

# **AVALIAÇÃO DO RISCO DE SOBREAQUECIMENTO EM EDIFÍCIOS. CASOS DE ESTUDO**

**MARIA JOÃO SILVA OLIVEIRA**

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de  
**MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES**

---

Orientadora: Professora Doutora Maria Helena Póvoas Corvacho

JUNHO DE 2017



## **MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2016/2017**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ [miec@fe.up.pt](mailto:miec@fe.up.pt)

*Editado por*

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ [feup@fe.up.pt](mailto:feup@fe.up.pt)

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2014/2015 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2017.*

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

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

Aos meus pais e amigos

*Onde está a vida que perdemos em viver?*

*Onde está a sabedoria que perdemos no conhecimento?*

*Onde está o conhecimento que perdemos em informação?*

*T.S. Eliot*





## **AGRADECIMENTOS**

Uma dissertação de mestrado representa o fim de uma etapa e o início de uma nova fase da vida. É um trabalho, realizado ao longo de um semestre, que requer esforço e empenho e a sua realização não seria possível sem o apoio de todas as pessoas que permitiram tornar isto possível.

Gostaria assim de agradecer, à minha orientadora, Professora Helena Corvacho, pelo acompanhamento, disponibilidade e paciência no esclarecimento de todas as dúvidas sobre o tema abordado, o qual muito contribuiu para o desenvolvimento deste trabalho.

Um especial agradecimento à minha família pela paciência e apoio ao longo desta minha fase académica, que me permitiu concretizar a minha formação ao longo destes anos e alcançar os meus objetivos.

Aos meus amigos, que me acompanharam ao longo destes anos, por todos os momentos de apoio e descontração. Aos que me apoiaram especialmente nesta fase agradeço pelo acompanhamento, ajuda e sugestões para um trabalho bem elaborado.

À empresa Torção-E, pela disponibilidade em me fornecer material para o desenvolvimento desta dissertação.



## **RESUMO**

O conhecimento do comportamento térmico dos edifícios é muito importante para a criação de ambientes interiores confortáveis. Para ser possível elaborar projetos com o comportamento térmico mais adequado é necessário conhecer o meio em que estes serão inseridos.

Nesta dissertação foram estudados casos de estudo reais, e através de uma análise individual foram estabelecidas medidas e soluções que pudessem melhorar o comportamento térmico original de cada compartimento que foi estudado.

Com recurso ao programa de cálculo, LESOCOOL, foi realizado um estudo paramétrico onde foram inseridas todas as informações referentes aos compartimentos analisados, nomeadamente dimensões, materiais utilizados na sua construção, aberturas existentes na envolvente e correspondentes dispositivos de proteção presentes. Através da introdução desses valores foram abordadas as diferentes estratégias de ventilação que melhor potencializavam o arrefecimento do espaço interior.

Tirando partido das melhores estratégias de ventilação, foi possível analisar diferentes soluções de arrefecimento passivo e em que medida estas contribuíssem para uma diminuição dos ganhos solares. Foram assim realizados estudos comparativos entre as distintas propostas elaboradas, permitindo assim tecer-se algumas conclusões sobre o seu contributo na obtenção de temperaturas interiores confortáveis.

**PALAVRAS-CHAVE:** Conforto térmico, Inércia térmica, Ganhos solares, Estratégias de arrefecimento passivo, Sombreamento.



## **ABSTRACT**

Knowledge of the thermal behavior of buildings is very important for the creation of comfortable indoor environments. In order to be able to elaborate projects with the most appropriate thermal behavior it is necessary to know the climate in which they will be inserted.

In this dissertation, real case studies were studied, and through an individual analysis were established measures and solutions that could improve the original thermal behavior of each compartment that was studied.

Using a calculation program, LESOCOOL, a parametric study was carried out in which all the information about the analyzed compartments was inserted, namely dimensions, materials used in their construction, existing openings in the enclosure and corresponding solar protection devices present. Through the introduction of these values, the different ventilation strategies that optimized the cooling of the interior space were discussed.

Taking advantage of the best ventilation strategies, it was possible to analyze different passive cooling solutions and to what extent they contributed to a decrease in solar gain. Thus, comparative studies were carried out between the different proposals elaborated allowing some conclusions to be drawn about their contribution in obtaining comfortable interior temperatures.

**KEYWORDS:** Thermal comfort, Thermal inertia, Solar gain, Strategies for passive cooling, Shading.



## ÍNDICE GERAL

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	i
<b>RESUMO</b> .....	iii
<b>ABSTRACT</b> .....	v
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1. MOTIVAÇÃO DO TEMA.....	1
1.2. OBJETIVOS DO TRABALHO .....	2
1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO .....	2
<b>2. ESTRATÉGIAS DE ARREFECIMENTO PASSIVO</b> .....	<b>3</b>
2.1. ESTRATÉGIAS DE ARREFECIMENTO PASSIVO .....	3
2.2. PREVENÇÃO E MINIMIZAÇÃO DOS GANHOS SOLARES .....	3
2.2.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS .....	3
2.2.2. GEOMETRIA E ORIENTAÇÃO SOLAR.....	3
2.2.3. INÉRCIA TÉRMICA .....	5
2.3. TÉCNICAS DE CONTROLO SOLAR .....	6
2.3.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS .....	6
2.3.2. VÃOS ENVIDRAÇADOS .....	6
2.3.3. FATOR SOLAR.....	7
2.3.4. DISPOSITIVOS DE SOMBREAMENTO .....	7
2.3.4.1. Definição .....	7
2.3.4.2. Dispositivos de sombreamento fixos.....	7
2.3.4.3. Dispositivos de sombreamento móveis.....	8
2.3.5. VIDROS TÉRMICOS .....	9
2.4. TÉCNICAS DE REJEIÇÃO DE GANHOS SOLARES .....	10
2.4.1. VENTILAÇÃO .....	10
2.4.1.1. Ventilação noturna .....	11
2.4.1.2. Ventilação cruzada.....	11
2.4.1.3. Ventilação unilateral .....	12
2.4.2. A ARQUITETURA PARA POTENCIAR A VENTILAÇÃO NATURAL .....	13
2.4.2.1. Considerações gerais.....	13

2.4.2.2. Torres de vento .....	13
2.4.2.3. Chaminés solares.....	13
2.4.2.4. Conduitas enterradas.....	14
2.4.2.5. Paredes de trombe ventiladas .....	14
2.4.2.6. Aberturas de admissão de ar .....	14
<b>3. CONFORTO TÉRMICO .....</b>	<b>17</b>
<b>3.1. DEFINIÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO .....</b>	<b>17</b>
<b>3.2. VARIÁVEIS DO CONFORTO TÉRMICO .....</b>	<b>17</b>
3.2.1. VARIÁVEIS INDIVIDUAIS.....	17
3.2.1.1 Taxa de metabolismo .....	18
3.2.1.2. Vestuário .....	18
3.2.2. VARIÁVEIS AMBIENTAIS.....	19
3.2.2.1 Temperatura do ar.....	19
3.2.2.2 Temperatura radiante média .....	19
3.2.2.3. Humidade relativa .....	19
3.2.2.4 Velocidade do ar .....	19
<b>3.3. BALANÇO TÉRMICO.....</b>	<b>20</b>
<b>3.4. MECANISMOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR .....</b>	<b>20</b>
3.4.1. CONDUÇÃO .....	20
3.4.1. CONDUÇÃO .....	21
3.4.3. RADIAÇÃO .....	21
<b>3.5. ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO .....</b>	<b>22</b>
3.5.1. PMV .....	22
3.5.2. PPD .....	22
3.5.3. TEMPERATURA OPERATIVA .....	23
3.5.4. GRAUS HORA DE DESCONFORTO.....	24
<b>4. CASOS DE ESTUDO .....</b>	<b>25</b>
<b>4.1. CASO DE ESTUDO 1 – QUINTA DAS PALHACINHAS .....</b>	<b>25</b>
4.1.1. CARACTERIZAÇÃO GERAL .....	25
4.1.2. CARACTERIZAÇÃO CONSTRUTIVA .....	27
4.1.3. DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE VENTILAÇÃO .....	27
<b>4.2. CASO DE ESTUDO 2 – HABITAÇÃO UNIFAMILIAR ARCOZELO.....</b>	<b>28</b>
4.2.1. CARACTERIZAÇÃO GERAL .....	28

4.2.2. CARACTERIZAÇÃO CONSTRUTIVA .....	29
4.2.3. DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE VENTILAÇÃO .....	29
<b>5. SIMULAÇÃO NUMÉRICA. ESTUDO PARAMÉTRICO. 31</b>	
<b>5.1. ÂMBITO .....</b>	<b>31</b>
<b>5.2. SOFTWARE DE SIMULAÇÃO: LESOCOOL .....</b>	<b>31</b>
<b>5.3. PARÂMETROS DE CÁLCULO .....</b>	<b>31</b>
5.3.1. DADOS CLIMÁTICOS .....	31
5.3.2. GANHOS SOLARES .....	32
<b>5.4. CENÁRIOS ANALISADOS .....</b>	<b>33</b>
5.4.1. PRIMEIRO CASO DE ESTUDO – QUINTA DAS PALHACINHAS .....	33
5.4.2. SEGUNDO CASO DE ESTUDO – HABITAÇÃO UNIFAMILIAR ARCOZELO.....	33
<b>5.5. ANÁLISE DOS CENÁRIOS DE ESTUDO.....</b>	<b>34</b>
5.5.1. PRIMEIRO CASO DE ESTUDO – QUINTA DAS PALHACINHAS .....	34
5.5.2. SEGUNDO CASO DE ESTUDO – HABITAÇÃO UNIFAMILIAR ARCOZELO.....	36
5.5.3. CONCLUSÕES DOS RESULTADOS OBTIDOS.....	39
5.5.3.1. Primeiro caso de estudo – Quinta das palhacinhas.....	39
5.5.3.2. Segundo caso de estudo – Habitação unifamiliar Arcozele.....	40
<b>5.6. ANÁLISE APROFUNDADA DAS SOLUÇÕES PROPOSTAS .....</b>	<b>40</b>
5.6.1. DISPOSITIVOS DE SOMBREAMENTO .....	40
5.6.1.1. Situação atual.....	40
5.6.1.2. Dispositivos fixos .....	41
5.6.1.3. Dispositivos móveis.....	44
5.6.2. VIDROS TÉRMICOS .....	47
5.6.3. ANÁLISE QUANTITATIVA .....	50
5.6.3.1. Ganhos solares .....	50
5.6.3.2. Temperaturas máximas.....	51
5.6.4. VIDROS TÉRMICOS E DISPOSITIVO DE SOMBREAMENTO DE 1,50 METROS DE ALTURA.....	52
5.6.5. VIDROS TÉRMICOS E DISPOSITIVO DE SOMBREAMENTO DE 3 METROS DE ALTURA.....	54
5.6.6. ANÁLISE QUANTITATIVA .....	55
5.6.6.1. Ganhos solares .....	55
5.6.6.2. Temperaturas máximas.....	56
<b>5.7. ANÁLISE DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DO COMPARTIMENTO PARA UM DIA PARTICULARMENTE QUENTE DE VERÃO ADOTANDO AS MELHORES ESTRATÉGIAS .....</b>	<b>56</b>

5.7.1. ELEMENTO DE SOMBREAMENTO BRISE SOLEIL COMPOSTO POR DOIS PAINÉIS .....	56
5.7.2 ELEMENTO DE SOMBREAMENTO FIXO COM 3 METROS DE ALTURA E VIDRO TÉRMICO COM FATOR SOLAR DE 0,38.....	58
<b>6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>61</b>
6.1. CONCLUSÕES.....	61
6.2. RECOMENDAÇÕES FUTURAS .....	62

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura.2.1 – Movimento do sol ao longo do ano [2] .....	4
Figura.2.2 – Ângulos de altura solar (H), azimute solar (A) e incidência ( $\theta$ ) [2] .....	4
Figura.2.3 – Geometria de insolação [2] .....	5
Figura.2.4 – Incidência dos raios solares numa pala horizontal [8] .....	7
Figura.2.5 – Diagrama de influência do sombreamento das palas horizontais [8] .....	8
Figura.2.6 – Incidência dos raios solares numa pala vertical [8] .....	8
Figura.2.7 – Diagrama de influência do sombreamento das palas verticais [8] .....	8
Figura.2.8 – Comparação das características térmicas entre um vidro duplo normal, vidro duplo de controlo solar e vidro duplo com película de baixa emissividade [6] .....	10
Figura.2.9 – Ventilação através de aberturas a barlavento e sotavento (planta) [1] .....	11
Figura.2.10 – Ventilação através de aberturas a barlavento e laterais (planta) [1] .....	12
Figura.2.11- Ventilação unilateral [1] .....	12
Figura.2.12 – Impacto das palas verticais na ventilação unilateral [1] .....	13
Figura.2.13 – Esquema de funcionamento de uma parede de trombe ventilada .....	14
Figura.3.1 – Balanço térmico do corpo humano [17] .....	20
Figura.3.2 – Processo de condução [18] .....	21
Figura.3.3 – Processo de convecção [19] .....	21
Figura.3.4 – Processo de radiação [19] .....	21
Figura.3.5 – PPD em função de PMV [20] .....	23
Figura.3.6 – Variação da temperatura operativa para edifícios ventilados naturalmente. Proposto pela ASHRAE 55:2004 .....	24
Figura.4.1 – Localização geográfica do edifício Quinta das palhacinhas. Fonte: google maps .....	25
Figura.4.2 – Planta 1º andar do compartimento em estudo .....	26
Figura.4.3 – Planta 2º andar do compartimento em estudo .....	26
Figura 4.4 – Fachada do compartimento principal de estudo .....	27
Figura 4.5 – Localização geográfica da habitação unifamiliar Arcozelo .....	28
Figura 4.6 – Planta do compartimento em estudo .....	29
Figura 5.1 – Comparação das estratégias de ventilação quando 70% da área do envidraçado tem proteções interiores ativadas – Primeiro caso de estudo .....	34
Figura 5.2 – Comparação das estratégias de ventilação quando as proteções interiores estão totalmente ativadas – Primeiro caso de estudo .....	35
Figura 5.3 – Comparação das estratégias de ventilação quando as proteções interiores estão desativadas – Primeiro caso de estudo .....	36

Figura 5.4 – Comparação das estratégias de ventilação quando 70% da área do envidraçado tem proteções exteriores ativadas – Segundo caso de estudo .....	37
Figura 5.5 – Comparação das estratégias de ventilação quando as proteções interiores ativadas – Primeiro caso de estudo.....	38
Figura 5.6 – Comparação das estratégias de ventilação quando as proteções interiores e exteriores estão desativadas – Segundo caso de estudo .....	38
Figura 5.7 – Diagrama de influência de sombreamento das palas verticais e horizontal. Fonte: Software SOL-AR .....	41
Figura 5.8 – Esquema 3D das soluções propostas. Fonte: SketchUp .....	42
Figura 5.9 – Incidência dos raios solares para a solução proposta.....	42
Figura 5.10 – Comparação das propostas de sistemas de sombreamento fixo com 1,50 metros e 3 metros – Proteções interiores desativadas .....	43
Figura 5.11 – Comparação das propostas de sistemas de sombreamento fixo com 1,50 metros e 3 metros – Proteções interiores ativadas.....	44
Figura 5.12 – Esquema do sistema de sombreamento brise soleil. Adaptado do catálogo da Duco ventilation and sun control.....	45
Figura 5.13 – Esquema 3D da solução proposta. Fonte: SketchUp.....	45
Figura 5.14 – Comparação para a diferente disposição dos painéis do brise soleil. – Proteções interiores desativadas .....	46
Figura 5.15 – Comparação para a diferente disposição dos painéis do brise soleil. – Proteções interiores ativadas .....	47
Figura 5.16 –Fatores luminosos e energéticos dos vidros com fatores solares 0,63 e 0,38 respetivamente. Fonte: Software de simulação Callumen II.....	48
Figura 5.17 – Comparação das diferentes propostas de vidros térmicos. – Proteções interiores desativadas .....	49
Figura 5.18 – Comparação das diferentes propostas de vidros térmicos. – Proteções interiores ativadas .....	49
Figura 5.19 – Comparação das diferentes hipóteses propostas. – Proteções interiores desativadas..	53
Figura 5.20 – Comparação das diferentes hipóteses propostas. – Proteções interiores ativadas.....	53
Figura 5.21 – Comparação das diferentes hipóteses propostas com sombreamento de 3 metros de altura. – Proteções interiores desativadas .....	54
Figura 5.22 – Comparação das diferentes hipóteses propostas com sombreamento de 3 metros de altura. – Proteções interiores ativadas.....	54
Figura 5.23 – Comportamento térmico do compartimento c/ 2 painéis ativados – Proteções interiores desativadas .....	57
Figura 5.24 – Comportamento térmico do compartimento c/ 2 painéis ativados – Proteções interiores ativadas .....	57

Figura 5.25 – Comportamento térmico do compartimento para a solução com vidro térmico c/ fator solar de 0,38 mais um elemento de sombreamento fixo de 3 metros – Proteções interiores desativadas ...58

Figura 5.26 – Comportamento térmico do compartimento para a solução com vidro térmico c/ fator solar de 0,38 mais um elemento de sombreamento fixo de 3 metros – Proteções interiores ativadas .....58



## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.1 – Classes de inércia térmica interior .....	6
Tabela 3.1 – Taxas de metabolismo para diferentes atividades segundo a ISO 7730:2005 .....	18
Tabela 3.2 – Valor da resistência térmica para vestuário segundo a ISO 7730:2005.....	19
Tabela 3.3 – Escala da sensação de conforto térmico segundo a ISO 7730:2005.....	22
Tabela 5.1 – Valores de $g_T$ máximos consoante a zona climática segundo o REH.....	40
Tabela 5.2 – Percentagem de área do envidraçado ao sol para os dispositivos de sombreamento consideradas .....	42
Tabela 5.3 – Percentagem de área ao sol para a diferente disposição dos painéis .....	46
Tabela 5.4 – Redução média dos ganhos solares das soluções propostas de elementos de sombreamento – Comparação com a situação atual.....	50
Tabela 5.5 – Redução média dos ganhos solares das soluções de diferentes vidros térmicos – Comparação com a situação atual.....	50
Tabela 5.6 – Redução da temperatura máxima quando as proteções solares estão desativadas para as soluções de elementos de sombreamento – Comparação com a situação atual .....	51
Tabela 5.7 – Redução da temperatura máxima quando as proteções solares estão desativadas para os diferentes vidros térmicos– Comparação com a situação atual .....	51
Tabela 5.8 – Redução da temperatura máxima quando as proteções solares estão ativadas para as soluções de elementos de sombreamento – Comparação com a situação atual .....	51
Tabela 5.9 – Redução da temperatura máxima quando as proteções solares estão ativadas para os diferentes vidros térmicos– Comparação com a situação atual .....	52
Tabela 5.10 – Redução média dos ganhos solares das soluções propostas de elementos de sombreamento com vidros térmicos– Comparação com a situação atual .....	55
Tabela 5.11 – Redução da temperatura máxima quando as proteções solares estão desativadas para as soluções de elementos de sombreamento com vidros térmicos – Comparação com a situação atual .....	56
Tabela 5.12 – Redução da temperatura máxima quando as proteções solares estão ativadas para as soluções de elementos de sombreamento – Comparação com a situação atual .....	56



## SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

REH – regulamento do desempenho energético de edifícios de habitação

$l_t$  – Inércia térmica ( $\text{kg/m}^2$ )

$M_{si}$  – Massa superficial útil do elemento ( $\text{kg/m}^2$ )

$r$  – Fator de redução da massa superficial útil

$S_i$  – Área da superfície interior do elemento,  $i$  ( $\text{m}^2$ )

$A_p$  – Área interior útil de pavimento ( $\text{m}^2$ )

$\alpha$  – Ângulo de obstrução provocado por palas horizontais ( $^\circ$ )

$\beta$  – Ângulo de obstrução provocado por palas verticais ( $^\circ$ )

PMV – Predicted mean vote ou voto médio previsto

PPD – Predicted Percentage Dissatisfied ou percentagem previsível de insatisfeitos

GhDT – Graus hora de desconforto

$T_{\text{conf}}$  – Temperatura de conforto ( $^\circ\text{C}$ )

$T_{a, \text{out}}$  – Temperatura exterior ambiente ( $^\circ\text{C}$ )

$I$  – Intensidade da radiação solar ( $\text{W/m}^2$ )

$F_s$  – Fator de obstrução do envidraçado

$A$  – Área do envidraçado incluindo caixilharia ( $\text{m}^2$ )

$F_g$  – Fração envidraçada

$g_v$  – Fator solar do vão envidraçado

$U$  – Coeficiente de transmissão térmica ( $\text{W/m}^2\text{K}$ )

$\alpha$  – Coeficiente de absorção da radiação solar

$R_{se}$  – resistência térmica exterior ( $\text{m}^2\text{K/W}$ )

$g_T$  - Fator solar do envidraçado com todos os dispositivos de proteção solar, permanentes ou moveis totalmente ativados.

$F_o$  - Fator de sombreamento por elementos horizontais sobrejacentes ao envidraçado, compreendendo palas e varandas;

$F_f$  - Fator de sombreamento por elementos verticais adjacentes ao envidraçado, compreendendo palas verticais, outros corpos ou partes do edifício;

$g_T \text{ máx}$  – fator solar global máximo admissível dos vãos envidraçados segundo a zona climática de Verão;



# 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1 MOTIVAÇÃO DO TEMA

Em todos os países ocidentais especialmente na Europa, até meados dos anos 1970 não existia qualquer tipo de política sobre o uso racional da energia nos projetos de construções realizados e este tema era assim bastante negligenciado.

Só após o aparecimento da crise associado ao setor da energia, as preocupações sobre o uso excessivo do seu consumo começaram a ganhar terreno passando a expressar-se como uma necessidade corrente, permitindo assim um renascimento da arquitetura mais preocupada com os conceitos bioclimáticos.

Atualmente a preocupação com a qualidade associada ao conforto térmico levou a que houvesse uma necessidade de evoluir. A mudança surgiu não só no estudo arquitetónico, aparecendo como uma solução no sentido de prever medidas, ainda na fase de projeto, como forma de reduzir os ganhos excessivos durante a estação de arrefecimento. Paralelamente, ao progresso da arquitetura, surgiu também um desenvolvimento da construção, nomeadamente a preocupação na evolução dos materiais assim como as suas tecnologias de construção, tendo a preocupação de adequá-los ao clima em que são implantadas.

No entanto a solução para o sobreaquecimento dos edifícios não passa apenas pela prevenção, mas também pela criação de medidas que possam rejeitar os ganhos conseguidos através da envolvente externa e interna das edificações. Mas o que acontece atualmente é que os materiais usados estabelecem uma certa estanquidade que nem sempre é favorável na melhoria do conforto térmico, nomeadamente ao nível da ventilação natural, algo que no passado não surgia como problema devido aos hábitos dos utilizadores e às características dos edifícios que permitiam, involuntariamente, a circulação de ar e a consequente renovação.

Para impedir que surjam problemas não só associados ao conforto térmico, como também à qualidade do ar interior, é necessário existirem estratégias de ventilação eficazes, que poderão ser potenciadas tirando partido das características arquitetónicas: como a forma do edifício, do tipo e número de aberturas e a sua correspondente localização.

Hoje em dia existem legislações a nível nacional e internacional que permitem estabelecer parâmetros térmicos e valores limites de ventilação, como forma de conduzir os profissionais da área da construção na elaboração de projetos que apresentem uma eficiência energética adequada possibilitando um melhor controlo no consumo de energia proveniente do condicionamento artificial das edificações, tendo em conta a garantia de conforto térmico da forma mais sustentável possível.

## **1.2. OBJETIVOS DO TRABALHO**

Na conceção dos edifícios deve-se ter em conta diversos princípios e estratégias que possam evitar situações de desconforto térmico para os ocupantes, associado ao sobreaquecimento dos espaços interiores.

A presente dissertação tem como objetivo de estudo centra-se na avaliação da situação de sobreaquecimento de edifícios em Portugal. Para isso foram avaliados dois casos de estudo reais de edifícios de construção recente. Através do estudo dos materiais constituintes, do número e área das aberturas existentes e de outros elementos importantes na contribuição para o conforto térmico do edificado, foram analisados estudos paramétricos em que foram alteradas algumas variáveis nomeadamente na contribuição dos ganhos solares recebidos através da envolvente.

Com o estudo paramétrico realizado foi possível primeiro avaliar qual a melhor estratégia para potenciar o arrefecimento dos espaços interiores estudados, seguindo-se depois a escolha de diferentes soluções que permitiriam melhorar a situação de conforto térmico dos compartimentos, caso houvesse necessidade.

## **1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO**

Esta dissertação desenvolve-se ao longo de seis capítulos, que abordam diferentes temas considerados relevantes para o estudo realizado.

No capítulo 2 irá ser discutido as diferentes formas de criar estratégias de arrefecimento passivo nas habitações. Primeiro será referido medidas que permitem prevenir e minimizar os ganhos recebidos pela envolvente exterior e posteriormente técnicas que possibilitem a redução dos ganhos de calor gerados no interior do edifício através da radiação solar, onde será referido a ventilação, dando especial ênfase à ventilação natural.

No capítulo 3 irá ser abordado o conceito de conforto térmico, referindo através da normalização existente quais as variáveis pessoais e ambientais que influenciam a sua análise e os índices de conforto térmico existentes.

