator de forma (FF) ou uma relação superfície/volume (S/V) baixa. De facto, assumindo um regime permanente, com um diferencial de temperatura entre o interior e o exterior do edifício constante e envolventes com o mesmo coeficiente de transmissão térmica, o fluxo de calor por transmissão será diretamente proporcional à área da envolvente. Assim, quanto maior for a área exposta maior será o fluxo de calor por transmissão.

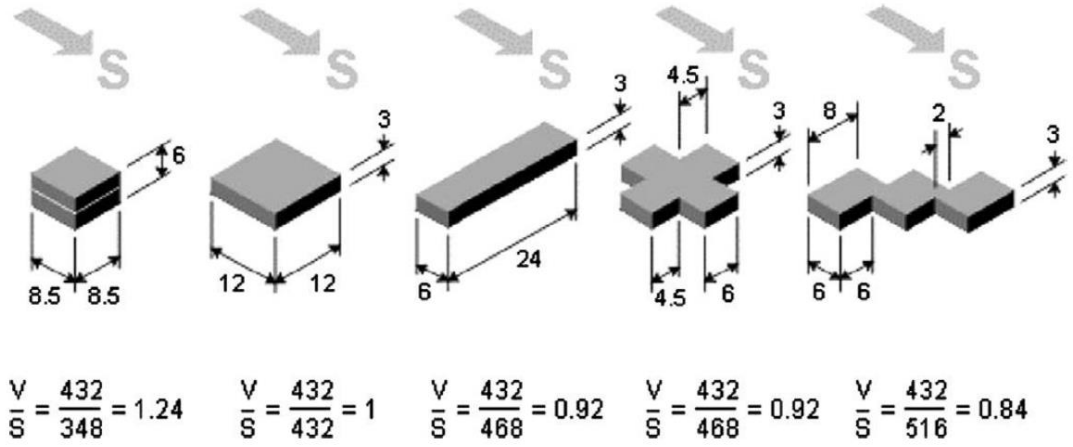

Figura 3.7. Diferentes formas de um edifício com o mesmo volume (Gratia e Harde, 2003)

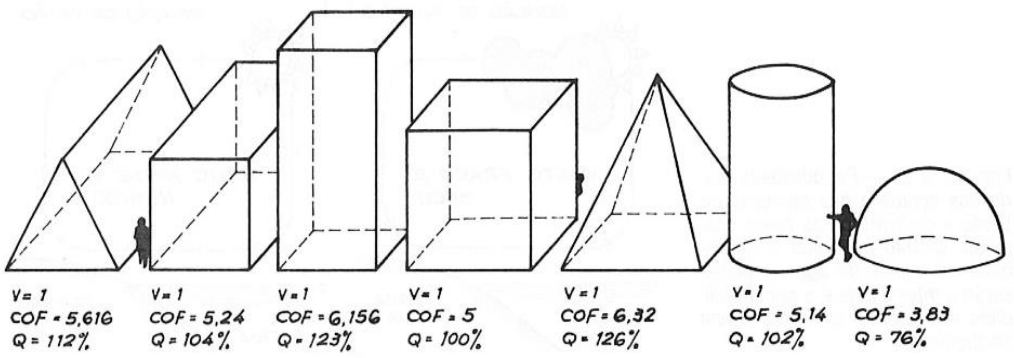

Figura 3.8. Diferentes formas com o mesmo volume (Moita, 1987)

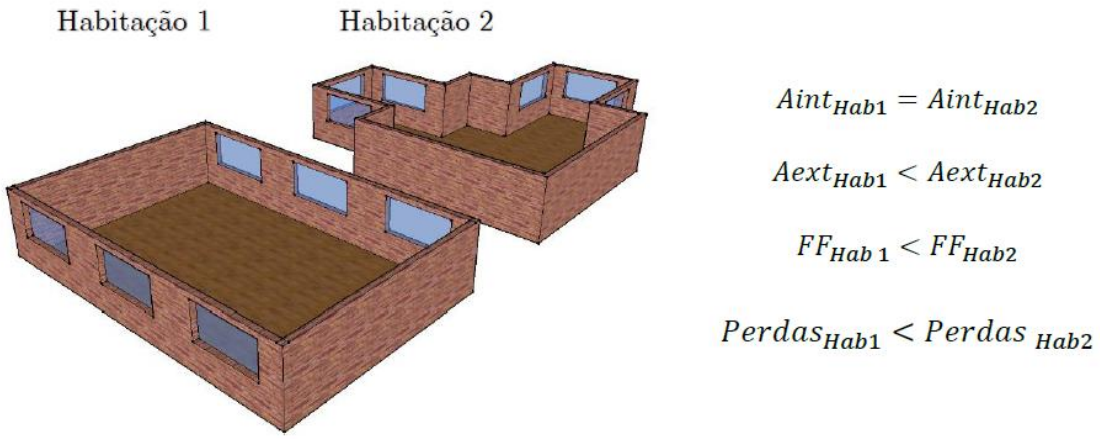

Figura 3.9. Exemplo de habitações com a mesma área e FF distintos (Coutinho, 2014)

A localização de um edifício é de extrema importância no que respeita às necessidades térmicas do espaço interior. No projeto de construção de um edifício tem que ser tida em conta a zona climática onde este está inserido para que exista um bom aproveitamento de energia. Em Portugal, nos últimos anos, têm-se verificado invernos atípicos, com queda de neve em locais pouco habituais. Nos meses mais quentes as temperaturas chegam a ultrapassar os 40 ºC em alguns distritos do país. Dada a crescente exigência populacional quanto às condições de conforto, as pessoas não estão dispostas a suportar os inconvenientes do frio e do calor em excesso. É importante evitar, tanto quanto possível que as temperaturas internas dos edifícios sejam influenciadas pela temperatura ambiente exterior (Morais, 2009).

A climatização é a categoria de usos de energia com maior crescimento, dada a conhecida situação de desconforto térmico em grande parte dos edifícios. Na construção de edifícios, tem vindo a reduzir-se as espessuras das paredes e pavimentos, aumentando-se a sua permeabilidade ao calor e consequente perda do mesmo durante os meses frios de inverno. No verão produz-se o mesmo intercâmbio de calor, mas em sentido contrário, sobreaquecendo os edifícios, especialmente nos pisos superiores (Morais, 2009).

O zonamento climático do País baseia-se na Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos (NUTS) de nível III, cuja composição por municípios tem por base o Decreto-Lei nº 68/2008 de 14 de abril de 2008, entretanto alterado pelo Decreto-Lei n.º 85/2009, de 3 de abril e pela Lei n.º 21/2010 de 23 de agosto, e está detalhado na tabela 3.1.

Tabela 3.1. NUTS III (Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013)

NUTS III	Municípios
Minho-Lima	Arcos de Valdevez, Caminha, Melgaço, Monção, Paredes de Coura, Ponte da Barca, Ponte de Lima, Valença, Viana do Castelo, Vila Nova de Cerveira
Alto Trás-os-Montes	Alfândega da Fé, Boticas, Bragança, Chaves, Macedo de Cavaleiros, Miranda do Douro, Mirandela, Mogadouro, Montalegre, Ribeira de Pena, Valpaços, Vila For, Vila Pouca de Aguiar, Vimioso, Vinhais
Cávado	Amares, Barcelos, Braga, Esposende, Terras de Bouro, Vila Verde
Ave	Cabaceiras de Basto, Fafe, Guimarães, Mondim de Basto, Póvoa de Lanhoso, Vieira do Minho, Vila Nova de Famalicão, Vizela
Grande Porto	Espinho, Gondomar, Maia, Matosinhos, Porto, Póvoa de Varzim, Santo Tirso, Trofa, Valongo, Vila do Conde, Vila Nova de Gaia
Tâmega	Amarante, Baião, Castelo de Paiva, Celorico de Basto, Cinfães, Felgueiras, Lousada, Marco de Canaveses, Paços de Ferreira, Paredes, Penafiel, Resende
Douro	Alijó, Armamar, Carrazeda de Ansiães, Freixo de Espada à Cinta, Lamego, Mesão Frio, Moimenta da Beira, Murça, Penedono, Peso da Régua, Sabrosa, Santa Marta de Penaguião, São João da Pesqueira, Sernancelhe, Tabuaço, Tarouca, Torre de Moncorvo, Vila Nova de Foz Côa, Vila Real
Entre Douro e Vouga	Arouca, Oliveira de Azeméis, Santa Maria da Feira, São João da Madeira, Vale de Cambra
Baixo Vouga	Águeda, Albergaria-a-Velha, Anadia, Aveiro, Estarreja, Ílhavo, Murtosa, Oliveira do Bairro, Ovar, Sever do Vouga, Vagos
Baixo Mondego	Cantanhede, Coimbra, Condeixa-a-Nova, Figueira da Foz, Mealhada, Mira, Montemor-o-Velho, Mortágua, Penacova, Soure
Beira Interior Norte	Almeida, Celorico da Beira, Figueira de Castelo Rodrigo, Guarda, Manteigas, Mêda, Pinhel, Sabugal, Trancoso
Beira Interior Sul	Castelo Branco, Idanha-a-Nova, Penamacor, Vila Velha de Ródão
Cova da Beira	Belmonte, Covilhã, Fundão
Serra da Estrela	Fornos de Algodres, Gouveia, Seia
Dão-Lafões	Aguiar da Beira, Carregal do Sal, Castro Daire, Mangualde, Nelas, Oliveira de Frades, Penalva do Castelo, Santa Comba Dão, São Pedro do Sul, Sátão, Tondela, Vila Nova de Paiva, Viseu, Vouzela
Pinhal Interior Norte	Alvaiázere, Ansião, Arganil, Castanheira de Pera, Figueiró dos Vinhos, Góis, Lousã, Miranda do Corvo, Oliveira do Hospital, Pampilhosa da Serra, Pedrógão Grande, Penela, Tábua, Vila Nova de Poiares
Pinhal Interior Sul	Oleiros, Proença-a-Nova, Sertã, Vila de Rei
Pinhal Litoral	Batalha, Leiria, Marinha Grande, Pombal, Porto de Mós
Oeste	Alcobaça, Alenquer, Arruda dos Vinhos, Bombarral, Cadaval, Caldas da Rainha, Lourinhã, Nazaré, Óbidos, Peniche, Sobral de Monte Agraço, Torres Vedras
Médio Tejo	Abrantes, Alcanena, Constância, Entroncamento, Ferreira do Zêzere, Mação, Ourém, Sardoal, Tomar, Torres Novas, Vila Nova da Barquinha
Lezíria do Tejo	Almeirim, Alpiarça, Azambuja, Benavente, Cartaxo, Chamusca, Coruche, Golegã, Rio Maior, Salvaterra de Magos, Santarém

Grande Lisboa	Amadora, Cascais, Lisboa, Loures, Mafra, Odivelas, Oeiras, Sintra, Vila Franca de Xira
Península de Setúbal	Alcochete, Almada, Barreiro, Moita, Montijo, Palmela, Seixal, Sesimbra, Setúbal
Alto Alentejo	Alter do Chão, Arronches, Avis, Campo Maior, Castelo de Vide, Crato, Elvas, Fronteira, Gavião, Marvão, Monforte, Mora, Nisa, Ponte de Sôr, Portalegre
Alentejo Central	Alandroal, Arraiolos, Borba, Estremoz, Évora, Montemor-o-Novo, Mourão, Portel, Redondo, Reguengos de Monsaraz, Sousel, Vendas Novas, Viana do Alentejo, Vila Viçosa
Alentejo Litoral	Alcácer do Sal, Grândola, Odemira, Santiago do Cacém, Sines
Baixo Alentejo	Aljustrel, Almodôvar, Alvito, Barrancos, Beja, Castro Verde, Cuba, Ferreira do Alentejo, Mértola, Moura, Ourique, Serpa, Vidigueira
Algarve	Albufeira, Alcoutim, Aljezur, Castro Marim, Faro, Lagoa, Lagos, Loulé, Monchique, Olhão, Portimão, S. Brás de Alportel, Silves, Tavira, Vila do Bispo, Vila Real de Santo António
Região Autónoma dos Açores	Vila do Porto, Lagoa, Nordeste, Ponta Delgada, Povoação, Ribeira Grande, Vila Franca do Campo, Angra do Heroísmo, Praia da Vitória, Santa Cruz da Graciosa, Calheta, Velas, Lajes do Pico, Madalena, São Roque do Pico, Horta, Lajes das Flores, Santa Cruz das Flores, Vila do Corvo
Região Autónoma da Madeira	Calheta, Câmara de Lobos, Funchal, Machico, Ponta do Sol, Porto Moniz, Ribeira Brava, Santa Cruz, Santana, São Vicente, Porto Santo

1. Adicionalmente, são definidas três zonas climáticas de inverno (I1, I2 e I3) e três zonas climáticas de verão (V1, V2 e V3) para aplicação de requisitos de qualidade térmica da envolvente.

2. As zonas climáticas de inverno são definidas a partir do número de graus-dias (GD) na base de 18 °C, correspondente à estação de aquecimento, conforme a tabela 3.2., e estão representadas graficamente na figura 3.10.

Tabela 3.2. Critérios para a determinação da zona climática de inverno (Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013):

Critério	GD ≤ 1300	1300 < GD ≤ 1800	GD > 1800
Zona	I1	I2	I3

3. As zonas climáticas de verão são definidas a partir da temperatura média exterior correspondente à estação convencional de arrefecimento ($\theta_{ext,v}$), conforme a tabela 3.3. e estão representadas graficamente na figura 3.10.

Tabela 3.3. Critérios para a determinação da zona climática de verão (Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013):

Critério	$\theta_{ext,\,v} \leq 20\ ^{\circ}C$	$20\ ^{\circ}C < \theta_{ext,\,v} \leq 22\ ^{\circ}C$	$\theta_{ext,\,v} \geq 22\ ^{\circ}C$
Zona	V1	V2	V3

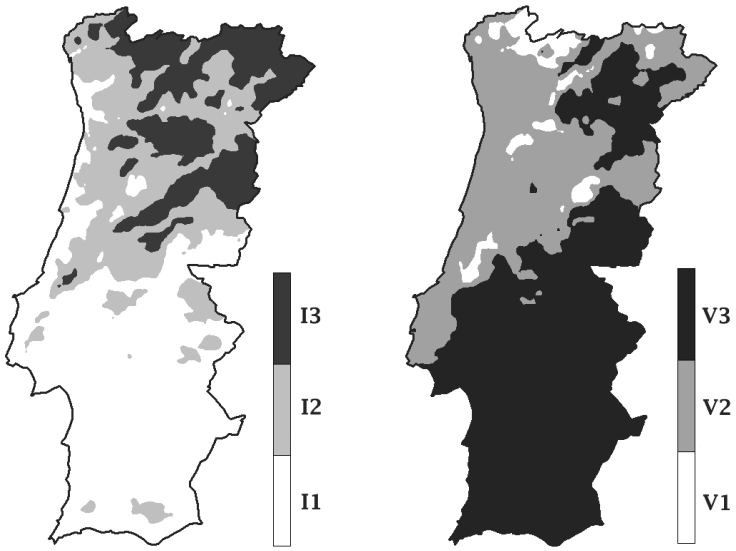

Figura 3.10. Zonas climáticas de inverno e verão, respetivamente, no continente (Fonte: Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013)

3.1.3. Qualidade e caraterísticas da envolvente exterior

As condições de conforto no interior de um edifício estão relacionadas com o tipo de materiais utilizados na construção da envolvente. Ao projetar-se um edifício deve escolher-se materiais adequados para melhorar o isolamento das janelas, paredes, pavimentos e cobertura de forma a diminuir a necessidade de climatizar reduzindo assim a fatura energética. Uma característica importante a ter em conta é a inércia térmica do edifício. O uso de materiais pesados e densos, como por exemplo, os tijolos maciços e a pedra contribuirão para que o edifício tenha uma inércia forte. Nos edifícios com paredes pesadas, que têm uma elevada capacidade térmica, estas funcionam como reservatórios de calor e amortecedores térmicos, ou seja, amortecem e contrariam os picos climáticos exteriores (Morais, 2009).

3.1.3.1. Paredes

O sistema de isolamento mais eficaz em paredes exteriores consiste na aplicação de placas de material isolante ou aplicação contínua de espuma isolante com revestimento adequado, que pode ser pintado ou reforçado por outros materiais. A escolha depende do clima da zona, do grau de isolamento pretendido e das restrições de construção da área visada. Os materiais de isolamento térmico são geralmente materiais porosos e de baixa densidade como o EPS

(Poliestireno Expandido), XPS (Poliestireno Extrudido), a PUR (espuma de Poliuretano), o ICB (Aglomerado de Cortiça) e a MW (Lã Mineral) (Morais, 2009).

Existem várias formas de colocação de isolamento térmico que influenciam o desempenho energético da habitação, que se passam a referir (Morais, 2009):

- Isolamento pelo exterior: torna-se ininterrupto, as pontes térmicas são em grande parte eliminadas, o que proporciona um ambiente mais confortável e uma melhor conservação do edifício. Além disso, também impede o aparecimento de zonas de condensação superficial e a formação de bolor na superfície interior das paredes. O edifício será mais saudável e a degradação física das superfícies tornar-se-á muito mais lenta.
- Isolamento pelo interior: consiste na colagem de material de isolamento em placas na face interior da parede. Placas de gesso cartonado ou outro material sobre qual é aplicado o acabamento final (tinta, papel de parede, etc.) da face da parede interior.

3.1.3.2. Coberturas

As coberturas são as superfícies da envolvente que mais contribuem para as perdas de calor num edifício. Face aos benefícios imediatos em termos da diminuição das necessidades energéticas, e por se tratar de uma das medidas mais simples e menos dispendiosa, o isolamento térmico de uma cobertura é considerado uma intervenção de eficiência energética prioritária (Morais, 2009).

Em coberturas inclinadas, com laje de esteira horizontal, o isolamento térmico deve ser colocado sobre esta laje. No caso de telhados sem laje de esteira horizontal o isolamento térmico deve ser aplicado sob a estrutura de fixação das telhas. No caso do isolamento pelo interior, o material isolante é colocado sob a estrutura do telhado inclinado (Morais, 2009).

Em coberturas horizontais, a solução de cobertura invertida é a mais indicada. 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. Esta solução permite aumentar a vida útil da impermeabilização ao protegê-la de amplitudes térmicas significativas (Morais, 2009).

Claraboia

A claraboia é uma superfície horizontal vitrificada aplicada a coberturas com inclinações reduzidas ou totalmente planas, figura 3.11. É normalmente utilizada de forma a garantir um maior aproveito da iluminação, mas quando aliado a um elemento com capacidades refletoras poderá se tornar numa mais-valia sob o ponto de vista de ganhos térmicos. É um elemento que requer um estudo da sua aplicação muito cuidado uma vez que a sua aplicação geralmente traduz-se em ganhos excessivos durante o verão e insuficientes no inverno (Mendonça, 2005).

É importante salientar que sendo uma superfície envidraçada tem, normalmente, um coeficiente de transmissão térmica relativamente superior ao elemento que o rodeia e por isso este sistema passivo apresenta perdas térmicas pelos envidraçados que irão ser mais penalizadoras durante a estação de aquecimento (Coutinho, 2014).

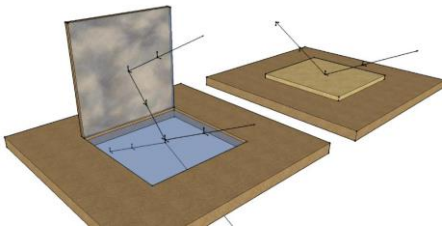

Figura 3.11. Esquema de funcionamento de uma claraboia (Coutinho, 2014)

3.1.3.3. Pavimentos

A intervenção ao nível dos pavimentos é fundamental quando estes estão em contacto direto com o exterior ou com espaços interiores não aquecidos. O isolamento térmico pode ser aplicado pelo interior ou pelo exterior da laje do pavimento. O isolamento térmico aplicado sobre a laje de fundo, depois de executada a adequada preparação e aplicada a cola apropriada. Este sistema de aplicação simples proporciona a correção das pontes de calor, tem um tempo de duração bastante longo, é resistente aos choques acidentais e não é facilmente inflamável (Morais, 2009).

