



**NOVA**

NOVA SCHOOL OF  
SCIENCE & TECHNOLOGY

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

BERNARDO MIGUEL BAPTISTA DA MATA

Licenciado em Ciências da Engenharia Civil

## ESTUDO DE DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO SOLAR: O CASO DE ESTUDO APLICADO A UMA UNIDADE HOTELEIRA

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil

Perfil de Construção

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL

Universidade NOVA de Lisboa

Janeiro, 2022





# NOVA

NOVA SCHOOL OF  
SCIENCE & TECHNOLOGY

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

## ESTUDO DE DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO SOLAR: O CASO DE ESTUDO DE UMA UNIDADE HOTELEIRA

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil

Perfil de Construção

BERNARDO MIGUEL BAPTISTA DA MATA

Licenciado em Ciências da Engenharia Civil

**Orientador:** Prof. Doutor Luís Gonçalo Correia Baltazar,  
Professor Auxiliar, NOVA School of Science  
and Technology

### Júri:

**Presidente:** Prof. Doutor Fernando M. A. Henriques, Professor Catedrático, NOVA School of Science and Technology

**Arguente:** Prof. Doutor Daniel Aelenei, Professor Associado, NOVA School of Science and Technology

**Vogal** Prof. Doutor Luís Gonçalo Correia Baltazar, Professor Auxiliar, NOVA School of Science and Technology

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL

Universidade NOVA de Lisboa  
Janeiro, 2022



**Estudo de dispositivos de proteção solar: o caso de estudo de uma unidade hoteleira**

Copyright © Bernardo Miguel Baptista da Mata, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.



*"In three words, I can sum up everything I've learned about life. It goes on."*

Robert Frost



# Agradecimentos

Em primeiro lugar, gostaria de expressar os meus sinceros agradecimentos ao meu orientador, Professor Luís Gonçalo Correia Baltazar, por todo o apoio prestado, não só ao longo desta dissertação, bem como ao longo de todo o meu percurso académico, pela paciência e disponibilidade de ajudar que possibilitou a execução deste trabalho.

Gostaria ainda de agradecer aos restantes docentes da NOVA, que apesar de não estarem citados como orientadores nesta dissertação, foram fulcrais para a realização da mesma, através dos ensinamentos que me foram transmitindo ao longo de todo o meu percurso académico.

Gostaria também de agradecer aos meus amigos e colegas de curso, que me apoiaram ao longo destes anos.

Por fim, quero agradecer à minha família, pois sem o seu apoio incondicional a realização desta dissertação não teria sido possível.



A presente dissertação tem como principal objetivo analisar o impacto que diversos dispositivos de proteção solar provocam nas necessidades de energia para climatização de uma unidade hoteleira. Para a redução dos consumos energéticos associados à climatização de edifícios destaca-se o recurso a dispositivos de proteção solar nos vãos envidraçados. Neste sentido, o estudo proposto surge devido à necessidade de consciencializar os projetistas relativamente ao correto dimensionamento de dispositivos de proteção solar. Em grande parte, aos benefícios que uma escolha ponderada pode ter no comportamento térmico do edifício, bem como, as consequências que advêm quando colocado um dispositivo de sombreamento que não seja o mais indicado para o edifício.

Para a realização desta análise, foram executadas diversas simulações numéricas de um quarto representativo da unidade hoteleira, com o auxílio do *software EnergyPlus*. Primeiramente foi analisada a solução de proteção solar existente no caso de estudo, e de seguida foram sendo realizadas sucessivas simulações com diferentes dispositivos de proteção solar (portadas, estores venezianos e pala horizontal), por forma a se perceber o impacto que cada um destes causaria nas necessidades energéticas, de maneira a se identificar a solução mais benéfica. Adicionalmente foi estudada a influência da orientação dos vãos envidraçados e o tipo de vidro, nas necessidades energéticas para climatização.

No final desta análise foi possível concluir a importância que as orientações dos vãos envidraçados têm nas necessidades de energia para climatização, as vantagens e desvantagens da utilização de um vidro de baixa emissividade para este clima em particular, e a influência que a posição de montagem do próprio dispositivo de proteção solar tem nas necessidades energética do edifício.

**Palavras-chave:** Dispositivos de proteção solar; EnergyPlus; Necessidades energéticas para climatização; Radiação solar; Unidade hoteleira.



# Abstract

---

The main objective of this dissertation is to study the impact that different solar shading devices have on the energy needs for air conditioning of a hotel unit. The proposed study arises due to the need to raise the awareness of designers regarding the choice of solar protection systems. Mainly, the benefits that a considered choice can have on the building needs, as well as the consequences that arise from an ill-informed one.

For this analysis, several numerical simulations of one of the rooms of the hotel unit were performed, with the aid of the EnergyPlus software. First the solution implemented in the case study was analyzed, and then successive simulations with different solutions were performed, to understand the impact that each one of them would have on the energy needs, to identify the most beneficial solution. Additionally, the influence of the room orientation on the energy needs for air conditioning was studied.

At the end of this analysis, it was possible to conclude the importance that the glazing orientation has on the energy needs for air conditioning, the advantages, and disadvantages of using low emissivity glass for this particular climate, and the influence that the position of the solar protection device has on the energy needs of the building.

**Keywords:** Solar shading devices; EnergyPlus; Energy needs for air conditioning; Solar radiation.



# Notação e Símbolos

<b>Notação</b>	<b>Designação</b>
BAC	Building Automation and Control Systems (Sistemas de Automação e Controlo de Edifícios)
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
COP	Coeficiente de Desempenho
CQNUAC	Convenção Quadro das Nações Unidas para as Alterações Climáticas
DPS	Dispositivo de Proteção Solar
EER	Rácio de Eficiência Energética
ELPRE	Estratégia de Longo Prazo para Renovação de Edifícios
GEE	Gases de Efeito de Estufa
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
NUTS	Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos
nZEB	Nearly Zero Energy Buildings (Edifícios com Necessidades Quase Nulas de Energia)
O <sub>2</sub>	Oxigénio
PNEC 30	Plano Nacional Energia e Clima 2030
PVC	Policloreto de Vinilo
RECS	Regulamento do Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços
REH	Regulamento do Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação
RNC 2050	Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050
SCE	Sistema de Certificação Energética dos Edifícios
Solução 1	Solução Existente
Solução 2	Portada pelo exterior
Solução 3	Inexistência de DPS
Solução 4	Substituição do vidro
Solução 5	Estore veneziano interior automático
Solução 6	Pala horizontal
UE	União Europeia
UV	Radiação Ultravioleta