No capítulo 4, procede-se a uma descrição dos casos de estudos onde será feita uma caracterização geral, referindo a sua localização, tipo de edifício, ano de construção e as dimensões do compartimento que irá ser estudado. Será abordada informação generalizada sobre a caracterização construtiva e por fim uma descrição breve do sistema de ventilação existente.

No capítulo 5 inicia-se o estudo paramétrico com recurso ao software de cálculo, LESOCOOL. O estudo paramétrico passará primordialmente por avaliar a situação atual de cada compartimento, e quais as melhores estratégias de ventilação que poderão ser adotadas. Posteriormente será realizado um estudo mais pormenorizado de um dos casos de estudos referidos, em que serão alterados diferentes parâmetros consoante as soluções propostas que permitem melhorar o comportamento térmico do espaço interior. Por fim, no capítulo 6 serão tecidas algumas conclusões referentes dos resultados obtidos através do estudo paramétrico, assim como recomendações, baseadas nas soluções propostas ao longo do capítulo anterior.

# 2

## ESTRATÉGIAS DE ARREFECIMENTO PASSIVO

### 2.1. ESTRATÉGIAS DE ARREFECIMENTO PASSIVO

As estratégias de arrefecimento, abrangem todas as medidas e processos que ajudam a reduzir e controlar as necessidades de arrefecimento dos edifícios. Baseiam-se em medidas preventivas para evitar o sobreaquecimento interior, gerando estratégias que rejeitam os ganhos internos, que são gerados no interior, como os ganhos externos, através da envolvente do edifício. Para além disso, o incentivo ao uso de medidas de arrefecimento passivo apresenta bastantes benefícios quer económicos, quer ambientais contribuindo também para a melhoria da qualidade do ar interior.

### 2.2. PREVENÇÃO E MINIMIZAÇÃO DOS GANHOS SOLARES

#### 2.2.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

A prevenção dos ganhos solares é o primeiro passo para melhorar as condições de conforto térmico no interior dos edifícios, incluindo, portanto, todas as medidas que possam contribuir para minimização dos ganhos de calor que são de origem: [1]

- Externa – originados pela associação do edifício com o ambiente externo. Estando, portanto, depende da temperatura exterior e da radiação solar que é diretamente transmitida através dos vãos envidraçados e dos elementos opacos.

- Internos – dependem do calor gerado pelos ocupantes dos edifícios, através da sua atividade metabólica bem como a luz artificial, o uso de equipamentos que geralmente produzem uma quantidade de calor significativa, assim como as tarefas diárias responsáveis pela produção de vapor de água, como cozinhar e tomar banho.

Uma adequada análise e estudo prévio das condições bioclimáticas da área de implantação de qualquer projeto são muito importantes no papel da prevenção do sobreaquecimento dos edifícios.

#### 2.2.2. GEOMETRIA E ORIENTAÇÃO SOLAR

A geometria solar permite determinar o percurso e posição do Sol ao longo de um dia do ano. Este estudo é bastante importante para entender a sua orientação relativamente aos edifícios assim como o efeito da radiação em todas as faces expostas. É importante referir que este conhecimento permite não

só analisar formas de controlo solar, como aproveitar a radiação solar que pode servir como equilíbrio da temperatura do ar incitado pela radiação das superfícies, ou provocar a necessidade de sistemas de sombreamento [2]

A terra em volta do sol, segue um movimento elíptico com os eixos polares sempre inclinados apontando em direção para o norte com um ângulo de  $23,75^\circ$  [1]. A posição solar varia ao longo do ano sendo que as estações no hemisfério Norte são caracterizadas por:

- Solstícios de Verão e Inverno, nos dias 21 de junho e 21 de dezembro, respetivamente.
- Equinócio de Primavera e Outono, nos dias 21 de março e 21 de setembro, respetivamente.

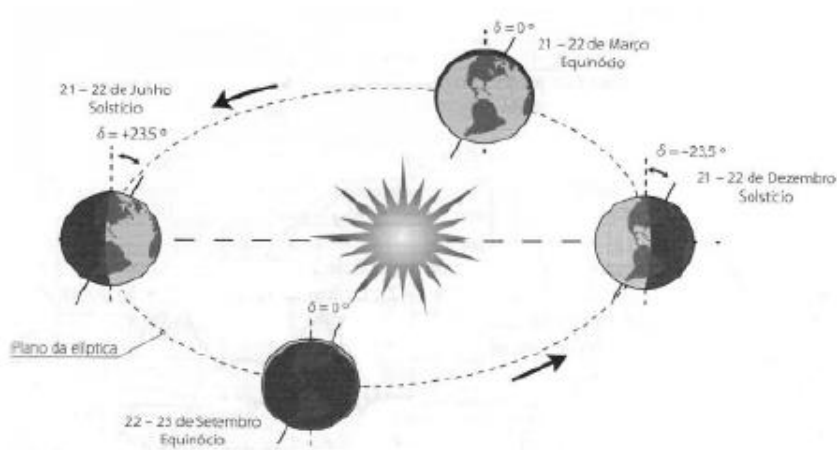


Figura 2.1 - Movimento do sol ao longo do ano [2]

A radiação solar pode ser direta, difusa e refletida e a sua intensidade é maior durante o período entre junho e agosto atingindo os seus valores mais baixos nos meses de dezembro e janeiro. A radiação direta atinge diretamente a superfície terrestre e a sua intensidade está dependente do ângulo da altura solar (H) assim como o ângulo de incidência dos raios solares relativamente à superfície coletora ( $\Theta$ ). [3]

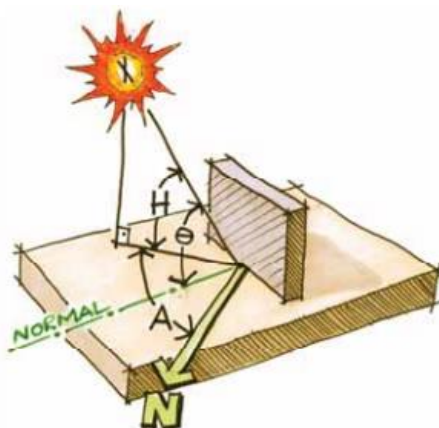


Figura 2.2 - Ângulos de altura solar (H), azimute solar (A) e incidência ( $\Theta$ ) [2]

A radiação difusa é a luz solar que é recebida indiretamente pela superfície e representa entre 25% a 44% da radiação global anual e é observado algum aumento dessa percentagem com a latitude do lugar, sendo que existem outros fatores que influenciam a sua distribuição, provocadas por condições atmosféricas como nevoeiro, partículas em suspensão e obstáculos existentes na atmosfera. [1]

O percurso do Sol é um dado adquirido com recurso às cartas solares, as quais permitem, através da latitude do lugar em estudo, conhecer a trajetória solar ao longo do dia e das diferentes estações do ano. É uma ferramenta de auxílio na elaboração de projetos que informa, por exemplo, as alturas do dia em que o sol irá incidir nas aberturas e com que orientação. Assim, através dos ângulos de obstrução, horizontais e verticais, provocados por elementos constituintes do edifício ou obstáculos exteriores, podemos saber até que horas é que essas aberturas estarão sombreadas.

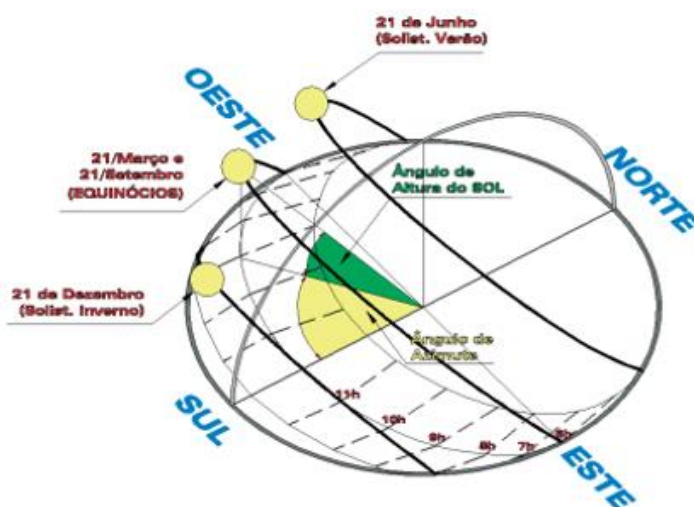


Figura 2.3 - Geometria de insolação [2]

### 2.2.3. INÉRCIA TÉRMICA

Outra estratégia muito importante no controlo e prevenção dos ganhos solares é a inércia térmica, designada também por massa térmica. Esta representa a capacidade que um material tem de armazenar o calor, com efeito prático no Inverno e no Verão. Assim um material espesso tem tendência a conservar mais calor durante maiores períodos de tempo, libertando-o ao fim de um certo tempo, geralmente durante o período noturno. Um volume com uma inércia forte, permite que as temperaturas interiores não acompanhem as flutuações da temperatura do ar exterior, conferindo assim uma maior estabilidade térmica ao edifício [4].

A inércia térmica pode ser quantificada através dos materiais constituintes dos elementos construtivos e pode ser calculada através da equação 1: [5]

$$I_t = \frac{\sum i M s_i . r . S_i}{A_p} \quad (1)$$

Em que:

$I_t$  – Inércia térmica ( $\text{kg/m}^2$ )

$M_{si}$  – Massa superficial útil do elemento  $i$ , ( $\text{kg/m}^2$ )

$r$  – Fator de redução da massa superficial útil

$S_i$  – Área da superfície interior do elemento,  $i$  ( $\text{m}^2$ )

$A_p$  – Área interior útil de pavimento ( $\text{m}^2$ )

Dependendo do seu valor, a inércia pode ser classificada como:

Tabela 1.1 - Classes de Inércia térmica interior,  $I_t$

Classe da Inércia térmica	$I_t$ ( $\text{kg/m}^2$ )
Fraca	$I_t < 150$
Média	$150 \leq I_t \leq 400$
Forte	$I_t > 400$

É importante referir que tem de haver um equilíbrio entre os principais constituintes responsáveis pelo isolamento térmico dos edifícios – massa térmica, isolamento e vãos envidraçados – pois uma inércia térmica demasiado grande, reduz a capacidade de aquecer os espaços e ser responsável pelo surgimento de condensações superficiais durante os períodos de mudança de temperatura, como é o caso da Primavera e Outono [2].

## 2.3. TÉCNICAS DE CONTROLO SOLAR

### 2.3.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

O uso de técnicas que permitam o controlo dos ganhos de calor que entram num edifício através dos seus elementos constituintes pode ser alcançado através de: [1]

- Orientação e dimensão adequados das aberturas;
- Elementos de sombreamento que protegem as aberturas de estarem expostas à radiação direta;
- Controlo das propriedades óticas solares das superfícies opacas e transparentes;

### 2.3.2. VÃOS ENVIDRAÇADOS

Os vãos envidraçados são materiais transparentes que permitem a entrada de luz natural. Desta forma, visto serem elementos que contribuem para ganhos diretos de calor, quando não existe um estudo prévio em relação à sua orientação nem o cuidado na escolha do tipo de vidro mais adequado estes poderão contribuir de forma muito significativa para o sobreaquecimento dos espaços interiores.

Atualmente essa preocupação tem vindo a ganhar grande importância, pois a arquitetura moderna aposta cada vez mais no uso de vãos envidraçados com grandes dimensões, que chegam a ocupar a totalidade de uma fachada.

### 2.3.3. FATOR SOLAR

O fator solar do vidro representa o quociente entre o ganho de calor recebido através do envidraçado, quer de forma instantânea, consequência da sua transmitância quer a posteriori, como consequência do processo de absorção, e a radiação que nele incide [6]. Este valor é geralmente fornecido pelo fabricante.

Quando os dispositivos de proteção, quer exteriores ou interiores, que compõem o vão estão ativados, estes servem como barreira, contribuindo para minimizar a captação dos ganhos solares.

### 2.3.4. DISPOSITIVOS DE SOMBREAMENTO

#### 2.3.4.1 DEFINIÇÃO

Os elementos de sombreamento nas aberturas além de evitar os ganhos de calor excessivo são recursos importantes para reduzir os ganhos solares, o dispositivo bloqueia a radiação solar antes desta incidir na superfície envidraçada, evitando desta forma o efeito estufa, o que não ocorre nos dispositivos internos de proteção [7]. Os sistemas exteriores à fachada têm um papel muito importante na sua estética e por isso têm de ser bem aplicados à sua envolvente sem interferir na arquitetura existente do edifício.

Além do mais, o uso de um sistema de sombreamento, permite controlar a entrada de luz natural, quando demasiado excessiva, concebendo também privacidade ao espaço interior.

#### 2.3.4.2 DISPOSITIVOS DE SOMBREAMENTO FIXOS

Os elementos fixos, são componentes que geralmente fazem parte do próprio corpo da construção e durante a estação de arrefecimento, operam como difusores de luz quando compostos por cores claras, espalhando-a uniformemente no espaço interior.

As Palas horizontais, caracterizam-se por obstrução da visão do céu e a sua eficiência no sombreamento que confere às aberturas, pode ser observada na carta solar sabendo qual o ângulo de obstrução horizontal ( $\alpha$ ) provocado por esse elemento em relação à normal com o envidraçado.

Estes sistemas são mais vantajosos nos envidraçados orientados a Sul, excluindo os raios solares quando o Sol está mais alto. Existem também elementos horizontais, designados de prateleiras de luz ou light shelves, que, devidamente configuradas e constituídas por cores claras, através da incidência direta dos raios solares permitem refletir a luz solar para o espaço através do teto, que por sua vez reflete no ambiente interior.

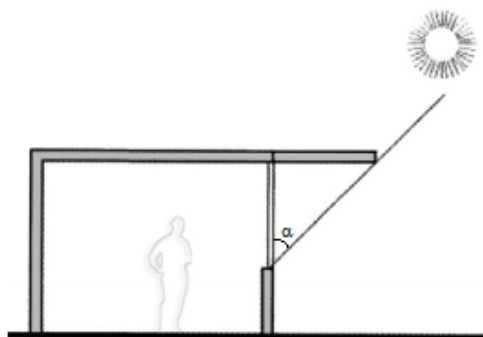


Figura 2.4 Incidência dos raios solares numa pala horizontal [8]

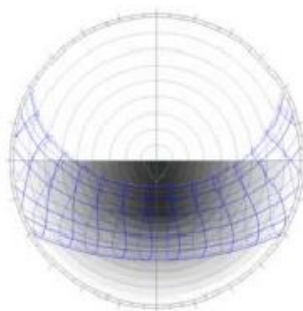


Figura 2.5 – Diagrama de influência do sombreamento das palas horizontais [8]

As palas verticais, são mais adequadas para orientações a Oeste ou Este pois tem maior interferência quando o Sol está mais baixo, ou seja, quando a luz solar é de pequena inclinação.

A sua eficiência no sombreamento para uma fachada orientada a Sul pode ser observada na carta solar através do ângulo de obstrução vertical, ( $\beta$ ), medido entre o ponto extremo da abertura até à borda da parede.

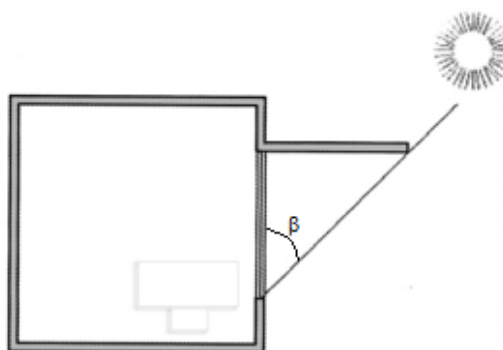


Figura 2.6- Incidência dos raios solares numa pala vertical [8]

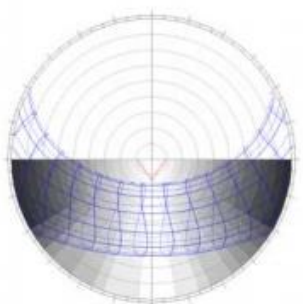


Figura 2.7- Diagrama de influência do sombreamento das palas verticais [8]

#### 2.3.4.3. DISPOSITIVOS DE SOMBREAMENTO MÓVEIS

As portadas, toldos, estores de lâminas variáveis e brise soleil são exemplos de alguns dos elementos de sombreamento móveis.

Estes sistemas podem estar abertos ou fechados, consoante a incidência dos raios solares conferindo-lhes melhor eficácia que os elementos fixos, quer ao nível do controlo da radiação como na entrada de luz natural, pois permitem ao utilizador ativá-los da forma mais adequada, consoante as necessidades horárias.

Hoje em dia existem também sistemas de sombreamento exteriores que são totalmente automatizados e controlados por células fotoelétricas, reagindo às variações da inclinação do sol, aos níveis de temperaturas e/ou aos níveis de luminosidade, com a principal desvantagem de serem sistemas muito dispendiosos [8].

### 2.3.5. VIDROS TÉRMICOS

Com o objetivo de tornar as aberturas dos edifícios sistemas de maior resistência térmica, tornou-se bastante corrente o uso de vidros constituídos por diferentes panos. Atualmente existem vidros que têm até mais de quatro camadas constituintes.

A utilização de vidros com adequado controlo solar, constituem características térmicas que permitem minimizar os ganhos solares recebidos. Para uso residencial a escolha de um vidro especial precisa de possuir propriedades que lhe confira uma resistência térmica adequada e um baixo fator solar reduzindo assim os ganhos diretos recebidos. É também importante que detenham de uma alta transmissão de luz visível, por forma a não comprometer a entrada de luz natural nos espaços interiores. Com a introdução de novos panos à constituição do vidro, a sua espessura vai aumentar e conseqüentemente o coeficiente de transmissão térmica e o seu fator solar irão diminuir. No entanto é importante referir que à medida que essa densidade vai aumentando, a sua transmissão luminosa irá reduzir consideravelmente.

Existem ainda diferentes tipos de vidros apresentando diversas características térmicas. Os vidros coloridos ou de controlo solar: apresentam um fator solar baixo e reduzida transmissão luminosa, diminuindo a quantidade de radiação solar que passa para o espaço interior. Apresentam diversas cores, desde azul, verde, cinza ou azul, conferindo maior privacidade às habitações. No entanto, se a utilização deste tipo de vidro promove um melhor desempenho do que o vidro normal para a estação de Verão – reduzindo os ganhos solares diretos através do envidraçado e, conseqüentemente, os consumos energéticos para as necessidades de arrefecimento –, por outro, para a estação de Inverno pode significar um aumento das necessidades de aquecimento [9].

Os vidros de baixa emissividade são usados para reduzir as perdas de calor e melhorar o isolamento térmico, apresentando uma transmissão térmica inferior à do vidro corrente. Este vidro permite a passagem de radiação com pequeno comprimento de onda, impedindo a saída da radiação com grande comprimento de onda da radiação emitida pelos objetos e superfícies interiores.

A utilização deste tipo de vidros é bastante útil para o Inverno, reduzindo às necessidades de aquecimento, mas podem levar a situações de sobreaquecimento durante o Verão, altura em que a radiação emitida pelos corpos é bastante superior.

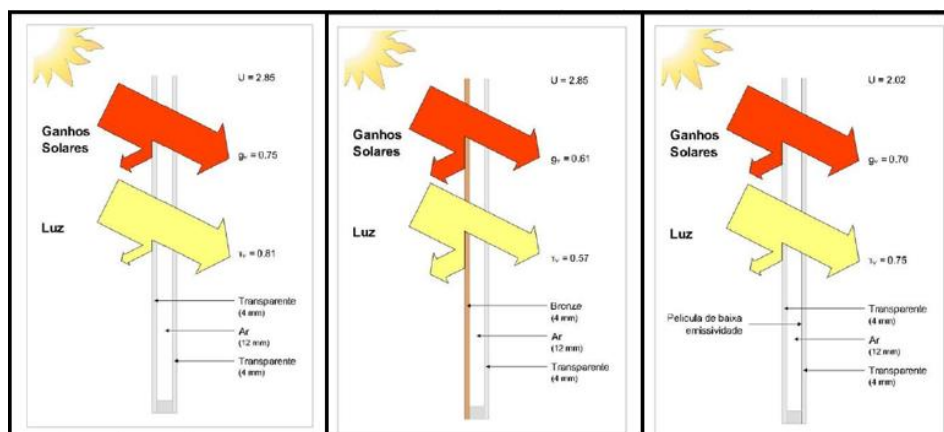


Figura 2.8 - Comparação das características térmicas entre um vidro duplo normal, vidro duplo de controlo solar e vidro duplo com película de baixa emissividade [6].

## 2.4. TÉCNICAS DE REJEIÇÃO DE GANHOS SOLARES

### 2.4.1 VENTILAÇÃO

Em muitos climas, às vezes o uso apenas de técnicas que permitam controlar e prevenir os ganhos de calor não são suficientes para manter um ambiente interior confortável. Desta forma, o desenho arquitetónico do edifício deverá garantir meios que possam rejeitar os ganhos recebidos ao longo do dia, permitindo assim o arrefecimento interior.

Existem diferentes técnicas que permitem gerar um arrefecimento instantâneo dos espaços, mas em alguns o seu efeito é apenas sentido a posteriori, como o caso do arrefecimento realizado durante o período noturno.

A ventilação é um processo que consiste na extração de ar do interior dos edifícios, renovando-o por ar exterior. Este processo é bastante importante para manter e controlar a qualidade do ar e no verão, para reduzir a temperatura interior, através da entrada de ar novo, proveniente do exterior, por forma a obter-se valores aceitáveis de conforto térmico sentido por parte dos ocupantes [4]. Este processo deverá ser geral e permanente, mesmo quando existem temperaturas bastantes inferiores no exterior. A diferença de efeito térmico sentida no Inverno é diferente da sentida no Verão e, portanto, é recomendável considerar o estudo da ventilação em separado para estas duas estações [11].

A ventilação pode ser natural ou mecânica. O uso desta estratégia é garantido exclusivamente através de fenómenos físicos naturais que proporcionam diferenças de pressão capazes de provocar o deslocamento do ar no interior do edifício. Esses fenómenos são designados de:

O efeito chaminé - ocorre devido à variação da diferença de temperatura que existe entre o ar exterior e o ar interior. O ar mais quente, e, portanto, menos denso ascende relativamente ao ar mais frio que é admitido através do edifício por aberturas exteriores e o ar interior tem tendência a abandonar o edifício pelas aberturas localizadas a uma cota superior.

A ação do vento – ocorre devido à diferença de pressões que se fazem sentir em fachadas opostas, desta forma as fachadas que estão diretamente expostas ao vento, barlavento, estão sujeitas a uma pressão positiva permitindo a entrada de ar. Já as fachadas que se encontram opostas à direção do vento estão sujeitas uma pressão negativa, denominadas de sotavento. Há assim uma deslocação do ar no interior do edifício que se direciona da sobrepessão para a subpressão.

#### 2.4.1.1. VENTILAÇÃO NOTURNA

A ventilação noturna está associada à circulação, no interior dos edifícios durante a noite, de ar que se encontra a uma temperatura baixa, reduzindo assim a temperatura do ar no seu interior e também a temperatura dos elementos da envolvente com capacidade de armazenamento de calor de forma a que no dia seguinte as condições de conforto térmico nesse edifício sejam mais adequadas [10].

Este mecanismo de arrefecimento através da ventilação natural é mais adequado para climas que tenham grandes amplitudes de temperaturas, aproveitando o facto de a temperatura exterior durante a noite ser mais baixa para remover o calor armazenado durante o dia que é libertado pelos materiais que constituem a envolvente.

A eficiência da ventilação noturna está dependente de um conjunto de fatores que conjugados apresentam resultados significativos na sua aplicação. Assim, os edifícios pesados, com uma larga capacidade térmica conseguem estabelecer uma temperatura interior bastante próxima da temperatura exterior média.

Os edifícios que aplicam este tipo de técnica de arrefecimento, são geralmente equipados com janelas estrategicamente posicionadas com aberturas no topo, por questões de segurança e privacidade [12].

Desta forma, a ventilação noturna permitirá: [10]

1. Reduzir o pico de temperatura máxima sentida durante o dia;
2. Reduzir a temperatura do ar no interior ao longo do dia, especialmente durante o período da manhã;
3. Reduzir a temperatura dos elementos com capacidade de armazenamento de calor;
4. Criar uma diferença temporal entre o momento dos valores máximos diários da temperatura interior e exterior;

#### 2.4.1.2. VENTILAÇÃO CRUZADA

Esta estratégia de ventilação é potenciada pelas aberturas de janelas em fachadas opostas dos edifícios. A entrada do ar mais fresco dá-se através das fachadas onde o vento incide provocando a saída de ar quente pelas aberturas opostas a esta. A disposição e tamanho das aberturas no compartimento permitem uma maior circulação do ar abrangendo uma maior área de espaço da divisão permitindo gerar correntes de ar favoráveis para o conforto térmico e também para a remoção de poluentes presentes no ar [4].

Este sistema de ventilação cruzada pode ser melhorado se a janela a sotavento for substituída por duas janelas, a colocar em ambas as fachadas laterais, com áreas iguais e cuja soma das áreas é igual a abertura de entrada. Este sistema permite tirar melhor partido da ventilação natural para uma gama mais alargada de possíveis direções do vento [11].