3.1.3.4. Envidraçados

As superfícies envidraçadas não protegidas são áreas críticas para o conforto térmico dos edifícios, pois conduzem a perdas de calor no inverno e ao sobreaquecimento no verão. Estima-se que entre 25 a 30% das necessidades de aquecimento sejam devidas a perdas de calor com origem nos envidraçados (Morais, 2009).

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 das mesmas face à radiação solar e melhorar as condições de ventilação natural no Verão. 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 as que têm vidros simples, já que o espaço entre os dois vidros serve para reduzir a perda de calor. Para prevenir a entrada de calor em excesso, o vidro exterior pode ainda ser refletor. Para reduzir a elevada penetração de ar, as janelas devem ser estanques e deve existir uma boa fixação entre as janelas e a alvenaria (Morais, 2009).

As caixilharias das janelas em madeira, PVC, ou alumínio com corte térmico são as que apresentam melhores propriedades térmicas. Nas caixas de estores, deve ser introduzido material isolante evitando as entradas de ar frio no Inverno e impedindo assim as desnecessárias perdas de energia (Morais, 2009).

Como as janelas proporcionam uma relação mais direta com o exterior, é importante dotá-las de um elemento de proteção pelo exterior, elemento este que permite ao utilizador controlar as trocas energéticas com o exterior, tornando a relação mais ou menos direta. Assim, as janelas orientadas a nascente, sul e poente devem ser munidas de sistemas de sombreamento exterior (Morais, 2009).

Sem perder qualquer das mais-valias que as janelas nos oferecem, os sistemas de sombreamento têm uma função primordial - a de impedir a incidência dos raios solares, quando estes não são desejados, (verão), antes de atravessarem o vidro - porque, uma vez atravessado o vidro, os raios solares que transportam o calor (a radiação térmica) alteram o seu comprimento de onda e não conseguem voltar a sair através do vidro, ficando detidos no espaço interior e deixá-la passar quando é desejada (inverno) (Morais, 2009).

3.1.3.5. Pintura

As cores utilizadas nas fachadas e coberturas também influenciam o conforto térmico (Morais, 2009).

Embora já existam tintas absorventes e refletoras, de todas as cores, as cores claras não absorvem tanto o calor como as cores escuras. Com efeito, enquanto uma fachada branca pode absorver só 25% de energia solar incidente, a mesma fachada, pintada com cor preta pode absorver 90% dessa mesma energia solar (Morais, 2009).

3.1.4. Sombreamento

Os elementos de sombreamento funcionam como uma proteção aplicada pelo exterior ou interior dos vãos envidraçados, de modo a reduzir ou controlar a incidência da radiação solar, evitando ganhos térmicos indesejáveis. Os sombreamentos de um edifício podem ser fixos (palas) ou amovíveis (estores, portadas, toldos) (Ganhão, 2011).

Segundo Tirone e Nunes (2008), na escolha dos sistemas de sombreamento deve-se ter em consideração os seguintes aspetos, que irão contribuir para um melhor desempenho energético da habitação:

- Proteger os vãos envidraçados da radiação indesejada, sem necessariamente alcançar a oclusão noturna;

- Permitir uma boa ventilação natural (com a janela aberta), mesmo quando este se encontra descido e orientado na posição de sombrear;
- Ser facilmente operável, preferivelmente pelo interior, permitindo controlar o nível de luminosidade e de entrada dos raios solares para o interior;
- É importante garantir uma distância suficiente entre o elemento de sombreamento e o vão envidraçado, para evitar que a radiação térmica captada pelo próprio elemento de sombreamento seja transmitida para o interior.

Em concordância com estes aspetos, a aplicação de dispositivos de sombreamento amovíveis, quer pelo interior quer pelo exterior, é uma solução que apresenta um desempenho térmico melhor (em comparação com os sombreamentos fixos), sendo a aplicação pelo exterior a que conduz a melhores resultados (Sirgado, 2010).

A colocação de palas horizontais e verticais em elevado número ou com dimensões desapropriadas pode fazer com que o consumo energético dos edifícios dispare durante a estação de aquecimento, levando, desta forma, a um maior consumo de energia primária para climatização. No entanto, quando se conjuga os dois tipos de sombreamento, o desempenho térmico dos edifícios tem tendência a ser ainda melhor, mas, tem de se ter em atenção a aplicação de palas fixas ao longo da estação de aquecimento (Sirgado, 2010).

A colocação estratégica de vegetação também pode contribuir para o sombreamento de vãos envidraçados e fachadas. A aplicação correta deste tipo de solução pode reduzir a necessidade de colocação de outros tipos de sombreamento (Ganhão, 2011).

3.1.4.1. Soluções de proteção solar

Existem diferentes formas de proteção solar, cada um tem suas próprias características, vantagens e desvantagens e o arquiteto deve determinar a natureza do sombreamento necessário e os possíveis ajustes a serem feitos (Santos, 2014). As soluções de proteção solar podem ser divididas em: sombreamento externo e sombreamento interno.

3.1.4.1.1. Sombreamento Externo

Ao escolher este tipo de sombreamento deve-se ter em atenção a aparência exterior do edifício, mas mais importante, deve-se determinar a sua viabilidade, vulnerabilidade e o custo a longo prazo do método escolhido, de acordo com as condições climáticas que serão experimentadas no local. Os sistemas fixos de sombreamento são sempre menos versátil que os sistemas móveis, já que estes permitem um fácil ajuste ao ângulo de incidência solar e consequentemente da penetração do sol no espaço. Mas são relativamente mais económicas de instalar e estão menos sujeitas a danos em comparação com os sistemas móveis (Santos, 2014).

Os elementos externos de proteção solar podem ser horizontais, verticais ou uma combinação dos dois, chamadas de grelha, assim temos:

Palas fixas e móveis

Como o Sol muda de posição ao longo do dia, o elemento de proteção deverá ser maior do que a janela a ser sombreada, podendo formar um plano contínuo ou estar espaçados permitindo uma insolação e ventilação parcial. A largura e o espaçamento das lâminas determinam o tamanho da sombra projetada, e estas podem variar conforme a altura das janelas ou a altura do piso. Elementos de proteção solar horizontais são mais eficazes nas horas em que o sol esta alto no céu, no entanto de manhã e a tarde onde o sol está baixo, os sombreadores verticais são mais eficientes (Santos, 2014).

Figura 3.12. Lâminas verticais móveis (Santos, 2014)

As palas móveis verticais ou horizontais permitem ao usuário evitar o ofuscamento ocasionado pelo sol junto a janela ou mesmo tempo que redireciona a luz natural para o interior permitindo a sua distribuição uniforme pelo compartimento interno. As lâminas espaçadas além de admitir luz difusa, também permitem a circulação do ar, reduzindo as suas transferências térmicas para o interior. Representando um importante dispositivo para o controle da insolação, podendo ser utilizado tanto para a proteção de paredes transparentes ou translúcidas como para o caso de paredes opacas leves (Santos, 2014).

Figura 3.13. Lâminas horizontais móveis (Santos, 2014)

Nas fachadas Nascente e poente, um dispositivo fixo vertical pode ser melhor que um horizontal, mas a janela nunca é completamente sombreada. As lâminas verticais são mais eficazes quando o sol esta baixo, enquanto as lâminas horizontais são mais eficientes nas horas em que o sol esta alto. As grelhas combinam as vantagens das lâminas horizontais e verticais, oferecendo vantagens em termos de privacidade mas reduzindo contudo a vista. As grelhas são particularmente eficientes nas fachadas voltadas a sul, mas na sua conceção devem ser consideradas as necessidades de luz e ventilação natural (Santos, 2014).

Figura 3.14. Tipologias de palas em grelha (Santos, 2014)

Venezianas, persianas, toldos e estores

As venezianas, persianas, toldos e estores, cortam a incidência dos raios solares antes de atravessarem o vidro. Os dispositivos externos opacos de cor clara podem refletir até 80% da radiação incidente, já os translúcidos podem refletir até 60%, mas alguns sistemas de estores podem ser uma má escolha em termos de vista, iluminação e ventilação natural (Santos, 2014).

Figura 3.15. Tipologias de venezianas ou persianas (Santos, 2014)

Os sombreadores ajustáveis evitam alguns destes problemas. Os toldos retrácteis, os estores exteriores de lâmina ajustáveis ou de enrolar, as cortinas e as venezianas podem ficar aberto a maior parte de tempo, sendo fechado somente quando a inclinação dos raios solares o exigir (Santos, 2014).

Santos (2014) citou trabalhos de Green Vitruvius (2001), onde refere que nas fachadas a este ou a oeste, os estores de lâminas horizontais precisam de ficar praticamente fechados para bloquear a luz do sol, mas os estores de lâminas verticais podem ficar parcialmente abertos e bloquear a luz do sol, ao mesmo tempo que deixa entrar a luz refletida ou difusa. Os sistemas totalmente automatizados que reagem as variações das inclinação do sol, a níveis de temperatura e/ou luz poderão ser necessários especialmente no caso dos sistemas exteriores.

3.1.4.1.2. Sombreamento Interno

É verdade que qualquer forma de sombreamento interno é menos eficiente que o externo, no controlo do ganho solar, pois a radiação solar absorvida muitas vezes é transferida por convecção e por radiação para o interior do compartimento, e uma vez que o calor já entrou torna-se difícil de extrair. No entanto apresenta a vantagem de ser menos vulnerável e mais fácil de manter e de limpar (Santos, 2014)

Cortinas

A forma mais comum de sombreamento interno, usado quase que universalmente em edifícios residenciais. O nível de sombreamento da cortina vária substancialmente conforme a cor, o tipo de tecido e sua transparência e desde que sejam cuidadosamente concebida, proporciona um nível satisfatório de proteção solar (Santos, 2014).

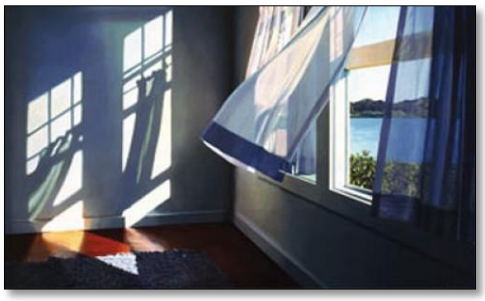

Figura 3.16. Cortina (Santos, 2014)

Toldos e persianas

Com a vantagem de estar disponível em diferentes tipos de materiais, os toldos e as persianas oferecem soluções de baixo custo para reduzir os ganhos térmicos no verão. Pela sua ajustabilidade, permitem e bloqueiam a entrada da luz de acordo com a necessidade. A inclinação das lâminas da persiana pode ser modificada, para refletir a luz do sol para o teto ou para fora do edifício. Também podem ser incorporadas entre as placas de vidro da janela para protegê-la de danos, reduzindo assim as suas necessidades de manutenção (Santos, 2014).

Figura 3.17. Persianas (Santos, 2014)

Os toldos por sua vez podem ser perfuradas para possibilitar a ventilação e alguma visibilidade externa quando fechadas, podendo ainda ser motorizadas para uso em de grandes projetos. De folha única permite variar o desenho da superfície para satisfazer os requisitos individuais do prédio (Santos, 2014).

Figura 3.18. Tipologias de toldos e estores (Santos, 2014)

3.2. Outros sistemas passivos nos edifícios

3.2.1. Sistemas de aquecimento passivo

Os sistemas destinados ao aquecimento passivo podem ser caracterizados como aqueles que, fazendo parte integrante da sua estrutura construtiva. Desempenham o papel de coletores solares e acumuladores da energia solar neles incidentes e ainda de agente de distribuição da energia-calor por processos naturais de transferência. Em todos os sistemas solares passivos destinados ao aquecimento existem dois elementos básicos a ter em conta (Gonçalves e Graça, 2004):

- Superfície envidraçada a sul, ou no quadrante sudeste-sudoeste, para captação da radiação solar;
- Massa térmica para absorção, armazenamento e distribuição de calor.

3.2.1.1. Sistema de ganho direto

No sistema de ganho direto, o espaço a aquecer dispõe de vãos envidraçados bem orientados por forma a possibilitar a incidência da radiação no espaço e nas massas térmicas envolventes (paredes e pavimentos), figura 3.19. De notar que a construção corrente em Portugal tem em geral massa suficiente, sendo que uma boa orientação dos vãos conduz à utilização deste tipo de sistemas sem qualquer complexidade adicional (Gonçalves e Graça, 2004):

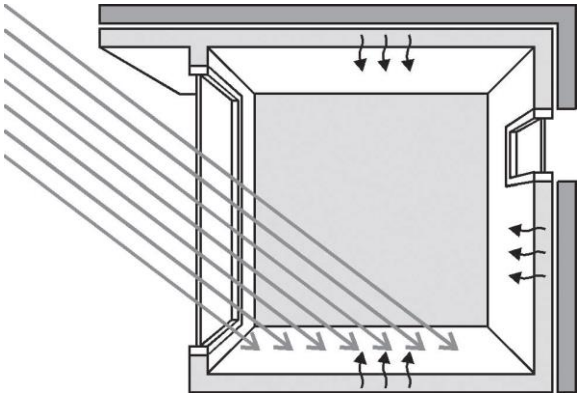

Figura 3.19. Sistema de ganho direto (Gonçalves e Graça, 2004)

As massas térmicas desempenham um papel estabilizador das condições interiores, atenuando a amplitude térmica no interior dos edifícios. Quanto maior for a massa térmica, menor será essa variação, sendo que também será mais difícil aquecer o edifício, sendo necessário um equilíbrio entre massa térmica, isolamento e área de vãos, dependendo muito do tipo de edifício e localização do mesmo. Durante o período diurno, a massa térmica absorve o calor resultante da incidência direta da radiação solar e, durante o período noturno, devolve-o ao espaço. Dever-se-á ter em atenção ao isolamento dos elementos da envolvente exterior, por forma a minimizar a influência das solicitações climáticas exteriores (Gonçalves e Graça, 2004).

Figura 3.20. Edifício com sistema de ganho direto, ULS Guarda

Vantagens dos sistemas de ganho direto (Soares, 2013):

- Rendimento elevado já que a energia utilizada por metro quadrado de captador é máxima;
- Baixo acréscimo de custos comparando com edifícios sem características solares;

- Redução do uso de energia para aquecimento;
- Aproveitamento da iluminação natural com luz direta, permite vistas para o exterior;
- Simples e fácil de construir usando tecnologias e materiais correntes, mesmo para os sombreadores solares;
- Fácil integração arquitetónica, janelas laterais próximas das paredes minimizam problemas de excesso de luminosidade.

Desvantagens dos sistemas de ganho direto (Soares, 2013):

- Falta de privacidade e iluminação excessiva no espaço interior;
- Não possui características de arrefecimento;
- Armazenamento térmico de curto período com flutuações térmicas;
- Perdas térmicas elevadas pelos envidraçados;
- Possível degradação dos materiais devido à radiação solar direta;
- Desconforto local devido a assimetrias na temperatura interior;
- Dispositivos manuais de isolamento, tais como proteções móveis das aberturas, requerem a devida e cuidada atenção para serem eficazes.

3.2.1.2. Sistema de ganho indireto ou desfasado

Nos sistemas de ganho indireto a massa térmica dos sistemas é interposta entre a superfície de ganho e o espaço a aquecer. A massa térmica absorve a energia solar nela incidente, sendo posteriormente transferida para o espaço. Esta transferência pode ser imediata ou desfasada, conforme a estratégia de circulação (ou não) do ar que for adotada (Gonçalves e Graça, 2004).

Nestes sistemas, verifica-se uma divergência da onda de calor transmitida para o espaço e o ciclo da radiação solar. Os espaços onde estes sistemas se encontram podem tirar partido do desfasamento e receber a energia absorvida durante o dia, no final da tarde e início da noite, dependendo muito de cada edifício e da sua utilização. A gestão da transferência de energia é feita pelo próprio utilizador, usando para o efeito sistemas simples de ventilação, que consiste em duas aberturas entre o espaço e a zona quente (Gonçalves e Graça, 2004).

Referem-se alguns tipos destes sistemas.

3.2.1.2.1. Paredes acumuladoras

As paredes acumuladoras realizam a operação de transmissão calorifica através de radiação que atravessa o envidraçado e sobreaquece o volume de ar que se encontra no interior, através do efeito de estufa, e seguidamente a parede adjacente. Esta parede deve ser pintada de cores escuras e deve possuir uma inercia térmica elevada de forma a não só captar o máximo de energia calorifica mas também a poder realizar libertações calorificas durante a noite. Após o

aquecimento da parede, esta irradia energia calorifica para o interior da habitação, como se pode observar na figura 3.21 (Mendonça, 2005).

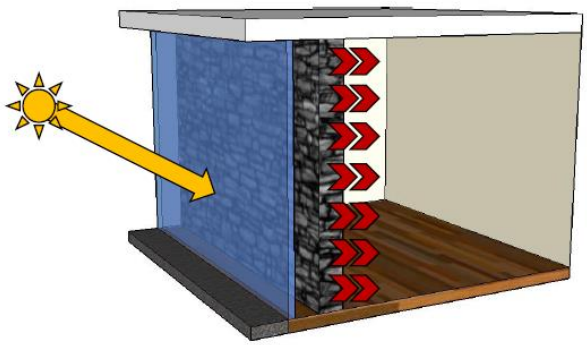

Figura 3.21. Esquema de funcionamento de uma parede acumuladora (Coutinho, 2014)

3.2.1.2.2. Paredes dinâmicas

As paredes dinâmicas são caracterizadas por possuírem uma abertura na parte superior da parede que têm a capacidade de deixar passar o ar aquecido pela radiação solar que se encontra entre as duas superfícies verticais, fazendo portanto um aproveitamento relativamente superior à solução apresentada anteriormente, figura 3.22. Durante períodos com ganhos baixos, as aberturas deverão ser fechadas e a parede funcionará apenas como uma parede acumuladora (Mendonça, 2005).

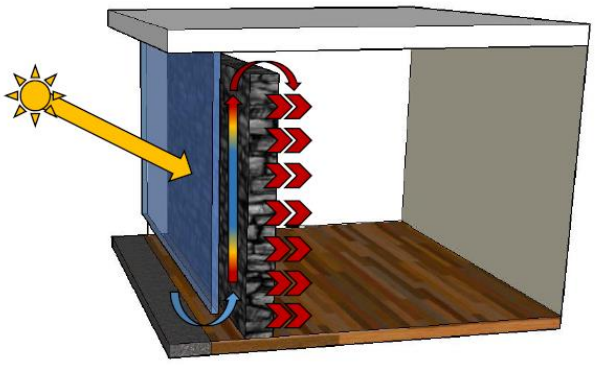

Figura 3.22. Esquema de funcionamento de uma parede dinâmica (Coutinho, 2014)

3.2.1.2.3. Parede de Trombe

As paredes de Trombe são compostas por uma superfície opaca a qual possui aberturas que irão estimular a constante movimentação do ar interior através de convexão e revestidas exteriormente por vidro. A parte exterior pode ter aberturas para realizar um aproveitamento do calor por efeito de estufa, figura 3.23. A correta utilização destas origina uma boa manutenção da temperatura interior em todas as fases do ano e tornam a parede de trombe uma ótima solução de aquecimento do ar passivo através do sol (Coutinho, 2014).