<b>Símbolos</b>	<b>Unidades</b>	<b>Designação</b>
$A_c$	$m^2$	Área Visível de Caixilho
$A_v$	$m^2$	Área Visível de Vidro
$E$	$W/m^2$	Radiância da Superfície
$E_b$	$W/m^2$	Radiância de Corpos Negro
$g$	(Adimensional)	Fator Solar
$g_t$	(Adimensional)	Fator Solar Global
$H$	$m$	Altura do Vão Envidraçado
$L$	$m$	Comprimento da Pala
$R_{sh}$	$m^2\text{°C}/W$	Resistência Térmica do Dispositivo de Proteção Solar
$R_t$	$m^2\text{°C}/W$	Resistência Térmica Total
$U$	$W/m^2\text{°C}$	Coeficiente de Transmissão Térmica
$U_c$	$W/m^2\text{°C}$	Coeficiente de Transmissão Térmica de um Caixilho
$U_v$	$W/m^2\text{°C}$	Coeficiente de Transmissão Térmica de um Vidro
$U_w$	$W/m^2\text{°C}$	Coeficiente de Transmissão Térmica de um Vão Envidraçado
$U_{ws}$	$W/m^2\text{°C}$	Coeficiente de Transmissão Térmica de um Vão Envidraçado com Dispositivo de Proteção Solar ativo
$z$	$^\circ$	Azimute Solar
$\alpha$	(Adimensional)	Coeficiente de Absorção
$\alpha'$	$^\circ$	Altitude Solar
$\varepsilon$	(Adimensional)	Emissividade
$\lambda$	$W/m^\circ C$	Condutibilidade Térmica
$\rho$	(Adimensional)	Coeficiente de Reflexão
$\tau$	(Adimensional)	Coeficiente de Transparência
$\phi_a$	$W/m^2$	Radiação Absorvida
$\phi_i$	$W/m^2$	Radiação Incidente
$\phi_r$	$W/m^2$	Radiação Refletida
$\phi_t$	$W/m^2$	Radiação Transmitida
$\psi$	$W/m^\circ C$	Coeficiente de Transmissão Térmica Linear

# Índice

<b>CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 – ENQUADRAMENTO E MOTIVAÇÃO .....	1
1.2 – OBJETIVOS.....	6
1.3 – METODOLOGIA .....	6
1.4 – ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO.....	6
<b>CAPÍTULO 2. CONCEITOS GERAIS.....</b>	<b>9</b>
2.1 – RADIAÇÃO SOLAR .....	9
2.1.1 - Irradiância .....	9
2.1.2 – Influência da posição do sol .....	9
2.1.3 – Tipos de Radiação .....	14
2.1.4 – Espectro Solar .....	15
2.1.5 – Comportamento de um corpo quando sujeito a radiação .....	16
2.2 – VÃO ENVIDRAÇADO .....	21
2.2.1 – Propriedades .....	21
2.2.2 – Tipos de vidro.....	23
2.2.3 – Tipologia de caixilhos.....	25
2.2.4 – Dispositivos de proteção solar .....	27
<b>CAPÍTULO 3. METODOLOGIA E CASO DE ESTUDO .....</b>	<b>45</b>
3.1- INTRODUÇÃO AO <i>ENERGYPLUS</i> E AO CASO DE ESTUDO.....	45
3.1.1 – <i>EnergyPlus</i> .....	45
3.1.2 – Localização .....	45
3.1.3 – Descrição geral.....	46
<b>CAPÍTULO 4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS.....</b>	<b>57</b>
4.1 – SOLUÇÃO 1 – SOLUÇÃO EXISTENTE.....	57
4.2 – SOLUÇÃO 2 – PORTADA PELO EXTERIOR .....	64
4.3 – SOLUÇÃO 3 – INEXISTÊNCIA DE DPS .....	68
4.4 – SOLUÇÃO 4 – SUBSTITUIÇÃO DO VIDRO .....	71
4.5 – SOLUÇÃO 5 – ESTORE VENEZIANO INTERIOR AUTOMÁTICO.....	76
4.6 – SOLUÇÃO 6 – PALA HORIZONTAL.....	83
4.7 – RESUMO DAS SIMULAÇÕES .....	87
<b>CAPÍTULO 5. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>91</b>
5.1 – CONCLUSÕES GERAIS .....	91
5.2 – RECOMENDAÇÃO DE TRABALHOS FUTUROS .....	93



# Lista de Figuras

FIGURA 2.1 - VARIAÇÃO DA AMPLITUDE DO ARCO DESCRITO PELO MOVIMENTO DO SOL EM FUNÇÃO DAS DIFERENTES ESTAÇÕES DO ANO .....	10
FIGURA 2.2 - MEDIÇÃO DA POSIÇÃO DO SOL .....	10
FIGURA 2.3 - GRÁFICO SOLAR (VARIAÇÃO DE AZIMUTE E ALTITUDE SOLAR PARA AS DIVERSAS HORAS DO DIA E MESES DO ANO) PORTUGAL CONTINENTAL .....	11
FIGURA 2.4 - EXEMPLO DO FUNCIONAMENTO DE UMA PALA DE SOMBREAMENTO PARA A ESTAÇÃO DE INVERNO E VERÃO .....	12
FIGURA 2.5 - AMPLITUDE DE AZIMUTE DESDE O NASCER DO SOL ATÉ AO PÔR DO MESMO .....	12
FIGURA 2.6 - IRRADIÂNCIA PARA DIFERENTES ORIENTAÇÕES DE FACHADA, EM FUNÇÃO DA HORA SOLAR .....	13
FIGURA 2.7 - DIFERENTES COMPONENTES DA IRRADIÂNCIA .....	14
FIGURA 2.8 - ESPECTRO DA RADIAÇÃO SOLAR .....	15
FIGURA 2.9 - COMPORTAMENTO DE UM CORPO SUJEITO A RADIAÇÃO .....	17
FIGURA 2.10 - DIFERENTES TIPOS DE TRANSMISSÃO: A) TRANSMISSÃO DIRETA; B) TRANSMISSÃO DIFUSA .....	19
FIGURA 2.11 - DIFERENTES TIPOS DE REFLEXÃO: A) REFLEXÃO ESPECULAR; B) REFLEXÃO DIFUSA .....	19
FIGURA 2.12 - PROPRIEDADES ÓTICAS DE UM VIDRO TRADICIONAL E <i>LOW-E</i> .....	24
FIGURA 2.13 - SISTEMA CORTE TÉRMICO .....	26
FIGURA 2.14 - SOLUÇÕES PALAS HORIZONTAIS: A) SÓLIDA; B) RIPAS .....	29
FIGURA 2.15 - SOLUÇÕES PALAS VERTICAIS: A) DIREITA; B) INCLINADA .....	30
FIGURA 2.16 - SOLUÇÃO DE EGGCRATE: PERTUBUHAN ARKITEK MALAYSIA (PAM) EM BANGSAR, KUALA LUMPUR .....	31
FIGURA 2.17 - COMPORTAMENTO DE UMA PALA AO LONGO DOS MESES DE INVERNO E O IMPACTE DESTA NO AQUECIMENTO PASSIVO DO EDIFÍCIO .....	32
FIGURA 2.18 - SOLUÇÃO DE TOLDO: A) ATIVO; B) RECOLHIDO .....	33
FIGURA 2.19 - VEGETAÇÃO COMO DISPOSITIVO DE PROTEÇÃO SOLAR .....	34
FIGURA 2.20 - SOLUÇÃO DE PERSIANA: A) PVC; B) ALUMÍNIO .....	34
FIGURA 2.21 - PERSIANA COM MECANISMO DE PROJEÇÃO .....	35
FIGURA 2.22 - SOLUÇÃO DE ESTORES VENEZIANOS: A) RIPAS METÁLICAS; B) RIPAS DE MADEIRA .....	36
FIGURA 2.23 - SOLUÇÃO ESTORE DE TÊXTIL TRANSPARENTE .....	37
FIGURA 2.24 - SISTEMA DE PORTADA A FUNCIONA COMO ESTORES VENEZIANO: A) FECHADO; B) ABERTO .....	38
FIGURA 2.25 - SISTEMA DE ABERTURA DE PORTADAS: A) BATENTE; B) CORRER .....	38
FIGURA 2.26 - SOLUÇÕES FOTOVOLTAICOS INTEGRADOS: A) DPS FIXO; B) DPS MÓVEL .....	39
FIGURA 2.27 - BIQ HOUSE HAMBURGO, ALEMANHA .....	40
FIGURA 2.28 - ESQUEMA DO FUNCIONAMENTO DE UM FACHADA DE ALGAS .....	41
FIGURA 3.1 - PLANTA EDIFÍCIO CASO DE ESTUDO .....	46
FIGURA 3.2 - PLANTA QUARTO DO CASO DE ESTUDO .....	46