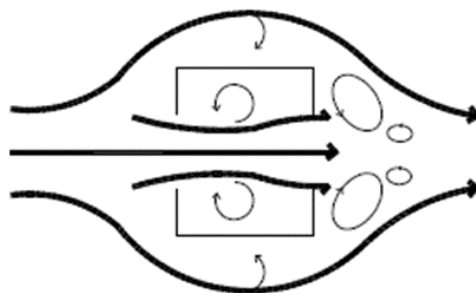


Figura 2.9 - Ventilação através de aberturas a barlavento e sotavento (planta) [1]

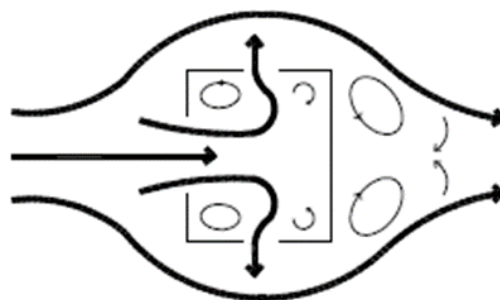


Figura 2.10 - Ventilação através de aberturas a barlavento e laterais (planta) [1]

### 2.4.1.3. VENTILAÇÃO UNILATERAL

A ventilação unilateral acontece em compartimentos que apenas apresentam uma abertura numa das fachadas. Geralmente as habitações unifamiliares produzem unidades com apenas uma fachada e assim sendo o processo de ventilação unilateral é mais recorrente neste tipo de edifícios.

Este método nem sempre apresenta resultados satisfatórios para o arrefecimento dos espaços, mesmo quando o vento incide na fachada em que existe as aberturas. Por forma a potencializa-lo, é aconselhável a colocação de aberturas relativamente espaçadas entre si, como modo de melhorar o escoamento do ar, podendo ainda se recorrer a elementos arquitetónicos, como palas verticais. O papel destas palas em termos de ventilação é o de criar uma pressão positiva numa das aberturas e uma pressão negativa na outra, de forma a induzir a ventilação cruzada. As janelas de batente com abertura para fora comportam-se de forma semelhante [10].

Estes tipos de elementos podem ser usados quando corretamente posicionados tendo em conta a direção do vento, pois consoante o seu arranjo na fachada, irá implementar diferentes velocidades e direções do ar. Nas seguintes figuras serão apresentados os diferentes padrões de ventilação para diferentes configurações

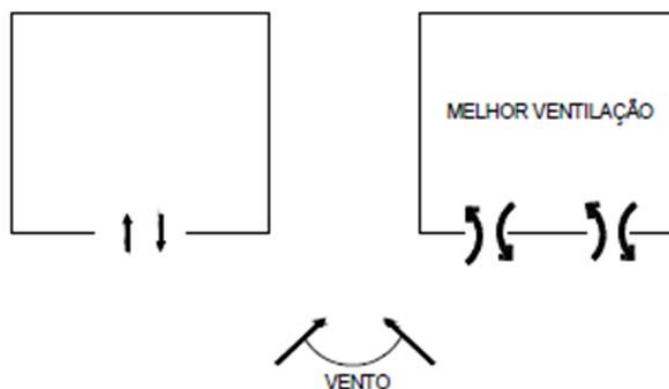


Figura 2.11 - Ventilação unilateral [1]

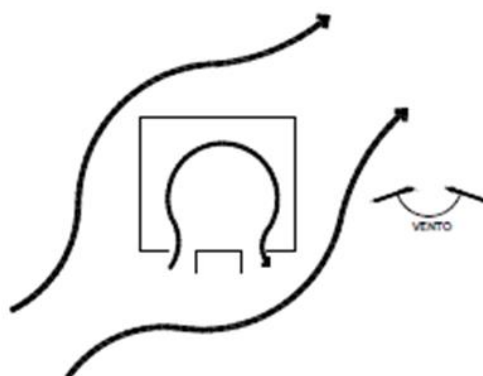


Figura 2.12 - Impacto das palas verticais na ventilação unilateral [1]

## 2.4.2. A ARQUITETURA PARA POTENCIAR A VENTILAÇÃO NATURAL

### 2.4.2.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Os sistemas ativos que permitem gerar o fluxo de ar no interior da habitação podem ser diminuídos através da potencialização da ventilação natural. Para isso, é necessário, ainda durante a fase de projeto, haver a preocupação de priorizar a elaboração de medidas arquitetónicas que permitam estabelecer uma adequada eficácia da ventilação natural.

A arquitetura e a forma do edifício, o posicionamento das aberturas e a permeabilidade da envolvente, apresentam um papel muito importante na eficácia do fluxo de ar interior e consequentemente na melhoria das condições de conforto térmico através deste sistema passivo.

Em seguida serão descritos alguns exemplos de soluções arquitetónicas, algumas tradicionais e outras mais recentes, que permitem promover a ventilação do espaço interior e também reduzir os ganhos solares.

### 2.4.2.2. TORRES DE VENTO

São elementos bastante característicos da arquitetura árabe. O seu objetivo passa por captar os ventos acima do nível da cobertura que são direcionados para o interior do edifício. Esta técnica é bastante eficaz para edificações cujas aberturas têm pouco acesso à ventilação. A sua projeção deve ser corretamente pensada consoante a direção predominante do vento da região.

Durante o dia as torres de vento funcionam como coletores de vento para potenciar o arrefecimento interior, e à noite, esse processo é invertido passando a funcionar como uma chaminé normal, expulsando o ar interior.

### 2.4.2.3. CHAMINÉS SOLARES

As chaminés solares são adequadas para zonas sem vento ou com ventos com velocidades muito baixas. O seu funcionamento baseia-se no de um coletor solar, através da captação dos raios solares que atravessam o vidro que a constituem aquecendo uma placa metálica preta situada abaixo deste, emitindo assim calor para o interior.

O processo de ventilação é provocado através das diferenças de temperatura e pressão geradas por esse aquecimento prévio, criando assim um fluxo de ar através das diferenças de temperatura entre o ar interior aquecido, e o ar exterior que é mais fresco.

#### 2.4.2.4. CONDUTAS ENTERRADAS

É um sistema de arrefecimento relativamente recente e consiste na colocação de tubos enterrados a uma determinada profundidade sob as fundações dos edifícios, tirando partido das características térmicas do solo que permitem manter a temperatura constante e agradável durante todo o ano.

Esta rede está ligada a aberturas de admissão de ar vindas do exterior, numa das extremidades, até ao sistema de ventilação da habitação, ligado a outra extremidade. No Verão, durante o processo de resfriamento, o ar exterior é admitido para o interior dos tubos onde durante o seu percurso, este cede parte do seu calor para o solo, entrando no interior da habitação a uma temperatura mais fria.

#### 2.4.2.5. PAREDES DE TROMBE VENTILADA

As paredes de trombe oferecem benefícios às necessidades de arrefecimento através da radiação solar incidente. Estas paredes são constituídas em pedra, betão ou tijolo maciço com furos no topo e na base e cobertas por um vidro afastado entre 5 a 20 cm da parede [13].

As paredes de trombe ventiladas destacam se da parede de trombe clássica pela inclusão de aberturas para o exterior na parte superior e inferior do vidro. Para efeitos de arrefecimento, durante a época do verão, deverão estar abertos os orifícios exteriores superiores, juntamente com os interiores inferiores, incitando desta forma uma corrente de ar através da ventilação cruzada, no interior da divisão. Por forma a entender melhor esse processo, na imagem 2.13, é apresentado um esquema do seu funcionamento durante a época de arrefecimento.

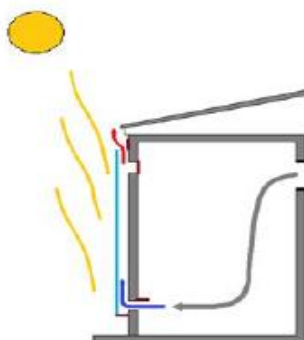


Figura 2.13 - Esquema de funcionamento de uma parede de trombe ventilada [13]

#### 2.4.2.6. ABERTURAS DE ADMISSÃO DE AR

Estes dispositivos de aberturas podem ser realizados em paredes de fachada, nomeadamente localizadas nas caixas de estore e outros elementos da fachada geralmente em contacto com os compartimentos principais ou através de condutas [11]. Quando se tratam de aberturas nas fachadas estas são realizadas com recurso:

- Grelhas fixas – constituídas por lamelas horizontais ou verticais. As grelhas com lamelas horizontais são indicadas para as fachadas que se encontram especialmente orientadas a Sul, uma vez que no inverno este sistema permite a entrada do sol e no verão intercepta a passagem dos raios solares, já as grelhas de lamelas verticais são indicadas para as restantes orientações de fachadas, onde o sol incide com um ângulo central muito pequeno.

- Grelhas móveis – dentro desta gama existem as grelhas reguláveis, que se movem manualmente, permitindo regular o caudal de ar admitido para o interior. As grelhas autorreguláveis, dispõem de dispositivos que permitem assegurar um caudal unidirecional que não varia mais do que 1,5 vezes para diferenças de pressão entre 20 a 200 Pa. Quando comparadas com as grelhas fixas, estas oferecem mais vantagens económicas e de conforto interior.
- Grelhas higrorreguláveis – O caudal de ar que circula vai depender da humidade relativa presente no interior. Assim quando a humidade relativa é elevada é acionado um dispositivo de antirretorno permitindo a passagem total de ar, o contrário acontece se for verificado que a humidade relativa presente no interior é baixa, passando apenas uma quantidade de caudal mínima.



# 3

## CONFORTO TÉRMICO

### 3.1. DEFINIÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO

A norma europeia ISO 7730, estabelece que o conforto térmico é um estado psicológico que expressa a satisfação com o ambiente térmico que é difícil de expressar por parâmetros físicos. [14].

O conforto térmico está relacionado com o equilíbrio térmico do corpo humano. O nosso corpo mantém uma temperatura corporal relativamente constante e através de diversas ações fisiológicas, acontecem trocas térmicas com o ambiente circundante. As atividades realizadas pelo ser humano produzem calor que será dissipado para o meio ambiente, e a fim de se manter um equilíbrio térmico é necessário que esse calor seja dissipado. Essas trocas térmicas podem ser realizadas através de diferentes fenômenos físicos, como a condução, a convecção e a radiação. Assim perante diferentes circunstâncias, os utilizadores experienciam situações de conforto ou desconforto dependendo de diversos fatores pessoais e ambientais, que serão a seguir descritos.

É, portanto, um conceito complexo, uma vez que é influenciado por um vasto conjunto de parâmetros, mas pode ser entendido como um conjunto de condições para as quais uma pessoa não preferiria um ambiente nem mais quente nem mais frio. [10]

### 3.2. VARIÁVEIS DO CONFORTO TÉRMICO

#### 3.2.1. VARIÁVEIS INDIVIDUAIS

As condições de conforto térmico são função de um conjunto de variáveis como, a taxa de metabolismo, a vestimenta, a temperatura radiante média, a humidade relativa, a temperatura ambiente e a velocidade do ar.

Além disso, as variáveis como o sexo, idade, raça, hábitos alimentares, peso, altura, e entre outras, podem exercer influência nas condições de conforto de cada pessoa e também devem ser consideradas. [15].

Para a estudo deste trabalho, irá centrar-se especialmente nas variáveis ambientais, dando mais ênfase à temperatura do ar e à temperatura radiante média, pois também são as que mais influência têm na perda de calor.

A sensação de bem-estar, ou seja, de conforto térmico, será a combinação satisfatória de todas as variáveis a seguir descritas.

### 3.2.1.1. TAXA DE METABOLISMO

A taxa de metabolismo é uma forma não exata de calcular a quantidade de calor e trabalho mecânico, estando associado às atividades físicas do indivíduo.

Esta taxa pode ser expressa em diferentes unidades, sendo as mais comuns o met e  $W/m^2$ . Em seguida serão apresentados os valores das taxas de metabolismo associada a diferentes atividades físicas.

É importante referir que a taxa metabólica de um indivíduo corresponde a um valor médio das atividades realizadas durante a última hora. A razão para isto, é que a capacidade de produção de calor do corpo está associada a uma hora de nível de atividade [16].

A ISO 7730 descreve alguns métodos para determinar a taxa de metabolismo. Uma das formas de obter informação sobre os valores metabólicos produzidos é através de tabelas onde são estimadas taxas de metabolismo consoante diferentes tipos de atividade e ocupação. Na tabela 3.1 serão apresentados alguns desses dados relativos ao calor dissipado pelo corpo em função da atividade que está a ser realizada.

Tabela 3.1 - Taxas de metabolismo para diferentes atividades segundo ISO 7730:2005 [1]

Atividade	Metabolismo ( $W/m^2$ )	Metabolismo (Met)
Deitado	46	0,8
Sentado, relaxado	58	1,0
Atividade sedentária	70	1,2
Atividade leve em pé	93	1,6
Atividade média em pé	116	2,0
Grande atividade	175	3,0

### 3.2.1.2. VESTUÁRIO

O tipo de vestuário funciona como uma forma de isolamento térmico ao ambiente circundante, reduzindo as perdas de calor geradas pelo corpo humano.

Em climas secos, com temperaturas exteriores bastante elevadas, seria de pensar que a ausência de roupas poderia garantir condições mais confortáveis para os habitantes destas regiões. No entanto, nestes climas, o vestuário adequado pode manter a humidade resultante da transpiração e evitar a desidratação [15].

A resistência térmica associada ao vestuário está dependente do tipo de peça e o seu tecido constituinte. Assim, a cada peça de vestuário está associada uma determinada resistência térmica ( $I_{cl}$ ), sendo que o índice de resistência térmica total ( $I_t$ ) será o somatório de todas as peças de roupa que constituem o vestuário.

O valor de  $I_{cl}$  pode ser apresentado numa unidade própria denominada clo ou em  $m^2K/W$ . Na tabela 3.2 são dados alguns exemplos da resistência térmica de algumas peças de roupa.

Tabela 3.2 - Valor de resistência térmica para vestuário segundo ISO 7730

Vestuário	Resistência térmica (clo)
Meias	0,02
Roupa Interior	0,03
Camisa	0,20
Calças	0,25
Sapatos	0,04

### 3.2.2. VARIÁVEIS AMBIENTAIS

#### 3.2.2.1 TEMPERATURA DO AR

A temperatura do ar é uma das variáveis mais importante para definir o conforto térmico. A sensação de conforto térmico baseia-se na perda de calor resultante da diferença de temperatura que é sentida entre a pele e o ar, complementada pelos outros mecanismos termorreguladores. [15]

Segundo o REH, para a estação de arrefecimento o valor da temperatura de referência é de 25°C.

#### 3.2.2.2. TEMPERATURA RADIANTE MÉDIA

Esta variável representa a temperatura uniforme à superfície de um espaço negro imaginário que resultaria na mesma perda de calor por radiação de um indivíduo no espaço real [16].

O seu valor representa uma média pesada de todas as superfícies em contato com o espaço que está a ser estudado. No entanto a medição da temperatura de cada superfície pode se tornar um processo muito demorado, sendo por isso a sua quantificação evitada sempre que possível.

#### 3.2.2.3. HUMIDADE RELATIVA

A humidade relativa é a relação entre a quantidade vapor de água existente no ar (humidade absoluta) e a quantidade máxima que poderia haver à mesma temperatura (ponto de saturação).

Existindo um grau de evaporação superior ou inferior este vai interferir com a nossa perda de calor. A ISO 7730 sugere que os valores da humidade relativa para a avaliação do conforto térmico de um local de trabalho para uma atividade sedentária deverão estar entre 30% a 70% [14].

#### 3.2.2.4 VELOCIDADE DO AR

A velocidade do ar, que costuma ser abaixo que 1m/s, ocorre em ambientes internos sem necessariamente a ação direta do vento. O ar desloca-se pela diferença de temperatura no ambiente, onde o ar quente sobe e o ar frio desce (convecção natural). Quando o ar se desloca por meios mecânicos, como um ventilador, o coeficiente de convecção aumenta, aumentando a sensação de perda de calor (convecção forçada). O deslocamento do ar também aumenta os efeitos da evaporação no corpo humano, retirando a água em contato com a pele com mais eficiência e assim, reduzindo a sensação de calor [15].

A ISO 7730 apresenta algumas recomendações da velocidade do ar máxima em função da temperatura interior. No Verão deverá ser inferior a 0,25 m/s com temperaturas entre os 23° e os 26° [14].

### 3.3 BALANÇO TÉRMICO

Os ganhos de calor do corpo humano dão-se através do metabolismo e as perdas de calor realizam-se de maneira sensível e latente através da respiração e pela pele. O balanço térmico entre o corpo e o meio ambiente pode ser descrito pela seguinte expressão:

$$S=M\pm W\pm R\pm C\pm K -E\pm Res \quad (2)$$

Os termos da equação são dados em W/m<sup>2</sup>, sendo que S representa a acumulação de calor no corpo humano, sendo que este é nulo quando existe equilíbrio térmico. [17]

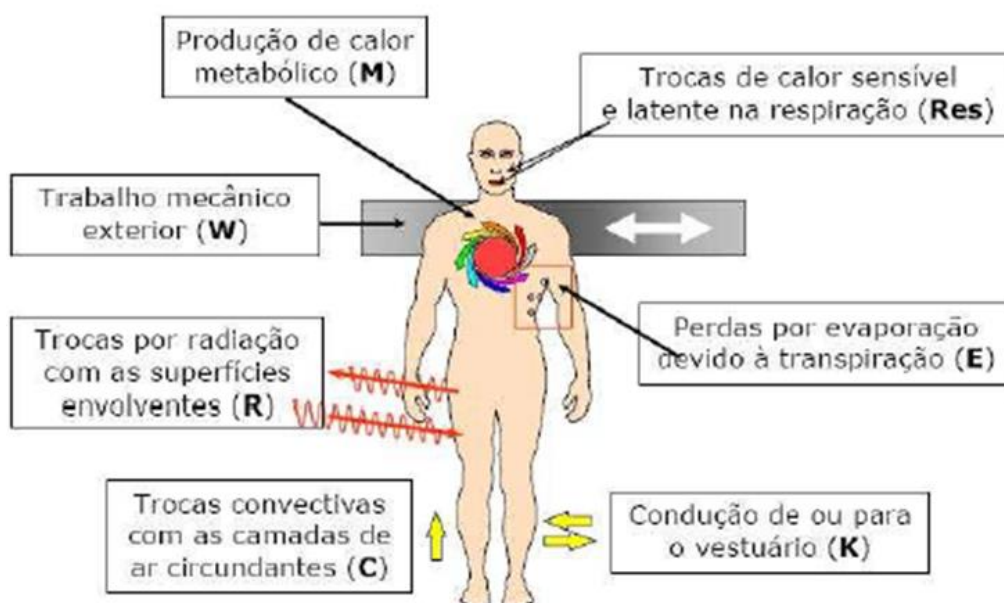


Figura 3.1 - Balanço térmico do corpo humano [17]

### 3.4. MECANISMOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

#### 3.4.1. CONDUÇÃO

Processo físico que consiste na troca de calor causado pela diferença de temperatura entre dois corpos ou partes de um corpo. No caso dos materiais de construção o fluxo térmico por condução é influenciado pelo coeficiente de condutividade térmica ( $\lambda$ ) e pelo diferencial de temperatura. Cada material tem o seu coeficiente de condutividade térmica, caracterizando a maior ou menor facilidade de transferência de calor.

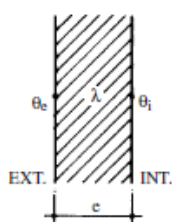


Figura 3.2 - Processo de condução [18]

### 3.4.2. CONVECÇÃO

O calor é transferido por partículas do meio que se movimentam de um lado para o outro, ocorrendo entre sólidos e outro um fluido (líquido ou gasoso) [18]. A convecção natural acontece sem a ação de agentes externos, sendo que o movimento do ar dá-se pela diferença de temperatura entre as partículas. A convecção forçada é provocada predominantemente pela ação de agentes externos como ventiladores.

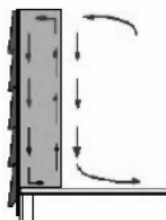


Figura 3.3 - Processo de convecção [19]

### 3.4.3. RADIAÇÃO

Mecanismo de troca de calor entre dois corpos, sem contacto físico entre os corpos, através da sua capacidade de emitir a absorver energia térmica. Este mecanismo resulta da natureza eletromagnética da energia, que quando é absorvida, provoca efeitos térmicos que permitem a sua transmissão sem necessidade de meio para se propagarem. [18]



Figura 3.4 - Processo de radiação [19]

### 3.5. ÍNDICES DO CONFORTO TÉRMICO

#### 3.5.1. PMV

Os índices de conforto térmico permitem avaliar o efeito conjunto de algumas variáveis de conforto térmico.

Geralmente cada índice é avaliado conforme um determinado tipo de atividade e vestuário que depois são relacionadas com as variáveis ambientais, permitindo assim juntar as diferentes condições ambientais que proporcionarão respostas iguais por parte dos indivíduos.

O PMV (voto médio estimado ou predict mean vote) foi desenvolvido por Fanger em 1970 através de várias experiências realizadas e hoje em dia servem como base na elaboração de Normas Internacionais. O PMV é um índice que prevê o valor médio dos votos de um grande grupo de pessoas nos 7 pontos escala de sensibilidade térmica com base no equilíbrio térmico do corpo humano, tal como é possível observar na tabela 3.3. O equilíbrio térmico é obtido quando a produção interna de calor no corpo é igual à perda de calor para o meio ambiente. Em um Ambiente moderado, o sistema termorregulador humano tentará automaticamente modificar a temperatura da pele e secreção de suor para manter o equilíbrio térmico.

Tabela 3.3 – Escala da sensação térmica segundo a ISO 7730:2005 [1]

+3	Muito quente
+2	Quente
+1	Ligeiramente quente
0	Neutro/Confortável
-1	Ligeiramente frio
-2	Frio
+3	Muito frio

#### 3.5.2. PPD

O PPD (percentagem de pessoas descontentes ou predicted percentage dissatisfied) também foi desenvolvido por Fanger(1970) sendo igualmente utilizado nas normas internacionais como base para classificar o conforto térmico.

Este índice permite estabelecer uma previsão quantitativa da percentagem de insatisfeitos, ou seja, as pessoas que estarão mais suscetíveis de se sentirem quentes ou frias. O seu valor pode ser calculado através do PMV, pela fórmula seguinte: [1]

$$PPD = 100 - 95 * \exp(-0,003353 * PMV^4 - 0,2179 * PMV^2) \quad (3)$$

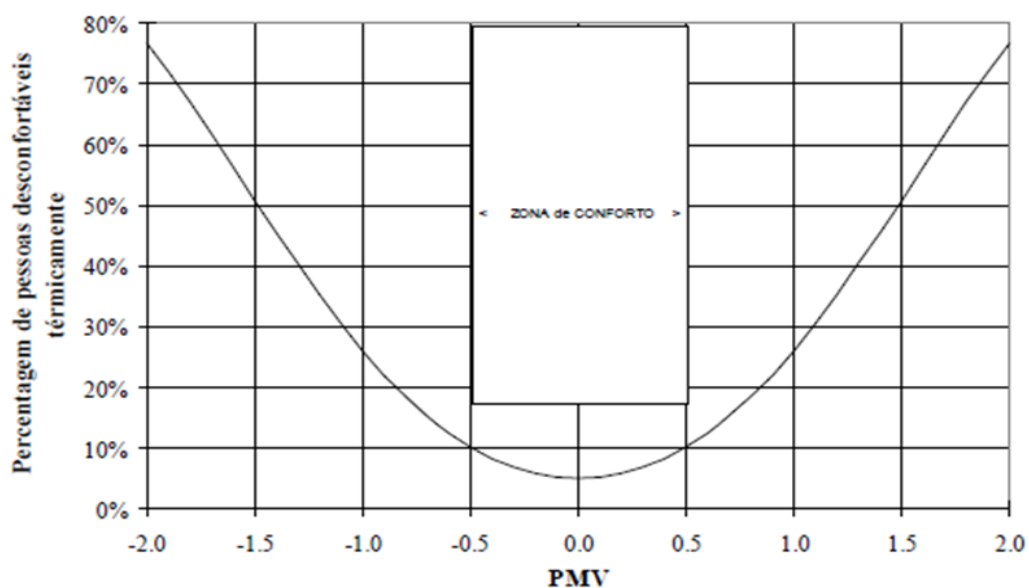


Figura 3.5 - PPD em função de PMV [20]

Uma conclusão retirada deste gráfico é que qualquer que sejam as condições de conforto ambientais, não se consegue menos do que 5% de descontentes. Assim a ISO 7730 considera aceitáveis ambientes térmicos em que  $-0,5 < PMV < 0,5$ , ou seja, menor que 10% dos ocupantes mostram desconforto.

### 3.5.3. TEMPERATURA OPERATIVA

A Temperatura operativa ( $T_{op}$ ) é uma temperatura uniforme de um ambiente com comportamento de corpo negro imaginário, no qual o ocupante poderia trocar a mesma quantidade de calor por radiação e convecção que no ambiente real não uniforme [15].

A temperatura operativa é a média da temperatura do ar e a temperatura média radiante ponderada, respetivamente, pelo coeficiente de transferência de calor convectivo e pelo coeficiente de transferência de calor radiante linearizado para o ocupante.

Estudos realizados sugerem que a temperatura de óptima de conforto surge em função da temperatura média exterior podendo ser determinada pela seguinte expressão: [21]

$$T_{conf} = 0,31 T_{a, out} + 17,8 \quad (4)$$

Com base nestes resultados foi proposto um modelo adaptativo sugerido pela norma ASHRAE 55 para edifícios ventilados naturalmente.