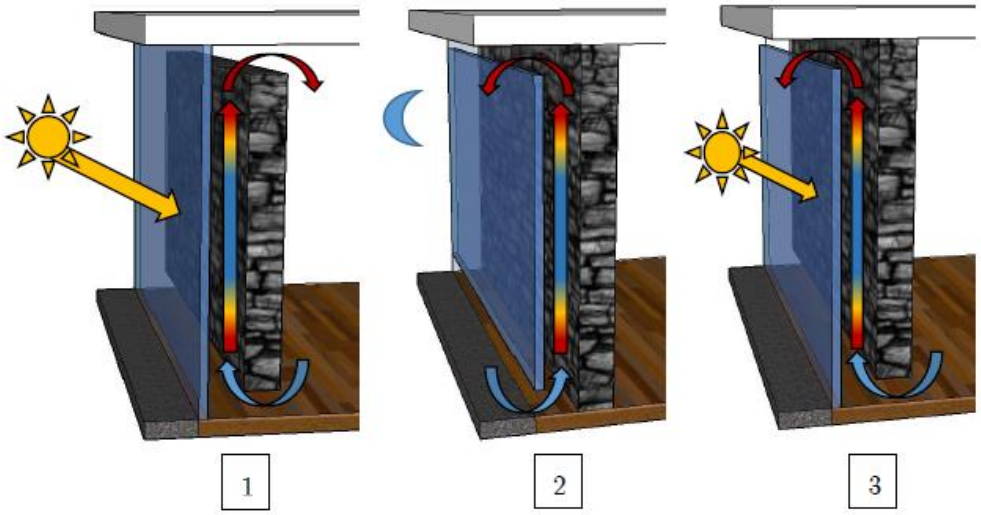

Figura 3.23. Esquemas de funcionamento de:

1. Parede de trombe com efeito de estufa durante o dia de inverno (Coutinho, 2014)
2. Parede de trombe com efeito de estufa durante a noite de verão (Coutinho, 2014)
3. Parede de trombe usada como um meio de ventilação (Coutinho, 2014)

3.2.1.2.4. Paredes de água

Nestes sistemas, o elemento responsável pelo armazenamento e libertação da energia calorifica é a água, figura 3.24. Coutinho cita Mitjá (1986) onde refere que a sua capacidade de armazenamento é dez vezes superior a uma parede executada em alvenaria e cinco vezes superior a uma parede de betão armado. Como tal constitui uma solução extremamente eficaz de aquecimento passivo de espaços habitacionais, mas com inconvenientes relativamente dispendiosos uma vez que a má manutenção do elemento poderá originar patologias graves associadas a infiltrações de água para elementos adjacentes ou até mesmo fugas para o interior da habitação (Coutinho, 2014).

As paredes realizadas utilizando esta metodologia, possuem um funcionamento semelhante às paredes de trombe. Estas são envidraçadas de cor relativamente mais escura permitindo ainda a penetração de alguma radiação solar que irá aquecer e iluminar a habitação adjacente podendo ser complementada com pavimentos de inercia térmica elevada capazes de fazer uma elevada absorção desta energia, de modo a fazer o reaproveitamento em momentos de maior necessidade (Coutinho, 2014).

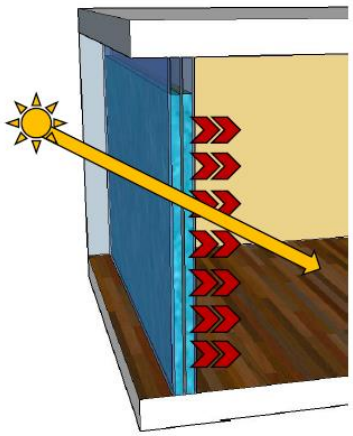

Figura 3.24. Esquema de funcionamento de uma parede de água (Coutinho, 2014)

3.2.1.2.5. Cobertura de água

Este sistema é caracterizado pela presença de uma substancial massa de água na zona da cobertura, que será encarregue da acumulação da energia proveniente da radiação solar e posterior aproveitamento para o interior da habitação, figura 3.25. Esta massa de água está protegida na parte superior por um isolamento amovível o qual (Mendonça, 2005):

- No Inverno encontra-se inativo durante o dia, para maximizar a capacidade de armazenamento e durante a noite este é ativado de modo a maximizar a capacidade de retenção desta mesma energia.

  No Verão encontra-se ativo durante o dia de modo a evitar o sobreaquecimento da divisão, chegando mesmo a proporcionar-se uma refrigeração do compartimento, enquanto durante a noite este é desativado de modo a provocar uma refrigeração da massa de água.

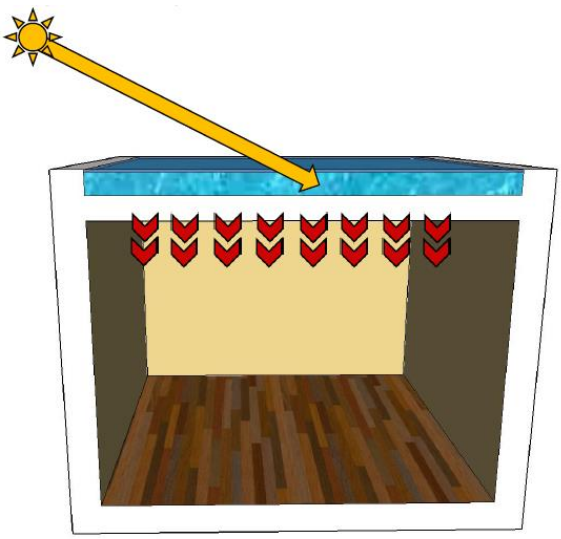

Figura 3.25. Esquema de funcionamento de uma cobertura de água (Coutinho, 2014)

3.2.1.2.6. Sistema indireto pelo pavimento

Este sistema tem como princípio básico o aquecimento de uma massa de água que se encontra debaixo do pavimento da divisão a aquecer, figura 3.26. A radiação solar incide sobre uma superfície vitrificada localizada na parte exterior de um recetáculo com água aquecendo-a, esta irá irradiar energia calorifica pelo pavimento que irá originar um aquecimento da habitação em questão. É importante ainda referir qua a superfície deverá possuir uma proteção de modo a que no Inverno a energia possa ser recolhida eficazmente, e no Verão não lhe seja permitida a passagem, evitando assim o sobreaquecimento da habitação pela utilização deste sistema (Mendonça, 2005).

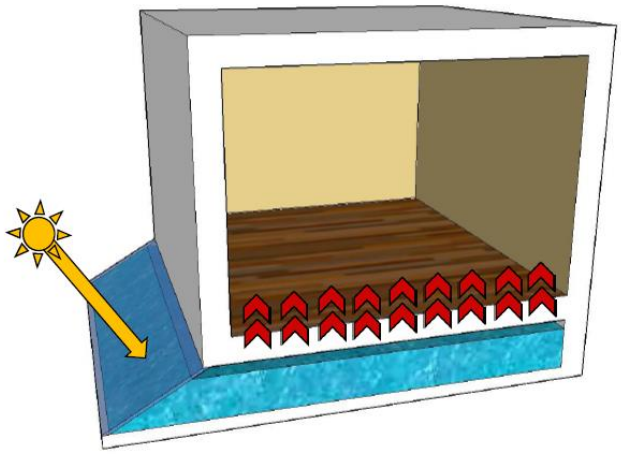

Figura 3.26. Esquema de funcionamento de um sistema indireto pelo pavimento (Coutinho, 2014)

Vantagens dos sistemas de ganho indireto (Soares, 2013):

- Ganhos de calor durante o dia por convecção de ar quente e também durante a noite (mais desejado) por radiação da energia armazenada na massa térmica;
- Permitem maior controlo das quantidades de calor cedidas ao compartimento do que nos ganhos diretos;
- Não possuem problemas da degradação de objetos expostos a radiação solar direta e excessos de luminosidade;
- Podem contribuir para o arrefecimento no verão;
- Flutuações térmicas menores;
- Fáceis de instalar numa construção nova com custos adicionais baixos;
- Podem dar um contributo estético às habitações.

Desvantagens dos sistemas de ganho indireto (Soares, 2013):

- As paredes de armazenamento térmico e estufas obrigam a orientação a sul;
- Perdas térmicas noturnas podem ser elevadas e requerer manutenção;
- As massas de armazenamento térmico podem ocupar espaço habitável e aumentam o peso do edifício;
- Necessidade de isolamento noturno, normalmente móvel, que requer ação manual;
- Paredes de armazenamento térmico reduzem a luz direta, e podem criar dificuldades na ventilação natural;
- As estufas não permitem arrefecimento ativo no verão e possuem grandes flutuações térmicas no seu interior, não sendo aconselhadas para o nosso verão;
- Custo elevado das estufas com vidro de alto desempenho;
- Estufa de plantas podem criar odores, excessos de humidade, e insetos.

3.2.1.3. Sistema de ganho isolado

Nos sistemas de ganho isolado, a captação dos ganhos solares e o armazenamento da energia captada não se encontram nas áreas ocupadas dos edifícios, pelo que operam independentemente do edifício. Os espaços estufa são exemplos deste sistema e utilizam a combinação dos efeitos de ganho direto e indireto. A energia solar é transmitida ao espaço adjacente à estufa por condução através da parede de armazenamento que os separa e ainda por convecção, no caso de existirem orifícios que permitem a circulação de ar (Gonçalves e Graça, 2004).

3.2.1.3.1. Estufas

Entende-se por estufas uma área concorrente com a parede opaca, que é capaz de captar, reter e reaproveitar a energia que é recebida através da radiação solar, figura 3.27. De modo a se garantir o reaproveitamento máximo desta energia, geralmente utilizam-se elementos com um peso elevado, nomeadamente a laje de pavimento e a parede separadora. Estes dois elementos possuem uma resistência térmica elevada e irão ser os responsáveis pelo armazenamento e libertação desta energia aquando da sua necessidade (Mendonça, 2005).

É necessário salientar que este tipo de estratégia deverá apenas ser aplicado numa face de parede voltada a Sul, uma vez que qualquer outra orientação se provará insuficiente de modo a garantir a sustentabilidade do projeto sobre uma ótica económica, (Mendonça, 2005).

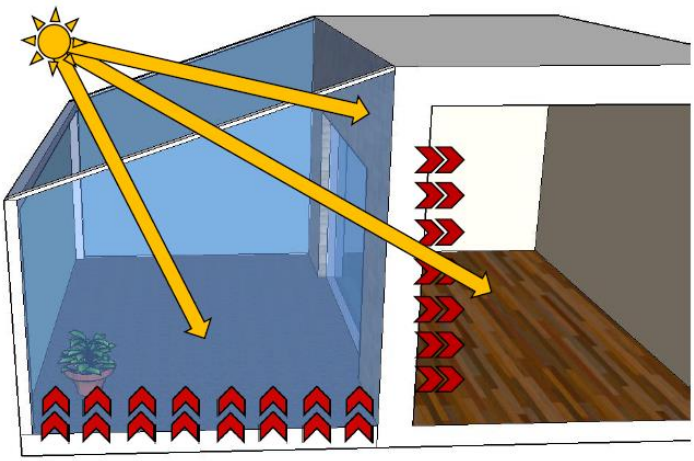

Figura 3.27. Esquema de funcionamento de uma estufa (Coutinho, 2014)

3.2.1.3.2. Termossifão

Os termossifões são sistemas que utilizam o princípio da relação entre a temperatura de um fluido e a sua densidade, figura 3.28. Por outras palavras o ar ao ser aquecido tem a tendência a tomar uma posição de cota superior, ao contrário do ar frio que toma o lugar do mais quente, criando assim um circuito de renovação de temperatura, provido que exista uma fonte constante de aquecimento deste. Neste caso, esta fonte é a energia proveniente do sol, que é devidamente captada e armazenada de forma a aquecer constantemente o ar frio que posteriormente irá subir empurrando mais ar frio para ser aquecido (Mendonça, 2005).

Para este efeito é executada uma pequena estufa capaz de absorver a energia proveniente da radiação solar. Esta será então absorvida por um leito de brita localizada nas imediações da mesma. Este leito será o responsável pelo aquecimento do ar de forma consistente e consequente garantia da predominância do ciclo de convexão (Mendonça, 2005).

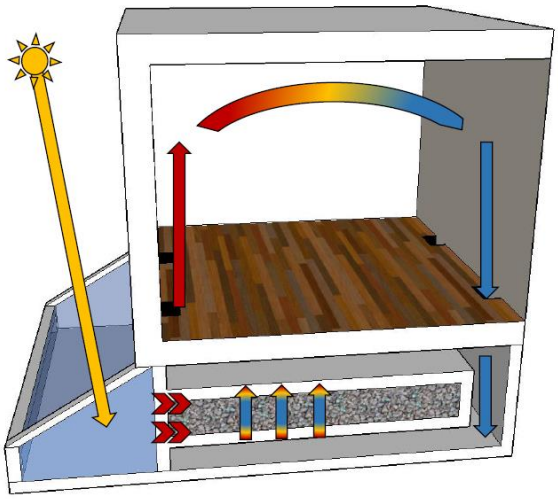

Figura 3.28. Esquema de funcionamento de um termossifão (Coutinho, 2014)

3.2.1.3.3. Sistema Barra-Constantini

O sistema Barra-Constantini é caracterizado pela total inclusão do compartimento habitacional em elementos opacos que serão encarregues de absorver a energia proveniente da radiação solar e consequentemente aquecer o ar frio que percorre entre estes, figura 3.29. São utilizadas as convexões existentes originadas entre a diferença de densidade do ar a diferentes temperaturas origina um aquecimento da habitação que é constantemente reaproveitado, efetuando um circuito cíclico (Mendonça,2005).

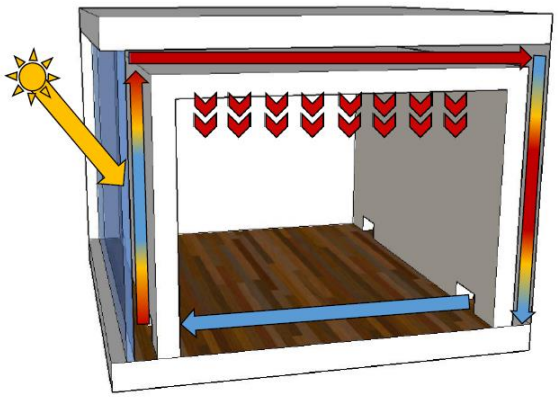

Figura 3.29. Esquema de funcionamento do Sistema Barra-Constantini (Coutinho, 2014)

3.2.2. Sistemas de arrefecimento passivo

Os sistemas de arrefecimento passivo baseiam-se em estratégias que visam utilizar as fontes frias existentes de forma a diminuir a temperatura no interior dos edifícios. Desta forma, os sistemas de arrefecimento passivo podem eliminar ou diminuir consideravelmente a necessidade de um sistema de climatização convencional. A adoção de soluções que conduzam à prevenção e atenuação de ganhos de calor, ou de estratégias que deem origem a processos de dissipação de calor, proporcionam uma redução das necessidades de arrefecimento e de melhoria das condições de conforto térmico (Gonçalves e Graça, 2004).

A prevenção ou proteção de ganhos solares poderá ser considerada em todos os tipos de edifícios através de opções arquitetónicas. Em primeiro lugar, há que ter em atenção o tipo de vidros utilizados e o respetivo controlo solar. A melhor solução é seguramente a utilização de sombreamento exterior, pois tal impede a entrada de radiação solar no interior do edifício. Se tal não for possível ou desejável, por razões arquitetónicas, ou outras, é de considerar, soluções de vidros refletantes associados a sistemas de sombreamento interior (Gonçalves e Graça, 2004).

A utilização de isolamento na envolvente dos edifícios, e especialmente se o mesmo for colocado no exterior da envolvente, conduz a situações que diminuem as solicitações térmicas através da

envolvente opaca, diminuindo assim a carga térmica de arrefecimento do edifício. Especial atenção deve ser dada às coberturas dos edifícios, pois são as superfícies que mais radiação solar recebem durante o verão. Outro aspeto a ter em consideração é a cor do edifício, sendo que cores claras se traduzem em menores valores de captação da radiação solar, favorecendo o desempenho térmico dos edifícios no verão (Gonçalves e Graça, 2004).

A atenuação dos ganhos de calor através da envolvente do edifício depende também da massa térmica do edifício, ou seja, da capacidade que um edifício tem de armazenar calor na sua estrutura, e dá origem a uma diminuição dos valores de pico das cargas de arrefecimento e a um desfasamento entre as temperaturas exteriores e interiores (Gonçalves e Graça, 2004).

A aplicação de estratégias que visem a dissipação de calor, a que se atribui geralmente a designação de arrefecimento passivo ou natural, depende da existência de ambientes propícios que atuem como fontes frias e de diferenças de temperatura que permitam dar origem a processos de transferência significativos (Gonçalves e Graça, 2004).

3.2.2.1. Ventilação Natural

Outro tipo de soluções existentes sobre um ponto de vista estratégico passa pela utilização de sistemas de ventilação naturais, capazes de realizar uma correta renovação do ar existente no interior de uma determinada habitação sem recorrer a dispositivos mecânicos e consequentemente, sem utilização acrescida de energia (Coutinho, 2014).

A ventilação natural dá-se devido à movimentação do ar interior de uma habitação. É uma forma de, não só controlar a temperatura, mas também renovar o ar saturado devido a atividades humanas, por ar que se encontra mais fresco e seco (Coutinho, 2014).

Normalmente este tipo de ventilação processa-se no interior das habitações e depende do facto de o utilizador abrir as janelas de modo a deixar o ar ser renovado, no entanto existem várias soluções construtivas que fazem permitem a ventilação natural, destacando-se as que a seguir se apresentam (Coutinho, 2014).

3.2.2.1.1. Ventilação cruzada

O sistema de ventilação cruzada favorece a ventilação natural da habitação ao criar aberturas em fachadas opostas, normalmente o seu papel e inteiramente desempenhado pelas janelas, figura 3.30. Deve existir um cuidado em posicionar estas aberturas em lados cujas características dos ventos incidentes sejam substancialmente diferentes de modo a que exista uma variação de pressão responsável pela indução de movimento do ar interior, sendo portanto uma das principais razões pela qual deve existir um cuidado acrescido aquando da integração do edifício (Mendonça,2005).

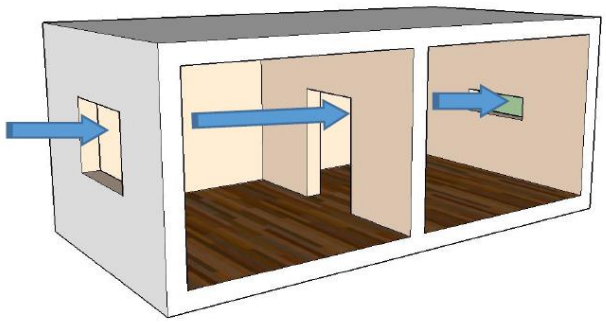

Figura 3.30. Esquema de funcionamento de ventilação cruzada (Coutinho, 2014)

3.2.2.1.2. Ventilação por estratificação

A ventilação por estratificação utiliza o conceito da diferença de comportamentos de um fluido com a variação da temperatura. O ar fresco entra por uma abertura na parte inferior do elemento opaco, originando a consequente substituição daquele que se encontra estagnado no seu interior, o qual irá ser expelido por uma outra abertura localizada também num elemento opaco, mas colocado a uma cota superior, figura 3.31 (Mendonça, 2005).