FIGURA 3.3 - PERFIL DE OCUPAÇÃO .....	53
FIGURA 4.1 - ORIENTAÇÕES DOS DIFERENTES QUARTOS EM RELAÇÃO AO NORTE.....	57
FIGURA 4.2 - PALA HORIZONTAL COMPATÍVEL COM A TRAÇA DO EDIFÍCIO .....	82
FIGURA 4.3 - DIMENSIONAMENTO PALA DE SOMBREAMENTO.....	83
FIGURA 4.4 - RESUMO DAS SIMULAÇÕES - ORIENTAÇÃO 60º .....	88
FIGURA 4.5 - RESUMO DAS SIMULAÇÕES - ORIENTAÇÃO 150º .....	89
FIGURA 4.6 - RESUMO DAS SIMULAÇÕES - ORIENTAÇÃO 240º .....	90
FIGURA 4.7 - RESUMO DAS SIMULAÇÕES - ORIENTAÇÃO 330º .....	90

# Lista de Tabelas

TABELA 2.1 - COEFICIENTES DE ABSORÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR (A) E EMISSIVIDADE (ε) DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CORRENTES.....	20
TABELA 2.2 - ACRÉSCIMO DE RESISTÊNCIA TÉRMICA EM FUNÇÃO DA PERMEABILIDADE DO DISPOSITIVO DE PROTEÇÃO SOLAR.....	22
TABELA 3.1 - PROPRIEDADES DOS MATERIAIS (PAREDES EXTERIORES) .....	47
TABELA 3.2 - PROPRIEDADES DOS MATERIAIS (PAREDES INTERIORES).....	48
TABELA 3.3 - PROPRIEDADES DOS MATERIAIS (COBERTURA).....	49
TABELA 3.4 - PROPRIEDADES DOS MATERIAIS (PAVIMENTO).....	49
TABELA 3.5 - PROPRIEDADES DO VIDRO (SGG COOL-LITE SKN 174/174 II) .....	50
TABELA 3.6 - PROPRIEDADES DOS MATERIAIS (LÂMINAS DE ALUMÍNIO ANODIZADO).....	51
TABELA 3.7 - HORÁRIOS DE UTILIZAÇÃO - ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO .....	54
TABELA 3.8 - HORÁRIOS DE UTILIZAÇÃO - ESTAÇÃO DE ARREFECIMENTO .....	54
TABELA 4.1 - HORÁRIO DE ATIVAÇÃO DO DPS SOLUÇÃO 1 .....	58
TABELA 4.2 - SOLUÇÃO 1 - NECESSIDADES ENERGÉTICAS - ORIENTAÇÕES DE 60° E 150°.....	58
TABELA 4.3 - SOLUÇÃO 1 - NECESSIDADES ENERGÉTICAS - ORIENTAÇÕES DE 240° E 330°.....	59
TABELA 4.4 - TEMPERATURA EXTERIOR CASO DE ESTUDO.....	60
TABELA 4.5 - SOLUÇÃO 1 - NECESSIDADES ENERGÉTICAS - ORIENTAÇÕES DE 60° E 150° (ABRIL COMO MÊS DE AQUECIMENTO).....	60
TABELA 4.6 - SOLUÇÃO 1 - NECESSIDADES ENERGÉTICAS - ORIENTAÇÕES DE 240° E 330° (ABRIL COMO MÊS DE AQUECIMENTO).....	61
TABELA 4.7 - SOLUÇÃO 1 - GANHOS SOLARES PARA DIFERENTES VÃOS ENVIDRAÇADOS - ORIENTAÇÕES DE 240° E 330° .....	62
TABELA 4.8 - COMPARAÇÃO DAS NECESSIDADES DE AQUECIMENTO PARA AS DIFERENTES ORIENTAÇÕES .....	63
TABELA 4.9 - COMPARAÇÃO DAS NECESSIDADES DE ARREFECIMENTO PARA AS DIFERENTES ORIENTAÇÕES ...	63
TABELA 4.10 - COMPARAÇÃO DAS NECESSIDADES TOTAIS PARA AS DIFERENTES ORIENTAÇÕES.....	64
TABELA 4.11 - SOLUÇÃO 2 - NECESSIDADES ENERGÉTICAS - ORIENTAÇÕES DE 60° E 150°.....	65
TABELA 4.12 - SOLUÇÃO 2 - NECESSIDADES ENERGÉTICAS - ORIENTAÇÕES DE 240° E 330°.....	65
TABELA 4.13 - COMPARAÇÃO DA SOLUÇÃO 2 COM A SOLUÇÃO 1 - ORIENTAÇÃO 60° E 150° .....	66
TABELA 4.14 - COMPARAÇÃO DA SOLUÇÃO 2 COM A SOLUÇÃO 1 - ORIENTAÇÃO 240° E 330° .....	66
TABELA 4.15 - SOLUÇÃO 2 - GANHOS ATRAVÉS DO VÃO ENVIDRAÇADO - ORIENTAÇÃO 240° E 330° .....	67
TABELA 4.16 - SOLUÇÃO 2 - PERDAS ATRAVÉS DO VÃO ENVIDRAÇADO - ORIENTAÇÃO 240° E 330°.....	68
TABELA 4.17 - SOLUÇÃO 3 - NECESSIDADES ENERGÉTICAS - ORIENTAÇÕES DE 60° E 150°.....	69
TABELA 4.18 - SOLUÇÃO 3 - NECESSIDADES ENERGÉTICAS - ORIENTAÇÕES DE 240° E 330°.....	69
TABELA 4.19 - COMPARAÇÃO DA SOLUÇÃO 3 COM A SOLUÇÃO 1 - ORIENTAÇÃO 60° E 150° .....	70
TABELA 4.20 - COMPARAÇÃO DA SOLUÇÃO 3 COM A SOLUÇÃO 1 - ORIENTAÇÃO 240° E 330° .....	70