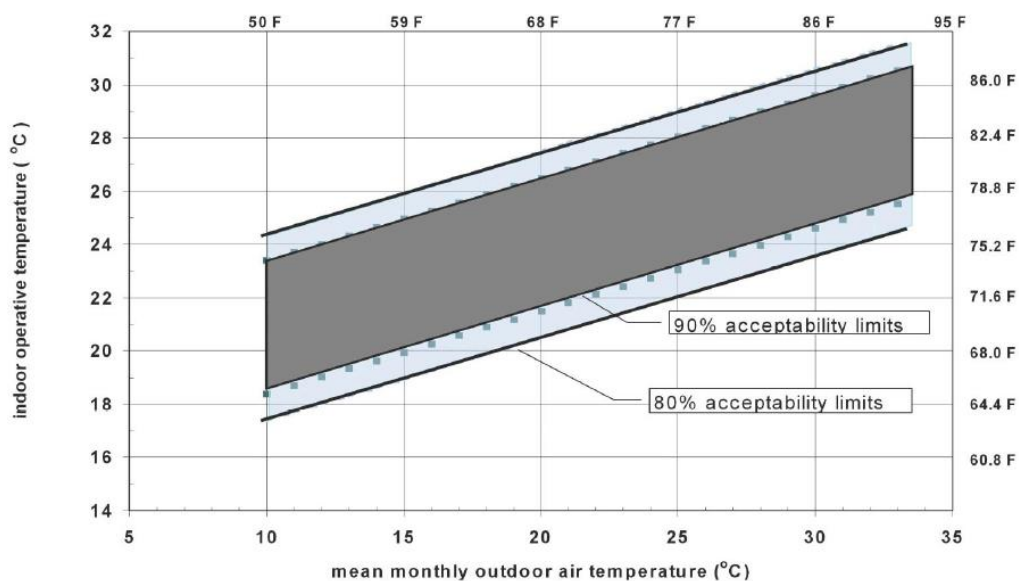


Figura 3.6 - Variação da temperatura operativa para edifícios ventilados naturalmente, proposto pela ASHRAE 55:2004

#### 3.5.4. GRAUS HORA DE DESCONFORTO

O índice de graus hora de desconforto (GhDT) é mais um parametro de desconforto, pois permite estabelecer as horas, do periodo em análise, em que existe uma diferença positiva entre a temperatura operativa horaria e a temperatura de conforto, estabelecida em 25°.

Este índice, permite prever a totalidade de graus hora desconforto a que determinado espaço esta sujeito, ou seja, os graus hora de desconforto que os ocupantes vão ter de suportar [4].

# 4

## CASOS DE ESTUDO

### 4.1. CASO DE ESTUDO 1 – QUINTA DAS PALHACINHAS

#### 4.1.1. CARACTERIZAÇÃO GERAL

O primeiro caso de estudo localiza-se no concelho de Vila Nova de Gaia na freguesia de Santa Marinha, estando a 90 metros de altitude.

É um edifício de habitação multifamiliar de construção datada de 2007, composto por um bloco de apartamentos com 8 pisos constituído por 53 frações autónomas com diferentes tipologias entre as quais T1, T2, T3, T4, duplex T3 e duplex T4. A habitação está inserida na zona climática I2, V1 e classe de exposição ao vento 1.

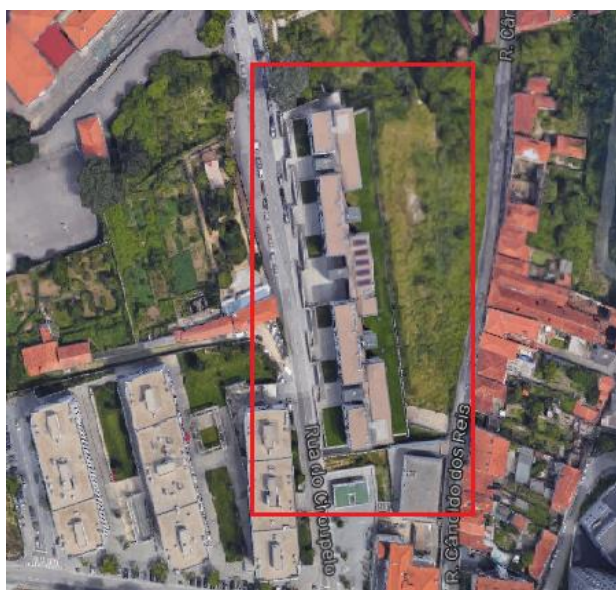


Figura 4.1 - Localização geográfica do edifício Quinta das Palhacinhas - Fonte: google maps

Para a estudo desta dissertação irá ser analisado um compartimento principal, a sala. A cozinha também foi considerada como parte integrante do espaço a ser estudado, visto a ligação entre estas divisões ser realizada através de uma porta em madeira com um mecanismo de deslizamento horizontal havendo a possibilidade de habitualmente esta estar aberta permitindo o acesso direto à sala. Assim sendo as necessidades de ventilação surgiram para o volume total do compartimento sala mais cozinha. Nas imagens 4.18 e 4.19 são apresentadas as plantas referentes ao compartimento a ser estudado.



Figura 4.2 - Planta 1º andar do compartimento em estudo

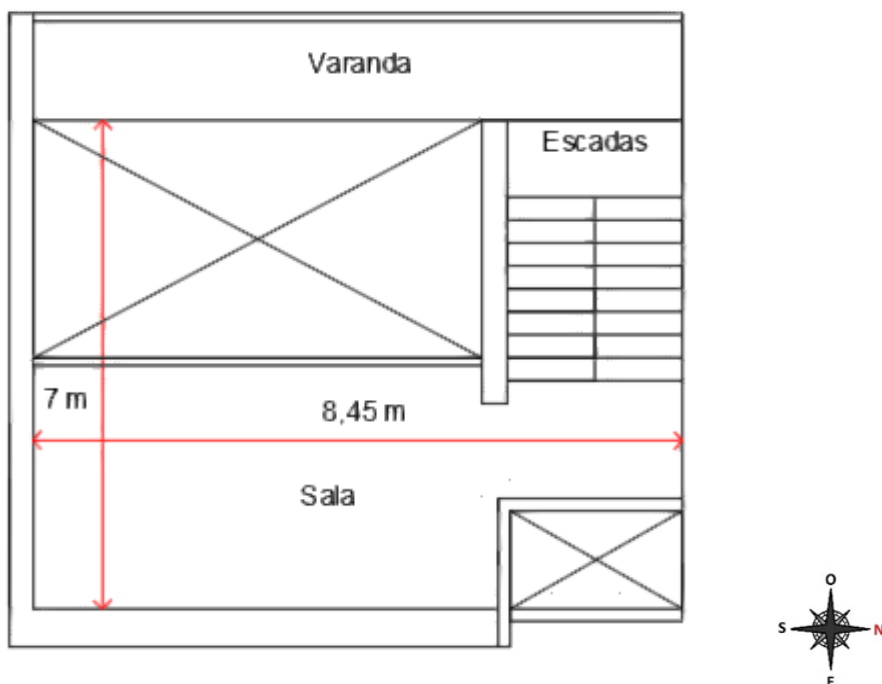


Figura 4.3 - Planta 2º andar do compartimento em estudo

As dimensões do compartimento em estudo são 8,45 metros de largura correspondentes ao comprimento da varanda, 7,70 metros de comprimento e como sendo um duplex, e não havendo informação concreta sobre a altura do pé direito foi considerado duas vezes uma altura de 2,75 metros, ou seja, 5,50 metros, sendo que o volume em estudo é aberto, com um pé direito duplo. O espaço em estudo apresenta um

envidraçado com 45 m<sup>2</sup>. O compartimento apresenta um volume correspondente a aproximadamente 360 m<sup>3</sup>.

#### 4.1.2. CARATERIZAÇÃO CONSTRUTIVA

A figura 4.4 mostra parte do compartimento que irá ser estudado nesta dissertação, apresentando a fachada principal onde se encontra o envidraçado de grandes dimensões orientado a Oeste.

Podemos observar que a envolvente exterior da sala é composto por um envidraçado constituído por vidro duplo com mecanismo de deslizamento horizontal com caixilharia de alumínio e com dimensões bastante significativas comparativamente com as restantes janelas. Não existe qualquer tipo de proteção solar exterior e a proteção interior é composta por cortinas opacas de cor clara.

Relativamente aos seus opacos, as paredes exteriores são constituídas em pano de parede de bloco térmico de tijolo de 20 cm, composta com placas de poliestireno extrudido de 4 cm de espessura pelo exterior com caixa de ar ventilada e revestimento de aglomerado de pedra de 3 cm.

As paredes interiores, separadoras de fogos entre circulação de zonas comuns são duplas constituídas por pano de parede de tijolo furado de 15 cm e/ou 11 cm e caixa de ar parcialmente preenchida com lã mineral de 4 cm.

O pavimento interior é isolado pela face superior em placas rígidas de poliestireno extrudido de 3cm embebidas na camada de regularização com 10 cm de espessura. O seu acabamento é em soalho de madeira de jobobá.

A cobertura é plana e constituída por lajes maciças em betão armado sendo que na face superior existem placas rígidas de polietireno extrudido de 6 cm de expressura.



Figura 4.4 - Fachada do compartimento principal.

#### 4.1.3. DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE VENTILAÇÃO

Na fração autónoma o sistema de ventilação existente nos sanitários é natural constituído por prumadas individuais de extração de ar com inclusão nas casas de banho de válvulas de extração. Na cozinha será realizada a extração mecânica através de hottes e devido à existência de caldeiras nestes compartimentos, haverá uma conduta de secção dupla, cuja secção interior tem como objetivo a admissão de ar necessário para a combustão e a secção exterior a rejeição dos produtos dessa combustão. Será ainda considerada uma abertura para entrada de ar adicional na cozinha para compensar o ar extraído pela hotte.

Relativamente à restante constituição da fração autónoma a ventilação natural não cumpre a Norma Portuguesa 1037-1 não existindo qualquer tipo de aberturas na fachada à exceção da cozinha, como anteriormente mencionado.

## 4.2. CASO DE ESTUDO 2 – HABITAÇÃO UNIFAMILIAR ARCOZELO

### 4.2.1. CARATERIZAÇÃO GERAL

O segundo caso de estudo localiza-se na Rua de Mira na freguesia de Arcozelo no concelho de Vila Nova de Gaia a 47 metros de altitude.

O presente edifício é uma habitação geminada construída em 2012 de tipologia T4 constituída por dois pisos, estando inserida na zona climática I2, V1 a menos de 5 km da costa e com uma classe de exposição ao vento 2.

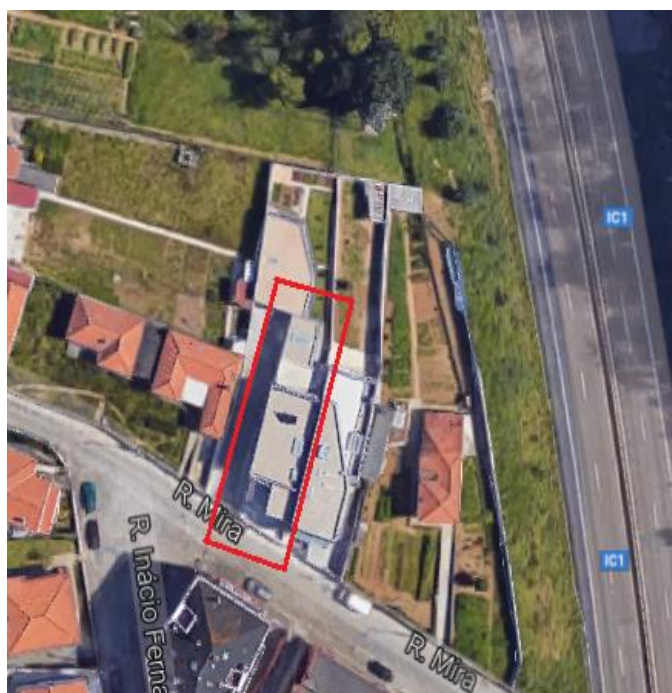


Figura 4.5 - Localização geográfica da habitação unifamiliar Arcozelo

No estudo desta dissertação foi analisado um dos compartimentos principais da habitação unifamiliar localizada no segundo andar da fração, cuja planta será apresentada na imagem 4.6.

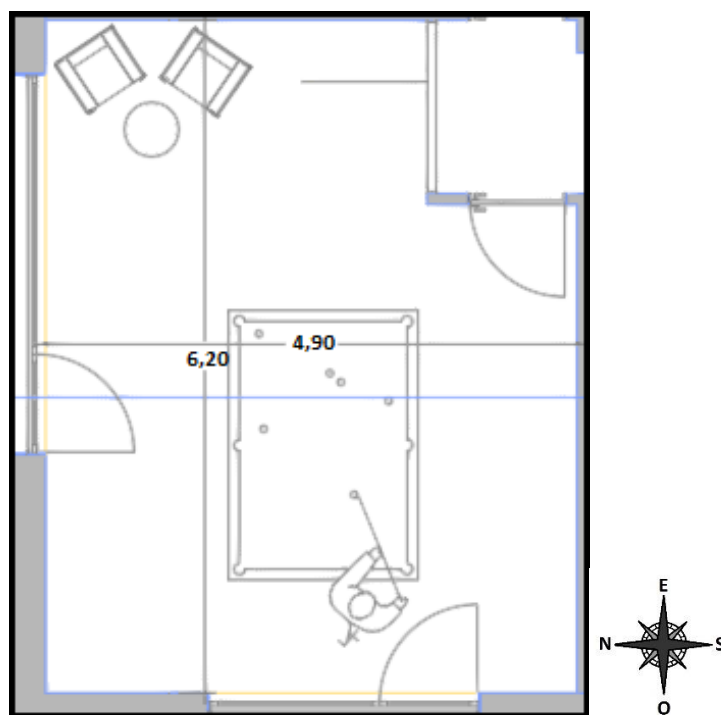


Figura 4.6 - Planta do compartimento em estudo

Este compartimento apresenta dois vãos envidraçados, um orientado a Oeste com uma área de  $3,00 \text{ m}^2$  e outro orientado a Norte com uma área de  $7,35 \text{ m}^2$ . O compartimento apresenta um pé direito médio de 2,70 metros, apresentando um volume total de  $83 \text{ m}^3$ .

#### 4.2.2. CARACTERIZAÇÃO CONSTRUTIVA

Os vãos envidraçados da envolvente do compartimento são constituídos por vidro duplo com sistema de abertura giratória e caixilharia em alumínio. As proteções solares exteriores são persianas metálicas de cor clara e as proteções interiores são cortinas de cor opaca clara.

As paredes exteriores da habitação são constituídas por pano de parede duplo de tijolo cerâmico vazado de 11 cm e 15 cm com isolamento na caixa de ar do tipo XPS de 3cm de espessura com isolamento pelo exterior do tipo EPS de 5cm de espessura com e placas de granito de cor clara com 2 cm de espessura. As paredes interiores divisórias são simples em tijolo de 11 cm rebocadas em ambas as faces. A cobertura é plana não acessível composta por uma laje aligeirada com 0,25 metros de espessura com isolamento térmico em Poliestireno Expandido extrudido XPS de 8 cm e com acabamento final em godo de cor clara.

#### 4.2.3. CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE VENTILAÇÃO

O sistema de ventilação existente nos sanitários é composto por ventiladores de extração naturais de utilização individual. Para a cozinha a extração é realizada através de meios mecânicos com recurso a um exaustor.

A ventilação natural da habitação não cumpre a norma portuguesa NP 1037-1 não existindo referência a qualquer tipo de dispositivo ou abertura nas fachadas que permita a admissão de ar.



# 5

## SIMULAÇÃO NUMÉRICA. ESTUDO PARAMÉTRICO

### 5.1. ÂMBITO

O objetivo desta dissertação centra-se em avaliar o conforto térmico dos dois compartimentos referidos no capítulo anterior, fazendo variar determinados parâmetros considerados relevantes. Em cada um dos compartimentos foram considerados diferentes estratégias de ventilação permitindo verificar quais as mais eficazes para cada caso em particular. Com base nos resultados obtidos serão analisadas diferentes soluções por forma a melhorar o potencial de arrefecimento dos espaços estudados.

### 5.2. SOFTWARE DE SIMULAÇÃO: LESOCOOL

O software utilizado para realizar as simulações dos compartimentos foi o Lesocool. Esta ferramenta permite calcular, de forma simplificada, o potencial da ventilação mecânica e natural para arrefecimento dos espaços. O programa apenas usa os parâmetros que mais influenciam o potencial do arrefecimento.

Para iniciar um novo projeto, o software necessita de alguns dados como a estratégia de ventilação a utilizar, a duração da simulação, dados climáticos e correspondentes ganhos solares e a geometria do espaço em estudo.

Inicializamos o processo primeiro por referir a duração da simulação, que nunca deverá ser muito superior a 24 horas. O passo a seguir será definir a estratégia de ventilação a utilizar e depois caracterizar a geometria do espaço onde serão colocadas informações, tais como a área do compartimento, as áreas dos envidraçados, o seu respetivo coeficiente de transmissão térmica ( $W/m^2 K$ ) e as propriedades dos materiais que constituem as paredes, tetos e chão, através da gama de materiais que o programa fornece permitindo criar uma estimativa da sua efusividade, o que determinará a sua inércia térmica.

Após a introdução dos dados de entrada, o programa irá fornecer para cada simulação, a temperatura interior do compartimento, a temperatura da parede, o caudal de ar em ( $m^3/h$ ) e a perda térmica associada ao efeito da ventilação na forma de tabela e gráficos permitindo comparar as diferentes simulações para cada projeto apresentado.

### 5.3. PARÂMETROS DE CÁLCULO

#### 5.3.1. DADOS CLIMÁTICOS

O edifício localiza-se em Vila Nova de Gaia e recorreu-se ao programa SOLTERM para os dados deste local nos dias de maiores temperaturas exteriores registadas 14, 15 e 16 de agosto.

Os dados do SOLTERM fornecem as temperaturas exteriores nestes dias assim como os valores da Intensidade da radiação solar ( $W/m^2$ ) para as diferentes orientações (Norte, Nordeste, Este, Sudeste, Sul, Sudoeste, Oeste, Noroeste).

Uma vez que os dados climáticos provenientes do SOLTERM não apresentam valores muito extremos da época de verão, visto serem resultados de um base de dados de diferentes anos de análise e, portanto, os valores da temperatura exterior que estão estabelecidos no programa são uma média desses anos. Também foi analisado um dia de estudo com temperaturas mais elevadas e retirado da estação meteorológica da FEUP permitindo analisar assim um dia de temperaturas extremas de verão prolongado por um período de 3 dias consecutivos, servindo para analisar o comportamento da divisão em estudo para um dia com temperaturas mais elevadas.

### 5.3.2. GANHOS SOLARES

O cálculo dos ganhos solares foi realizado recorrendo à formula do REH:

Para os envidraçados:

$$\text{Ganhos solares} = I * F_s * (A * F_g * g_v) \quad (5)$$

Em que:

I – Intensidade da radiação solar ( $W/m^2$ )

$F_s$  – Fator de obstrução do envidraçado

A – Área do envidraçado incluindo caixilharia ( $m^2$ )

$F_g$  – Fração envidraçada

$g_v$  – Fator solar do vão envidraçado

No entanto é preciso realçar que nas horas em que o envidraçado não recebe a radiação solar direta, e, portanto, a sua área se encontra sombreada o critério utilizado para calcular os ganhos solares passa por multiplicar pelo valor da intensidade da radiação solar difusa, que para esta dissertação foi considerada como sendo 20% da radiação solar total de cada direção correspondente. Assim:

$$\text{Ganhos solares} = I \text{ difusa} * (A * F_g * g_v) \quad (6)$$

Para as restantes situações do dia, em que o envidraçado recebe radiação solar total, recorreu-se a um modelo de geo localização através do SketchUp que permitiu avaliar a percentagem horária em que o envidraçado recebe radiação direta e difusa possibilitando a determinação de um fator de obstrução correspondente a cada hora do período de análise.

$$\text{Ganhos solares} = I \text{ difusa} * (A * F_g * g_v) + I_{\text{global}} * (A * F_g * g_v) * F_s \text{ horário} \quad (7)$$

Segundo o Regulamento do desempenho energético de edifícios de habitação o cálculo dos ganhos solares para as paredes opacas é feito da seguinte forma

$$\text{Ganhos solares} = I * (A * \alpha * R_{se} * U) \quad (8)$$

Em que:

U – Coeficiente de transmissão térmica (W/m<sup>2</sup>C)

$\alpha$  – Coeficiente de absorção da radiação solar

R<sub>se</sub> – resistência térmica exterior (m<sup>2</sup>C/W)

## 5.4. CENÁRIOS ANALISADOS

### 5.4.1. PRIMEIRO CASO DE ESTUDO – QUINTA DAS PALHACINHAS

De seguida serão apresentadas as descrições dos compartimentos de cada caso de estudo em análise para a presente dissertação. Todos os valores a seguir expostos foram retirados da memória descritiva de cada projeto em questão.

O primeiro caso de estudo centra-se na análise feita a um dos compartimentos principais da fração autónoma e é caracterizado pelas seguintes dimensões:

Largura: 8,45m

Altura: 5,50m

Profundidade: 7,00 m

O compartimento apresenta dois envidraçados com vidro duplo com áreas de 46 m<sup>2</sup> e duas janelas com uma área de 1,35m<sup>2</sup> cada, orientado para Oeste e Sul respetivamente. Os valores dos coeficientes de transmissão térmica, U são iguais a 3 W/m<sup>2</sup>K e com um fator solar de 0,75. Para este caso, apenas existe uma proteção solar interior, análoga a uma cortina opaca de cor clara, com um fator solar de 0,37.

Relativamente aos materiais constituintes dos elementos construtivos do espaço em estudo, os elementos opacos nomeadamente as paredes exteriores e coberturas, apresentam um coeficiente de absorção da radiação solar,  $\alpha$ , igual a 0,4 e um coeficiente de transmissão térmica, U, igual a 0,5 W/m<sup>2</sup>C e 0,41 W/m<sup>2</sup>C, respetivamente.

O compartimento apresenta uma efusividade térmica de 1300 (Ws<sup>0,5</sup>/(m.K)), correspondendo a uma inércia térmica forte.

### 5.4.2. SEGUNDO CASO DE ESTUDO – HABITAÇÃO UNIFAMILIAR ARCOZELO

Para o segundo caso de estudo analisou se um dos compartimentos principais que apresenta as seguintes dimensões:

Largura: 4,90 m

Altura: 2,70 m

Profundidade: 6,20 m

Este compartimento apresenta dois envidraçados com áreas de 7,35m<sup>2</sup> e 3 m<sup>2</sup> com orientações Norte e Oeste respetivamente, com valores de  $U=2,50 \text{ W/m}^2\text{K}$  e um fator solar de 0,75. Os envidraçados têm proteções solares interiores e exteriores com um fator de 0,37 e 0,04 respetivamente.

Os elementos opacos exteriores, como paredes exteriores e coberturas apresentam um coeficiente de absorção da radiação solar igual a 0,4 e um coeficiente de transmissão térmica igual a 0,34 e 0,36.

Considerando os materiais que constituem este compartimento sua efusividade térmica corresponde a 914 ( $\text{Ws}^{0,5}/(\text{m.K})$ ), correspondendo a uma inercia térmica forte.

## 5.5. ANÁLISE DOS CENÁRIOS DE ESTUDO

### 5.5.1. PRIMEIRO CASO DE ESTUDO – QUINTA DAS PALHACINHAS

Primordialmente irão ser analisados distintos comportamentos por parte dos utilizadores relativamente à disposição das proteções solares que compõe os envidraçados de cada compartimento analisado. Para tal, foram consideradas três situações distintas tendo cada uma sido avaliada de forma individual e servindo como base para um estudo mais aprofundado de cada caso de estudo. Desta forma, as situações expostas serão as seguintes:

- 70% das proteções solares estão ativadas;
- As proteções estão totalmente ativadas;
- As proteções estão totalmente desativadas;

Com base nos dados climáticos retirados do SOLTERM, foram analisadas diferentes estratégias de ventilação, para os compartimentos estudados, permitindo verificar quais as mais eficazes para cada situação exposta.

As estratégias de ventilação escolhidas para serem avaliadas foram as seguintes:

- Ventilação entre as 8h e as 18h;
- Ventilação noturna entre as 22h e as 8h;
- Ventilação quando  $T_{int} > 27^\circ$ ;
- Ventilação quando  $T_{ext} < T_{int}$ ;

Para cada estratégia foi considerado que se garantia as 4 renovações por hora estabelecendo se assim um caudal de 1430 m<sup>3</sup>/h correspondente ao volume do compartimento em estudo.

No gráfico seguinte serão apresentados os resultados finais para a situação das proteções ativadas a 70%.