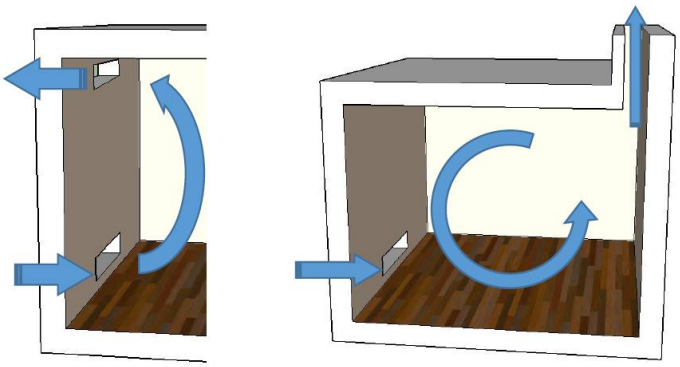

Figura 3.31. Esquemas de funcionamento de ventilação por estratificação (Coutinho, 2014)

3.2.2.1.3. Câmara solar

O sistema da câmara solar é idêntico ao anterior mas proporciona uma ajuda no movimento do ar pela instalação de uma camara solar na parte superior da habitação, figura 3.32. Esta será responsável pelo aquecimento do ar inserido nela. Uma vez que este ar será aquecido, será também rapidamente substituído pelo ar frio, já que este processo se realiza mais depressa quanto maior for a variação das temperaturas (Mendonça, 2005).

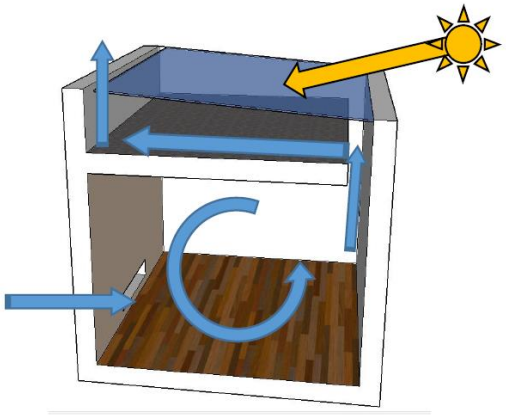

Figura 3.32. Esquema de funcionamento de uma câmara solar (Coutinho, 2014)

3.2.2.1.4. Aspiradores estáticos

Os aspiradores estáticos são dispositivos colocados na saída de ar proveniente do interior, figura 3.33. O ar exterior deverá mover-se de modo constante para se conseguir obter melhor rentabilidade do aparelho. Ao ser atravessado horizontalmente pelo ar exterior irá originar um efeito de sucção que consequentemente será responsável pela aceleração da velocidade do processo de ventilação (Mendonça,2005).

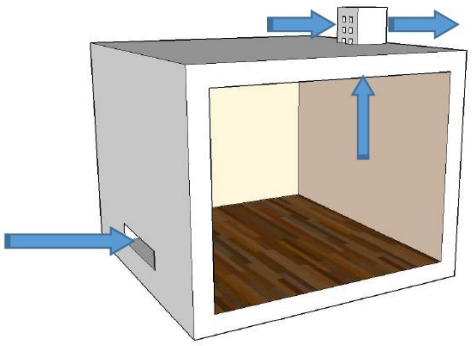

Figura 3.33. Esquema de funcionamento de um aspirador estático (Coutinho, 2014)

3.2.2.1.5. Torre de vento

Este sistema é caraterizado pela inversão do sentido em que é feito o processo de ventilação, figura 3.34. Os ventos dominantes são aproveitados por uma torre que se localiza na cobertura e irão desenvolver pressões capazes de forçar o ar interior a ser renovado através de uma abertura localizada no elemento opaco em contato com o exterior (Mendonça, 2005).

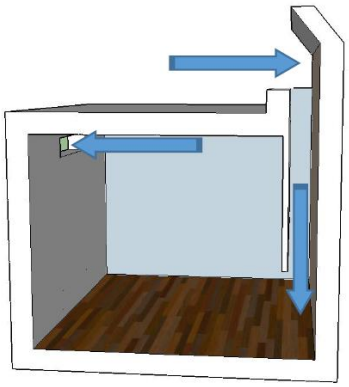

Figura 3.34. Esquema de funcionamento de uma torre de vento (Coutinho, 2014)

3.2.2.1.6. Construções enterradas

Coutinho (2014) citou trabalhos de Balcomb *et al.* (1993) onde refere que as construções enterradas utilizam a variação de temperatura que existe entre o ar exterior e o solo durante a estação de Verão. Para uma variação de 1,2 m de cota, podem-se constatar alterações na temperatura do ar na ordem dos 10 ºC. Como tal, é plausível a utilização de tuneis de refrigeração com uma torre de ar capaz de captar o ar exterior, encaminhando-o e arrefecendo-o através dos tuneis e reutilizando-o de modo a fazer a ventilação natural do edifício, figura 3.35.

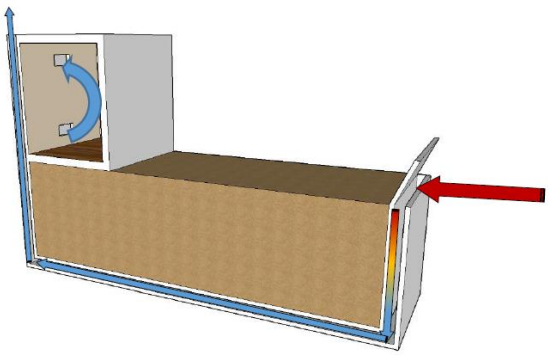

Figura 3.35. Esquema de funcionamento de uma construção enterrada (Coutinho, 2014)

3.2.2.2. Fachadas duplas transparentes ventiladas

As fachadas duplas transparentes ventiladas consistem essencialmente na duplicação da fachada envidraçada dando assim origem a um sistema composto por duas superfícies de vidro separadas por uma câmara central ventilada. Esta é destinada a ações de ventilação podendo incorporar aparelhos de controlo solar e aberturas. Usualmente as superfícies envidraçadas são designadas por "Pele" incorporando vidros simples ou duplos (Soares, 2013).

As principais desvantagens associadas ao uso das fachadas duplas transparentes ventiladas incidem sobre o acréscimo de custo associado à sua materialização e sobre o possível sobreaquecimento dentro da câmara central ventilada, verificando-se o agravamento deste fator em edifícios associados a fortes ganhos térmicos internos produzidos pelos equipamentos elétricos e informáticos, característicos do sector terciário e em locais cujo clima possui grande amplitude térmica, verões quentes e com grande percentagem de insolação (Soares, 2013).

No seguimento da problemática do sobreaquecimento, surge a importância da ventilação na câmara central ventilada, podendo esta ser realizada naturalmente ou mecanicamente. A solução mecânica não é aconselhável já que reduz a eficiência energética devido à dependência de mecanismos, não reduzindo deste modo os gastos energéticos esperados (Soares, 2013).

O correto desempenho da ventilação é assegurado pelo devido dimensionamento e escolha da posição das partes abertas das fachadas duplas ventiladas, pela identificação dos pontos que eventualmente necessitam de ajuda mecânica tendo em consideração os aspetos de canalização das massas de ar. No caso de a ventilação se efetuar por meio natural, o principal entrave à eficiência do sistema é o vento, na medida em que pode gerar perturbações nos fluxos ascendentes de ar entre os planos de fachada, podendo dar origem ao aparecimento de remoinhos ou correntes de ar contraditórias (Soares, 2013).

As fachadas duplas transparentes ventiladas podem ser caracterizadas segundo o tipo de ventilação, o tipo de compartimentação da fachada, e pelos modos de funcionamento da ventilação da cavidade intermédia. É um sistema de aplicação discutível no nosso clima devido a ganhos térmicos excessivos no verão (Soares, 2013).

4. Metodologia do caso de estudo

4.1. Introdução

O presente capítulo tem como principal objetivo descrever a metodologia a seguir na aplicação do REH a um edifício, de modo a verificar se é possível um edifício com necessidades de energia relativamente baixas. Irão ser utilizados valores de referência estabelecidos pelo próprio regulamento de forma a concluir se as soluções construtivas promovem um desempenho energético elevado do edifício.

A única forma de obter ganhos energéticos de origem renovável é através dos vãos envidraçados, será feito um estudo relativamente ao impacto destes segundo diversas orientações apresentando qual a melhoria em termos percentuais e realizando uma comparação entre várias soluções. Também será feita uma análise com várias soluções de sombreamento nos vãos envidraçados.

A figura 4.1 descreve os passos a percorrer na metodologia adotada para a análise e comparação das várias soluções passivas. Passa por um diagnóstico energético com intuito de contribuir para uma redução do consumo energético do interior do edifício. No processo de estudo deste caso recorrer-se-á a ferramentas informáticas de apoio ao cálculo. A ferramenta utilizada para análise e comparação das várias soluções passivas a adotar é as folhas de cálculo do ITeCons.

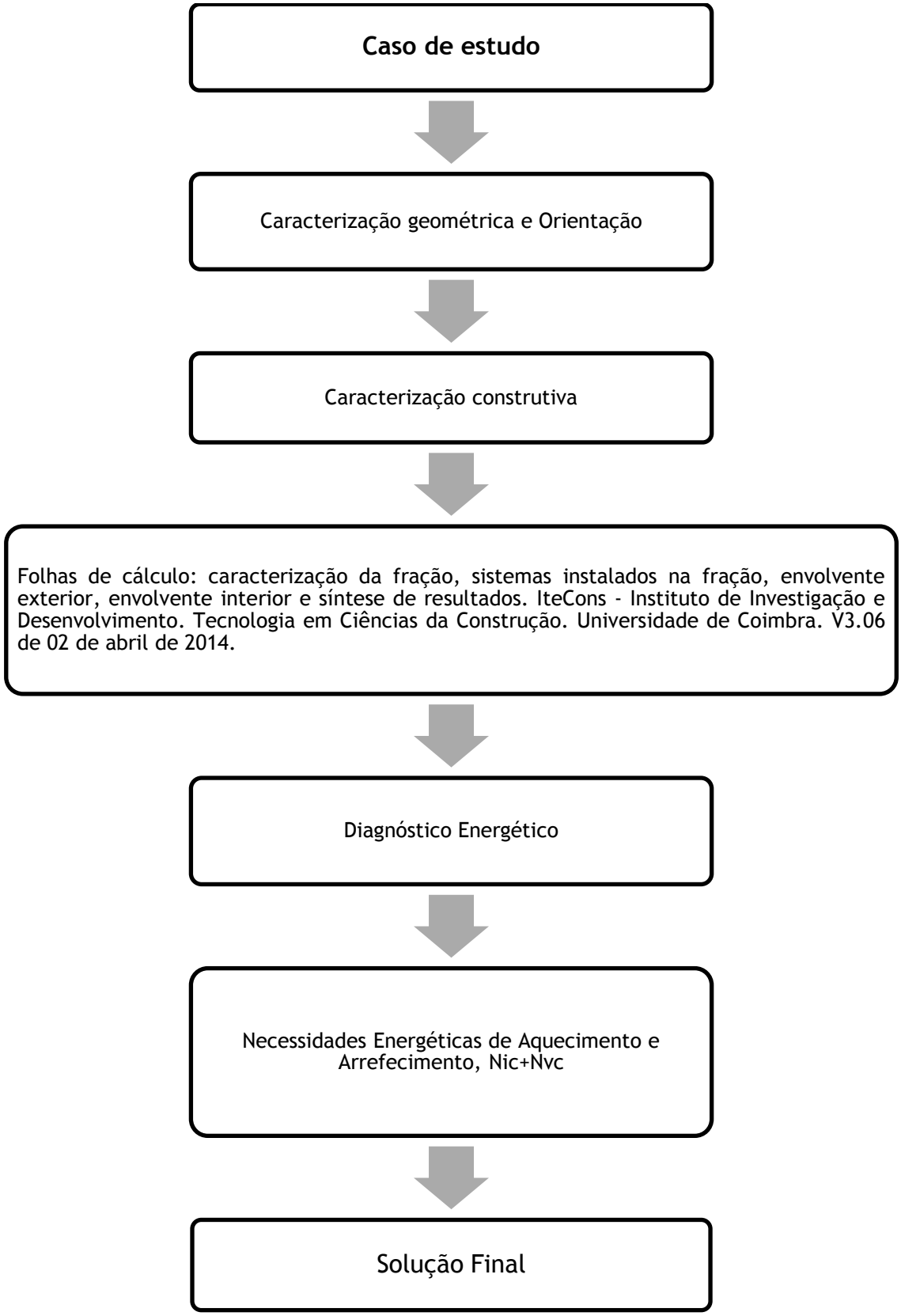

Figura 4.1. Metodologia do caso de estudo

4.2. Descrição do caso de estudo

Para servir de base ao presente estudo idealizou-se um edifício situado em Portugal Continental, no concelho da Covilhã a uma altitude de 700 m. O edifício é constituído por uma única fração autónoma destinada a habitação, apresentando uma área útil de pavimento de 144 m^2 e um pé-direito médio ponderado de 3,0 m. Segundo os pressupostos do REH o edifício situa-se na Cova da Beira (NUTS III), na zona climática I3-V2.

Por opção, considerou-se um edifício isolado situado na periferia de uma zona urbana, com cobertura plana e sem espaços não úteis, à exceção do desvão sanitário. A Covilhã pertence ao distrito de Castelo Branco, é uma região caraterizada por se situar em zonas graníticas. Um edifício quando construído nessa região tem que ter em conta que deverá ter um desvão sanitário fortemente ventilado, como medida preventiva de redução dos níveis de concentração de radão. Para o desvão sanitário, espaço fortemente ventilado, o coeficiente de redução de perdas b_{tr} deverá tomar o valor de 1,0 (Despacho 15793-K-2013).

4.2.1. Caracterização geométrica e orientação

Para se avaliar o efeito do fator de forma idealizaram-se diferentes configurações geométricas para o edifício, mantendo constantes a área útil de pavimento e o pé-direito. As soluções preconizadas são ilustradas da figura 4.2 até à figura 4.7 e são identificadas pelas letras A a F. Estas soluções apresentam diferentes áreas de envolvente exterior e interior, mas mantêm em comum o mesmo volume útil.

Por opção, as soluções construtivas são definidas apenas por superfícies planas sem espessura, às quais serão atribuídas determinadas características térmicas. Não se consideraram quaisquer elementos de compartimentação interior, à exceção da laje de piso intermédia no caso dos edifícios que se desenvolvem em dois pisos. A laje de piso intermédia também não apresenta espessura, mas permite definir o desenvolvimento das pontes térmicas lineares relativas à interseção da fachada com a referida laje.

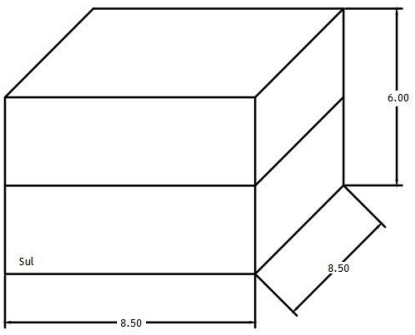

Figura 4.2. Solução A, paralelipipedo 8,5*8,5*6, 2 pisos

Figura 4.3. Solução B, paralelipipedo 12*6*6, 2 pisos

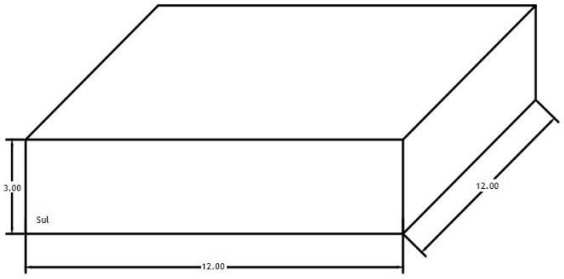

Figura 4.4. Solução C, paralelipipedo 12*12*3, 1 piso

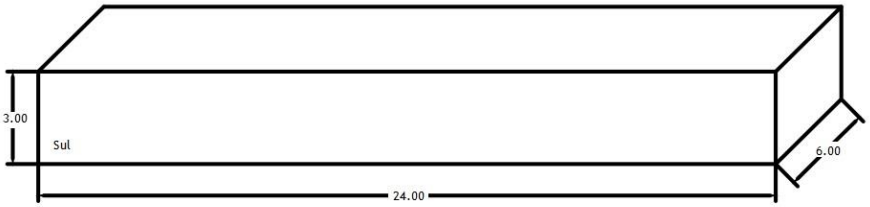

Figura 4.5. Solução D, paralelipípedo 24*6*3, 1 piso

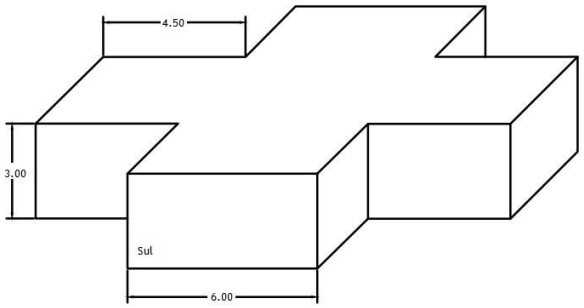

Figura 4.6. Solução E, Cruz, 1 piso

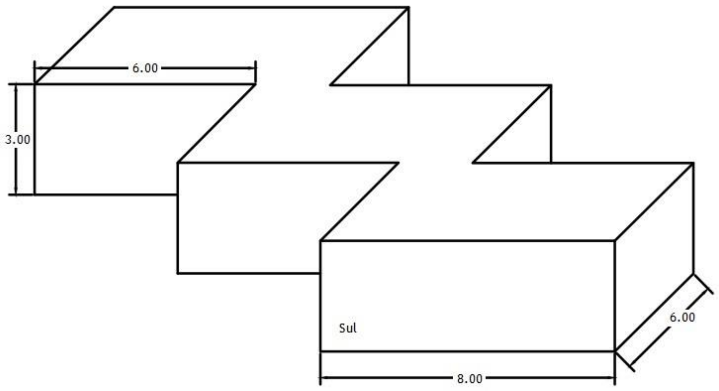

Figura 4.7. Solução F, lagarta, 1 piso

4.2.2. Caracterização construtiva da envolvente

Os parâmetros térmicos relativos às soluções construtivas da envolvente exterior serão a seguir apresentados, dividindo-se pelas paredes exteriores, cobertura exterior e vãos envidraçados exteriores. Serão ainda definidos os parâmetros relativos às pontes térmicas lineares da envolvente exterior. Relativamente à envolvente interior, apenas serão definidos os pavimentos interiores situados sobre o desvão sanitário.

Por opção, entendeu-se adequado que as soluções construtivas da envolvente fossem definidas tendo por base os valores de referência definidos em termos regulamentares para o edifício de referência, nos termos do REH.

4.2.2.1. Paredes exteriores

Todas as paredes exteriores serão dotadas de soluções construtivas com um coeficiente de transmissão térmica igual àquele que é estipulado pelo REH para valor de referência adotado a partir de 31 de dezembro de 2015, uma vez que será nesta data que os valores tomarão um carater mais exigente. Assim, considerando a zona climática, o coeficiente de transmissão térmica superficial das paredes exteriores será de U_{ref}= 0,35 W/(m^2.ºC).

4.2.2.2. Cobertura exterior

Para a cobertura exterior seguiu-se o mesmo princípio adotado para as paredes exteriores. O valor de U para a cobertura irá respeitar os valores de referência propostos pelo REH a partir de 31 de dezembro de 2015, sendo o coeficiente de transmissão térmica superficial de U_{ref}= 0,30 W/(m^2.ºC).

4.2.2.3. Vãos envidraçados exteriores

Os valores de U para os vãos envidraçados serão os valores de referência propostos pelo REH a partir de 31 de dezembro de 2015, sendo o coeficiente de transmissão térmica superficial de U_{ref}= 2,40 W/(m^2.ºC).

Considerou-se ainda que os vãos envidraçados se encontram à face exterior da parede e que serão constituídos por caixilharia metálica com corte térmico, sem quadrícula e com vidro duplo incolor corrente 6+16+5 mm, com fator solar do vidro de $g_{\perp,vi}$= 0,75. Assumiu-se uma proteção solar exterior constituída por estores venezianos orientáveis de cor clara, resultando um valor do fator solar do vão com proteção totalmente ativada de g_{Tvc}= 0,09.