TABELA 4.21 - PROPRIEDADES DO VIDRO ADOTADO PARA SOLUÇÃO 4 (SGG CLIMALIT) (ADAPTADO DE [80])	71
TABELA 4.22 - SOLUÇÃO 4 - NECESSIDADES ENERGÉTICAS - ORIENTAÇÕES DE 60° E 150°	72
TABELA 4.23 - SOLUÇÃO 4 - NECESSIDADES ENERGÉTICAS - ORIENTAÇÕES DE 240° E 330°	72
TABELA 4.24 - COMPARAÇÃO DA SOLUÇÃO 4 COM A SOLUÇÃO 3 - ORIENTAÇÃO 60° E 150°	73
TABELA 4.25 - COMPARAÇÃO DA SOLUÇÃO 4 COM A SOLUÇÃO 3 - ORIENTAÇÃO 240° E 330°	73
TABELA 4.26 - SOLUÇÃO 4 - PERDAS ATRAVÉS DO VÃO ENVIDRAÇADO - ORIENTAÇÃO 240° E 330°	74
TABELA 4.27 - COMPARAÇÃO DA SOLUÇÃO 4 COM VIDRO SIMPLES E VIDRO DUPLO - ORIENTAÇÃO 60° E 150°	74
TABELA 4.28 - COMPARAÇÃO DA SOLUÇÃO 4 COM VIDRO SIMPLES E VIDRO DUPLO - ORIENTAÇÃO 240° E 330°	75
TABELA 4.29 - SOLUÇÃO 5 - NECESSIDADES ENERGÉTICAS - ORIENTAÇÕES DE 60° E 150°	77
TABELA 4.30 - SOLUÇÃO 5 - NECESSIDADES ENERGÉTICAS - ORIENTAÇÕES DE 240° E 330°	77
TABELA 4.31 - COMPARAÇÃO DA SOLUÇÃO 4 COM A SOLUÇÃO 5 - ORIENTAÇÃO 60° E 150°	78
TABELA 4.32 - COMPARAÇÃO DA SOLUÇÃO 4 COM A SOLUÇÃO 5 - ORIENTAÇÃO 240° E 330°	78
TABELA 4.33 - COLOCAÇÃO DA SOLUÇÃO 5 PELO EXTERIOR - ORIENTAÇÃO 60°	79
TABELA 4.34 - COMPARAÇÃO DA SOLUÇÃO 1 COM A SOLUÇÃO 5 - ORIENTAÇÃO 60° E 150°	80
TABELA 4.35 - COMPARAÇÃO DA SOLUÇÃO 1 COM A SOLUÇÃO 5 - ORIENTAÇÃO 240° E 330°	80
TABELA 4.36 - SOLUÇÃO 5.2 - NECESSIDADES ENERGÉTICAS - ORIENTAÇÕES DE 60° E 150°	81
TABELA 4.37 - SOLUÇÃO 5.2 - NECESSIDADES ENERGÉTICAS - ORIENTAÇÕES DE 240° E 330°	82
TABELA 4.38 - SOLUÇÃO 6 - NECESSIDADES ENERGÉTICAS - ORIENTAÇÕES DE 60° E 150°	85
TABELA 4.39 - SOLUÇÃO 6 - NECESSIDADES ENERGÉTICAS - ORIENTAÇÕES DE 240° E 330°	85
TABELA 4.40 - COMPARAÇÃO DA SOLUÇÃO 4 COM A SOLUÇÃO 6 - ORIENTAÇÃO 60° E 150°	86
TABELA 4.41 - COMPARAÇÃO DA SOLUÇÃO 4 COM A SOLUÇÃO 6 - ORIENTAÇÃO 240° E 330°	86

# 1

## Introdução

---

### 1.1 – Enquadramento e motivação

---

No contexto europeu, os edifícios assumem uma parcela significativa do consumo de energia elétrica e de emissão de gases com efeito de estufa (GEE), cerca de 40% e 36% respetivamente [1]. Sendo assim, torna-se imperativo a intervenção, ao nível do melhoramento do desempenho energético dos edifícios, através de uma redução das necessidades energéticas dos mesmos e recorrendo a energias renováveis. Com o objetivo da redução do consumo energético, a Comissão Europeia publicou, a 19 de maio de 2010, a Diretiva nº 2010/31/UE (que vem reformular a anterior Diretiva nº 2002/91/CE), onde são implementadas medidas que visam o aumento da eficiência energética de edifícios novos e existentes por forma a atingir as metas estabelecidas no Protocolo de Quioto. É nesta mesma diretiva que a União Europeia estabelece que todos os estados-membros reconhecem que até 31 de dezembro de 2020 todos os edifícios novos devem ser nZEB - isto é, edifícios com necessidades quase nulas de energia - ou até 31 de dezembro 2018 no caso de edifícios novos de entidade pública.

Em 2015 é alcançado o Acordo de Paris, onde se estabeleceu objetivos de longo prazo por forma a conter o aumento da temperatura média global a um máximo de 2°C acima do níveis pré-industriais [2].

Em novembro de 2016, a Comissão Europeia apresentou o Pacote "Energia Limpa para todos os Europeus", onde assegura o cumprimento do Acordo de Paris, sem no

entanto desconsiderar o crescimento económico e a criação de emprego, através da aposta em energias renováveis [3].

Uma posterior análise por parte da Comissão Europeia, vem referir que com as medidas implementadas até agora será possível reduzir as emissões de GEE em cerca de 45% até 2030 e em cerca de 60% até 2050. No entanto estes valores encontram-se ainda distantes dos valores de redução pretendidos, de 80% a 95% das emissões de GEE necessários para a União Europeia atingir o objetivo da neutralidade carbónica necessária para o cumprimento dos objetivos de longo prazo relativamente ao aumento da temperatura média global estabelecidos pelo Acordo de Paris [2].