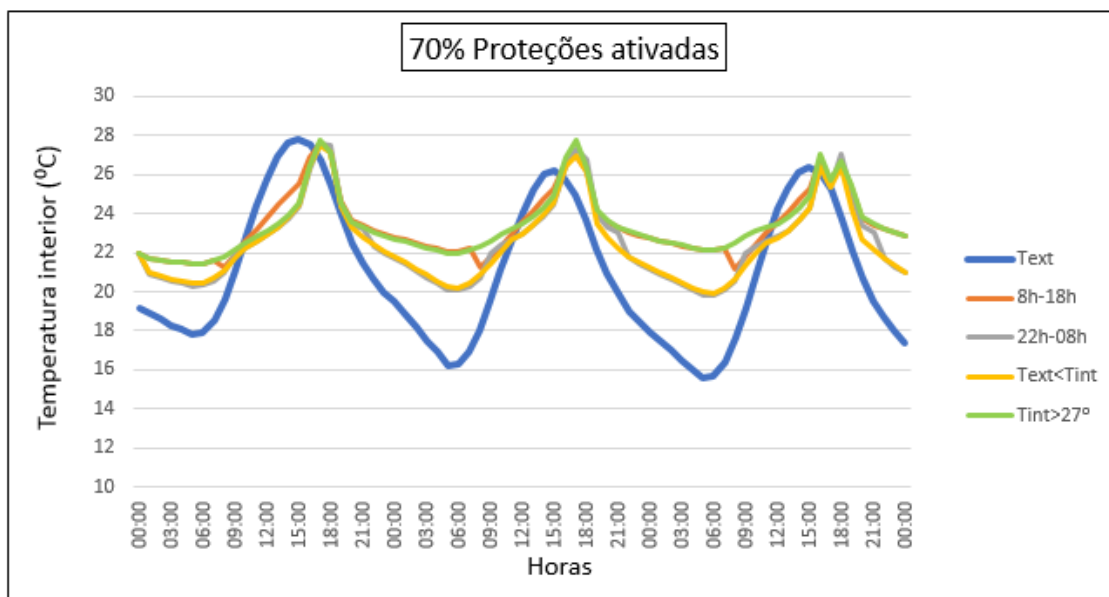


Figura 5.1 - Comparação das estratégias de ventilação quando 70% da área do envidraçado têm proteções interiores ativas – Primeiro caso de estudo

De uma forma geral, para as proteções ativas a 70%, nenhuma estratégia se revela eficaz pois todas apresentam valores acima da temperatura exterior, situação que se verifica a partir das 17 horas.

Ventilar quando  $T_{int} > 27^\circ$  e das 8h as 18h, são as estratégias que apresentam temperaturas máximas um pouco mais elevadas que as restantes, atingindo temperaturas interiores mais elevadas, quando comparadas com a temperatura exterior aquela hora, altura em que ambas estão em funcionamento, evidenciando que ventilar durante este período não produz efeitos positivos no arrefecimento do compartimento, como seria de esperar.

As estratégias de ventilar quando a temperatura exterior é menor que a temperatura interior e durante o período noturno apresentam valores muito idênticos na grande parte do tempo, especialmente durante o período em que estão em funcionamento.

Os resultados para cada uma das estratégias anteriormente mencionadas, na situação em que as **proteções estão 100% ativas**, são apresentados na Figura 5.24.

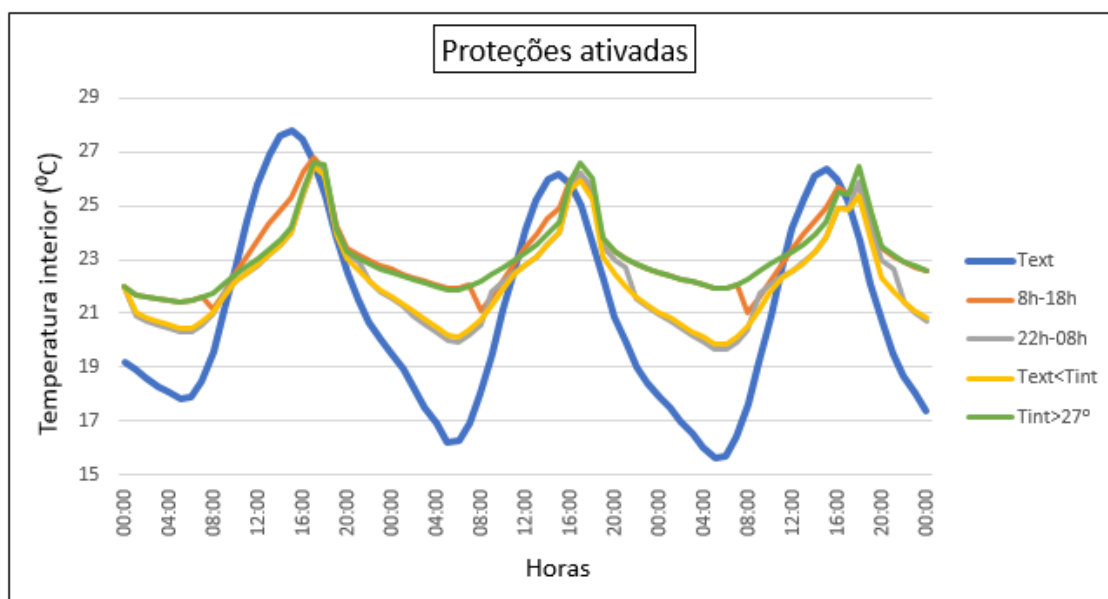


Figura 5.1 - Comparação das estratégias de ventilação quando as proteções interiores estão totalmente ativadas – Primeiro caso de estudo

De uma forma genérica, pela análise do gráfico, é possível verificar o efeito favorável que as proteções solares têm no controlo dos ganhos solares do envidraçado permitindo que as temperaturas interiores atingidas no compartimento sejam relativamente mais baixas. Ainda assim a análise global mantém-se inalterada, sendo que ventilar quando a  $T_i > 27^\circ\text{C}$  e das 8h as 18h continuam a ser as estratégias que piores resultados apresentam pois à hora em que estão em funcionamento o seu efeito não é sentido de forma positiva no arrefecimento, atingindo os  $27^\circ\text{C}$  nesse período.

No gráfico da Figura 5.25, é possível observar os resultados das diferentes estratégias de ventilação para a situação **sem qualquer tipo de proteção solar**.

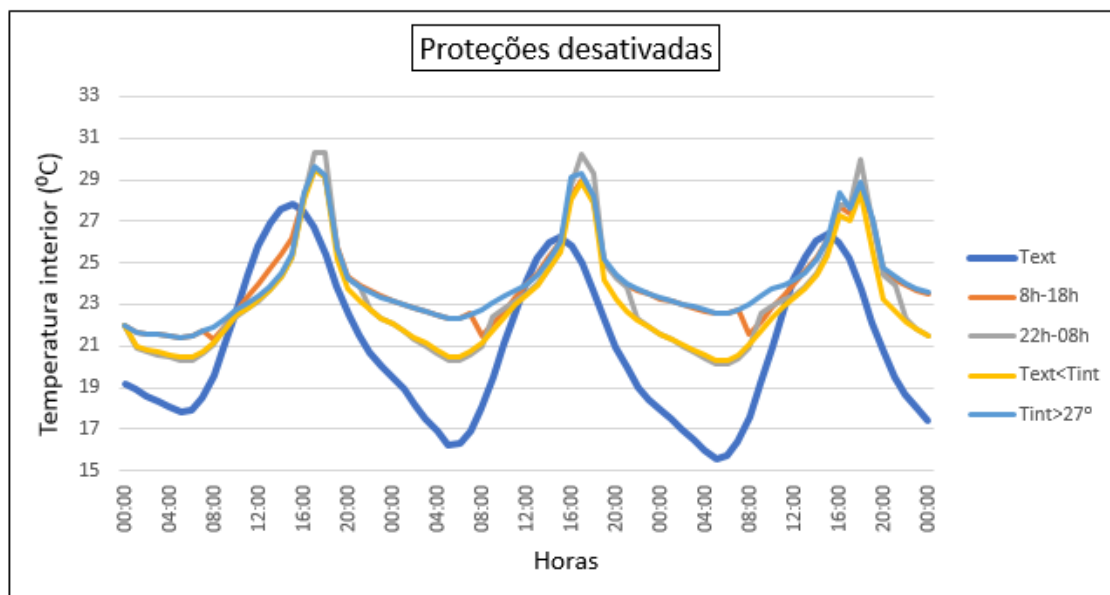


Figura 5.3 - Comparação das estratégias de ventilação quando as proteções interiores estão desativadas - Primeiro caso de estudo

Quando nenhuma das proteções está ativada é possível verificar que qualquer das estratégias adotadas apresenta valores bastante desfavoráveis. A ventilação noturna apresenta valores de pico maiores que as estratégias que pior desempenho têm, como ventilar quando a  $T_i > 27^\circ\text{C}$  e entre as 8h e as 18h. Isto acontece devido ao facto de o envidraçado não estar protegido aliado ao facto de não haver ventilação durante esse período, impedindo o controlo dos ganhos solares diretos e contribuindo desta forma para um aumento significativo da temperatura interior.

Quando comparado com a ventilação noturna, a estratégia de ventilar quando a temperatura exterior é menor que a temperatura interior, atinge temperaturas de pico mais baixas, isto acontece devido ao fato de esta funcionar num período mais alargado de tempo, permitindo que as temperaturas não cheguem a valores muito altos. Ainda assim os valores registados atingem quase os  $30^\circ$ , muito longe da temperatura de referência para o conforto térmico.

#### 5.5.2. SEGUNDO CASO DE ESTUDO – HABITAÇÃO UNIFAMILIAR ARCOZELO

Para o caso seguinte serão avaliados os mesmos comportamentos anteriormente mencionados e serão também analisadas diferentes estratégias de ventilação permitindo verificar quais as mais eficazes para cada situação exposta.

As estratégias de ventilação escolhidas para serem avaliadas foram as seguintes:

- Ventilação entre as 8h e as 18h;
- Ventilação noturna entre as 22h e as 8h;
- Ventilação quando  $T_{int} > 27^\circ$ ;
- Ventilação quando  $T_{ext} < T_{int}$ ;

Foi também estabelecido as 4 renovações por hora, assegurando assim um caudal de  $330 \text{ m}^3/\text{h}$  em função do volume do compartimento estudado.

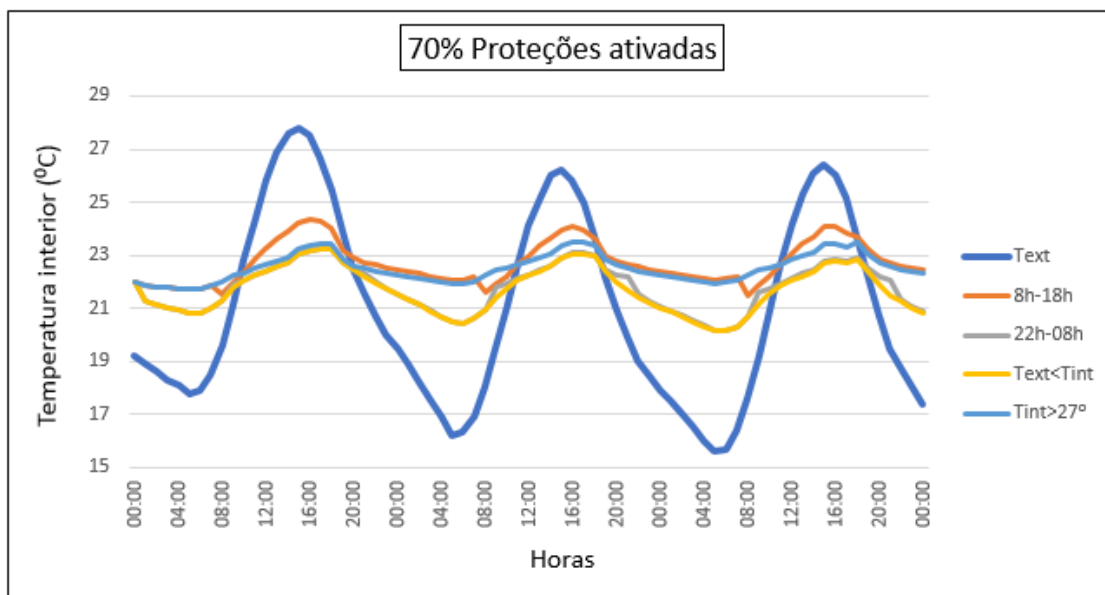


Figura 5.4 - Comparação das estratégias de ventilação quando 70% das proteções exteriores estão ativadas - Segundo caso de estudo

Observando o gráfico é possível analisar que as piores estratégias para promover o arrefecimento do compartimento são ventilar das 8h as 18h e quando a  $T_i > 27^\circ\text{C}$ , apresentando valores muito similares entre si e mostrando claramente que durante as horas de maior temperatura exterior, estas são as estratégias que valores mais desfavoráveis apresentam.

Quando ventilamos durante o período noturno e quando a temperatura exterior é menor que a temperatura interior, verifica-se uma melhoria significativa na temperatura interior máxima, mostrando que quando aplicadas permitem que as temperaturas exteriores de pico não sejam sentidas no interior do compartimento verificando-se também uma uniformidade da temperatura interior durante o período de análise.

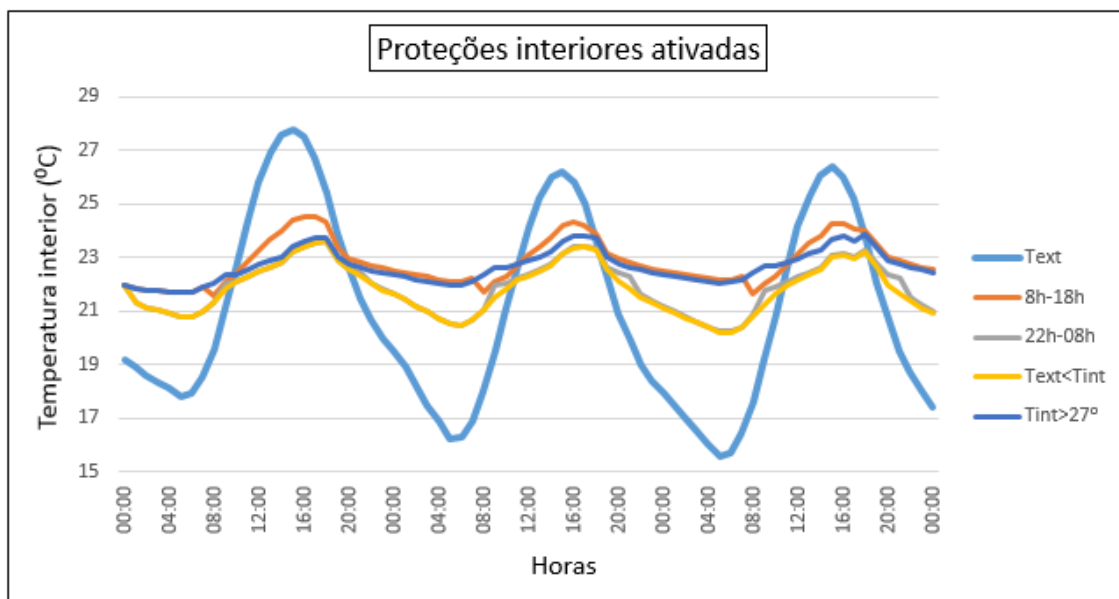


Figura 2.5 - Comparação das estratégias de ventilação quando as proteções interiores estão ativadas - Segundo caso de estudo

Quando as proteções interiores estão ativadas na totalidade do envidraçado, durante o dia, os efeitos das estratégias de ventilação têm um comportamento muito idêntico à situação anteriormente mencionada. Desta forma a abordagem para esta situação em particular é bastante semelhante ao estabelecido anteriormente, e de facto as estratégias que melhores resultados apresentam é ventilar quando a temperatura exterior é menor que a temperatura interior e quando se ventila durante o período noturno, em que as temperaturas máximas atingidas são de 23°.

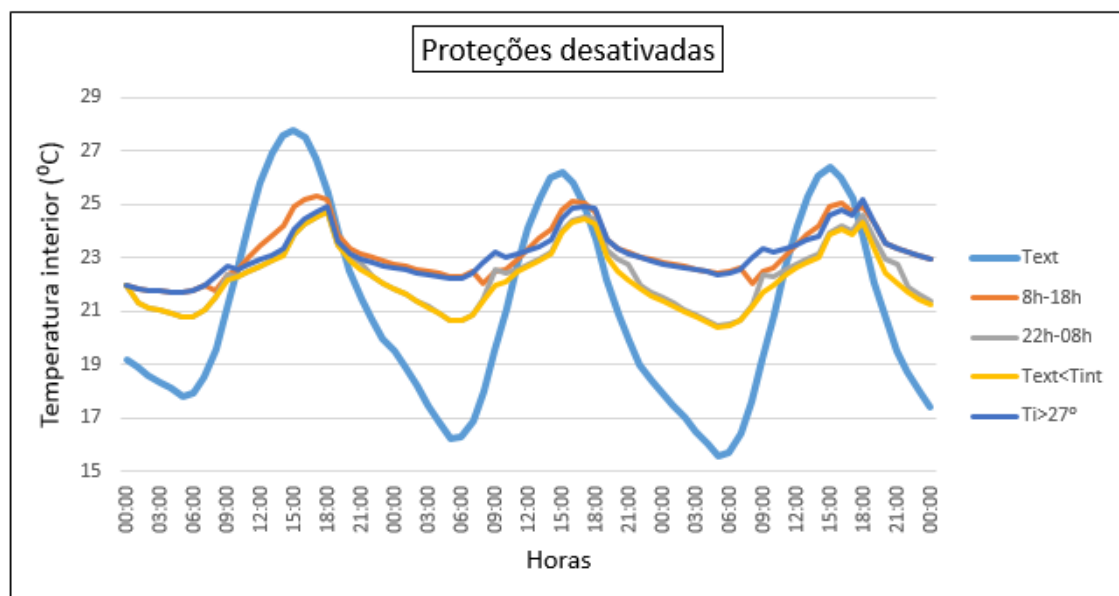


Figura 5.6 – Comparação das estratégias de ventilação quando as proteções interiores e exteriores estão desativadas - Segundo caso de estudo

Observando o gráfico anterior é possível verificar que o uso de proteções solares, quer interiores ou exteriores, é bastante importante no controlo das temperaturas interiores sentidas no compartimento. De facto, é possível examinar que para as melhores estratégias verifica-se um aumento da temperatura máxima interior devido à ausência dessas proteções solares, podendo provocar efeitos negativos e causando assim desconforto térmico para os utilizadores do espaço. Ainda assim é importante realçar que, mesmo nestas condições, as temperaturas interiores nunca ultrapassam muito os 25°C, considerados como a temperatura de conforto.

### 5.5.3. CONCLUSÕES DOS RESULTADOS OBTIDOS

#### 5.5.3.1. PRIMEIRO CASO DE ESTUDO – QUINTA DAS PALHACINHAS

Através da análise dos resultados anteriormente obtidos foi possível tecer algumas conclusões que permitiram evoluir no trabalho de investigação que se irá seguir na presente dissertação.

Assim, relativamente à habitação multifamiliar é possível analisar que esta apresenta, na sua globalidade, resultados pouco favoráveis ao arrefecimento do compartimento estudado mesmo partindo do pressuposto de um uso mais adequado das proteções solares interiores. As dimensões do vão envidraçado, que são bastante significativas quando comparadas com a dimensão total do compartimento e a sua orientação, têm sem dúvida um papel fundamental no comportamento térmico do espaço. Aliada a estes fatores preponderantes está também a ausência de qualquer proteção exterior que possa minimizar os ganhos solares recebidos pelo vidro especialmente durante as horas de maior calor, estando este apenas dependente da eficácia que os elementos de obstrução exterior possam apresentar no controlo da incidência direta dos raios solares, que é o que mais contribui para este sobreaquecimento. Desta forma, existe assim uma necessidade de elaborar soluções que possam melhorar as condições de conforto interior com base nas estratégias de ventilação mais adequadas.

Recorrendo ao regulamento do desempenho energético dos edifícios de habitação, pela portaria nº 349-B/2015 de 29 de agosto verificou-se que se  $A_{env} \geq 15\% A_{pav}$ :

$$g_T \cdot F_o \cdot F_f \leq g_{Tm\acute{a}x} \left( \frac{0,15}{\frac{A_{env}}{A_{pav}}} \right) \quad (9)$$

Em que:

$g_T$  - Fator solar do envidraçado com todos os dispositivos de proteção solar, permanentes ou moveis totalmente ativados.

$F_o$  - Fator de sombreamento por elementos horizontais sobrejacentes ao envidraçado, compreendendo palas e varandas;

$F_f$  - Fator de sombreamento por elementos verticais adjacentes ao envidraçado, compreendendo palas verticais, outros corpos ou partes do edificio;

$g_T \text{ máx}$  - fator solar global máximo admissível dos vãos envidraçados segundo a zona climática de Verão;

Para o presente caso,  $g_T$  é 0,37, quando as proteções existentes estão ativadas. Através dos ângulos de obstrução provocados pela pala horizontal existente ( $\alpha=25^\circ$ ) e pela pala vertical ( $\beta=17^\circ$ ), os fatores de sombreamento são respetivamente,  $F_o$  igual a 0,79 e  $F_f$  é igual a 0,95.

Observando a figura 5.23, retirado da portaria nº 349-B/2015 de 29 de agosto, para um edifício com inércia forte na zona climática V1,  $g_{Tmáx}$  é de 0,56.

Com base na equação (9) observou-se que este critério não é cumprido, realçando assim o facto que as proteções solares existentes e as correspondentes palas de sombreamento não são eficazes, tendo em conta a relação entre a área do envidraçado e a área do pavimento.

Tabela 5.1 – Valores de  $g_T$  máximos admissíveis consoante a zona climática segundo o REH

$g_T$ máximo	Zona climática		
Classe de inércia	V1	V2	V3
Fraca	0,15	0,10	0,10
Média	0,56	0,56	0,50
Forte	0,56	0,56	0,50

### 5.5.3.2. SEGUNDO CASO DE ESTUDO – HABITAÇÃO UNIFAMILIAR ARCOZELO

Já para a habitação unifamiliar, o compartimento estudado, apresenta resultados bastante diferentes e muito mais satisfatórios na matéria de arrefecimento. De facto, analisando apenas as estratégias de ventilação mais favoráveis que são fornecidas pelo programa de cálculo, LESOCOOL, podemos observar uma variação da temperatura interior bastante menos acentuada não havendo nenhuma situação, nem mesmo quando as proteções solares estão desativadas, em que a temperatura sentida no interior exceda a temperatura exterior. Os elementos construtivos constituintes que contribuem para uma inercia térmica forte, as dimensões equilibradas entre os envidraçados e sua estratégica orientação, são agentes passivos que permitem um controlo adequado do fluxo de ar e dos ganhos solares impedindo situações que possam causar desconforto aos ocupantes. Não houve, portanto, necessidade de explorar este segundo caso de estudo pois através da avaliação do seu comportamento térmico não foram encontradas situações desfavoráveis, quando adaptado ao espaço estratégias adequadas de ventilação.

## 5.6. ANÁLISE APROFUNDADA DAS SOLUÇÕES PROPOSTAS PARA O SEGUNDO CASO DE ESTUDO

### 5.6.1. DISPOSITIVOS DE SOMBREAMENTO

#### 5.6.1.1. SITUAÇÃO ATUAL

A fachada do compartimento orientada a Oeste é composta por um envidraçado que recua sobre duas palas verticais e uma horizontal. O sombreamento que estas palas provocam no vão não é muito eficaz para a orientação em que este encontra. Com recurso à carta solar, fornecida com recurso ao programa SOL-AR foi possível analisar, através dos ângulos de obstrução, quais as horas solares em que a fachada envidraçada se encontra totalmente em sombra.

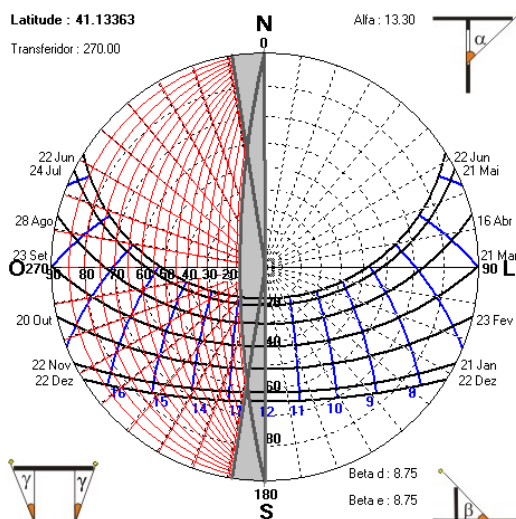


Figura 5.7 - Diagrama da influência de sombreamento das palas verticais e horizontais. Fonte software SOL-AR

O seu efeito é apenas sentido até as 13h30 solares, correspondendo aproximadamente às 15h legais, como é possível observar. No entanto, é necessário referir que para uma orientação a oeste as horas com maior intensidade da radiação solar, fazem-se sentir a partir das 14h até aproximadamente às 18h.

É, portanto, importante melhorar o sombreamento do vão envidraçado, tentando estabelecer uma solução que apresente resultados satisfatórios no controlo dos ganhos solares recebidos pela fachada durante este período.

#### 5.6.1.2. DISPOSITIVOS FIXOS

Para a presente análise foram considerados diferentes dispositivos de sombreamento, fixos ou móveis, que poderão contribuir de forma significativa para uma diminuição da temperatura interior do espaço. Desta forma irão ser consideradas diferentes soluções que serão a seguir descritas e comparadas com a situação atual permitindo avaliar de uma forma quantitativa a sua eficácia.

A primeira proposta passa por considerar um elemento de sombreamento fixo que será acoplado à fachada do vão envidraçado a partir da face superior da pala horizontal de sombreamento já existente. Esta componente de sombreamento será composta por lamelas fixas horizontais com dimensões de 5 cm de espessura e 15 cm de largura espaçadas de 20 cm e com uma inclinação fixa de 0° que não condicione a entrada de luz no compartimento, particularmente na zona de permanência como a sala de estar que se encontra no primeiro piso do duplex. Devido ao comprimento extenso das lamelas horizontais, será necessário a existência de apoios de suporte ao longo do seu desenvolvimento. Irá ser considerado um sistema de lamelas com diferentes alturas, uma de 1,50 metros e outra de 3 metros. Permitindo manter uma altura considerável entre o chão da varanda e o início das lamelas.