A opção pelo sistema de proteção acima descrito teve em conta a revisão bibliográfica, que apontava este sistema como sendo aquele que melhor conciliava diferentes requisitos. Por exemplo, ao avaliarem diferentes soluções de proteção dos envidraçados, Tirone e Nunes (2008) propõem a utilização de um sistema de estores exteriores orientáveis para o obscurecimento, uma vez que esse sistema contempla aspetos como sejam: a proteção da radiação sem alcançar necessariamente a oclusão noturna, boa ventilação natural (com janela aberta e o sistema fechado), beneficio da vista para o exterior mesmo quando fechado, controlo dos graus de proteção solar e nível de luminosidade através da orientação da lâminas e, desde que se garanta um afastamento do vão, permite ainda controlar os ganhos por radiação difusa.

O sistema descrito por Tirone e Nunes (2008) é composto por lamelas em alumínio com aproximadamente 6 a 10 cm de largura, que deslizam em calhas laterais e que pode ser mecanizado. Um sistema deste tipo é ilustrado na figura 4.8.

Figura 4.8. Vãos envidraçados de vidro duplo, incolor 6+16+5 mm, com proteção exterior de estores venezianos de lamelas fixas metálicas, cor clara

4.2.2.4. Pontes térmicas lineares da envolvente exterior

As pontes térmicas lineares consideradas e os respetivos valores dos coeficientes de transmissão térmica linear são os seguintes:

- A ligação da fachada com a cobertura exterior, presente em todas as configurações geométricas. Esta ponte térmica linear terá o valor de ψ_{ref}= 0,50 W/(m.ºC);
- A ligação da fachada com pavimento sobre espaço não útil, presente em todas as configurações geométricas. Esta ponte térmica linear terá o valor de ψ_{ref}= 0,50 W/(m.ºC);
- A ligação entre duas paredes verticais com ângulo saliente, presente em todas as configurações geométricas. Esta ponte térmica linear terá o valor de ψ_{ref}= 0,40 W/(m.ºC);
- A ligação da fachada com a caixilharia, presente em todas as configurações geométricas. Esta ponte térmica linear terá o valor de ψ_{ref}= 0,20 W/(m.ºC);
- A ligação da fachada com pavimento intermédio, presente apenas nas configurações geométricas de edifícios com dois pisos. Para esta ponte térmica linear, os valores do ψ superior e inferior terão o valor de ψ_{ref}= 0,50 W/(m.ºC);

4.2.2.5. Pavimentos interiores

Todos os pavimentos da envolvente serão pavimentos interiores sobre desvão sanitário, pelas razões descritas no item 4.2. Uma vez que o desvão sanitário terá um b_{tr} de 1, a envolvente interior terá requisitos de exterior. Assim, os valores de U para os pavimentos serão os valores de referência propostos pelo REH a partir de 31 de dezembro de 2015, sendo o coeficiente de transmissão térmica superficial de U_{ref}= 0,30 W/(m^2.ºC).

4.2.3. Efeito dos materiais (inércia térmica)

No âmbito do presente estudo serão estudados os efeitos das diferentes classes de inércia térmica previstos no REH. No entanto, para a fase inicial do estudo será assumido que o edifício apresenta inércia fraca.

4.2.4. Efeito da cor

O REH define três tipos de cor para os revestimentos:

- Clara: branco, creme, amarelo, laranja, vermelho-claro.
- Média: vermelho-escuro, verde-claro, azul-claro.
- Escura: Castanho, verde-escuro, azul-vivo, azul-escuro.

No âmbito do presente estudo serão estudados os efeitos das diferentes cores dos revestimentos previstos no REH. No entanto, para a fase inicial do estudo será assumido que o edifício apresenta revestimentos de cor escura, quer nas fachadas, quer na cobertura.

4.2.5. Efeito da ventilação

No presente estudo assumiu-se que a ventilação seria do tipo natural, sem sistemas de ventilação mecânica em funcionamento contínuo. Neste contexto, o REH fixa uma taxa mínima de renovação do ar de 0,4 renovações por hora para garantia da qualidade do ar interior.

Os parâmetros para efeito do balanço energético nas estações de aquecimento e arrefecimento assumidos no presente estudo são os seguintes:

Renovações por hora:

- Estação de aquecimento: $R_{ph,i}$= 0,40 h^{-1}
- Estação de arrefecimento: $R_{ph,v}$= 0,60 h^{-1}

4.2.6. Área e orientação dos vãos envidraçados

O Regulamento Geral das edificações Urbanas (RGEU, 2008) impõe que os compartimentos das habitações deverão ser iluminados por um ou mais vãos praticados nas paredes, em comunicação direta com o exterior e cuja área total não será inferior a um décimo da área do compartimento com o mínimo de 1,08 m^2 medidos no tosco.

Na análise efetuada no presente estudo assumiu-se uma área de vãos envidraçados da ordem de 20% da área de pavimento, totalizando 28,8 m^2. Serão definidas diferentes distribuições dessa área em função da orientação das fachadas, garantindo sempre um mínimo de 15% em cada orientação. Com este estudo pretende-se avaliar a melhor percentagem de distribuição da área dos vãos envidraçados por orientação (fachada). Estudos semelhantes foram apresentados por Pessenlehner e Mahdavi (2003), considerando diferentes percentagens de distribuição dos vãos envidraçados por orientação (tabela 4.1).

Tabela 4.1. Percentagem de envidraçados por fachada (Pessenlehner e Mahdavi, 2003)

Variação	Percentagem de envidraçados por fachada, %			
	Norte	Este	Sul	Oeste
Uniforme	25	25	25	25
Norte	55	15	15	15
Este	15	55	15	15
Sul	15	15	55	15
Oeste	15	15	15	55

4.2.7. Efeito das palas nos vãos envidraçados

O uso de proteções solares nos vãos é um recurso importante para reduzir os ganhos térmicos.

Nos climas quentes, a orientação mais problemática é a nascente/poente, pois o sol encontra-se mais baixo e por isso a radiação é mais direta, optando-se por vezes pela redução da área destes vãos. As palas de sombreamento têm como objetivo responder às múltiplas exigências estéticas e de conforto térmico nos mais variados tipos de edifícios.

Quando as fachadas com amplos vãos envidraçados necessitam de proteção solar adicional, as palas de sombreamento são a solução que, aliada com o movimento natural do sol, permite obter o maior conforto no interior do edifício, equilibrando a quantidade de luz natural e os ganhos térmicos tanto no verão como o inverno.

No presente estudo é avaliado o efeito das palas, assumindo apenas a existência de palas nos vãos orientados a sul. Serão considerados os efeitos de palas horizontais com ângulos de 10, 15, 20, 25 e 30º e o efeito de palas verticais (à esquerda e à direita) com ângulos de 10, 15 e 20º. No entanto, para a fase inicial do estudo não serão assumidas quaisquer palas.

5. Apresentação e discussão dos resultados

5.1. Introdução

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os resultados do estudo realizado, tendo por base a metodologia descrita no capítulo anterior. Serão analisados os resultados relativos à variação do fator de forma, orientação do edifício, área e orientação dos vãos envidraçados, sombreamento dos vãos, inércia térmica interior e cor do revestimento exterior. No final define-se a sequência de estratégias passivas seguidas na obtenção do edifício com a melhor solução de desempenho energético, nomeadamente quanto às necessidades nominais de energia útil para aquecimento e arrefecimento.

5.2. Fator de forma e orientação

Para as soluções de configuração geométrica apresentadas no capítulo 4, partindo de uma inércia fraca e cor escura do edifício (fachadas e cobertura), correspondentes a diferentes fatores de forma e assumindo uma determinada orientação, foram quantificadas as necessidades nominais de energia útil de aquecimento (Nic) e de arrefecimento (Nvc). De forma a avaliar o comportamento global do edifício nas duas estações é ainda apresentado o somatório dos valores de Nic e de Nvc. Os resultados obtidos são ilustrados na tabela 5.1. A figura 5.1 ilustra a variação do fator de forma para as diferentes soluções geométricas.

Tabela 5.1. Variação do fator forma para diferentes soluções geométricas

Soluções	A	B	C	D	E	F
FF (S/V)	0,80	0,83	1,00	1,08	1,08	1,19
Nic	57,20	59,60	61,90	69,70	72,80	81,40
Nvc	8,80	8,60	9,90	9,50	9,80	10,10
Nic+Nvc	66,00	68,20	71,80	79,20	82,60	91,50

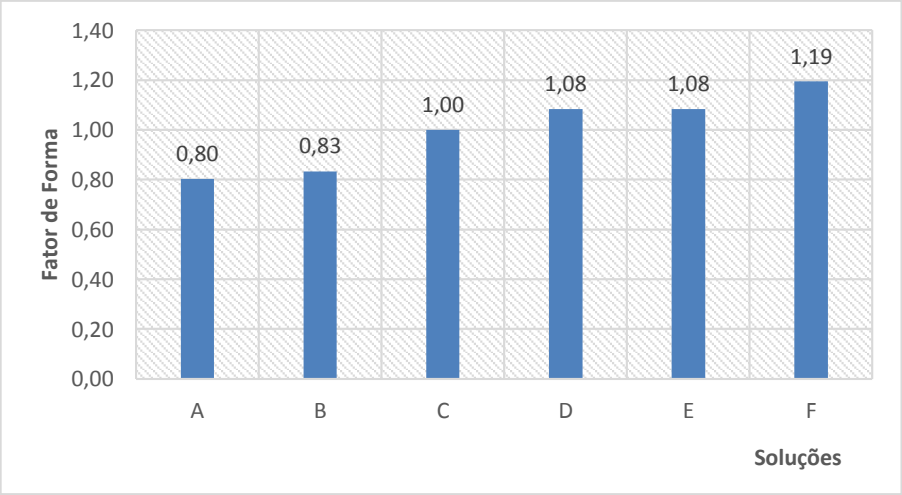

Figura 5.1. Variação do fator forma para diferentes soluções geométricas

Da análise da tabela 5.1 observa-se que à medida que o fator de forma aumenta as necessidades energéticas também aumentam, dado que ocorre um aumento da superfície exposta. Comparando os diferentes fatores forma, as necessidades energéticas menores são as soluções A e B (fatores de forma entre 0,80 e 1,00), como se pode verificar na figura 5.2.

Como a solução B é um edifício de planta retangular, com o maior eixo disposto segundo a orientação este-oeste, a maior fachada é voltada para sul, apresentando uma melhor solução no verão com um valor de Nvc de 8,60 KWh/(m^2.ano), conforme se observa na tabela 5.1.

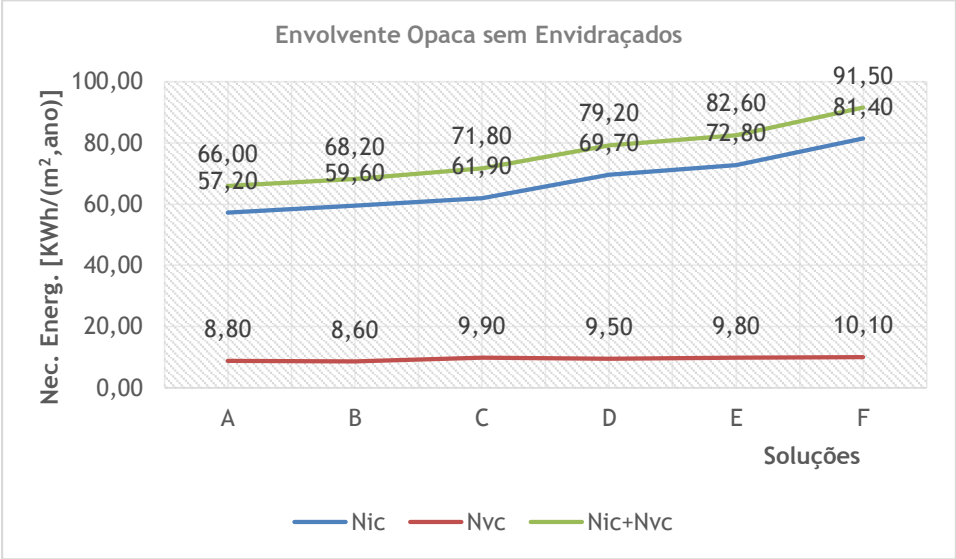

Figura 5.2. Necessidades energéticas das diferentes soluções com o mesmo volume

5.3. Vãos envidraçados

De acordo com a metodologia descrita no capítulo 4, partiu-se de uma área de vãos envidraçados que na sua totalidade perfazia 28,8 m^2, correspondendo a 20% da área útil do edifício. Por outro lado, adotou-se como ponto de partida a solução B estudada no item anterior. Foi avaliada a influência da distribuição dos vãos envidraçados pelas diferentes fachadas do edifício (com diferentes orientações), tomando como referência a percentagem orientada a sul. Nesta medida, a tabela 5.2 apresenta na primeira coluna a percentagem da área total de envidraçados orientados a sul, sendo que a restante se repartiu equitativamente pelas restantes orientações. Os resultados obtidos são apresentados graficamente na figura 5.3.

Da análise da tabela 5.2 e da figura 5.3, verifica-se que as necessidades energéticas vão diminuindo à medida que aumenta a percentagem de envidraçados a sul. Este decréscimo ocorre tanto na estação de aquecimento como na estação de arrefecimento. Na estação de aquecimento ocorre sobretudo pelo aumento dos ganhos solares devido à maior radiação incidente na fachada a sul. Na estação de arrefecimento ocorre porque os vãos são dotados de um sistema de proteção exterior eficaz e o REH considera maior encerramento da proteção na fachada sul (F_{mv}=0,6) em comparação

com a fachada norte (F_{mv}=0). Não obstante, de acordo com o RGEU, é necessário atender a requisitos mínimos de área de envidraçados nas paredes exteriores dos compartimentos dos edifícios (quartos, salas, escritórios, cozinhas, etc.). Nesta medida, entendeu-se que se deveria garantir pelo menos 15% da área de envidraçados para cada uma das restantes três fachadas não orientadas a sul. Desse facto resultou a adoção de uma percentagem de 55% da área dos envidraçados orientados a sul. Neste estudo avaliou-se também o que ocorreria se essa mesma percentagem fosse atribuída a cada uma das restantes fachadas não orientadas a sul. Esses resultados são apresentados na tabela 5.3 e representados graficamente na figura 5.4.

Da análise da tabela 5.3 e da figura 5.4, observou-se que o menor valor das necessidades energéticas (Nic + Nvc) é de 63,1 KWh/(m^2.ano), correspondendo à solução B, conjugada com uma percentagem de 55% da área de envidraçados dispostos na fachada voltada para sul e os restantes 45% da área de envidraçados repartida uniformemente pelas restantes três fachadas.

Tabela 5.2. Necessidades energéticas (solução B) com diferentes percentagens de envidraçados a sul

Solução B			
% Env na fachada Sul	**Nic**	**Nvc**	**Nic+Nvc**
0	50,71	31,84	82,55
5	49,43	31,15	80,58
10	48,19	30,46	78,65
15	46,99	29,78	76,77
20	45,83	29,10	74,93
25	44,72	28,42	73,14
30	43,63	27,74	71,37
35	42,59	27,07	69,66
40	41,57	26,40	67,97
45	40,59	25,73	66,32
50	39,64	25,06	64,70
55	38,72	24,40	63,10
60	37,83	23,74	61,57
65	36,97	23,08	60,05
70	36,14	22,43	58,57
75	35,33	21,78	57,11
80	34,55	21,13	55,68
85	33,79	20,49	54,28
90	33,06	19,85	52,91
95	32,34	19,22	51,56
100	31,65	18,59	50,24

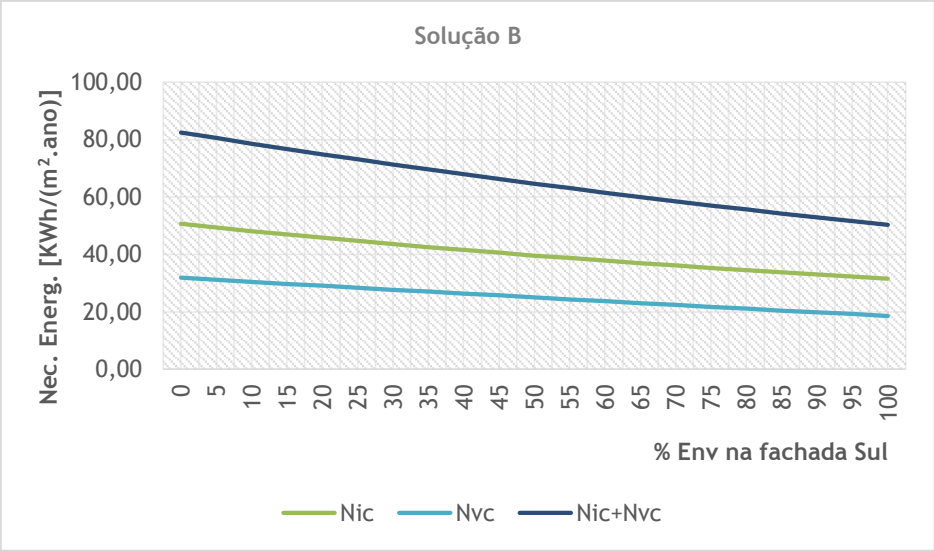

Figura 5.3. Necessidades energéticas (solução B) com diferentes percentagens de envidraçados a sul

Tabela 5.3. Envolvente opaca com envidraçados, da solução B

	Solução B	
55% Norte	Nic	50,6
	Nvc	25,4
	Nic+Nvc	76,0
55% Sul	Nic	38,7
	Nvc	24,4
	Nic+Nvc	63,1
55% Este	Nic	45,3
	Nvc	26,0
	Nic+Nvc	71,3
55% Oeste	Nic	45,3
	Nvc	38,2
	Nic+Nvc	83,5
Uniforme 25 %	Nic	44,7
	Nvc	28,4
	Nic+Nvc	73,1

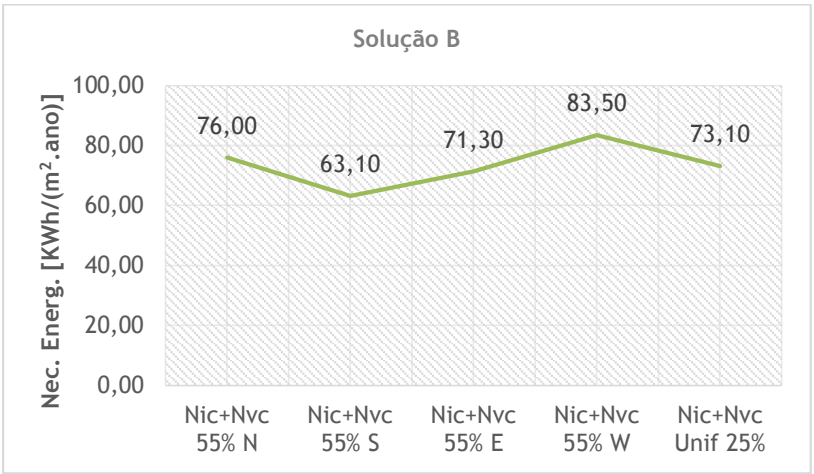

Figura 5.4. Envolvente opaca com envidraçados, da solução B

5.4. Efeito das palas

Neste estudo adotou-se como ponto de partida a solução que resultou do item anterior, ou seja, a configuração geométrica B com 55% da área de envidraçados (15,84 m^2) orientada na fachada sul e a restante área (12,96 m^2) distribuída uniformemente pelas restantes orientações.

O estudo do efeito proporcionado pelas palas contemplou várias fases. Na primeira fase analisou-se a influência das palas horizontais colocadas sobre os vãos envidraçados da fachada voltada a sul, utilizando a metodologia descrita no REH e assumindo diferentes ângulos (α) da pala horizontal, variando entre 10º e 30º, em múltiplos de 5º. Os resultados obtidos são apresentados na tabela 5.4. e representados graficamente na figura 5.5.