A 14 de outubro de 2020, a União Europeia apresentou a *"Renovation Wave"* dirigida a edifícios públicos e privados, como parte do plano *"European Green Deal"*. Nesta iniciativa a União Europeia visa a renovação de cerca de 35 milhões de edifícios energeticamente ineficientes numa tentativa de redução das emissões de GEE em cerca de 55% até 2030 [4].

No caso da indústria hoteleira, esta é responsável por cerca de 21% das emissões mundiais de CO<sub>2</sub> [1]. Em grande parte dos hotéis, o consumo de energia anual encontra-se entre 200 e 400 kWh/m<sup>2</sup>, sendo que cerca de metade deste valor corresponde às necessidades de aquecimento, arrefecimento e ventilação [5]. A indústria hoteleira tem, no entanto um enorme potencial ao nível da poupança de energia, visto que grande parte do seu consumo energético é devido a desperdícios ou perdas desnecessárias [5].

No contexto nacional, os edifícios são responsáveis por sensivelmente 5% das emissões de GEE. Os edifícios, tanto no setor residencial como no de serviço, são responsáveis por aproximadamente 30% do consumo de energia final, sendo uma fonte considerável no que diz respeito à emissão de CO<sub>2</sub> [2].

Em 2013, Portugal transcreve para legislação nacional (Decreto-Lei nº118/2013) a Diretiva nº2010/31/UE. Este diploma assegura não só, a transposição da diretiva europeia, mas também uma revisão da legislação até à data (Decreto-Lei nº80/2006), ficando associado a este o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE), o

Regulamento do Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS) [6].

O RECS estabelece as regras de construção, de alteração, de operação e manutenção de edifícios de comércio e serviços bem como dos sistemas técnicos, estabelecendo requisitos para caracterização do desempenho de forma a promover a eficiência energética e qualidade do ar interior [6].

Tendo já apresentado excelentes resultados no tema da política climática, Portugal, em 2016 na Conferência das Partes da Convenção Quadro das Nações Unidas para as Alterações Climáticas (CQNUAC), compromete-se a atingir a neutralidade carbónica até 2050, correspondendo assim às metas fixadas no Acordo de Paris. Por forma a alcançar o objetivo da neutralidade carbónica, o governo português formulou o Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050 (RNC2050), onde aponta as principais medidas de descarbonização nos diversos setores económicos [2].

O RNC 2050, visa alcançar valores de redução de emissões de 45% a 55% em 2030, 65% a 75% em 2040 e neutralidade carbónica (85% a 90%) em 2050, em comparação com valores de 2005. Sugerindo uma redução no setor dos edifícios de cerca de 48% até 2030, 73% até 2040 e 85% até 2050. Uma das medidas apresentadas no RNC2050, relativamente ao setor dos edifícios assenta numa aposta continuada na reabilitação urbana que proporcionará a oportunidade de incorporar melhorias na eficiência energética do parque edificado e incorporar fontes de energia renovável contribuindo para o combate à pobreza energética [2].

Segundo dados divulgados pelo Eurostat [7,8], a 6 de janeiro de 2020, Portugal encontra-se como sendo o quinto país da União Europeia, onde os seus habitantes possuem menos capacidades financeiras para manter as suas habitações devidamente aquecidas. Cerca de 19% da população portuguesa encontra-se em situação de pobreza energética [7,8].

Segundo o RNC 2050, a década de 2021-2030 trata-se de uma década crucial para o envolvimento da economia nacional com as medidas traçadas para a neutralidade carbónica. Assim sendo, e em concordância com os objetivos definidos no RNC 2050, foram concebidas metas arrojadas, mas viáveis, para o cenário desta década.

Estas medidas encontram-se especificadas no Plano Nacional Energia e Clima 2021-2030 (PNEC 2030), sendo este o documento fundamental em termos de matéria de política energética e climática nacional para o horizonte 2030 [9].

Com a publicação da Diretiva 2018/844/UE, Portugal decide, em 7 dezembro 2020, redigir o Decreto-Lei nº 101-D/2020, onde transpõe para legislação nacional a diretiva europeia. Neste decreto é regulado o SCE, anteriormente associado com o Decreto-Lei nº 118/2013, e são estabelecidas novas condições aplicáveis à conceção e reabilitação de edifícios [3].

Grande parte do parque edificado encontra-se envelhecido, em particular o setor residencial, resultando, em muitos casos, em edifícios com elevadas necessidades energéticas para climatização, podendo levar os seus utilizadores a uma situação de pobreza energética, tendo fortes consequências, não só ao nível de conforto dos mesmos, mas também na sua saúde [10]. Tendo em conta este fator, e com base no cumprimento das metas definidas no PNEC 2030 e no RNC2050, é fundamental suscitar uma reabilitação térmica do parque edificado nacional [10]. Com o objetivo de incentivar esta reabilitação, o conselho de ministros aprovou, a 3 de fevereiro de 2021 a Estratégia de Longo Prazo para a Renovação dos Edifícios (ELPRE). Esta estratégia vai de encontro com a iniciativa da União Europeia, "*Renovation Wave*", e estipula metas em comparação com os registos de 2015 (Tabela 1.1) [10].

Tabela 1.1 - Objetivos indicativos ELPRE (Adaptado de [10])

	2030	2040	2050
Área de edifícios renovada [m <sup>2</sup> ]	363 680 501	635 637 685	747 953 071
Poupança energia primária [%]	11	27	34
Redução de horas de desconforto na habitação [%]	26	34	56

Esta reabilitação focar-se-á principalmente na implementação de energias renováveis e na melhoria da envolvente dos edifícios.

Uma parcela importante na envolvente exterior dos edifícios, e muitas das vezes desprezada é a referente aos vãos envidraçados. Esta é importante pois representa fragilidades ao nível da transmissão térmica. O coeficiente de transmissão térmica de janelas é, em regra, cerca de cinco vezes maior que o de uma solução opaca, por exemplo uma parede, fazendo com que estas sejam responsáveis por cerca de 20% a 40% das necessidades energéticas para aquecimento [11]. A Eurowindow, num documento publicado em 2009 [12], estima que existam cerca de 1000 milhões de m<sup>2</sup> de janelas ineficientes, sendo estas maioritariamente compostas por vidro simples, ou vidro duplo de primeira geração, e recomenda que estas sejam substituídas por janelas mais eficientes, compostas com vidros duplos com capas de baixa emissividade, de controlo solar ou então equipados com dispositivos de proteção solar. Esta entidade indica que, as renovações sugeridas, podem originar uma redução do consumo energético dos edifícios entre 100 e 200 GWh/a na Europa [12].