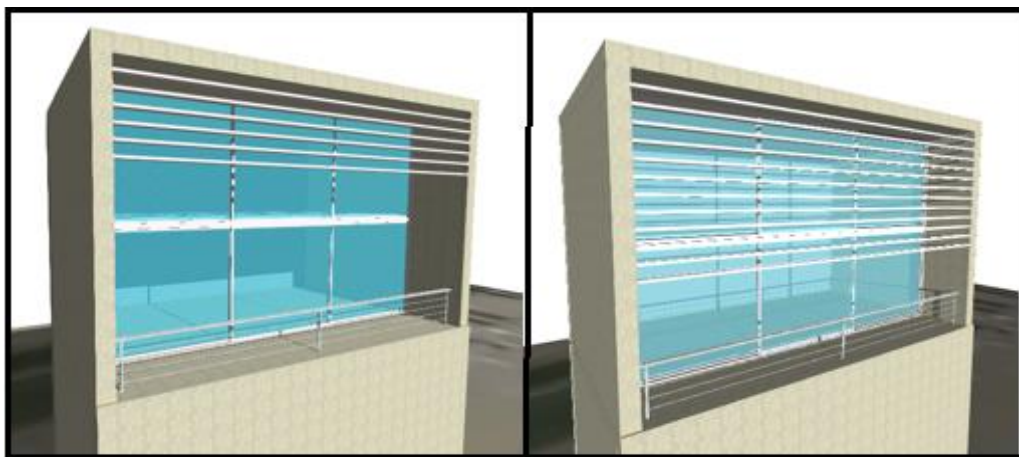


Figura 5.8 - Esquema 3D das soluções propostas.

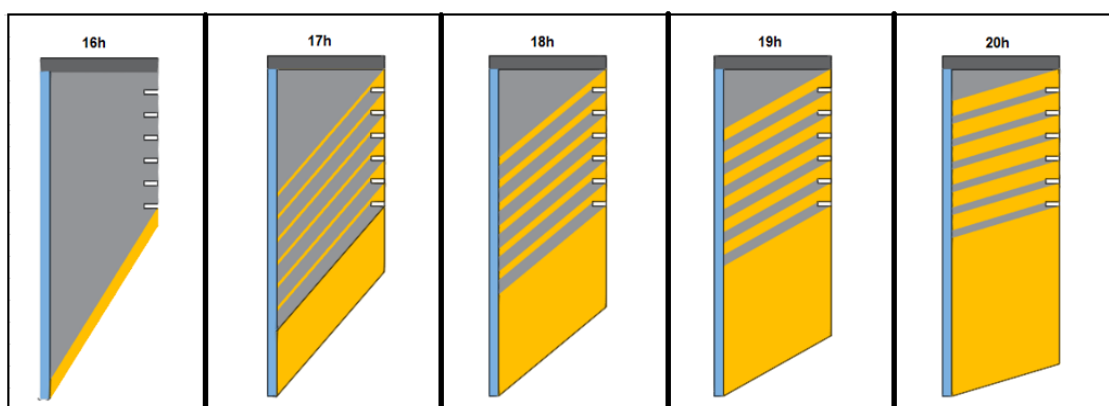


Figura 5.9 - Incidência dos raios solares para a solução proposta

Tabela 5.2 - Percentagem de área do envidraçado ao sol para os dispositivos de sombreamento consideradas

	Situação Original	Dispositivo sombreamento (1,50 m)	Dispositivo sombreamento (3 m)
<b>Horas</b>	% Área ao sol	% Área ao sol	%Área ao sol
<b>16h</b>	56%	27%	17%
<b>17h</b>	71%	42%	32%
<b>18h</b>	80%	64%	54%
<b>19h</b>	86%	70%	60%
<b>20h</b>	88%	75%	65%

De uma forma geral, o uso de um elemento de sombreamento reduz sempre a área do envidraçado que está ao sol, ou seja, que receberá incidência direta dos raios solares. A diferença entre um elemento de 1,50 metros e outro com 3 metros apenas permite diminuir essa área até um máximo de 10% para as horas em que terá efeitos.

Nos gráficos que se seguem é possível observar a eficácia que a implantação deste sistema, com alturas variáveis de 1,50 metros e 3 metros, pode ter na temperatura sentida no interior do compartimento e, portanto, na avaliação global da melhoria de conforto térmico sentido por parte dos ocupantes. As diferentes soluções irão ser comparadas tendo em conta a melhor estratégia de ventilação e uma vez que ventilar durante o período noturno e quando a temperatura exterior é menor que a temperatura interior apresentam resultados muito similares, os seguintes estudos adapta-se a qualquer uma dessas estratégias.

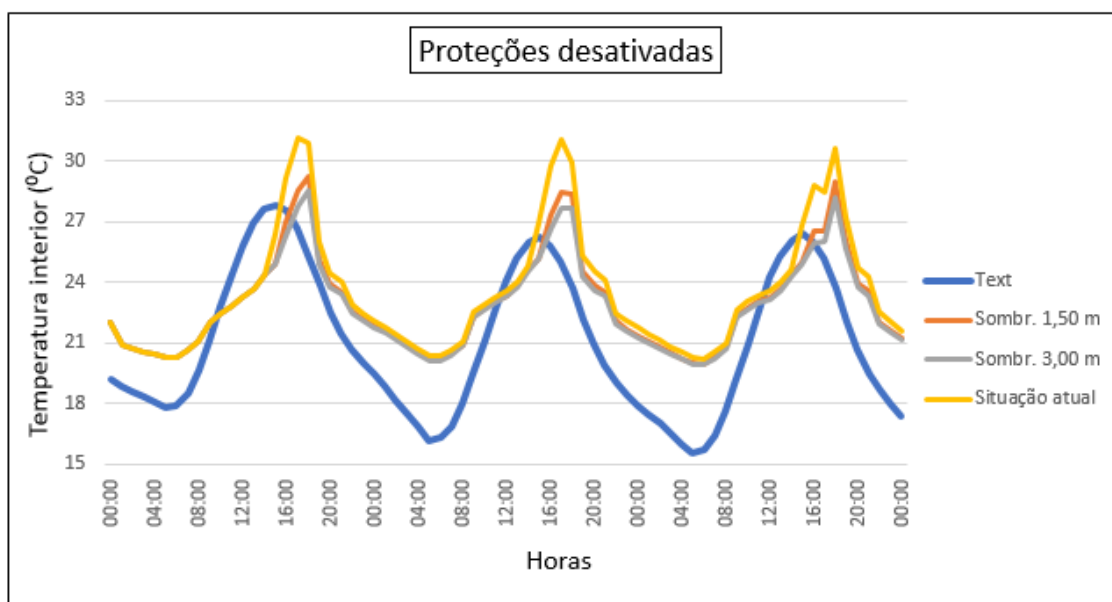


Figura 5.10 – Comparação das propostas de sistemas de sombreamento fixo com 1,50 metros e 3 metros – Proteções interiores desativadas

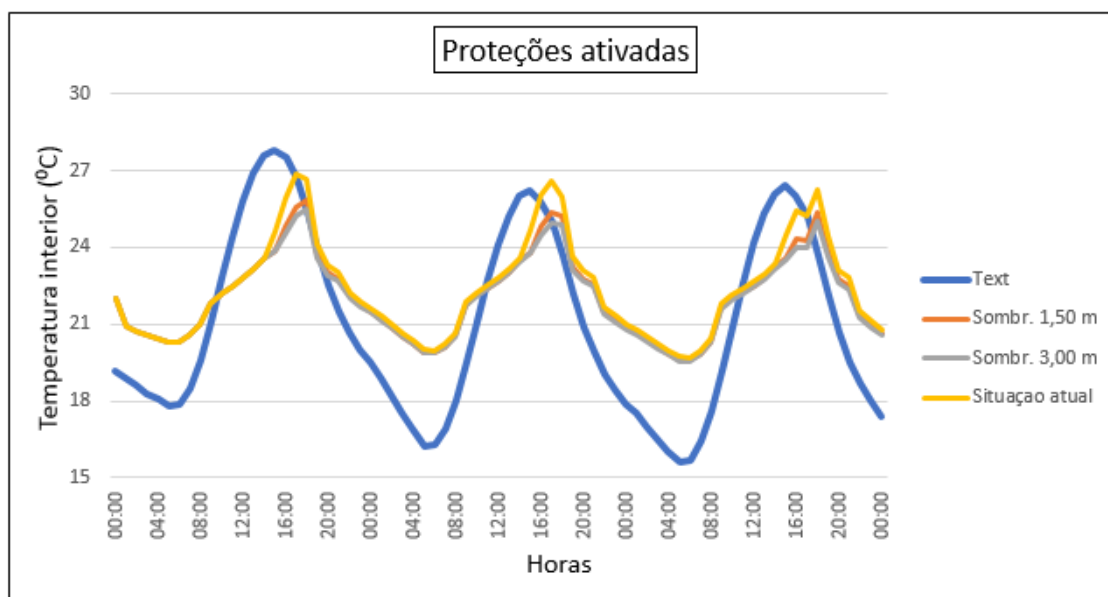


Figura 5.11 – Comparação das propostas de sistemas de sombreamento fixo com 1,50 metros e 3 metros - Proteções interiores ativadas

Analisando as figuras 5.30 e 5.31, observa-se que a situação atual não favorece o arrefecimento do espaço observando-se que, mesmo quando as proteções solares estão ativadas, a temperatura interior do compartimento quase atinge os 27°C por volta das 17 horas, e os 31°C quando as proteções solares estão desativadas favorecendo o sobreaquecimento. As palas verticais e horizontal existentes deixam de obter efeito no sombreamento do vão envidraçado a partir das 15h provocando uma incidência direta dos raios solares e por consequência um aumento dos ganhos solares diretos.

Aquando da colocação de um elemento de sombreamento com 1,50 metros de altura, recorrendo à localização geográfica através do sketchUp, verificou-se uma diminuição média de 30% da área não sombreada do vão envidraçado entre as 15h e as 20h, permitindo desta forma reduzir a temperatura interior de pico em quase 2°C.

O mesmo elemento de sombreamento, mas desta vez com 3 metros de altura, permite uma diminuição de 40% da área não sombreada no vão, entre as 15h e as 20h, reduzindo a temperatura de pico em 2,5°C, quando as proteções estão desativadas.

De uma forma geral, os elementos de sombreamento permitem que o compartimento não atinja temperaturas muito elevadas, estando próximas dos 25°C, mas apenas se os utilizadores ativarem as proteções interiores existentes.

#### 5.6.1.2. DISPOSITIVOS MÓVEIS

A segunda proposta considerada, foi a utilização um sistema brise soleil composto por três painéis que se movem por meio de um mecanismo de deslizamento horizontal. Os painéis terão todos as mesmas dimensões, com uma altura correspondente à altura total do envidraçado. Cada painel é composto por lâminas com uma orientação de -40°, como mostra o seguinte esquema:

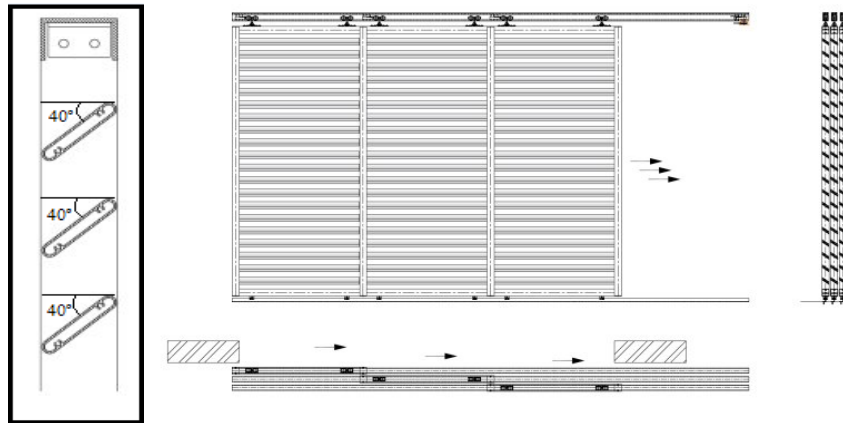


Figura 5.12 - Esquemas do sistema de sombreamento brise soleil. Adaptado do catálogo da Duco ventilation and sun control

A avaliação da eficácia deste elemento passou por analisar a influencia que as diferentes disposições dos painéis teriam no sombreamento do vão. Assim foram consideradas 3 hipóteses:

1. Está apenas um painel ativado;
2. Estão dois painéis ativados;
3. Os três painéis estão ativados, cobrindo a totalidade da largura da varanda;

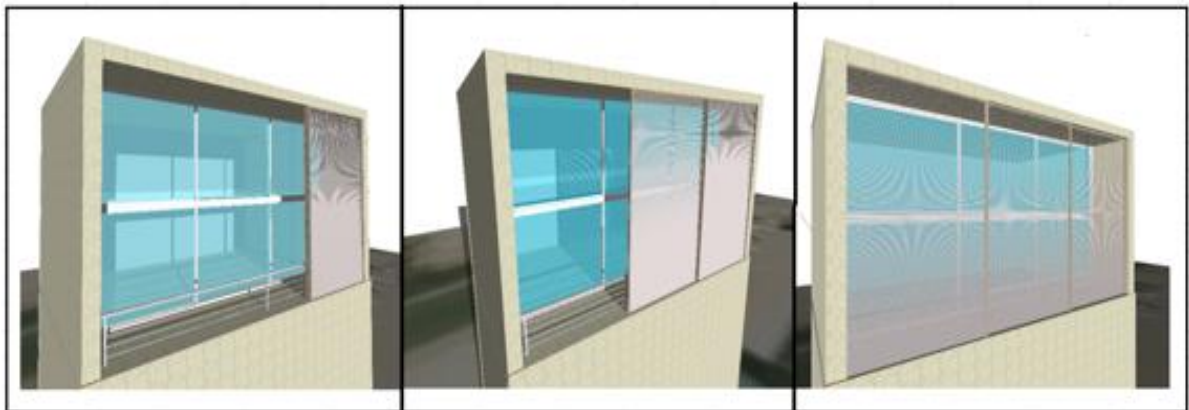


Figura 5.13 - Esquema 3D da solução proposta

Tabela 5.3 - Percentagem de área ao sol para a diferente disposição dos painéis do brise soleil

	Situação Original	1 Painel aberto	2 Painéis ativados	3 Painéis ativados
Horas	% Área ao sol	% Área ao sol	%Área ao sol	%Área ao sol
15h	26%	14%	3%	0%
16h	56%	33%	13%	0%
17h	71%	43%	19%	10%
18h	80%	51%	24%	15%
19h	86%	54%	27%	20%
20h	88%	59%	29%	20%

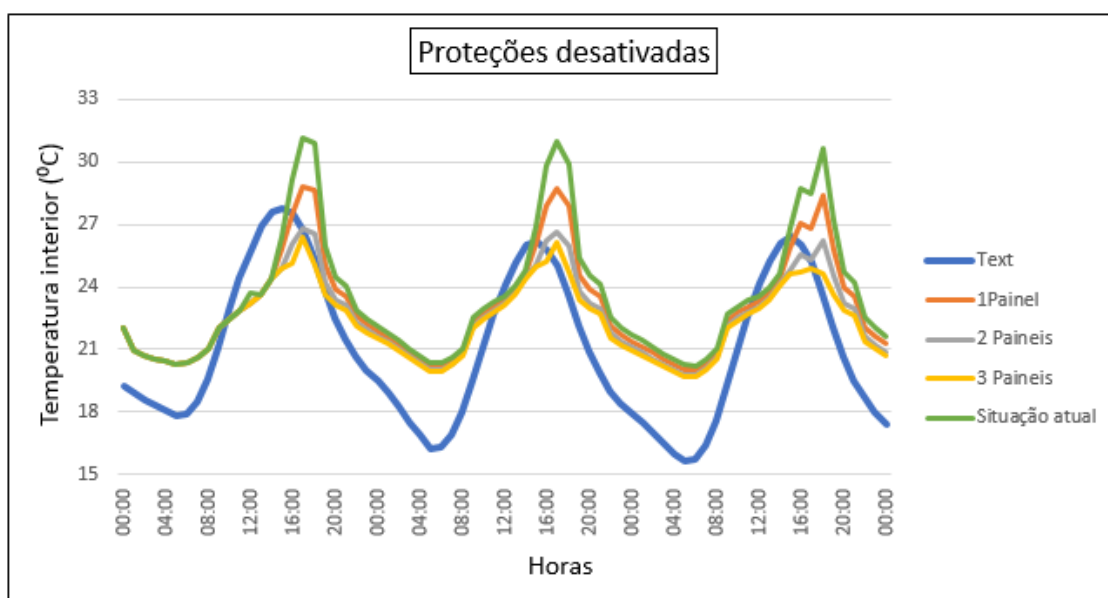


Figura 5.14 - Comparação para a diferente disposição dos painéis do brise soleil - Proteções interiores desativadas

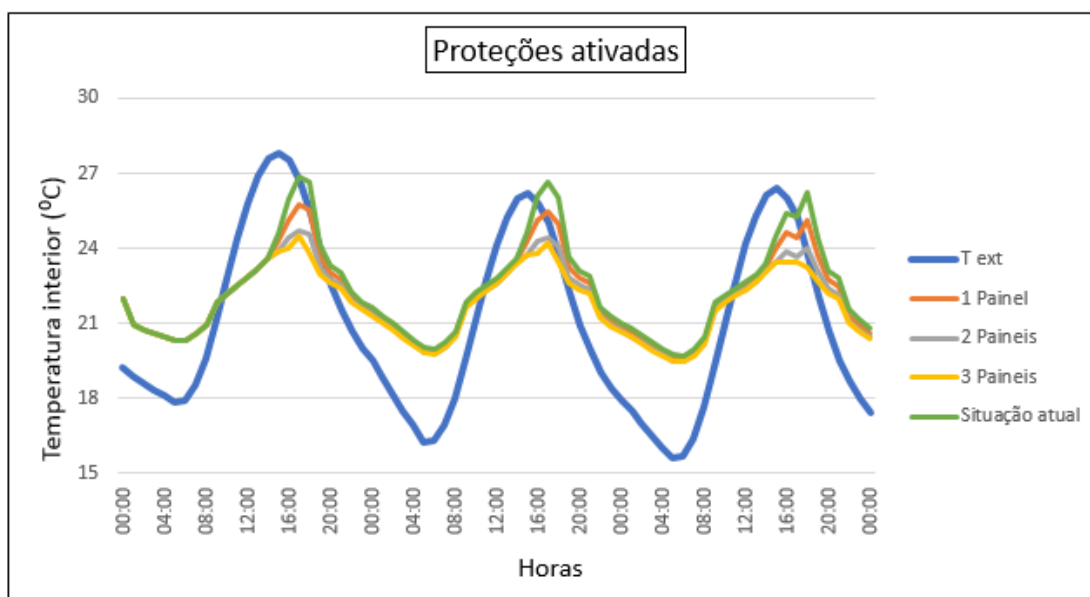


Figura 5.15 - Comparação para a diferente disposição dos painéis do brise soleil - Proteções interiores ativadas

Com a análise dos gráficos é possível observar que com este mecanismo, basta utilizar dois painéis deslizantes, ao invés de três, como sendo suficiente para gerar temperaturas interiores de conforto aceitáveis. A solução que passa por utilizar os três painéis corridos ao longo do comprimento da varanda, é uma hipótese que pode ser descartada visto que com esta disposição o sombreamento provocado pelo elemento reduz significativamente a entrada de luz no compartimento, podendo provocar situações de desconforto visual aos ocupantes. Ao ser ativado apenas um painel a redução da área não sombreada apresenta uma média de 25 % entre as 15h até as 20h reduzindo a temperatura máxima até 2°C em relação à situação atual, quando as proteções solares estão desativadas, sendo uma melhoria bastante significativa, mas ainda assim atingindo temperaturas um pouco mais altas que os 25°C.

Devido à posição e inclinação dos raios solares ao longo do dia, foi considerado uma posição estratégica dos painéis. Assim quando apenas um dos painéis está ativado, a sua disposição inicial será o mais à direita da varanda evitando a incidência direta dos raios solares e aumentando assim a área sombreada, o que acontece a partir das 15h.

### 5.6.2. VIDROS TÉRMICOS

O vidro é um material que confere fraca resistência térmica ao edifício. Assim as partes envidraçadas, integram uma porção das zonas mais propícias às trocas de calor com a envolvente. Na estação de arrefecimento, os ganhos provenientes da radiação solar podem se tornar excessivos, levando a situações de desconforto, de forma a que é preciso ter especial atenção às principais características térmicas do vidro de maneira a se escolher as melhores soluções para cada situação particular.

A análise que se segue tem como objetivo averiguar a eficácia que diferentes vidros térmicos têm quando comparados com a situação atual.

Foram assim estudados diferentes vidros com diferentes camadas, que permitam manter a transparência e leveza existentes. No entanto é preciso ter em conta que esta é uma solução mais dispendiosa quando

comparada com as soluções anteriormente estudadas, devido ao fato de o vidro necessitar de propriedades que lhe confirmem uma redução dos ganhos de calor sem ao mesmo tempo comprometer a transmissão de luz natural para o interior do espaço.

Os vidros térmicos considerados foram dois, com fatores solares de 0,63 e 0,38 e uma transmissão luminosa de 80% e 72%, respectivamente. Em anexo são apresentadas as restantes características.

Com recurso a um software de simulação fornecido pela Saint-Gobain, Calumen II, foi possível determinar as características que compõe os vidros escolhidos, tais como a transmissão luminosa, fator solar ou coeficiente de transmissão térmica. Estes valores são calculados de acordo com o estabelecido nas normas EN410-2011 e EN673-2011 respetivamente.

Na seguinte figura 5.35, são apresentados esquemas dos fatores luminosos e energéticos dos vidros testados. Em que:

- RLe – Reflexão Exterior luminosa;
- REe – Reflexão exterior térmica;
- TL – Transmissão luminosa;
- TE – Transmissão direta térmica;
- U – Coeficiente de transmissão térmica;

A Reflexão exterior luminosa é a quantidade de luz visível que vai ser refletida pelo vidro e a reflexão exterior térmica representa a parte da energia solar que é refletida pelo vidro.

A transmissão direta representa parte da radiação, com diferentes comprimentos de onda, que ao atingir o vidro penetra no ambiente interno. A transmissão luminosa ou visível, representa a percentagem de luz visível que é transmitida através do vidro para o interior do espaço, proporcionando um ambiente mais claro.

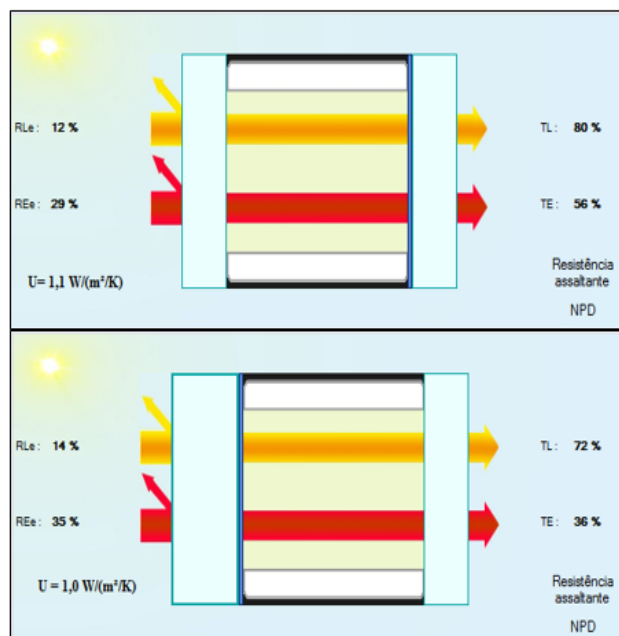


Figura 5.16 - Fatores luminosos e energéticos dos vidros com fatores solares 0,63 e 0,38 respetivamente. Fonte: software de simulação Callumen II.