Tabela 5.4. Influência da pala horizontal com diferentes α na fachada sul, da solução B

Solução B					
Envidraçados a sul 55% de 28,8 m^2					
	α=10º	α=15º	α=20º	α=25º	α=30º
Nic	40,44	41,34	42,27	43,22	44,21
Nvc	23,42	22,94	22,46	21,98	21,50
Nic+Nvc	63,86	64,28	64,73	65,20	65,71

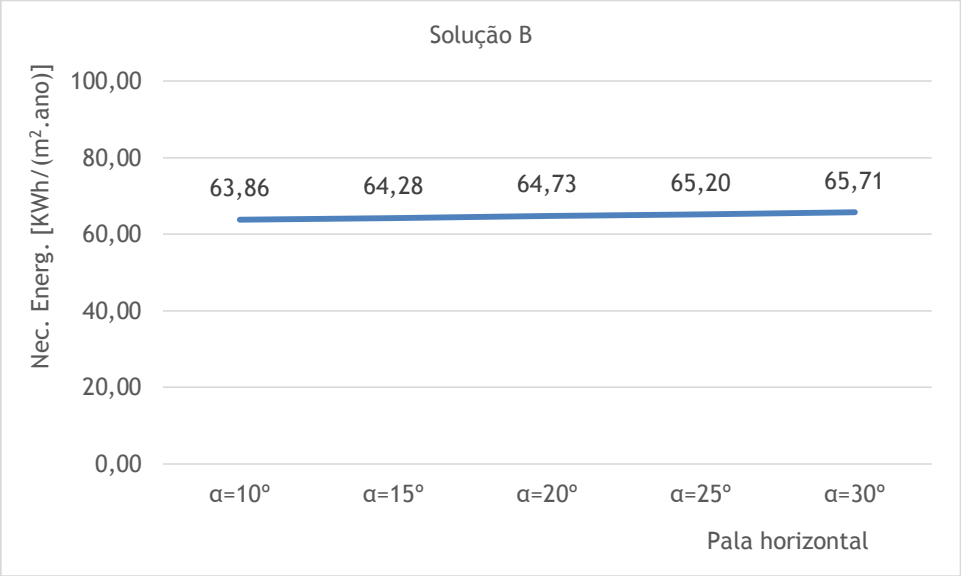

Figura 5.5. Influência da pala horizontal com diferentes α na fachada sul, na Solução B

Verificou-se que o ângulo α=10º proporcionou o menor valor das necessidades energéticas da ordem de 63,9 kWh/(m^2.ano), não apresentando ainda assim qualquer melhoria nas necessidades em relação ao valor inicial obtido na tabela 5.3 que era de 63,1 kWh/(m^2.ano). Este resultado, aparentemente contraditório face ao senso comum, pode ser justificado pelo facto da solução inicial partir de vãos envidraçados com sistemas de proteção muito eficazes, com fator solar de

0,09 com o sistema 100% ativo e ainda pelo facto do REH assumir que os sistemas móveis de proteção solar estão encerrados em 60% do tempo na orientação sul durante a estação de arrefecimento.

De facto, na estação de aquecimento, quando o sistema móvel é considerado totalmente aberto para maximizar os ganhos solares, verificou-se que o valor de Nic aumentou ligeiramente à medida que o ângulo da pala aumentou, isto porque a pala provoca sombreamento no vão e reduz os ganhos solares. Na estação de arrefecimento, quando o sistema móvel está encerrado a 60%, verificou-se uma ligeira redução do Nvc com o aumento do ângulo da pala, mas ainda assim insuficiente para compensar em termos globais (Nic+Nvc) a redução ocorrida na estação de aquecimento.

O dimensionamento das palas deve ser efetuado de modo a não impedir os ganhos solares no inverno e a proporcionar uma proteção eficaz da radiação direta no verão. Uma vez que a solução analisada já possuía uma proteção eficaz da radiação solar, o efeito da pala acabou por traduzir-se numa redução muito ligeira da radiação no verão e à medida que se aumentou o ângulo da pala incrementou-se o sombreamento no inverno, produzindo o efeito indesejado.

Conclui-se deste estudo que as palas poderão ter maior vantagem nos vãos envidraçados em que os sistemas de proteção sejam menos eficazes ou que por alguma razão técnica não possam permanecer muito tempo encerrados, como por exemplo nos vãos de acesso a logradouros ou pátios exteriores.

Na segunda fase analisou-se o efeito simultâneo da existência de palas horizontais e verticais (à direita) na fachada sul. Assumiu-se a existência de uma pala horizontal com α=10º e fez-se variar o ângulo da pala vertical à direita $ß_{dir}$, assumindo os valores de 10º, 15º e 20º. Os valores obtidos são apresentados na tabela 5.5. e ilustrados graficamente na figura 5.6.

Tabela 5.5. Influência da pala horizontal com α=10º e pala vertical com diferentes $ß_{dir}$ na fachada sul, da solução B

Solução B			
Envidraçados a sul 55% de 28,8 m² – pala horizontal a sul α=10º			
	$ß_{dir}$=10º	$ß_{dir}$=15º	$ß_{dir}$=20º
Nic	40,86	41,07	41,29
Nvc	23,22	23,11	23,01
Nic+Nvc	64,08	64,18	64,30

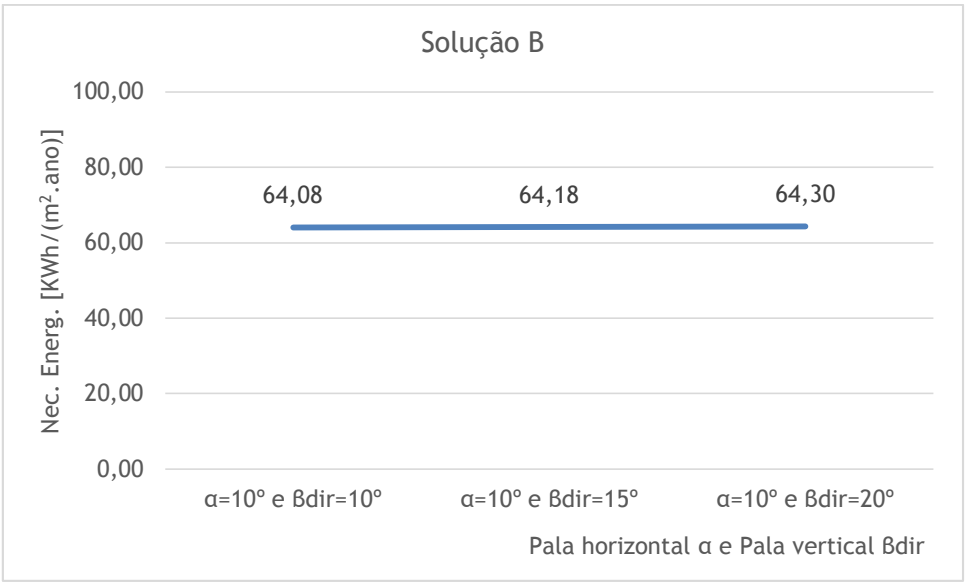

Figura 5.6. Influência da pala horizontal com α=10º e pala vertical com diferentes $ß_{dir}$ na fachada sul, na Solução B

A análise dos resultados permitiu verificar o menor valor das necessidades energéticas [64,08 KWh/(m^2.ano)] foi obtido para ângulo α=10º e $ß_{dir}$= 10º, não apresentando qualquer melhoria nas necessidades energéticas em relação ao valor obtido na tabela 5.3 que era de 63,10 KWh/(m^2.ano), nem em relação ao valor das necessidades energéticas de 63,86 KWh/(m^2.ano) na pala horizontal com ângulo α=10º na fachada sul.

Na terceira e última fase, analisou-se para as necessidades energéticas a influência das palas horizontais α=10º e verticais $ß_{dir}$= 10º, na fachada voltada a sul, com 55% de 28,8 m^2 de área de envidraçados e palas verticais $ß_{dir}$ com diferentes ângulos, na fachada voltada a oeste, com 15% de 28,8 m^2 de área de envidraçados, tabela 5.6. e figura 5.7.

Tabela 5.6. Influência da pala horizontal com α=10º e pala vertical com $ß_{dir}$=10º na fachada sul e pala vertical com diferentes $ß_{dir}$ na fachada oeste, na solução B

Solução B				
Envidraçados a sul 55% de 28,8 m^2 - pala horizontal α=10º e pala vertical βdir= 10º Envidraçados a oeste 15% de 28,8 m^2				
	$ß_{dir}$=10º	$ß_{dir}$=20º	$ß_{dir}$=30º	$ß_{dir}$=40º
Nic	40,86	40,86	40,86	40,86
Nvc	23,12	23,03	22,93	22,93
Nic+Nvc	63,98	63,89	63,79	63,79

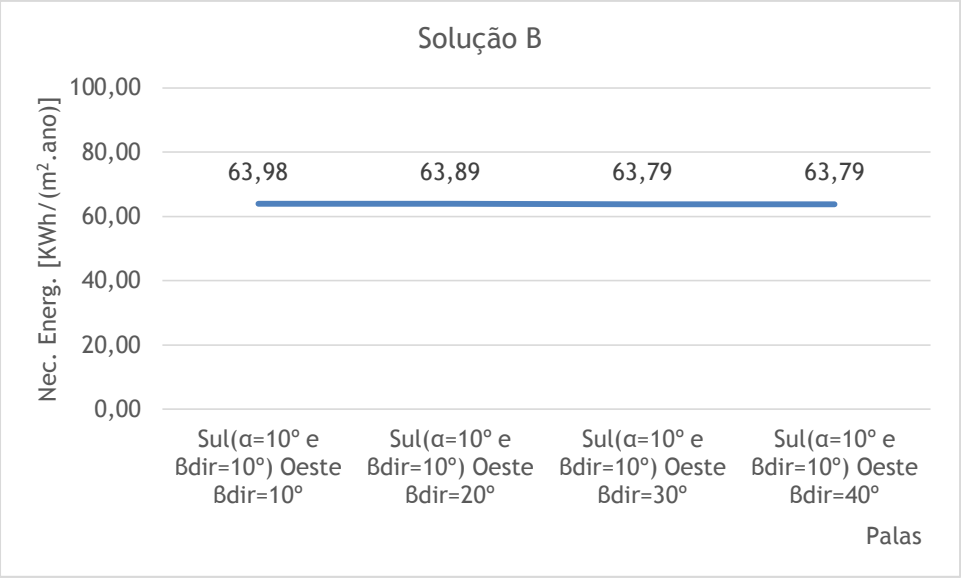

Figura 5.7. Influência da pala horizontal com α=10° e pala vertical com $ß_{dir}$=10° na fachada sul e pala vertical com diferentes $ß_{dir}$ na fachada oeste, na Solução B

Verificando-se a pala horizontal com α=10° e pala vertical com $ß_{dir}$=10° na fachada sul e pala vertical com $ß_{dir}$=30° na fachada oeste o menor valor das necessidades energéticas é de 63,79 kWh/(m^2.ano), não apresentando qualquer melhoria nas necessidades em relação ao valor obtido na tabela 5.3., sendo o valor das necessidades energéticas de 63,10 kWh/(m^2.ano), mas uma melhoria no valor das necessidades energéticas de 63,86 kWh/(m^2.ano) na pala horizontal com ângulo α=10° na fachada sul.

Assim, verifica-se que neste caso como os envidraçados já possuem um sistema de proteção pelo exterior eficaz, a influência da pala não influencia nas necessidades energética, como se pode observar na figura 5.8. Contudo colocam-se as palas para evitar o encadeamento ou sobreaquecimento, se a proteção solar exterior no verão não esteja totalmente fechada e permita visão para o exterior.

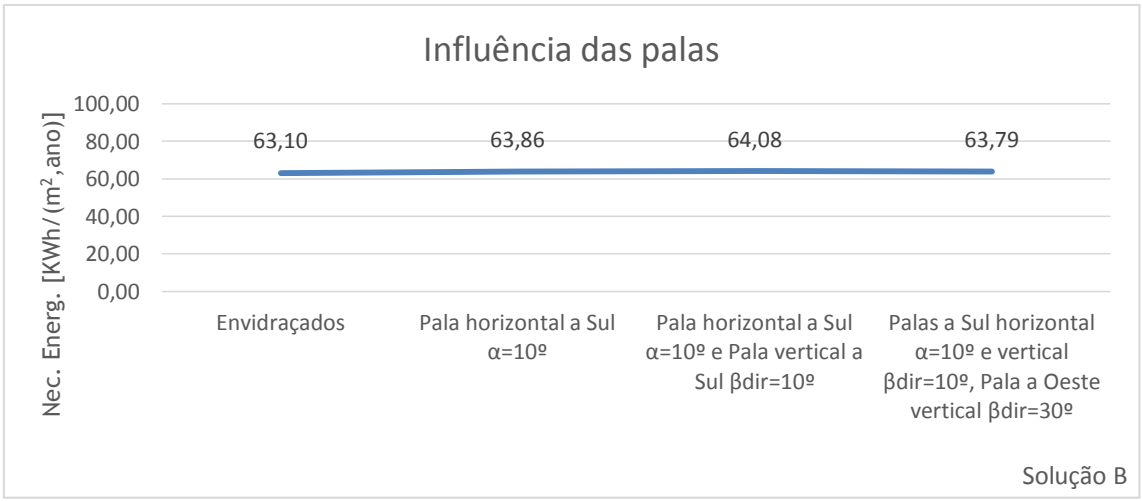

Figura 5.8. Influência das palas, na Solução B

5.5. Efeito da inércia térmica interior

Para a análise do efeito da inércia térmica interior assumiu-se como ponto de partida a solução geométrica B, com 55% da área dos vãos envidraçados no quadrante sul, pala horizontal nos vãos a sul com α=10º, pala vertical $ß_{dir}$=10º nos vãos a sul e pala vertical $ß_{dir}$=30º nos vãos a oeste. Importa ainda referir que todos os cálculos anteriores foram efetuados assumindo uma inércia fraca e revestimentos de cor escura nas fachadas e cobertura.

A tabela 5.7 e a figura 5.9 ilustram os resultados obtidos neste estudo quando se alterou a inércia fraca para inércia média e forte.

Tabela 5.7. Influência da inércia do edifício

Solução B			
Envidraçados a sul 55% de 28,8 m² - pala horizontal α=10º e pala vertical ßdir= 10º Envidraçados a oeste 15% de 28,8 m² - pala vertical ßdir= 30º			
	Inércia Fraca	Inércia Média	Inércia Forte
Nic	40,86	33,63	25,98
Nvc	22,93	20,85	19,01
Nic+Nvc	63,79	54,48	44,99

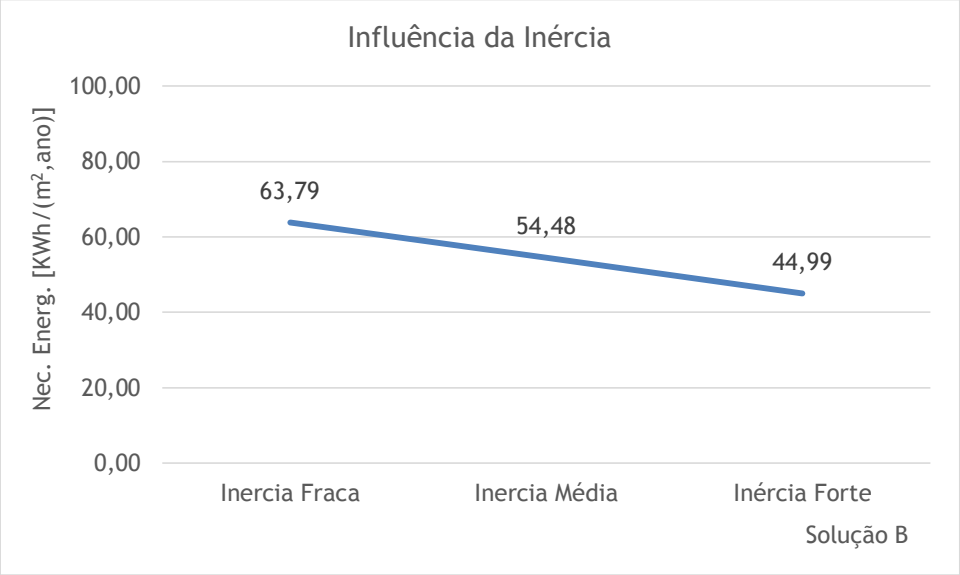

Figura 5.9. Influência da inércia

Melhorando a inércia do edifício, isto é, passando de inércia fraca para inércia forte, denota-se uma descida significativa das necessidades energéticas, como se pode verificar na figura 5.9, obtendo assim uma melhor solução com baixas necessidades de energia, Nic + Nvc = 44,99 KWh/(m².ano).

5.6. Efeito da cor

Para a análise do efeito da cor assumiu-se como ponto de partida a solução estudada no item anterior (item 5.5) para a inércia forte e cor escura. Pretendeu-se, portanto, analisar o efeito da mudança de uma cor escura para uma cor média ou clara dos revestimentos exteriores das fachadas e da cobertura. Esse estudo é ilustrado na tabela 5.8 e na figura 5.10.

Tabela 5.8. Influência da cor do edifício (fachadas e cobertura)

Solução B			
Envidraçados a sul 55% de 28,8 m^2 - pala horizontal α=10º e pala vertical ßdir= 10º Envidraçados a oeste 15% de 28,8 m^2 - pala vertical ßdir= 30º			
	Cor Escura	Cor Média	Cor Clara
Nic	25,98	25,98	25,98
Nvc	19,01	15,82	14,78
Nic+Nvc	44,99	41,80	40,76

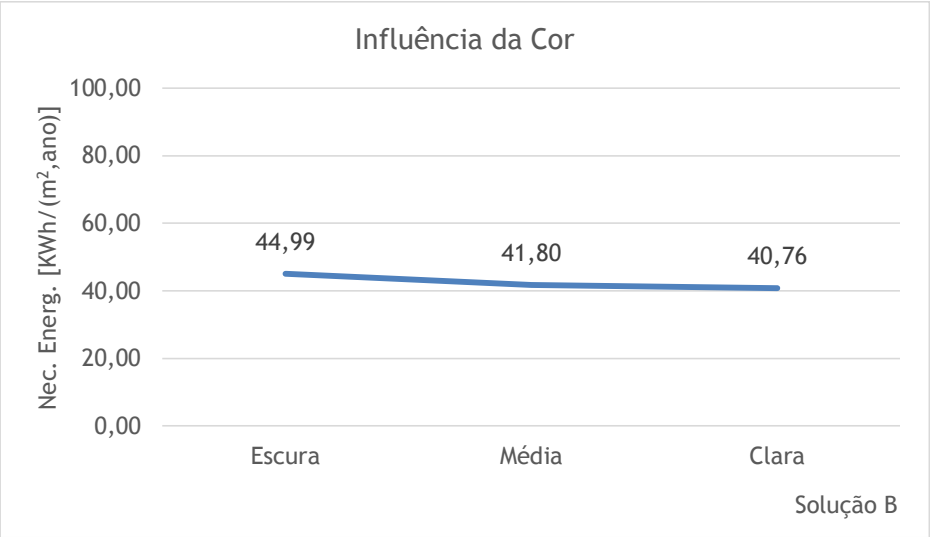

Figura 5.10. Influência da cor do edifício (fachadas e cobertura)

Ao mudar de cor escura para cor clara, com inércia forte, denota-se uma descida ainda mais significativa das necessidades energéticas, como se pode verificar na figura 5.10, obtendo assim uma melhor solução com baixas necessidades de energia Nic+Nvc = 40,76 KWh/(m^2.ano). De acordo com o REH o coeficiente de absorção da radiação solar para uma cor escura é de 0,8, sendo de 0,5 para a cor média e de 0,4 para a cor clara. Estes valores justificam que a maior redução tenha ocorrido da transição de cor escura para cor média, sendo que a redução subsequente de cor média para clara foi mais atenuada. O efeito da cor só se refletiu nos valores de Nvc (estação de arrefecimento), uma vez que o REH não contabiliza os ganhos por radiação nas fachadas opacas e na cobertura durante a estação de aquecimento.