O sol é a maior fonte de energia existente no nosso planeta, e é necessário saber como retirar o maior proveito deste. Uma solução bem definida, instalada e explorada de dispositivos de sombreamento, pode originar uma redução das necessidades energéticas para climatização e iluminação de um edifício. A proteção solar desempenha numerosas funções, podendo regular a quantidade de luz natural que incide no interior do edifício - por forma a maximizar o conforto visual dos seus utentes, diminuindo situações de encadeamento - reduz os ganhos solares levando assim a uma diminuição das necessidades energéticas para a estação de arrefecimento, redução dos custos de construção - pois se estes dispositivos forem considerados na fase de projeto, permitem uma redução da potência dos sistemas climatização e ventilação - e ainda funciona como um isolamento, por forma a minimizar as perdas de calor, em especial no período noturno da estação de aquecimento, em que a temperatura exterior é mais baixa [13].

## 1.2 – Objetivos

---

Tendo em conta as motivações descritas anteriormente, a presente dissertação irá se focar na análise do impacto que um dispositivo de proteção solar tem no contexto global de necessidades energéticas para climatização de um edifício, por forma a consciencializar e alertar para a importância do correto dimensionamento e utilização de dispositivos de proteção solar (DPS).

O principal foco desta dissertação passará pelo desenvolvimento de diferentes simulações para diferentes DPS e orientações do edifício, de forma a serem determinados as necessidades globais de energia para climatização de cada uma das soluções associadas.

## 1.3 – Metodologia

---

A presente dissertação estará estruturada em duas partes.

Ao longo da primeira parte, irão ser abordados os conceitos teóricos necessários para a compreensão do tema, bem como a apresentação de diferentes tipos de DPS que irão ser depois integrados na segunda parte.

A segunda parte, referente à modulação numérica, onde recorrendo a um *software*, irá ser analisado um caso de estudo, procurando compreender como a implementação de novas soluções de DPS, origina alterações nas necessidades energéticas para climatização de um edifício.

## 1.4 – Organização da dissertação

---

A presente dissertação encontra-se disposta em cinco capítulos.

O primeiro capítulo introduz um enquadramento geral sobre o tema, bem como a motivação para a realização de um estudo sobre o mesmo. Aborda ainda os objetivos, a metodologia e a forma como esta dissertação se encontra estruturada.

No segundo capítulo serão apresentados os conceitos gerais, necessários para a compreensão do tema, bem como algumas soluções referentes aos constituintes de vãos envidraçados.

No terceiro capítulo irá ser feita uma breve apresentação sobre o *software* utilizado, bem como a descrição das características do caso de estudo, necessárias para a sua modulação no *software*.

No quarto capítulo, serão definidas as soluções de DPS implementadas no caso de estudo, bem como os resultados das simulações das mesmas. Irá ser também realizada uma análise dos resultados, uma comparação entre diversas soluções e a discussão de resultados com literatura consultada.

Por fim, o quinto capítulo aborda as conclusões gerais, bem como as recomendações para trabalhos futuros para continuação do estudo sobre o tema.



# 2

## Conceitos Gerais

---

### 2.1 – Radiação Solar

---

O Sol é essencial à vida, sendo este a principal fonte de energia, calor e luz [14]. No entanto a radiação solar é a principal responsável pelos ganhos de calor em edifícios. Estes, quando em excesso, originam uma sensação de desconforto dentro do edifício, tornando-se assim necessário desenvolver sistemas que limitem estes ganhos. No entanto, é necessário compreender o comportamento do sol e da sua radiação de modo a otimizar-se estes sistemas [15].

#### 2.1.1 - Irradiância

---

Como já referido anteriormente, o Sol é a maior fonte de energia existente. É capaz de produzir cerca de  $3.85 \times 10^{26}$  Joules por segundo (W). Em média, a irradiância que atinge uma superfície plana e perpendicular aos raios solares ao nível do mar é de  $1000 \text{ W/m}^2$ , significativamente menor (27%) que quando medida da mesma forma no topo da atmosfera ( $1366 \text{ W/m}^2$ ), devido maioritariamente à absorção e difusão da radiação pela atmosfera. A irradiância é a energia radiada numa unidade de área, por unidade de tempo numa superfície elementar [16].

#### 2.1.2 – Influência da posição do sol

---

Um dos fatores influenciadores da quantidade de radiação que atinge uma superfície é a posição do sol [17].

A posição do Sol varia de acordo com o dia do ano e a hora do dia. Este move-se diariamente descrevendo um arco, que atinge o seu ponto mais alto ao meio-dia. Este arco varia diariamente sendo mais longo na estação de verão e mais curto na estação de inverno [18]. Este fenómeno pode ser observado na figura 2.1.

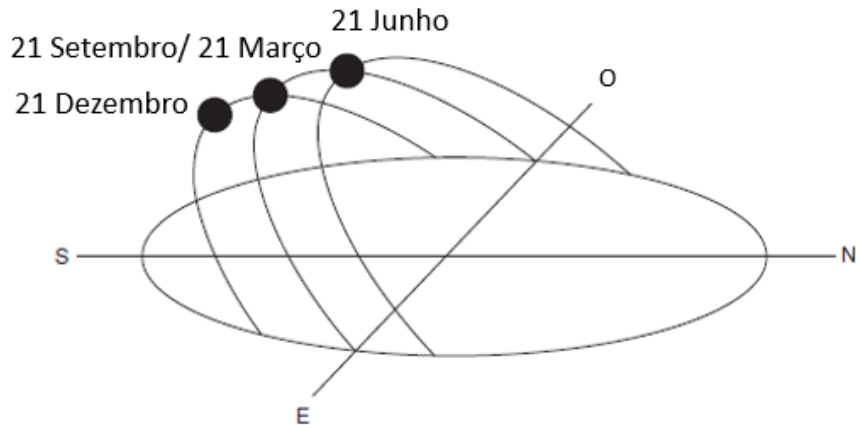


Figura 2.1 - Variação da amplitude do arco descrito pelo movimento do sol em função das diferentes estações do ano (Adaptado de [18])

A posição do sol pode ser definida através da medição de dois ângulos, azimute ( $z$ ) e altitude solar ( $\alpha'$ ) [18] como se pode observar na figura 2.2.