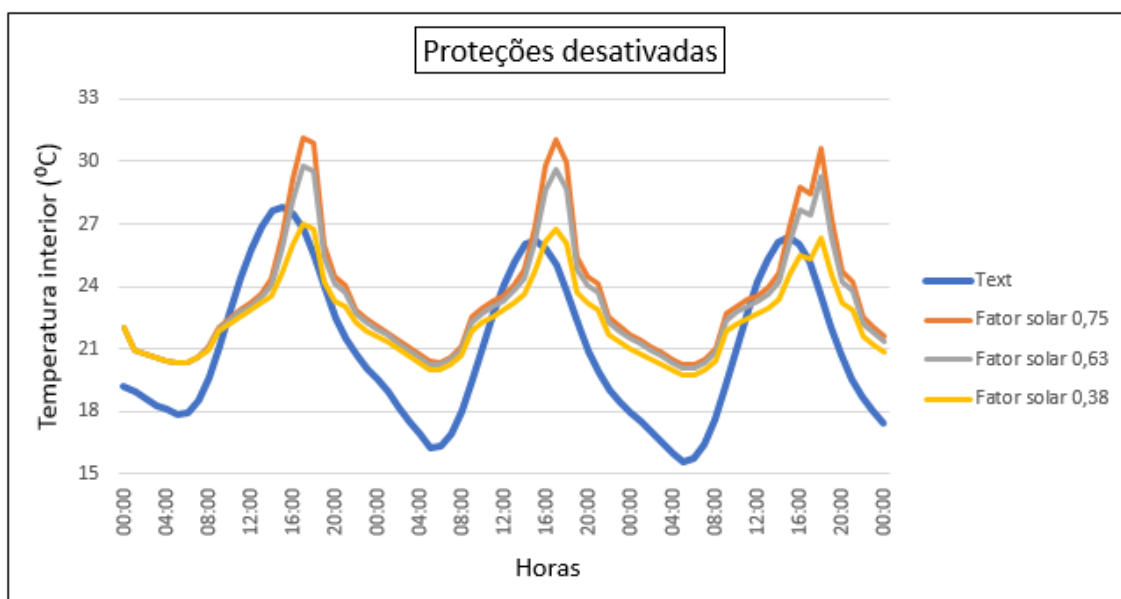


Figura 5.17 - Comparação das diferentes propostas de vidros térmicos. - Proteções interiores desativadas

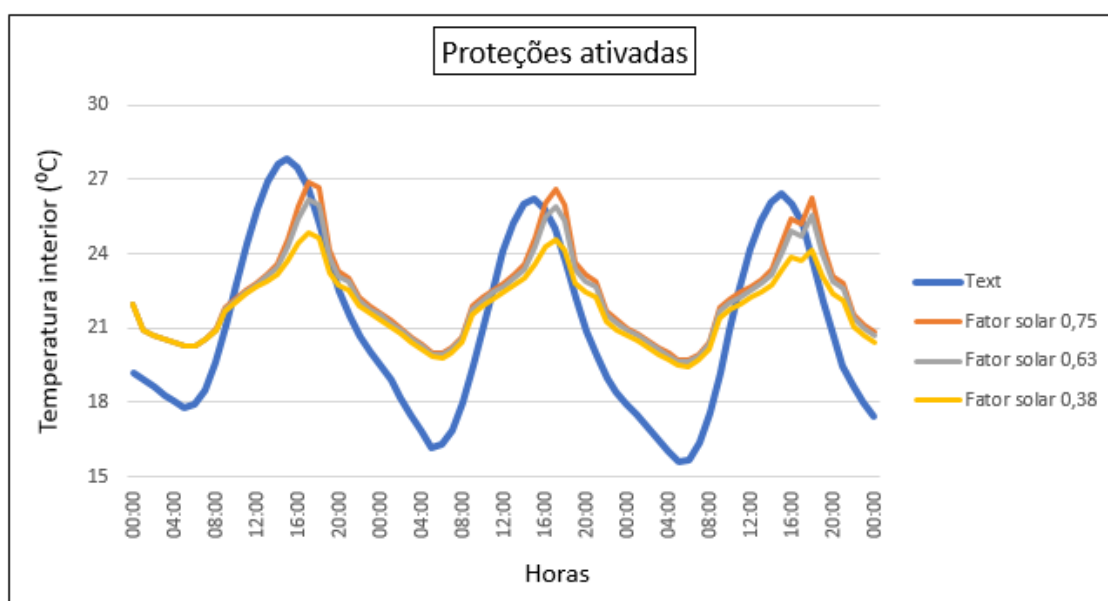


Figura 5.18 - Comparação das diferentes propostas de vidros térmicos - Proteções interiores ativadas

A utilização de um vidro térmico com um fator solar de 0,63 não implica alterações significativas nas temperaturas interiores do compartimento. A sua temperatura máxima, quando comparada com o vidro atual, com um fator de 0,75, diminui na ordem de apenas 1°C quando as proteções solares estão desativadas e menor ainda quando as proteções solares estão ativadas.

Quando se recorre a um vidro com características térmicas melhoradas, ou seja, quando temos um vidro com um fator solar de 0,38, equivalente a quase metade do fator solar do vidro que atualmente compõe o vão envidraçado, as diferenças são bem relevantes especialmente se as proteções solares estiverem desativadas, estando apenas o fator solar do vidro a atuar diretamente no controlo dos ganhos solares e

levando conseqüentemente a uma diminuição da temperatura interior. Os resultados são visíveis e as temperaturas de pico podem reduzir até 4°C e 2°C quando as proteções solares estão ativadas.

### 5.6.3. ANÁLISE QUANTITATIVA

#### 5.6.3.1. GANHOS SOLARES

Para melhor entender em que sentido é que as diferentes propostas permitem melhorar o comportamento térmico do compartimento estudado, foram elaborados alguns quadros síntese, comparando, de forma quantitativa, as diferentes propostas com a situação térmica atual do compartimento, em termos de ganhos solares e temperaturas máximas atingidas.

Tabela 5.4 - Redução média dos ganhos solares das soluções propostas de elementos de sombreamento – Comparação com a situação atual

Comparações com a situação atual do compartimento	Soluções propostas				
	Dispositivos de sombreamento fixo		Dispositivos de sombreamento móvel		
	1,50 metros	3 metros	1 Painel ativado	2 Painéis ativados	3 Painéis ativados
Redução média dos ganhos solares	30% das 15h às 20h	40% das 15h às 20h	28% das 15h às 20h	52% das 15h às 20h	67% das 15h às 20h

Tabela 5.5 - Redução média dos ganhos solares das soluções de diferentes vidros térmicos – Comparação com a situação atual

Comparações com a situação atual do compartimento	Soluções propostas	
	Vidros térmicos	
	Vidro com fator solar de 0,63	Vidro com fator solar de 0,38
Redução média dos ganhos solares	13% das 6h às 20h	40% das 6h às 20h

A primeira abordagem passa por comparar o efeito que cada solução tem na redução dos ganhos solares recebidos pelo vão envidraçado ao longo do período de análise. É possível verificar que a solução que melhores resultados apresenta, é sem dúvida, quando se recorre a um sistema de sombreamento móvel com uma altura igual à do vão envidraçado com os três painéis ativados. Mas como referido anteriormente, esta hipótese poderá não ser considerada pois a utilização deste mecanismo reduz significativamente a entrada de luz natural no espaço em estudo. Deste modo, o mesmo elemento de sombreamento com apenas dois painéis ativados também apresentada uma redução dos ganhos solares bastante satisfatórios impedindo que o compartimento atinga temperaturas interiores tão elevadas como na situação atual, dando também alguma liberdade ao utilizador para posicionar os painéis da forma mais adequada.

5.6.3.2. TEMPERATURAS MÁXIMAS

Tabela 5.6 – Redução da temperatura máxima quando as proteções solares estão desativadas para as soluções de sombreamento– Comparação com a situação atual

Proteções desativadas					
Comparações com a situação atual do compartimento	Soluções propostas				
	Dispositivos de sombreamento fixo		Dispositivos de sombreamento móvel		
	1,50 metros	3 metros	1 Painel ativado	2 Painéis ativados	3 Painéis ativados
Redução média da temperatura máxima	2,0°C verificada às 17h	2,8°C verificada às 17h	2,3°C verificada às 17h	4,4°C verificada às 17h	5,2°C verificada às 17h

Tabela 5.7 - Redução da temperatura máxima quando as proteções solares estão desativadas para os diferentes vidros térmicos – Comparação com a situação atual

Proteções desativadas		
Comparações com a situação atual do compartimento	Soluções propostas	
	Vidros térmicos	
	Vidro com fator solar de 0,63	Vidro com fator solar de 0,38
Redução média da temperatura máxima	1,0°C verificada às 17h	4,2°C verificada às 17h

Tabela 5.8 – Redução da temperatura máxima quando as proteções solares estão ativadas – Comparação com a situação atual

Proteções ativadas					
Comparações com a situação atual do compartimento	Soluções propostas				
	Dispositivos de sombreamento fixo		Dispositivos de sombreamento móvel		
	1,50 metros	3 metros	1 Painel ativado	2 Painéis ativados	3 Painéis ativados
Redução média da temperatura máxima	1,0°C verificada às 17h	1,4°C verificada às 17h	1,2°C verificada às 17h	2,3°C verificada às 17h	2,6°C verificada às 17h

Tabela 5.9 -- Redução da temperatura máxima quando as proteções solares estão ativadas – Comparação com a situação atual

Proteções ativadas		
Comparações com a situação atual do compartimento	Soluções propostas	
	Vidros térmicos	
	Vidro com fator solar de 0,63	Vidro com fator solar de 0,38
Redução média da temperatura máxima	0,7°C verificada às 17h	2,0°C verificada às 17h

Como seria de esperar, a solução que apresenta uma maior redução da temperatura interior máxima é quando se recorre a um brise soleil com os três painéis ativados que podem deslizar ao longo do comprimento da varanda, permitindo reduzir a temperatura interior em cerca de 2,6°C em comparação com a situação atual. Ainda assim, realçando o que foi exposto no subcapítulo anterior, se optar pela utilização do mesmo mecanismo, mas apenas com dois painéis ativados, as temperaturas interiores máximas estão bastante próximas se o brise soleil possuir os três painéis ativados, observando-se que a diferença apenas ronda os 0,8°C quando elas estão ativadas, e 0,3°C, quando estão desativadas.

#### 5.6.4. VIDROS TÉRMICOS E DISPOSITIVOS DE SOMBREAMENTO DE 1,50 METROS DE ALTURA

Após uma análise detalhada dos diferentes elementos de sombreamento propostos, verificou-se que quando se recorria ao uso de um elemento fixo na fachada nem sempre os valores de temperatura máxima interior se apresentam aceitáveis, atingindo se valores mais altos que a temperatura de referência para o conforto térmico que são os 25°C.

Assim, a abordagem seguinte passará por analisar a influência que um vidro térmico mais um dispositivo de sombreamento, que representa um determinado fator de obstrução, têm no conforto térmico que será sentido pelos utilizadores do compartimento. Para esta análise irão ser comparadas com a caso atual, duas hipóteses, em que:

Hipótese A – Vidro com fator solar 0,63 e elemento de sombreamento de 1,50 metros

Hipótese B – Vidro com fator solar de 0,38 e elemento de sombreamento de 1,50 metros

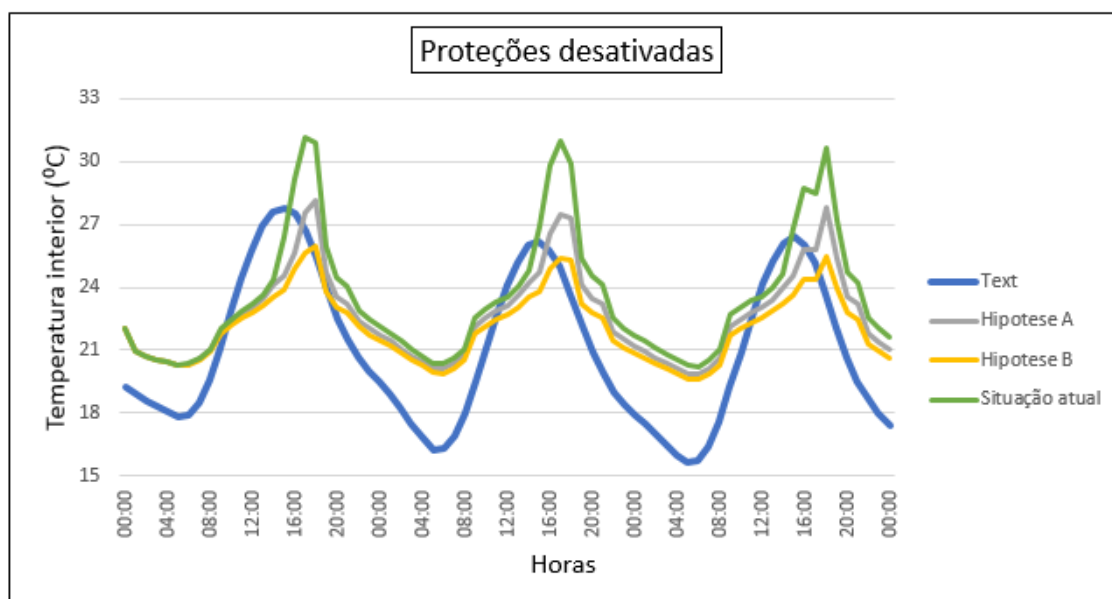


Figura 5.19 - Comparação das diferentes hipóteses propostas - Proteções interiores desativadas

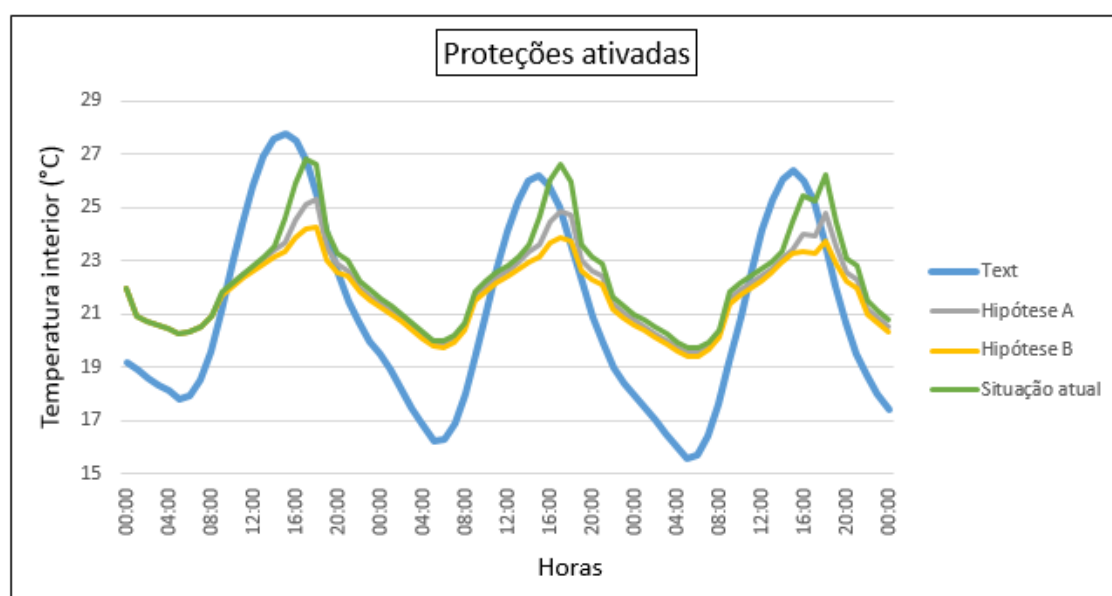


Figura 5.20 - Comparação das diferentes hipóteses propostas - Proteções interiores ativadas

Os resultados são bastante satisfatórios no que toca á situação em que as proteções solares estão ativadas observando-se claramente que se recorremos a um vidro térmico e a um elemento de sombreamento com apenas 1,50 metros de altura, observa-se uma amplitude de resultados baixa, permitindo estabelecer se no compartimento temperaturas interiores que rondam entre os 24°C e os 25°C, dependendo do vidro utilizado.

## 5.6.5. VIDROS TÉRMICOS E ELEMENTOS DE SOMBREAMENTO DE 3,0 METROS DE ALTURA

Para a presente comparação serão consideradas duas hipóteses, sendo que:

Hipótese A – Vidro com fator solar 0,63 e elemento de sombreamento de 3,0 metros

Hipótese B – Vidro com fator solar de 0,38 e elemento de sombreamento de 3,0 metros

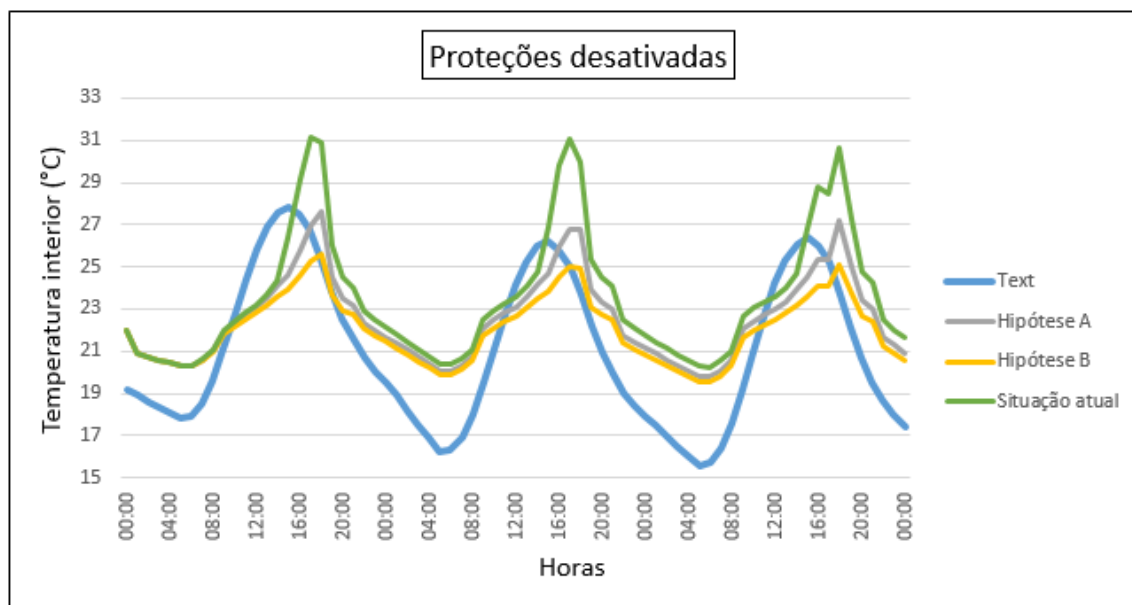


Figura 5.21 - Comparação das diferentes hipóteses propostas com sombreamento de 3 metros de altura - Proteções interiores desativadas

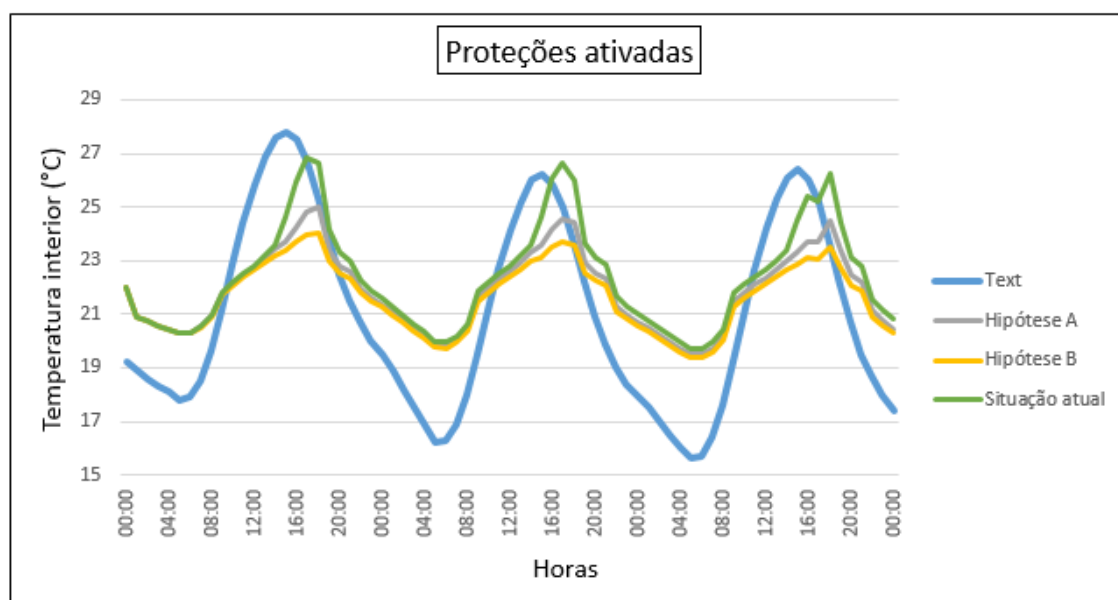


Figura 5.22 - Comparação das diferentes hipóteses propostas com sombreamento de 3 metros de altura - Proteções interiores ativadas

É possível observar que ambas as hipóteses apresentam valores muito favoráveis e permitem estabelecer temperaturas interiores satisfatórias. Quando as proteções interiores estão ativadas, as temperaturas nunca atingem valores acima dos limites do conforto térmico, quer quando se utiliza um vidro com fator

solar de 0,63 ou 0,38. Mesmo quando as proteções estão desativadas, o vidro térmico permite controlar as temperaturas interiores nunca atingindo valores muito superiores às temperaturas exteriores.

#### 5.6.6. ANÁLISE QUANTITATIVA

##### 5.6.6.1. GANHOS SOLARES

Foi elaborado um quadro síntese, onde se referem as soluções propostas que passam por alterar mais que um constituinte na fachada, nomeadamente a utilização de um elemento de sombreamento fixo e a utilização de vidros térmicos que permitam um melhor controlo dos ganhos solares. É preciso, no entanto, referir, que as soluções apresentadas, são naturalmente mais dispendiosas do que o exposto no subcapítulo anterior.

Tabela 5.10 – Redução média dos ganhos solares para as soluções propostas de elementos de sombreamento com vidros térmicos – Comparação com a situação atual

Comparação com a situação atual do compartimento	Soluções propostas							
	Dispositivo de sombreamento 1,50 m + vidro térmico				Dispositivo de sombreamento 3 m + vidro térmico			
	Fator solar 0,63		Fator solar 0,38		Fator solar 0,63		Fator solare 0,38	
	Diário	15h às 20h	Diário	15h às 20h	Diário	15h às 20h	Diário	15h às 20h
Redução média dos ganhos solares	13%	41%	40%	64%	13%	49%	40%	69%

Para as soluções anteriormente propostas, a redução dos ganhos solares é mais significativa pois verifica-se que essa diminuição não surge apenas em determinadas horas do dia, apresentando uma melhoria também durante o resto do período diurno. A proposta que irá reduzir os ganhos de calor de uma forma mais significativa, será quando existe um dispositivo de sombreamento fixo com 3 metros de altura e um vidro térmico com um fator solar de 0,38.

Na verdade, qualquer proposta que passe pela utilização de um vidro com esse fator solar, apresenta resultados bastante diferentes do transposto na situação atual do compartimento, permitindo reduzir mais de metade os ganhos de calor recebidos pelo envidraçado.

## 5.6.6.2. TEMPERATURAS MÁXIMAS

Tabela 5.11 – Redução média da temperatura máxima para as soluções propostas de elementos de sombreamento com vidros térmicos quando as proteções estão desativadas – Comparação com a situação atual

Proteções desativadas				
Comparação com a situação atual do compartimento	Soluções propostas			
	Dispositivo de sombreamento 1,50 m + vidro térmico		Dispositivo de sombreamento 3 m + vidro térmico	
	Fator solar 0,63	Fator solar 0,38	Fator solar 0,63	Fator solar 0,38
Redução média da temperatura máxima	3,0°C verificada às 17h	5,2°C verificada às 17h	3,7°C verificada às 17h	5,6°C verificada às 17h

Tabela 5.12 – Redução média da temperatura máxima para as soluções propostas de elementos de sombreamento com vidros térmicos quando as proteções estão ativadas – Comparação com a situação atual

Proteções ativadas				
Comparação com a situação atual do compartimento	Soluções propostas			
	Dispositivo de sombreamento 1,50 m + vidro térmico		Dispositivo de sombreamento 3 m + vidro térmico	
	Fator solar 0,63	Fator solar 0,38	Fator solar 0,63	Fator solar 0,38
Redução média da temperatura máxima	1,6°C verificada às 17h	2,6°C verificada às 17h	1,6°C verificada às 17h	2,6°C verificada às 17h

Pela análise dos quadros anteriores é possível verificar que a utilização de elementos de sombreamento acrescido de um vidro térmico apresenta a mesma eficácia na redução da temperatura máxima, quando as proteções estão ativadas, sendo que nenhuma das propostas atingem temperaturas interiores acima da temperatura estabelecida de conforto térmico, 25°C.

## 5.7. ANÁLISE DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DO COMPARTIMENTO PARA UM DIA PARTICULARMENTE QUENTE DE VERÃO ADOTANDO AS MELHORES SOLUÇÕES

### 5.7.1. ELEMENTO DE SOMBREAMENTO BRISE SOLEIL COMPOSTO POR DOIS PAINÉIS

Irá agora ser analisado, considerando um dos elementos de sombreamento propostos, o comportamento térmico do compartimento em estudo considerando um dia de Verão em que as temperaturas exteriores

máximas atingem os 32°, no sentido de verificar a sua eficácia até mesmo para dias de temperaturas exteriores extremas, tendo em conta a zona climática do local de estudo. A temperatura interior inicial para a simulação, foi considerada como sendo a média das temperaturas exteriores registadas.