5.7. Influência relativa do fator de forma

A tabela 5.9 pretende comparar as duas soluções iniciais, colocadas em extremos opostos do fator de forma (soluções B e F), quando a essas soluções são aplicadas as estratégias adequadas em termos de orientação do edifício, área e orientação dos vãos envidraçados, sombreamento dos vãos, inércia térmica interior e cor do revestimento exterior.

Tabela 5.9. Influência relativa dos Fatores de Forma

Soluções				B	F
Superfície (S)				360,00	516,00
Volume (V)				432,00	432,00
FF (S/V)				0,83	1,19
Horizontal Cob.				72,00	144,00
Horizontal Pav.				72,00	144,00
Pav. sobre desvão sanitário				72,00	144,00
Envolvente Opaca	Inércia Fraca Cor Escura		Fachada a NORTE	72,00	60,00
			Fachada a SUL	72,00	60,00
			Fachada a ESTE	36,00	54,00
			Fachada a OESTE	36,00	54,00
			Nic	59,60	81,40
			Nvc	8,60	10,10
			Nic+Nvc	68,20	91,50
Envidraçados	Inércia Fraca Cor Escura		Fachada a NORTE	67,68	55,68
			Envidraçados a Norte 15%	4,32	4,32
			Fachada a SUL	56,16	44,16
			Envidraçados a Sul 55%	15,84	15,84
			Fachada a ESTE	31,68	49,68
			Envidraçados a Este 15%	4,32	4,32
			Fachada a OESTE	31,68	49,68
			Envidraçados a Oeste 15%	4,32	4,32
			Nic	38,70	54,50
			Nvc	24,40	20,60
			Nic+Nvc	63,10	75,10
Palas	Inércia Fraca Cor Escura	Envidraçados a Sul 55%, Pala horizontal a Sul α=10°	Nic	40,44	56,51
			Nvc	23,42	19,72
			Nic+Nvc	63,86	76,23
		Envidraçados a Sul 55%, Pala horizontal a Sul α=10° e Pala vertical a Sul ßdir=10°	Nic	40,86	57,01
			Nvc	23,22	19,53
			Nic+Nvc	64,08	76,54
		Envidraçados a Sul 55%, Pala horizontal a Sul α=10° e Pala vertical a Sul ßdir=10°, Envidraçados a Oeste 15%, Pala vertical a Oeste ßdir=30°	Nic	40,86	57,47
			Nvc	22,93	19,40
			Nic+Nvc	63,79	76,87
	Inércia Fraca Cor Clara		Nic	40,86	57,47
			Nvc	18,95	13,98
			Nic+Nvc	59,81	71,45
	Inércia Forte Cor Escura		Nic	25,98	41,78
			Nvc	19,01	14,13
			Nic+Nvc	44,99	55,91
	Inércia Forte Cor Clara		Nic	25,98	41,78
			Nvc	14,78	8,70
			Nic+Nvc	40,76	50,48

Da análise dos resultados da tabela 5.9 observa-se que o peso relativo do fator de forma entre as soluções B e F é de aproximadamente 0,7 (0,83/1,19=0,697) e que o peso relativo das necessidades energéticas é de aproximadamente 0,8 (40,76/50,48=0,807). Estes valores podem indiciar que o peso relativo do fator de forma é significativo.

5.8. Proposta de estratégias passivas

Para alcançar um melhor desempenho energético em termos de climatização torna-se vantajoso estudar soluções que promovam a redução das necessidades energéticas de arrefecimento e/ou de aquecimento.

De acordo com os valores apresentados na tabela 5.9, analisando o fator de forma com a envolvente opaca das duas soluções, a solução F apresenta um FF de 1,19 e um valor das necessidades energéticas (Nic+Nvc) de 91,50 kWh/(m^2.ano), enquanto a solução B apresenta um FF de 0,83 e um valor das necessidades energéticas (Nic+Nvc) de 68,20 kWh/(m^2.ano). Como a solução B apresenta um FF mais adequado, poupa-se 25,46% de energia útil para aquecimento e arrefecimento.

Partindo agora dos valores apresentados na solução B. O FF conjugado com a envolvente opaca e 100% da área de envidraçados 28,8 m^2 na fachada voltada a sul, o valor de necessidades energéticas Nic+Nvc = 50,24 KWh/(m^2.ano), tabela 5.2. Consegue-se poupar ainda mais 19,63% das necessidades energéticas. Mas, para termos envidraçados em todas as fachadas, o valor de necessidades energéticas Nic+Nvc = 63,10 KWh/(m^2.ano), foi mais baixo com 55% da área de envidraçados 28,8 m^2 na fachada voltada a sul, e 15% em cada restantes três fachadas. Assim, consegue-se uma poupança de 25,46%+5,58% = 31,04% com a área de envidraçados e sua orientação corretas.

Na análise das palas não se observa redução das necessidades energéticas, pelo fato de se ter optado por uma proteção solar exterior muito eficaz.

Além das características conferidas pela solução anterior, neste caso há também uma contribuição para o efeito de inércia térmica. Este fenómeno permite reduzir ainda mais as necessidades de aquecimento. Alterando a inércia dos materiais, nota-se que com inércia forte, o valor de necessidades energéticas reduz-se, Nic+Nvc = 44,99 KWh/(m^2.ano). Consegue-se uma poupança de 20,55%+ 31,04% = 51,59% das necessidades energéticas.

E, alterando a cor do edifício (fachadas e cobertura), de escura para clara, o valor de necessidades energéticas reduz novamente, Nic+Nvc = 40,76 KWh/(m^2.ano). Consegue-se uma poupança de 51,59%+4,62% = 56,21% das necessidades energéticas.

A análise deste caso de estudo permitiu estabelecer linhas orientadoras de procedimento no que se refere às propostas de melhoria de eficiência energética com maior potencialidade de aplicação, não sendo, no entanto, possível fazer uma extrapolação completa dos resultados obtidos neste caso para a realidade de toda a construção de edifícios, só com a arquitetura concebendo um edifício constituído por sistemas solares passivos sem meios ativos.

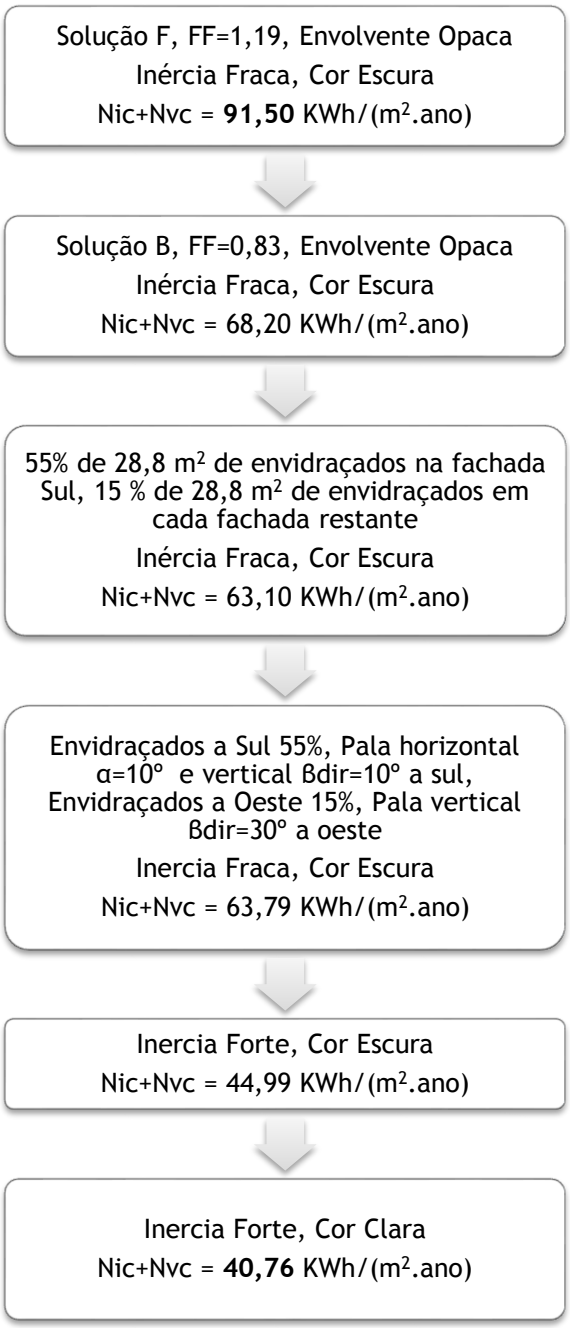

Figura 5.11. Sequência das estratégias passivas adotadas para a redução das necessidades energéticas

6. Conclusões e propostas para trabalhos futuros

6.1. Conclusões

A presente dissertação teve como foco o estudo de algumas estratégias passivas visando a melhoria do desempenho energético de um edifício. Estas medidas foram essencialmente centradas na diminuição do valor das necessidades energéticas de aquecimento e de arrefecimento em novos edifícios no âmbito do REH. Este tema está na ordem do dia, nomeadamente entre todos os intervenientes no processo de conceção de um projeto de arquitetura, desde a sua fase embrionária até à sua construção e posterior utilização, muito por força da atual conjuntura socioeconómica e das crescentes preocupações ambientais.

Como ponto de partida, foi realizada uma revisão bibliográfica que permitiu aprofundar o conhecimento acerca do estado atual do parque habitacional português, acerca de sistemas solares passivos e sobre questões que contribuem para melhorar o comportamento energético de edifícios. Para atingir o objetivo de avaliar o impacto de diferentes soluções solares passivas na eficiência energética de um edifício foi usado como caso de estudo um edifício novo a construir na Covilhã a 700 m de altitude. A partir dos resultados obtidos conclui-se o seguinte:

- Do ponto de vista da configuração geométrica dos edifícios, quanto menor for o valor do fator forma (FF) melhor será o desempenho energético;
- Em edifícios de planta retangular deve-se orientar o maior eixo do edifício segundo a direção este-oeste, colocando a maior fachada voltada para sul;
- Do ponto de vista da distribuição das áreas dos vãos envidraçados, a melhor solução foi obtida dispondo 55% dessa área na fachada voltada para sul e os restantes 45% repartidos uniformemente pelas restantes fachadas;
- Conclui-se deste estudo que as palas poderão ter maior vantagem nos vãos envidraçados em que os sistemas de proteção sejam menos eficazes ou que por alguma razão técnica não possam permanecer muito tempo encerrados, como por exemplo nos vãos de acesso a logradouros ou pátios exteriores;
- Os edifícios com inércia forte apresentam reduções significativas das necessidades energéticas face a edifícios com inércia fraca ou média;
- Os edifícios de cor clara ou média apresentam menores necessidades energéticas face a edifícios com cor escura.

Conclui-se que os edificios novos a construir com soluções solares passivas poderão ter um grande potencial de poupança energética, podendo contribuir significativamente para o alcance dos objetivos definidos pela União Europeia a fim de contribuir para o desenvolvimento sustentável.

6.2. Proposta para trabalhos futuros

No contexto específico do presente trabalho, sugere-se os seguintes temas:

- Avaliar a influência do tipo de cobertura;
- Avaliar a influência dos ENU;
- Avaliar a colocação de ENU a norte;
- Avaliar efeito da cascata térmica;
- Avaliar soluções de aquecimento e arrefecimento passivo, principalmente as paredes de trombe.

Referências bibliográficas

- **Birol, F. (2009).** The time has come for a world Energy revolution. Disponível online em: http://www.iea.org/journalists/docs/birol_europes_world.pdf
- **Coutinho R.N., (outubro 2014).** Relação entre o regulamento de desempenho energético de edifícios de habitação com o conceito de edifício com necessidades quase nulas de energia. Instituto Superior de Engenharia do Porto.
- **Decreto-Lei nº 118/2013 (20 de agosto)**. REH. Diário da República, 1.ª série.
- **Decreto-Lei nº 80/2006**. RCCTE. Diário da República – 1.ª série - A, Nº67 – 4 de Abril de 2006.
- **Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013.** (2013). Diário da República, 2.ª série – N.º 234 – 3 de dezembro de 2013, 35088-(26-31).
- **Despacho 15793-E-2013** (2013). Diário da República, 2.ª série, 3 de dezembro de 2013.
- **Despacho 15793-J-2013** (2013). Diário da República, 2.ª série, 3 de dezembro de 2013.
- **Despacho 15793-K-2013** (2013). Diário da República, 2.ª série, 3 de dezembro de 2013.
- **DGEG. (2013)**. Energia em Portugal em 2013. Obtido de: http://www.dgeg.pt/
- **Diretiva 2010/31/EU (19 maio 2010)**. Jornal Oficial da União Europeia.
- **Energuia. (maio 2014)**. Guia de Eficiência Energética nos Edifícios. 8.ª Edição. Porto: Engenho e Media Lda.
- **ETP, (2008).** Energy Technology Perspectives 2008. International Energy Agency, Paris.
- **Ganhão, A. (dezembro 2011).** Construção Sustentável – Propostas de melhoria da eficiência energética em edifícios de habitação. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.
- **Gavião, (novembro 2012)**. Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal. Universidade do Minho.
- **Gonçalves H. e Graça J.M., (2004).** Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal. Lisboa: Tipografia Peres.
- **IEA, (2008)**. International Energy Agency, IEA. World Energy Outlook 2008, Paris.
- **INE, P. (2015)**. Base de Dados Portugal Contemporâneo. Obtido de: http://www.pordata.pt/Portugal/Edif%C3%ADcios+segundo+os+Censos+total+e+por+%C3%A9poca+de+constru%C3%A7%C3%A3o-93
- **IPCC, (2007).** Climate Change 2007: Synthesis Report. An Assessment of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Valencia.
- **IteCons (2014).** Folhas de cálculo: caracterização da fração, sistemas instalados na fração, envolvente exterior, envolvente interior e síntese de resultados.

Instituto de Investigação e Desenvolvimento. Tecnologia em Ciências da Construção. Universidade de Coimbra. V3.06 de 02 de abril de 2014.

- **KWE, Statistics (2014)**. Key World Energy Statistics 2014. International Energy Agency, Paris. Obtido em : https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2014.pdf
- **Machado, R. (novembro 2014).** Reabilitação de Edifícios visando a Eficiência Energética. Universidade do Minho.
- **Mendonça, P. (2005).** Habitar sob uma segunda pele: estratégias para a redução do impacto ambiental de construções solares passivas em climas temperados. Universidade do Minho.
- **Moita F. (1987).** Energia Solar Passiva1. DGEG. Imprensa Nacional - Casa da Moeda.
- **Morais L., (2009).** Consumos Energéticos no sector residencial: Um caso de estudo. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real.
- **Morrissey J. et al (2011).** Affordable passive solar design in temperate climate: An experiment in residential building orientation. ELSEVIER – Renewable Energy 36 (2011) 568-577.
- **Nepomuceno, M. C. (2014)**. Desempenho Energético, Parte I – Edifícios de habitação. Covilhã.
- **Oil-Price.Net (16 de Julho de 2015)**. Obtido: http://oil-price.net/index.php?lang=pt
- **Oliveira P., (novembro 2014).** Metodologias para o planeamento urbano solar. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.
- **OMS, (2005).** Climate and health. Fact sheet, World Health Organization.
- **Pereira, J. (junho 2014).** Contributo do Ecotect para o estudo da eficiência energética em edifícios de habitação. Faculdade de Ciências e Tecnologias, Universidade Nova de Lisboa.
- **Pessenlehner W. et Mahdavi A., (2003).** Building Morphology, transparence, and Energy performance. Building Simulation 2003. Eighth International IBPSA Conference. Eindhoven, Netherlands.
- **Pinto R., (novembro 2014).** Reabilitação Energética de um Edifício de Serviços. Convergência para NZEB. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, ISEL.
- **Portaria 349-B/2013,** (29 de novembro de 2013). Diário da República, 1.ª série — N.º 232 — 29 de novembro de 2013.
- **Resolução do Conselho de Ministros n.º 20/2013.** Diário da República, 1.ª série - N.º 70 – 10 de abril de 2013.
- **RGEU, (junho, 2008).** Regulamento Geral das Edificações Urbanas. Porto Editora. Porto.

- **Santos, P. (outubro 2014).** Arquitetura Solar em Cabo Verde. Universidade Jean Piaget de Cabo Verde.
- **Sirgado, J. (2010).** Análise do impacte dos vãos envidraçados no desempenho térmico dos edifícios. Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica de Lisboa.
- **Soares, (junho 2013)**. Estudos de sistemas solares passivos de fachadas. Simulação Numérica do seu comportamento térmico. Universidade do Porto.
- **Thames Consultores, (2008).** O sector construção em Portugal.
- **Tirone, L. e Nunes, K. (2008).** Construção Sustentável. 2ª edição, Edições Tirone Nunes, SA, Sintra.

Anexos

Tabela A.1. Envolvente opaca sem envidraçados, inércia fraca e cor escura

	Soluções	A	B	C	D	E	F
	Superfície (S)	348,50	360,00	432,00	468,00	468,00	516,00
	Volume (V)	433,50	432,00	432,00	432,00	432,00	432,00
	FF (S/V)	0,80	0,83	1,00	1,08	1,08	1,19
	Horizontal Cob.	72,25	72,00	144,00	144,00	144,00	144,00
	Horizontal Pav.	72,25	72,00	144,00	144,00	144,00	144,00
	Pav. sobre desvão sanitário	72,25	72,00	144,00	144,00	144,00	144,00
S1	Fachada a NORTE	51,00	72,00	36,00	72,00	45,00	60,00
	Fachada a SUL	51,00	72,00	36,00	72,00	45,00	60,00
	Fachada a ESTE	51,00	36,00	36,00	18,00	45,00	54,00
	Fachada a OESTE	51,00	36,00	36,00	18,00	45,00	54,00
	Nic	57,20	59,60	61,90	69,70	72,80	81,40
	Nvc	8,80	8,60	9,90	9,50	9,80	10,10
	Nic+Nvc	66,00	68,20	71,80	79,20	82,60	91,50
S2	Fachada a NOROESTE	51,00	72,00	36,00	72,00	45,00	60,00
	Fachada a SUDESTE	51,00	72,00	36,00	72,00	45,00	60,00
	Fachada a NORDESTE	51,00	36,00	36,00	18,00	45,00	54,00
	Fachada a SUDOESTE	51,00	36,00	36,00	18,00	45,00	54,00
	Nic	57,20	59,60	61,90	69,70	72,80	81,40
	Nvc	9,00	9,10	10,10	10,20	10,00	10,40
	Nic+Nvc	66,20	68,70	72,00	79,90	82,80	91,80
S3	Fachada a NORDESTE	51,00	72,00		18,00		54,00
	Fachada a SUDOESTE	51,00	72,00		18,00		54,00
	Fachada a SUDESTE	51,00	36,00		72,00		60,00
	Fachada a NOROESTE	51,00	36,00		72,00		60,00
	Nic	57,20	59,60		69,70		81,40
	Nvc	9,00	9,10		10,60		10,20
	Nic+Nvc	66,20	68,70		80,30		91,60
S4	Fachada a NORTE		36,00		18,00		54,00
	Fachada a SUL		36,00		18,00		54,00
	Fachada a ESTE		72,00		72,00		60,00
	Fachada a OESTE		72,00		72,00		60,00
	Nic		59,60		69,70		81,40
	Nvc		9,20		10,20		10,40
	Nic+Nvc		68,80		79,90		91,80
S5	Fachada a NOROESTE		36,00				
	Fachada a SUDESTE		36,00				
	Fachada a NORDESTE		72,00				
	Fachada a SUDOESTE		72,00				
	Nic		59,60				
	Nvc		9,10				
	Nic+Nvc		68,70				
S6	Fachada a NORDESTE		36,00				
	Fachada a SUDOESTE		36,00				
	Fachada a SUDESTE		72,00				
	Fachada a NOROESTE		72,00				
	Nic		59,60				
	Nvc		9,10				
	Nic+Nvc		68,70				