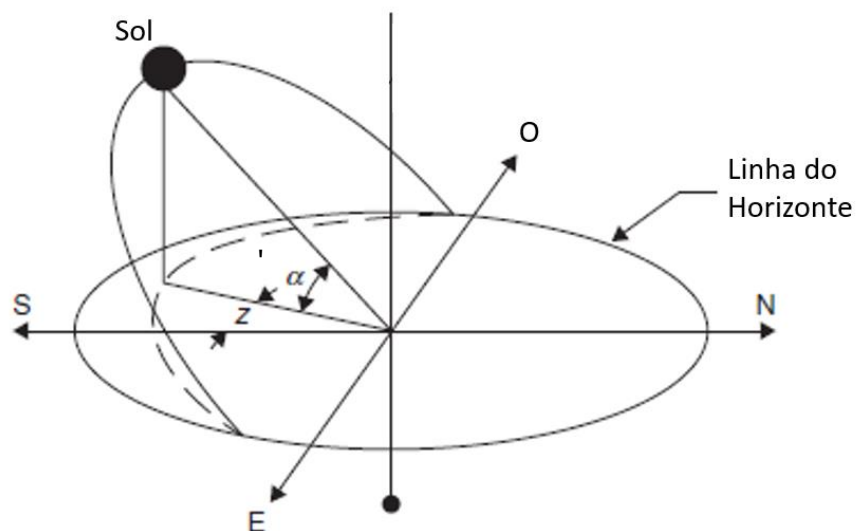


Figura 2.2 - Medição da posição do sol (Adaptado de [19])

O azimute indica a posição do sol numa projeção horizontal medida a partir do quadrante Sul. A altitude solar representa a posição do sol numa projeção vertical medida a partir do horizonte. Ambos os ângulos variam em função da latitude, hora do dia e mês do ano [18].

Na figura 2.3 é possível observar-se as variações dos ângulos mencionados anteriormente, em função da hora do dia e do respetivo mês, para a latitude correspondente a Portugal Continental.

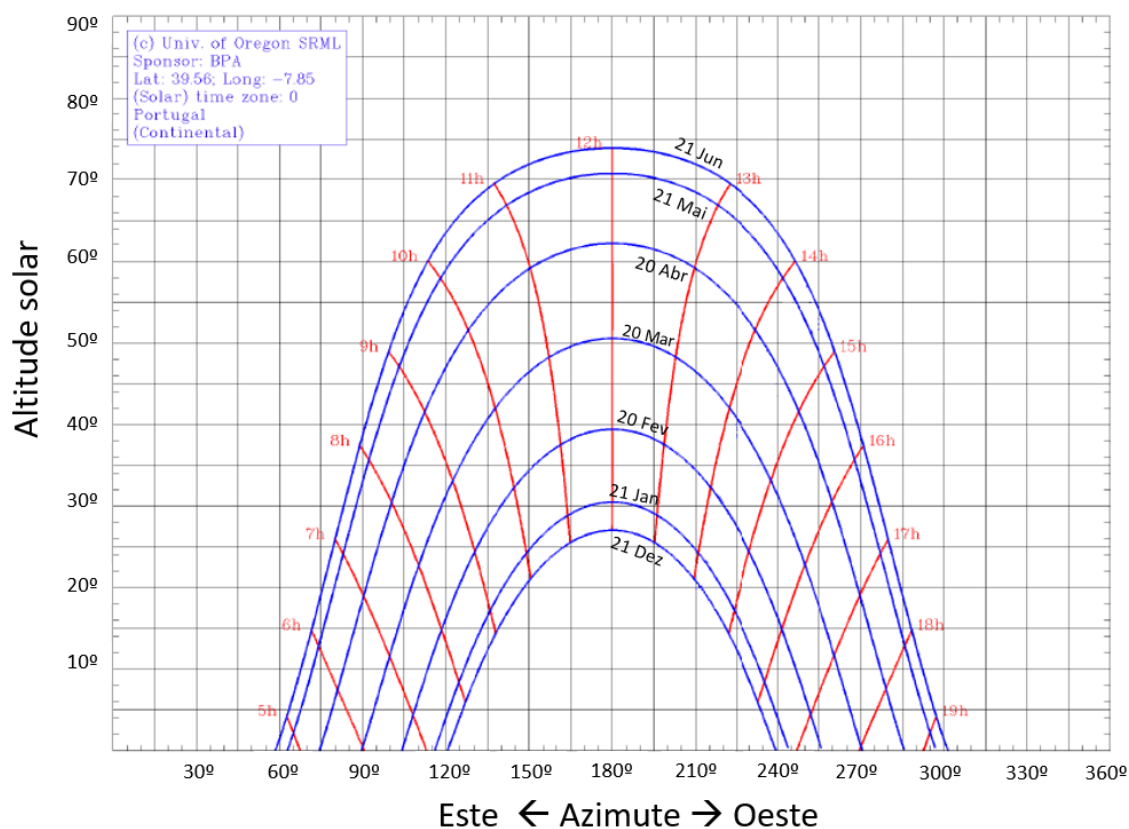


Figura 2.3 - Gráfico solar (Variação de Azimute e Altitude solar para as diversas horas do dia e meses do ano) Portugal Continental (Adaptado de [20])

Através da análise da figura 2.3, observa-se que o Sol durante os meses de verão situa-se relativamente mais alto quando em comparação com os meses de inverno. Este aspeto é especialmente importante para sistemas de aquecimento passivo, pois é possível desenvolver sistemas de sombreamento que bloqueiam a radiação solar

quando o sol se encontra mais alto, mas permitem a passagem da mesma quando este está mais baixo, como é o caso de palas e toldos [21]. Um exemplo do funcionamento mencionado anteriormente pode ser observado através da figura 2.4.

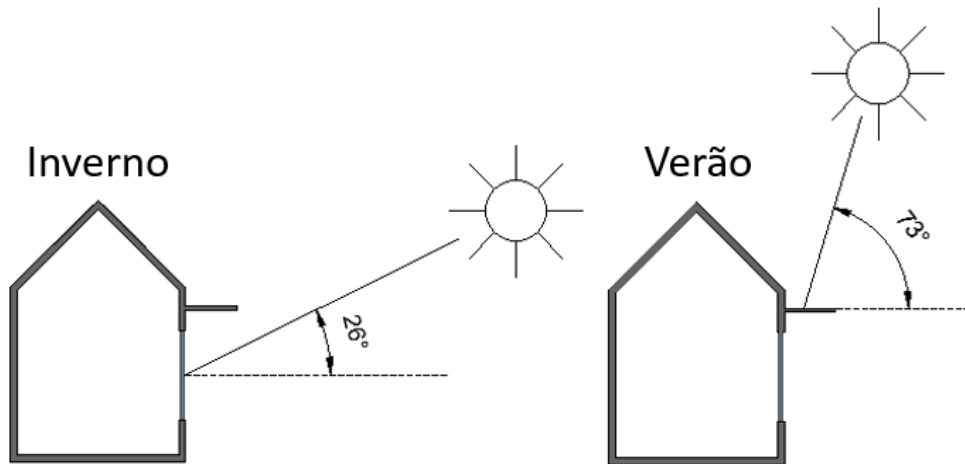


Figura 2.4 - Exemplo do funcionamento de uma pala de sombreamento para a estação de inverno e verão (Adaptado de [21])

Pela figura 2.3, é possível observar também uma maior amplitude de azimute para o período de verão. O aumento da amplitude do azimute resulta numa maior largura de exposição solar, em especial para as orientações Este e Oeste como demonstra a figura 2.5 [21].