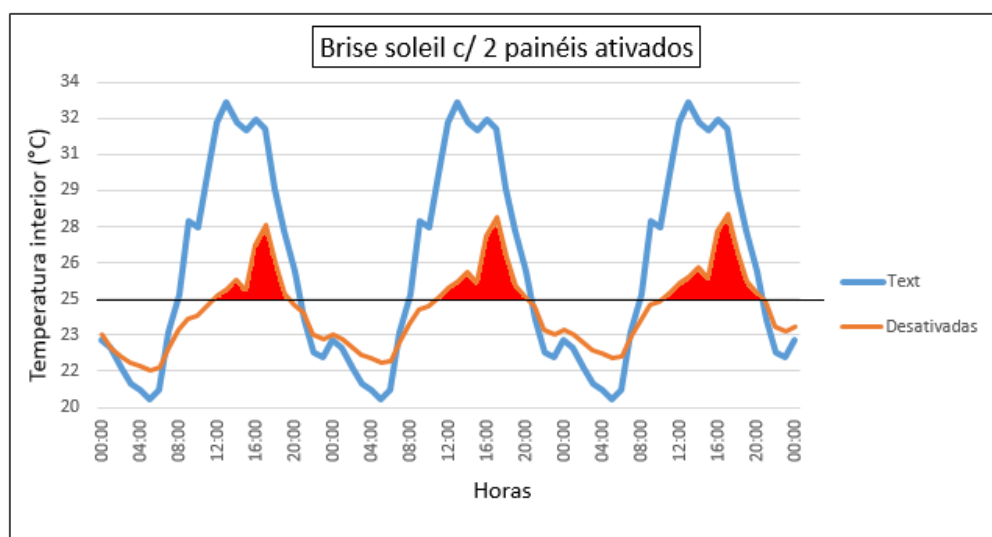


Gráfico 5.23 - Comportamento térmico do compartimento c/ 2 painéis ativados – Proteções interiores desativadas

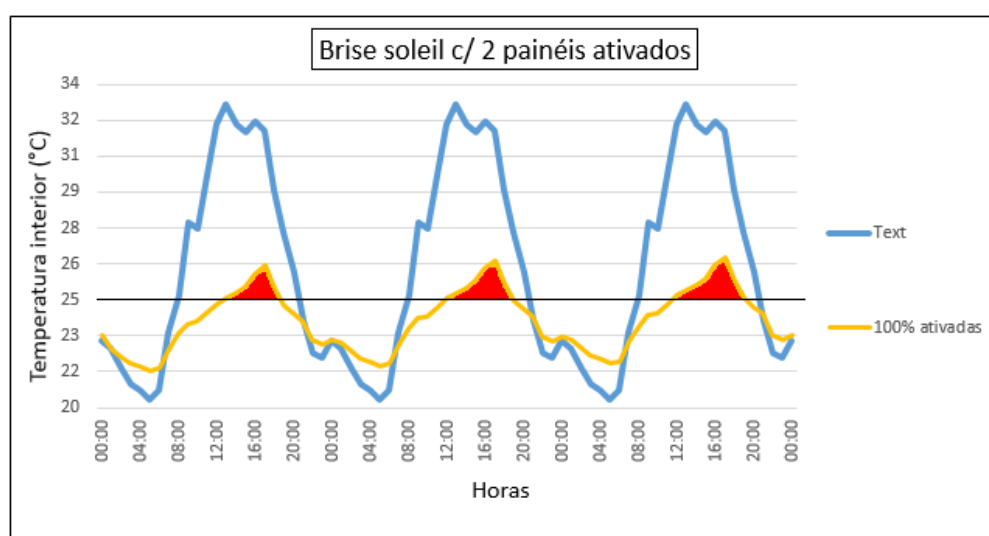


Figura 5.24 – Comportamento térmico do compartimento c/ dois painéis ativados – Proteções interiores ativadas

Considerando que os utilizadores têm as proteções ativas durante o dia, é possível observar que os momentos de desconforto para o período em análise, tendo por base a temperatura de 25°C, são apenas pontuais e pouco significativos.

Caso os utilizadores prefiram não ter qualquer tipo de proteção solar interior ativada, os momentos de desconforto que continuam a ser pontuais, são um pouco mais elevados atingindo temperaturas interiores de 28°C, às 17h. No entanto, devido ao controlo dos ganhos solares que o elemento de sombreamento permite, especialmente durante o período mais crítico, é possível observar que as temperaturas interiores atingidas não acompanham as temperaturas exteriores.

## 5.7.2. ELEMENTO DE SOMBREAMENTO FIXO COM 3 METROS E VIDRO TÉRMICO COM FATOR SOLAR DE 0,38

Como se verificou no capítulo anterior, quando se recorre a alteração de dois elementos, ou seja, altera-se o vidro existente e acrescenta-se um elemento de sombreamento fixo, as temperaturas interiores não ultrapassam a temperatura os 25°C. Irá ser agora analisado se esse comportamento se mantém quando as temperaturas exteriores são mais elevadas.

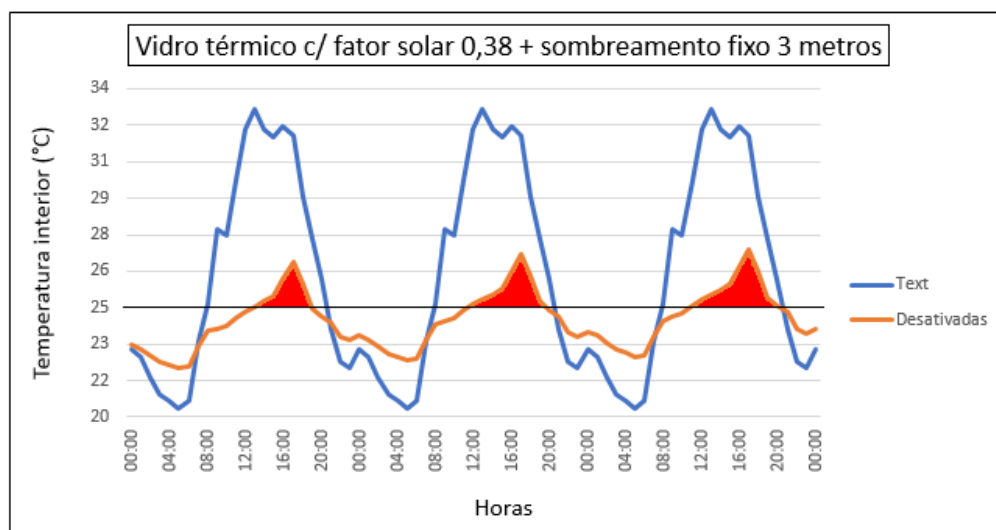


Figura 5.25 - Comportamento térmico para a solução com vidro térmico c/ fator solar de 0,38 mais um elemento de sombreamento fixo de 3 metros – Proteções interiores desativadas

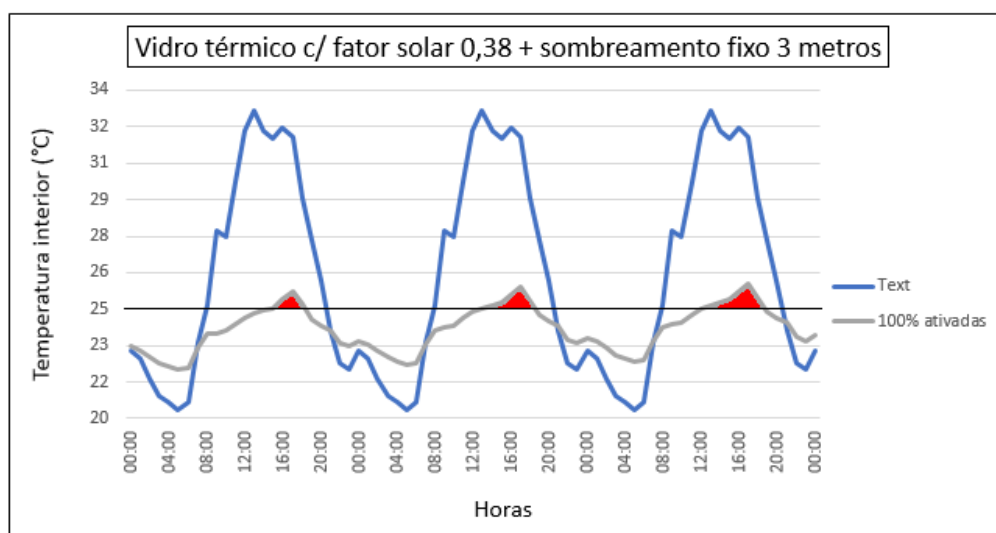


Figura 5.26 - Comportamento térmico para a solução com vidro térmico c/ fator solar de 0,38 mais um elemento de sombreamento fixo de 3 metros – Proteções interiores ativadas

É possível observar que com esta solução, o comportamento térmico interior é muito favorável, verificando-se que quando se registam 32°C no exterior, a capacidade térmica do vidro escolhido e o elemento de sombreamento permitem controlar os ganhos solares recebidos pelo envidraçado e as

temperaturas interiores registadas durante aquela hora e nas restantes em que a temperatura exterior mantém valores muito próximos dos 32°C, estão muito próximas dos 25°C registando se uma diferença de 7°C entre o interior e o exterior. Desta forma, o conforto térmico pelos ocupantes é assegurado.

# 6

## CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

### 6.1. CONCLUSÕES

O capítulo que se segue surge como uma sintetização dos resultados obtidos através das simulações realizadas no capítulo anterior, tendo em conta que poderão ser aplicados em situações reais, por fim a melhorar o desempenho térmico de edifícios com características muito similares.

Inicialmente, procedeu-se à análise das melhores estratégias de ventilação para arrefecimento e concluiu-se, como seria de esperar, que a ventilação noturna e ventilar apenas quando a temperatura exterior é menor que a temperatura interior apresentam resultados eficazes. O clima mediterrâneo caracterizado pelas amplitudes térmicas sentidas durante a estação de arrefecimento, permitem tirar partido das temperaturas exteriores mais baixas que se registam durante o período noturno, para ventilar o espaço interior. Devido à inércia térmica forte do compartimento, a renovação de ar incitada durante o período de funcionamento, permite manter a temperatura interior gerada pelo arrefecimento noturno estável durante o período do dia.

No entanto, é necessário salientar que para o primeiro caso de estudo, apesar da inércia térmica ser forte, a presença de uma fachada envidraçada com dimensões bastante significativas, não permite que o arrefecimento gerado durante o período em que as temperaturas exteriores são mais baixas se mantenham durante o restante período do dia. Isto acontece, pois, o vão envidraçado é o elemento da envolvente que mais influência tem nos ganhos solares diretos, quando comparado com os restantes elementos opacos da envolvente.

Uma fachada envidraçada orientada a oeste, durante a estação de arrefecimento, é a mais problemática devido ao facto de a radiação solar incidir desde o meio dia até ao por do sol, que ocorre até tarde e perto da orientação noroeste e também por acontecer durante a altura do dia em que as temperaturas do ar atmosférico são maiores. Deste modo, existem cuidados muito importantes que se devem ter em conta, especialmente se o envidraçado apresentar dimensões consideráveis, nomeadamente na preocupação de lhe conferir uma determinada resistência térmica que possa reduzir os ganhos solares recebidos.

Um dos desafios mais importantes relativamente à eficiência energética em edifícios está relacionado com o controlo da entrada de luz solar. Adequados sistemas de sombreamento externos com uma correta implementação são a solução mais eficiente no que toca em alcançar um adequado controlo da luz solar, reduzindo a quantidade de radiação direta que incide no vão, e ao mesmo tempo sem interferir com as vantagens da entrada de luz natural no edifício, especialmente se se trataram de compartimentos de uso frequente por parte dos utilizadores.

Por vezes, a implantação de um sistema de sombreamento não é suficiente para conceder um adequado comportamento térmico ao edifício. Quando a relação entre a área do envidraçado e a área do pavimento é superior a 15% é preciso ter em conta que os parâmetros térmicos relacionados com os vãos envidraçados. Nomeadamente no que toca a proteções solares exteriores ou interiores, que para o presente caso é claramente insuficiente pois existe apenas uma proteção interior que não tem a mesma eficiência no controlo dos ganhos solares, como uma proteção exterior que impedem que uma parte dos raios solares não passem o interior do envidraçado. Outro fator importante é também o fator solar do vidro, que dita a quantidade de radiação solar que chega ao ambiente interior.

A escolha de um vidro com uma adequada proteção solar, são geralmente recomendados para fachadas com grande superfície de envidraçado, evitando o sobreaquecimento do espaço e reduzindo substancialmente os custos com a climatização artificial. Na seleção de um vidro para edifícios residenciais é importante ter em conta que estes apresentem valores de transmissão luminosa que permitam salvaguardar consideravelmente a entrada de luz para o interior e por um lado fatores solares que permitem proporcionar elevados níveis de reflexão solar.

Por fim, mas não menos importante, a disposição das janelas é um fator importante na eficácia do arrefecimento interior. Os edifícios multifamiliares, geralmente apresentam aberturas em apenas um dos lados da fachada, tornando a ventilação cruzada um processo difícil de ocorrer.

No primeiro caso de estudo, tratando-se de um edifício de habitação multifamiliar, esta característica encontra-se muito presente, no entanto existem duas janelas com dimensões bastante mais pequenas, orientadas a sul que poderão permitir incitar um fluxo de ar, através da abertura das janelas que se encontram em paredes adjacentes. No entanto, devido às diferenças entre as áreas de abertura de cada janela, o fluxo de ar poderá nem sempre apresentar velocidades de ar que possam tornar a ventilação cruzada eficaz.

Para habitações unifamiliares, a ventilação cruzada é relativamente mais simples, se juntamente com um design interior cuidadoso e uma apropriada localização das janelas se permita tirar partido do diferencial de pressão gerado em todo o edifício. O segundo caso de estudo apresenta um compartimento com duas janelas com dimensões semelhantes entre elas que se localizam em paredes adjacentes, permitindo assim aproveitar esta característica arquitetónica para incitar a ventilação natural através da sua abertura. O utilizador poderá controlar a velocidade do ar no interior, através da abertura das janelas, permitindo assim uma maior ou menor velocidade consoante as suas necessidades.

## **6.2. RECOMENDAÇÕES FUTURAS**

Através da análise realizada ao longo desta dissertação serão feitas algumas recomendações especificadas para o primeiro caso de estudo, que revelou um comportamento térmico bastante desfavorável para os usuários da fração. Todas as soluções propostas foram escolhidas com o cuidado de não interferirem na arquitetura minimalista do edifício.

Primeiro de tudo recomenda-se uma melhoria do sombreamento do vão envidraçado, que se revelou pouco eficiente para a situação atual do compartimento.

O dispositivo de sombreamento como brise soleil móvel apresenta muitas vantagens relativamente ao dispositivo fixo composto por lamelas horizontais. Isto acontece, como seria de esperar, devido às suas dimensões que permitem estabelecer um sombreamento mais eficaz durante o período das 15h às 20h, controlando os ganhos solares recebidos pelo envidraçado durante esta altura do dia.

Através da simulação tridimensional onde foi possível analisar a incidência solar para as diferentes disposições dos painéis do brise soleil verificou-se que ativando três painéis que abrangem a largura total da varanda, o sombreamento seria extremamente excessivo, criando um ambiente bastante sombrio no interior do compartimento. Assim, recorrendo apenas a dois painéis, o seu efeito na temperatura interior é bastante significativo verificando-se uma redução da temperatura interior em 4,4°C em relação a situação atual do compartimento, quando as proteções estão desativadas. Além disso, permitirá também aos utilizadores uma certa liberdade em poder conjugar a disposição dos painéis conforme as necessidades de arrefecimento conferindo lhes também alguma privacidade.

Se a escolha passar por utilizar o dispositivo de sombreamento fixo, recomenda-se a substituição do vidro duplo existente. Foram considerados dois vidros duplos com diferentes características térmicas e luminosas, e verificou-se que caso o utilizador mantenha as proteções interiores disposta da forma mais adequada, um vidro com um fator solar de 0,63 é suficiente para manter uma temperatura interior muito próxima dos 25°C. Será importante referir que assim, o utilizador poderá usufruir de uma solução menos dispendiosa, do que se optar por um vidro com um fator solar de 0,38.

No entanto, estes resultados só estabelecerão efeito se existir uma adequada estratégia de ventilação. Considerando que durante o processo de funcionamento das estratégias escolhidas para arrefecimento, são estabelecidas as 4 renovações por hora, deverão ser dimensionadas áreas de aberturas nas janelas que permitam uma entrada de caudal de ar correspondente a essas renovações. Para isso, poderão ser consideradas mais do que uma abertura de áreas iguais preferencialmente localizadas na parte superior do envidraçado, para evitar o desconforto aos ocupantes, visto que durante o período em que se encontraram em funcionamento as temperaturas exteriores registadas serem mais baixas que durante o resto do dia. A ativação destas aberturas poderá ser realizada pelo utilizador através de um mecanismo automático onde poderá ser estabelecido um horário de abertura e encerramento das aberturas nas janelas.





## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Asimakopoulos, D. *Passive cooling of buildings*. Earthscan, 1996
- [2] Abrantes, João Bartolomeu Catarino. *Implicações do conforto térmico no consumo energético – uma hipótese de modelo adaptativo aplicada ao Verão*. Dissertação de mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2012.
- [3] Lamberts, R., Dutra, L. Pereira, F., *Eficiência energética na arquitetura*. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.
- [4] Matos, JIF. *Avaliação do potencial de arrefecimento de um edifício através da ventilação no verão*. Dissertação de Mestrado, FEUP, 2015.
- [5] Despacho (extrato) nº15793-K/2013 – Parâmetros Térmicos, D.R.n, 3º Suplemento, serie II and d. 03-12-2013.
- [6] Sirgado, J.F.D.C, *Análise do impacto dos vãos envidraçados no desempenho térmico dos edifícios*. Dissertação de mestrado, ISTL, 2010.
- [7] Sorgato, M.J, Versage, R., Lamberts, R. *Sombrear ou não sombrear janelas*, Nota técnica, 2011.
- [8] Palhinha, M.S. *Sistemas de sombreamento na arquitetura*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Arquitetura, IST, Lisboa, 2009.
- [9] Freitas Diogo, Ana Catarina. *Sistemas de envidraçados com e sem proteção solar*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Arquitetura, IST, Lisboa, 2012.
- [10] Verdelho, Sara Isabel. *Avaliação do potencial de arrefecimento de edifícios através da ventilação natural*. Dissertação de Mestrado, FEUP, 2008.
- [11] Norma Portuguesa. *NP 1037-2: 2008 Ventilação e Evacuação dos produtos de combustão dos locais com aparelhos a Gás, Parte 2 – Edifícios de Habitação*. 2002
- [12] Santamouris, M., Francis, A. *Natural ventilation in buildings: a design handbook*, Earthscan, 1998.
- [13] Gomes, Rúben Dinarte Fernandes. *Estudo e conceção de sistemas de ventilação natural em edifícios*. Dissertação de Mestrado, Universidade da Madeira, 2010.
- [14] ISO, E. N. 7730. *Ergonomics of the thermal environment—analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*, Standards Norway, Oslo, Norway, 2005.
- [15] Lamberts, R. Ghisi, E., Papst, A.L. *Desempenho térmico das edificações*. Universidade Federal de Santa Catarina: Laboratório de eficiência energética em edificações, LabEEE, 2000.
- [16] [http://www.labeee.ufsc.br/antigo/arquivos/publicacoes/Thermal\\_Booklet.pdf](http://www.labeee.ufsc.br/antigo/arquivos/publicacoes/Thermal_Booklet.pdf).
- [17] Pinto, M., Freitas, V. *Sistemas de Ventilação Natural e Mistos em Edifícios de Habitação*. Dissertação de Doutoramento, FEUP, 2009.
- [18] Frota, A.B, Shiffer, S. *Manual do conforto térmico*. Studio Nobel. 1995
- [19] [http://www.estt.ipt.pt/download/disciplina/1136\\_Isolamentos%20T%C3%A9rmicos.pdf](http://www.estt.ipt.pt/download/disciplina/1136_Isolamentos%20T%C3%A9rmicos.pdf) – 29/05/2017
- [20] Águas, M.PN., *Conforto térmico: módulo da disciplina de mestrado Métodos instrumentais em energia e ambiente*., Instituto Superior Técnico. Lisboa, 2000.

[21] Dear, RJ, Brager, G.S. *Thermal comfort in naturally ventilated buildings: Revisions to ASHRAE Standard 55*. Energy and Buildings, Vol 34, pp549-561, 2002.

## **ANEXOS**

<b>Data:</b>	14/08/2017   GMT1	
<b>coordenar:</b>	41.1323595, -8.6133334	
<b>local:</b>	Rua do Choupelo, Vila Nova de Gaia, Portugal	
<b>Hora</b>	<b>Elevacao</b>	<b>Azimute</b>
07:43:03	-0.833°	70.09°
8:00:00	2.19°	72.87°
9:00:00	13.21°	82.46°
10:00:00	24.47°	92.19°
11:00:00	35.65°	102.96°
12:00:00	46.28°	116.17°
13:00:00	55.53°	134.11°
14:00:00	61.76°	159.63°
15:00:00	62.68°	191.08°
16:00:00	57.82°	219°
17:00:00	49.25°	238.95°
18:00:00	38.91°	253.28°
19:00:00	27.82°	264.6°
20:00:00	16.53°	274.53°
21:00:00	5.38°	284.06°
21:34:28	-0.833°	289.66°

Figura 7.1 – Elevação e azimute solar em Vila Nova de Gaia para um dos dias estudados















70% das proteções exteriores ativadas				Proteções int/ext desativadas				Proteções interiores ativadas			
2º CASO				2º CASO				3º CASO			
GANHOS				GANHOS				GANHOS			
O	N	H	TOTAL	O	N	H	TOTAL	O	N	H	TOTAL
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4,1	7,7	7,9	19,7	8,2	18,9	7,9	35,0	5,2	10,3	7,9	23,4
13,0	46,6	40,3	99,9	25,8	115,0	40,3	181,1	16,4	62,7	40,3	119,4
18,8	104,1	7,9	130,7	37,3	292,2	7,9	337,4	23,7	148,3	7,9	179,9
22,9	139,8	106,9	269,6	45,5	395,3	106,9	547,7	28,9	199,9	106,9	335,7
27,4	46,3	131,4	205,1	54,5	114,1	131,4	300,0	34,6	62,2	131,4	228,2
31,8	53,6	147,1	232,4	63,1	132,1	147,1	342,3	40,0	72,1	147,1	259,2
36,9	62,3	150,3	249,5	73,4	153,6	150,3	377,3	46,5	83,8	150,3	280,6
54,5	51,5	160,4	266,3	108,2	127,0	160,4	395,6	68,6	69,3	160,4	298,3
98,8	53,2	147,2	299,3	196,4	131,3	147,2	474,9	124,5	71,6	147,2	343,4
287,7	46,3	131,2	465,2	724,1	114,1	131,2	969,4	390,4	62,2	131,2	583,9
351,2	43,5	102,4	497,1	898,5	107,3	102,4	1108,2	480,1	58,5	102,4	641,0
396,7	32,7	74,5	503,9	1022,4	80,7	74,5	1177,6	544,0	44,0	74,5	662,5
398,8	46,6	40,7	486,1	1063,4	115,0	40,7	1219,1	550,7	62,7	40,7	654,1
59,9	16,4	9,0	85,2	159,6	40,3	9,0	208,9	82,7	22,0	9,0	113,6
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4,5	8,4	8,6	21,5	9,0	20,6	8,6	38,3	5,7	11,2	8,6	25,6
15,3	46,6	40,0	101,9	30,3	115,0	40,0	185,3	19,2	62,7	40,0	121,9
22,1	121,8	74,0	217,8	43,9	341,9	74,0	459,8	27,8	173,6	74,0	275,4
26,2	160,0	106,4	292,5	52,1	452,2	106,4	610,7	33,0	228,8	106,4	368,2
28,1	47,3	134,5	209,8	55,8	116,7	134,5	306,9	35,4	63,6	134,5	233,5
28,5	48,0	155,2	231,7	56,6	118,4	155,2	330,1	35,9	64,6	155,2	255,6
28,5	48,0	166,1	242,6	56,6	118,4	166,1	341,1	35,9	64,6	166,1	266,6
53,2	48,0	166,1	267,4	105,8	118,4	166,1	390,3	67,1	64,6	166,1	297,8
101,9	48,0	155,2	305,1	202,5	118,4	155,2	476,1	128,4	64,6	155,2	348,2
296,4	47,3	134,5	478,2	746,2	116,7	134,5	997,3	402,3	63,6	134,5	600,4
370,1	44,2	106,4	520,7	946,8	109,0	106,4	1162,1	505,8	59,4	106,4	671,7
368,7	38,3	74,0	481,0	950,4	94,4	74,0	1118,8	505,7	51,5	74,0	631,1
317,5	46,6	40,0	404,1	846,7	115,0	40,0	1001,7	438,5	62,7	40,0	541,2
15,1	8,4	8,6	32,1	40,3	20,6	8,6	69,6	20,9	11,2	8,6	40,8
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
13,4	36,5	31,5	81,4	26,7	90,1	31,5	148,2	16,9	49,1	31,5	97,5
21,0	116,2	61,9	199,2	41,8	326,4	61,9	430,1	26,5	165,7	61,9	254,1
23,1	141,1	99,5	263,7	45,9	398,8	99,5	544,3	29,1	201,7	99,5	330,4
29,7	50,1	118,6	198,4	59,0	123,6	118,6	301,2	37,4	67,4	118,6	223,5
32,3	54,6	137,2	224,1	64,4	134,7	137,2	336,2	40,8	73,5	137,2	251,5
33,0	55,7	148,0	236,6	65,6	137,3	148,0	350,8	41,6	74,9	148,0	264,4
54,8	53,6	150,8	259,2	109,1	132,1	150,8	392,0	69,2	72,1	150,8	292,1
97,9	44,9	149,2	292,0	194,8	110,7	149,2	454,7	123,5	60,4	149,2	333,1
296,4	38,3	133,9	468,6	746,2	94,4	133,9	974,5	402,3	51,5	133,9	587,7
305,7	44,2	92,5	442,5	782,2	109,0	92,5	983,7	417,9	59,4	92,5	569,9
227,0	38,6	58,3	324,0	585,2	95,2	58,3	738,7	311,3	51,9	58,3	421,6
391,9	42,1	37,8	471,8	1045,0	103,8	37,8	1186,6	541,1	56,6	37,8	635,6
137,3	25,4	8,3	171,0	366,2	62,6	8,3	437,2	189,7	34,2	8,3	232,1
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabela 7.6 – Ganhos solares para as diferentes disposições das proteções solares – Segundo caso de estudo