Tabela A.2. Envolvente opaca com envidraçados, inércia fraca e cor escura

	Soluções	A	B	C	D	E	F
	Superfície (S)	348,50	360,00	432,00	468,00	468,00	516,00
	Volume (V)	433,50	432,00	432,00	432,00	432,00	432,00
	FF (S/V)	0,80	0,83	1,00	1,08	1,08	1,19
	Horizontal Cob.	72,25	72,00	144,00	144,00	144,00	144,00
	Horizontal Pav.	72,25	72,00	144,00	144,00	144,00	144,00
	Pav. sobre desvão sanitário	72,25	72,00	144,00	144,00	144,00	144,00
S1	Fachada a NORTE	51,00	72,00	36,00	72,00	45,00	60,00
	Fachada a SUL	51,00	72,00	36,00	72,00	45,00	60,00
	Fachada a ESTE	51,00	36,00	36,00	18,00	45,00	54,00
	Fachada a OESTE	51,00	36,00	36,00	18,00	45,00	54,00
	Nic	57,20	59,60	61,90	69,70	72,80	81,40
	Nvc	8,80	8,60	9,90	9,50	9,80	10,10
	Nic+Nvc	66,00	68,20	71,80	79,20	82,60	91,50
S11	Fachada a NORTE	35,16	56,16	20,16	56,16	29,16	44,16
	Envidraçados a Norte 55%	15,84	15,84	15,84	15,84	15,84	15,84
	Fachada a SUL	46,68	67,68	31,68	67,68	40,68	55,68
	Envidraçados a Sul 15%	4,32	4,32	4,32	4,32	4,32	4,32
	Fachada a ESTE	46,68	31,68	31,68	13,68	40,68	49,68
	Envidraçados a Este 15%	4,32	4,32	4,32	4,32	4,32	4,32
	Fachada a OESTE	46,68	31,68	31,68	13,68	40,68	49,68
	Envidraçados a Oeste 15%	4,32	4,32	4,32	4,32	4,32	4,32
	Nic	48,40	50,60	53,20	60,70	63,40	68,00
	Nvc	21,30	25,40	22,40	21,70	22,00	21,50
	Nic+Nvc	69,70	76,00	75,60	82,40	85,40	89,50
S12	Fachada a NORTE	46,68	67,68	31,68	67,68	40,68	55,68
	Envidraçados a Norte 15%	4,32	4,32	4,32	4,32	4,32	4,32
	Fachada a SUL	35,16	56,16	20,16	56,16	29,16	44,16
	Envidraçados a Sul 55%	15,84	15,84	15,84	15,84	15,84	15,84
	Fachada a ESTE	46,68	31,68	31,68	13,68	40,68	49,68
	Envidraçados a Este 15%	4,32	4,32	4,32	4,32	4,32	4,32
	Fachada a OESTE	46,68	31,68	31,68	13,68	40,68	49,68
	Envidraçados a Oeste 15%	4,32	4,32	4,32	4,32	4,32	4,32
	Nic	36,90	38,70	41,00	47,50	49,90	54,50
	Nvc	20,40	24,40	21,50	20,80	21,10	20,60
	Nic+Nvc	57,30	63,10	62,50	68,30	71,00	75,10
S13	Fachada a NORTE	46,68	67,68	31,68	67,68	40,68	55,68
	Envidraçados a Norte 15%	4,32	4,32	4,32	4,32	4,32	4,32
	Fachada a SUL	46,68	67,68	31,68	67,68	40,68	55,68
	Envidraçados a Sul 15%	4,32	4,32	4,32	4,32	4,32	4,32
	Fachada a ESTE	35,16	20,16	20,16	2,16	29,16	38,16
	Envidraçados a Este 55%	15,84	15,84	15,84	15,84	15,84	15,84
	Fachada a OESTE	46,68	31,68	31,68	13,68	40,68	49,68
	Envidraçados a Oeste 15%	4,32	4,32	4,32	4,32	4,32	4,32
	Nic	43,30	45,30	47,70	54,90	57,50	54,50
	Nvc	22,00	26,00	23,10	22,40	22,60	20,60
	Nic+Nvc	65,30	71,30	70,80	77,30	80,10	75,10
S14	Fachada a NORTE	46,68	67,68	31,68	67,68	40,68	55,68
	Envidraçados a Norte 15%	4,32	4,32	4,32	4,32	4,32	4,32
	Fachada a SUL	46,68	67,68	31,68	67,68	40,68	55,68
	Envidraçados a Sul 15%	4,32	4,32	4,32	4,32	4,32	4,32
	Fachada a ESTE	46,68	31,68	31,68	13,68	40,68	49,68
	Envidraçados a Este 15%	4,32	4,32	4,32	4,32	4,32	4,32
	Fachada a OESTE	35,16	20,16	20,16	2,16	29,16	38,16
	Envidraçados a Oeste 55%	15,84	15,84	15,84	15,84	15,84	15,84
	Nic	43,30	45,30	47,80	54,90	57,50	62,20
	Nvc	22,00	38,20	23,10	22,40	22,60	22,10
	Nic+Nvc	65,30	83,50	70,90	77,30	80,10	84,30
S15	Fachada a NORTE	43,80	64,80	28,80	64,80	37,80	52,80
	Envidraçados a Norte 25%	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20
	Fachada a SUL	43,80	64,80	28,80	64,80	37,80	52,80
	Envidraçados a Sul 25%	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20
	Fachada a ESTE	43,80	28,80	28,80	10,80	37,80	46,80
	Envidraçados a Este 25%	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20
	Fachada a OESTE	43,80	28,80	28,80	10,80	37,80	46,80
	Envidraçados a Oeste 25%	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20
	Nic	42,70	44,70	47,20	54,20	56,80	59,40
	Nvc	21,40	28,40	22,50	21,80	22,10	21,20
	Nic+Nvc	64,10	73,10	69,70	76,00	78,90	80,60

Tabela A.3. Envolvente opaca com envidraçados e pala horizontal nos envidraçados a sul, inércia fraca e cor escura

	Soluções	A	B	C	D	E	F
	Superfície (S)	348,50	360,00	432,00	468,00	468,00	516,00
	Volume (V)	433,50	432,00	432,00	432,00	432,00	432,00
	FF (S/V)	0,80	0,83	1,00	1,08	1,08	1,19
	Horizontal Cob.	72,25	72,00	144,00	144,00	144,00	144,00
	Horizontal Pav.	72,25	72,00	144,00	144,00	144,00	144,00
	Pav. sobre desvão sanitário	72,25	72,00	144,00	144,00	144,00	144,00
S1	Fachada a NORTE	51,00	72,00	36,00	72,00	45,00	60,00
	Fachada a SUL	51,00	72,00	36,00	72,00	45,00	60,00
	Fachada a ESTE	51,00	36,00	36,00	18,00	45,00	54,00
	Fachada a OESTE	51,00	36,00	36,00	18,00	45,00	54,00
	Nic	57,20	59,60	61,90	69,70	72,80	81,40
	Nvc	8,80	8,60	9,90	9,50	9,80	10,10
	Nic+Nvc	66,00	68,20	71,80	79,20	82,60	91,50
S12	Fachada a NORTE	46,68	67,68	31,68	67,68	40,68	55,68
	Envidraçados a Norte 15%	4,32	4,32	4,32	4,32	4,32	4,32
	Fachada a SUL	35,16	56,16	20,16	56,16	29,16	44,16
	Envidraçados a Sul 55%	15,84	15,84	15,84	15,84	15,84	15,84
	Fachada a ESTE	46,68	31,68	31,68	13,68	40,68	49,68
	Envidraçados a Este 15%	4,32	4,32	4,32	4,32	4,32	4,32
	Fachada a OESTE	46,68	31,68	31,68	13,68	40,68	49,68
	Envidraçados a Oeste 15%	4,32	4,32	4,32	4,32	4,32	4,32
	Nic	36,90	38,70	41,00	47,50	49,90	54,50
	Nvc	20,40	24,40	21,50	20,80	21,10	20,60
	Nic+Nvc	57,30	63,10	62,50	68,30	71,00	75,10
S121	Envidraçados a Sul 55%, Pala horizontal a Sul α=10°						
	Nic	38,56	40,44	42,76	49,45	51,91	56,51
	Nvc	19,48	23,42	20,57	19,91	20,15	19,72
	Nic+Nvc	58,04	63,86	63,33	69,36	72,06	76,23
S122	Envidraçados a Sul 55%, Pala horizontal a Sul α=15°						
	Nic	39,43	41,34	43,69	50,47	52,95	57,56
	Nvc	19,01	22,94	20,10	19,45	19,69	19,27
	Nic+Nvc	58,44	64,28	63,79	69,92	72,64	76,83
S123	Envidraçados a Sul 55%, Pala horizontal a Sul α=20°						
	Nic	40,33	42,27	44,65	51,51	54,02	58,64
	Nvc	18,54	22,46	19,63	19,00	19,24	18,83
	Nic+Nvc	58,87	64,73	64,28	70,51	73,26	77,47
S124	Envidraçados a Sul 55%, Pala horizontal a Sul α=25°						
	Nic	41,25	43,22	45,63	52,58	55,12	59,74
	Nvc	18,08	21,98	19,16	18,54	18,78	18,38
	Nic+Nvc	59,33	65,20	64,79	71,12	73,90	78,12
S125	Envidraçados a Sul 55%, Pala horizontal a Sul α=30°						
	Nic	42,21	44,21	46,65	53,68	56,24	60,87
	Nvc	17,62	21,50	18,70	18,09	18,33	17,94
	Nic+Nvc	59,83	65,71	65,35	71,77	74,57	78,81

Tabela A.4. Envolvente opaca com envidraçados e palas horizontal e vertical nos envidraçados a sul, inércia fraca e cor escura

	Soluções	A	B	C	D	E	F
	Superfície (S)	348,50	360,00	432,00	468,00	468,00	516,00
	Volume (V)	433,50	432,00	432,00	432,00	432,00	432,00
	FF (S/V)	0,80	0,83	1,00	1,08	1,08	1,19
	Horizontal Cob.	72,25	72,00	144,00	144,00	144,00	144,00
	Horizontal Pav.	72,25	72,00	144,00	144,00	144,00	144,00
	Pav. sobre desvão sanitário	72,25	72,00	144,00	144,00	144,00	144,00
S1	Fachada a NORTE	51,00	72,00	36,00	72,00	45,00	60,00
	Fachada a SUL	51,00	72,00	36,00	72,00	45,00	60,00
	Fachada a ESTE	51,00	36,00	36,00	18,00	45,00	54,00
	Fachada a OESTE	51,00	36,00	36,00	18,00	45,00	54,00
	Nic	57,20	59,60	61,90	69,70	72,80	81,40
	Nvc	8,80	8,60	9,90	9,50	9,80	10,10
	Nic+Nvc	66,00	68,20	71,80	79,20	82,60	91,50
S12	Fachada a NORTE	46,68	67,68	31,68	67,68	40,68	55,68
	Envidraçados a Norte 15%	4,32	4,32	4,32	4,32	4,32	4,32
	Fachada a SUL	35,16	56,16	20,16	56,16	29,16	44,16
	Envidraçados a Sul 55%	15,84	15,84	15,84	15,84	15,84	15,84
	Fachada a ESTE	46,68	31,68	31,68	13,68	40,68	49,68
	Envidraçados a Este 15%	4,32	4,32	4,32	4,32	4,32	4,32
	Fachada a OESTE	46,68	31,68	31,68	13,68	40,68	49,68
	Envidraçados a Oeste 15%	4,32	4,32	4,32	4,32	4,32	4,32
	Nic	36,90	38,70	41,00	47,50	49,90	54,50
	Nvc	20,40	24,40	21,50	20,80	21,10	20,60
	Nic+Nvc	57,30	63,10	62,50	68,30	71,00	75,10
S121	Envidraçados a Sul 55%, Pala horizontal a Sul α=10°						
	Nic	38,56	40,44	42,76	49,45	51,91	56,51
	Nvc	19,48	23,42	20,57	19,91	20,15	19,72
	Nic+Nvc	58,04	63,86	63,33	69,36	72,06	76,23
S1211	Envidraçados a Sul 55%, Pala horizontal a Sul α=10° e Pala vertical a Sul βdir=10°						
	Nic	38,97	40,86	43,19	49,93	52,39	57,01
	Nvc	19,28	23,22	20,36	19,72	19,95	19,53
	Nic+Nvc	58,25	64,08	63,55	69,65	72,34	76,54
S1212	Envidraçados a Sul 55%, Pala horizontal a Sul α=10° e Pala vertical a Sul βdir=15°						
	Nic	39,17	41,07	43,41	50,17	52,64	57,25
	Nvc	19,18	23,11	20,26	19,62	19,86	19,43
	Nic+Nvc	58,35	64,18	63,67	69,79	72,50	76,68
S1213	Envidraçados a Sul 55%, Pala horizontal a Sul α=10° e Pala vertical a Sul βdir=20°						
	Nic	39,38	41,29	43,63	50,41	52,89	57,50
	Nvc	19,08	23,01	20,16	19,52	19,76	19,34
	Nic+Nvc	58,46	64,30	63,79	69,93	72,65	76,84

Tabela A.5. Envolvente opaca com envidraçados e palas horizontal e vertical nos envidraçados a sul, pala vertical nos envidraçados a oeste, inércia fraca e cor escura

	Soluções	A	B	C	D	E	F
	Superfície (S)	348,50	360,00	432,00	468,00	468,00	516,00
	Volume (V)	433,50	432,00	432,00	432,00	432,00	432,00
	FF (S/V)	0,80	0,83	1,00	1,08	1,08	1,19
	Horizontal Cob.	72,25	72,00	144,00	144,00	144,00	144,00
	Horizontal Pav.	72,25	72,00	144,00	144,00	144,00	144,00
	Pav. sobre desvão sanitário	72,25	72,00	144,00	144,00	144,00	144,00
S1	Fachada a NORTE	51,00	72,00	36,00	72,00	45,00	60,00
	Fachada a SUL	51,00	72,00	36,00	72,00	45,00	60,00
	Fachada a ESTE	51,00	36,00	36,00	18,00	45,00	54,00
	Fachada a OESTE	51,00	36,00	36,00	18,00	45,00	54,00
	Nic	57,20	59,60	61,90	69,70	72,80	81,40
	Nvc	8,80	8,60	9,90	9,50	9,80	10,10
	Nic+Nvc	66,00	68,20	71,80	79,20	82,60	91,50
S12	Fachada a NORTE	46,68	67,68	31,68	67,68	40,68	55,68
	Envidraçados a Norte 15%	4,32	4,32	4,32	4,32	4,32	4,32
	Fachada a SUL	35,16	56,16	20,16	56,16	29,16	44,16
	Envidraçados a Sul 55%	15,84	15,84	15,84	15,84	15,84	15,84
	Fachada a ESTE	46,68	31,68	31,68	13,68	40,68	49,68
	Envidraçados a Este 15%	4,32	4,32	4,32	4,32	4,32	4,32
	Fachada a OESTE	46,68	31,68	31,68	13,68	40,68	49,68
	Envidraçados a Oeste 15%	4,32	4,32	4,32	4,32	4,32	4,32
	Nic	36,90	38,70	41,00	47,50	49,90	54,50
	Nvc	20,40	24,40	21,50	20,80	21,10	20,60
	Nic+Nvc	57,30	63,10	62,50	68,30	71,00	75,10
S121	Envidraçados a Sul 55%, Pala horizontal a Sul α=10°						
	Nic	38,56	40,44	42,76	49,45	51,91	56,51
	Nvc	19,48	23,42	20,57	19,91	20,15	19,72
	Nic+Nvc	58,04	63,86	63,33	69,36	72,06	76,23
S1211	Envidraçados a Sul 55%, Pala horizontal a Sul α=10° e Pala vertical a Sul βdir=10°						
	Nic	38,97	40,86	43,19	49,93	52,39	57,01
	Nvc	19,28	23,22	20,36	19,72	19,95	19,53
	Nic+Nvc	58,25	64,08	63,55	69,65	72,34	76,54
S12111	Envidraçados a Sul 55%, Pala horizontal a Sul α=10° e Pala vertical a Sul βdir=10°, Envidraçados a Oeste 15%, Pala vertical a Oeste βdir=10°						
	Nic	38,97	40,86	43,19	49,93	52,39	57,01
	Nvc	19,24	23,12	20,33	19,68	19,92	19,49
	Nic+Nvc	58,21	63,98	63,52	69,61	72,31	76,50
S12112	Envidraçados a Sul 55%, Pala horizontal a Sul α=10° e Pala vertical a Sul βdir=10°, Envidraçados a Oeste 15%, Pala vertical a Oeste βdir=20°						
	Nic	38,97	40,86	43,19	49,93	52,39	57,01
	Nvc	19,21	23,03	20,29	19,65	19,89	19,44
	Nic+Nvc	58,18	63,89	63,48	69,58	72,28	76,45
S12113	Envidraçados a Sul 55%, Pala horizontal a Sul α=10° e Pala vertical a Sul βdir=10°, Envidraçados a Oeste 15%, Pala vertical a Oeste βdir=30°						
	Nic	38,97	40,86	43,19	49,93	52,39	57,47
	Nvc	19,17	22,93	20,26	19,61	19,85	19,40
	Nic+Nvc	58,14	63,79	63,45	69,54	72,24	76,87
S12114	Envidraçados a Sul 55%, Pala horizontal a Sul α=10° e Pala vertical a Sul βdir=10°, Envidraçados a Oeste 15%, Pala vertical a Oeste βdir=40°						
	Nic	38,97	40,86	43,19	49,93	52,39	57,47
	Nvc	19,17	22,93	20,26	19,61	19,85	19,40
	Nic+Nvc	58,14	63,79	63,45	69,54	72,24	76,87

Tabela A.6. Envolvente opaca com envidraçados e palas horizontal e vertical nos envidraçados a sul, pala vertical nos envidraçados a oeste, inércia fraca e cor clara, inércia forte e cor escura, inércia forte e cor clara

Envolvente Opaca com Envidraçados e Palas horizontal e vertical nos envidraçados a Sul e Pala vertical nos envidraçados Oeste, Inercia Fraca, Cor Clara							
S121131	Envidraçados a Sul 55%, Pala horizontal a Sul α=10° e Pala vertical a Sul βdir=10°, Envidraçados a Oeste 15%, Pala vertical a Oeste βdir=30°						
	Nic	38,97	40,86	43,19	49,93	52,39	57,47
	Nvc	15,30	18,95	15,56	14,87	14,84	13,98
	Nic+Nvc	54,27	59,81	58,75	64,80	67,23	71,45
Envolvente Opaca com Envidraçados e Palas horizontal e vertical nos envidraçados a Sul e Pala vertical nos envidraçados Oeste, Inercia Forte, Cor Escura							
S1211312	Envidraçados a Sul 55%, Pala horizontal a Sul α=10° e Pala vertical a Sul βdir=10°, Envidraçados a Oeste 15%, Pala vertical a Oeste βdir=30°						
	Nic	24,18	25,98	28,26	35,01	37,54	41,78
	Nvc	15,14	19,01	16,01	14,91	15,02	14,13
	Nic+Nvc	39,32	44,99	44,27	49,92	52,56	55,91
Envolvente Opaca com Envidraçados e Palas horizontal e vertical nos envidraçados a Sul e Pala vertical nos envidraçados Oeste, Inercia Forte, Cor Clara							
S1211313	Envidraçados a Sul 55%, Pala horizontal a Sul α=10° e Pala vertical a Sul βdir=10°, Envidraçados a Oeste 15%, Pala vertical a Oeste βdir=30°						
	Nic	24,18	25,98	28,26	35,01	37,54	41,78
	Nvc	11,09	14,78	11,10	10,04	9,89	8,70
	Nic+Nvc	35,27	40,76	39,36	45,05	47,43	50,48