Figura 2.5 - Amplitude de Azimute desde o nascer do sol até ao pôr do mesmo (Adaptado de [21])

Como descrito anteriormente, o Sol move-se constantemente ao longo do dia. Este fator leva a que incida sobre as diferentes orientações das fachadas, quantidades distintas de radiação solar ao longo do dia. De acordo com a figura 2.6 é possível observar-se esse efeito.

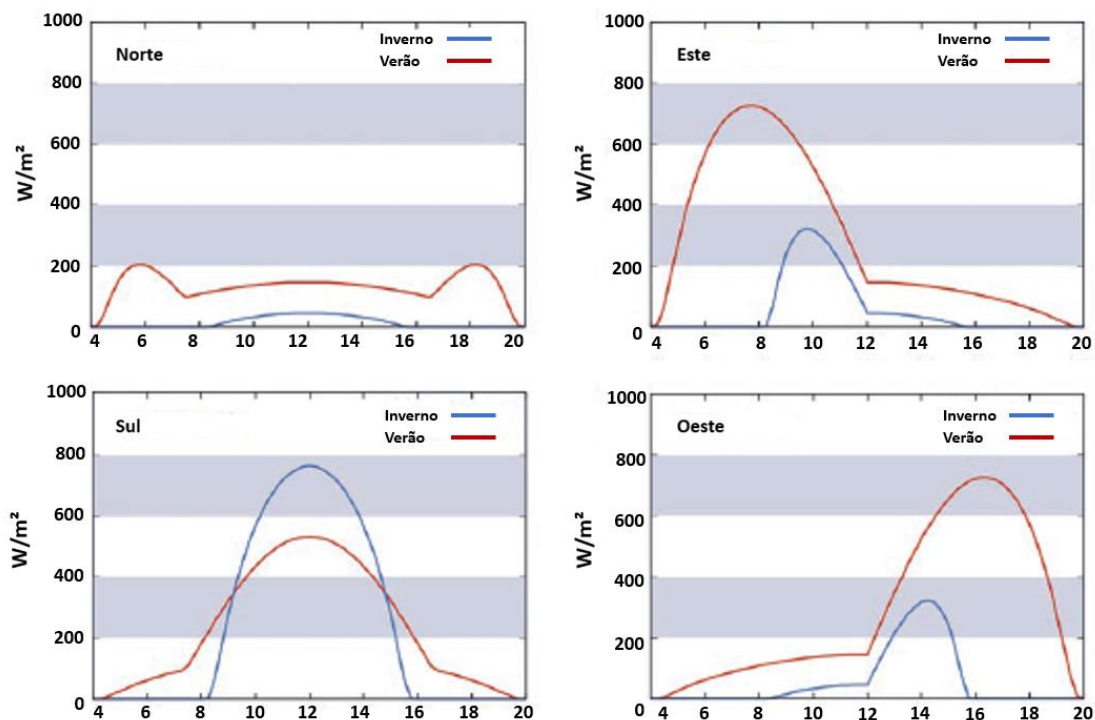


Figura 2.6 - Irradiância para diferentes orientações de fachada, em função da hora solar (Adaptado de [21])

Como o nascer do sol se dá no quadrante Este, as fachadas orientadas neste sentido recebem uma maior quantidade de radiação no período da manhã. O oposto acontece para as fachadas orientadas a Oeste, que a recebe com maior intensidade durante a tarde. É sobre a fachada norte que incide menor radiação, pois sobre esta atinge apenas a parcela da radiação difusa. Ao contrário disto, a fachada Sul recebe radiação durante praticamente o dia inteiro, tratando-se da fachada com o maior potencial de ganhos solares, pelo que é necessário maximizar a área envidraçada nesta orientação para, de uma forma passiva, aumentar a temperatura do edifício. No entanto deverão ser pensadas medidas, por forma a que estes ganhos não sejam excessivos no verão, originando situações de sobreaquecimento dentro do edifício [17].

Relativamente à figura 2.6 é possível verificar-se, que para a fachada Sul, a radiação no inverno é superior à do verão. Esta situação deve-se ao facto de a altitude do sol ser menor, permitindo assim uma incidência da radiação com uma componente mais direta sobre a fachada, como tinha sido demonstrado anteriormente na figura 2.4.

### 2.1.3 – Tipos de Radiação

---

A irradiância é composta por três componentes distintas de radiação. Quando o céu está isento de nuvens (limpo), a parcela de radiação mais significativa é a componente da radiação direta, sendo esta emitida pelo Sol, atingindo a superfície sem ser absorvida ou refletida pela atmosfera [16]. Num céu nublado a principal componente é a radiação difusa [22], que é absorvida pelas partículas da atmosfera e reemitida em todas as direções. Mesmo com um céu limpo, continua a existir radiação difusa, embora em menor percentagem. Existe ainda a radiação refletida pelas superfícies quando sujeitas às duas componentes mencionadas anteriormente [16]. As diferentes componentes encontram-se esquematizadas na figura 2.7.

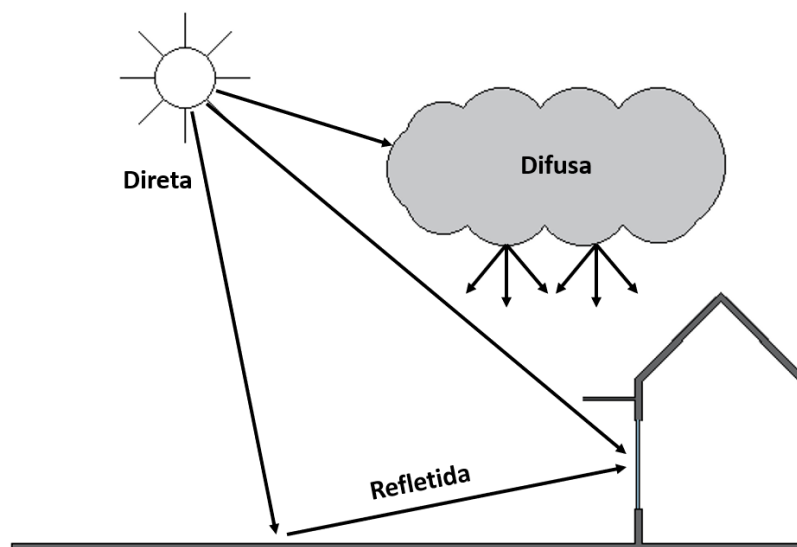


Figura 2.7 - Diferentes componentes da irradiância (Adaptado de [17])

## 2.1.4 – Espectro Solar

O espectro eletromagnético é muito alargado em termos de comprimento de onda. No entanto, para a análise relativa ao comportamento de edifícios apenas é necessário considerar a parcela correspondente à radiação térmica, cujo comprimento de onda varia entre os 100 e 100 000 nm [23]. No espectro da radiação térmica estão incluídas, a radiação ultravioleta (UV), luz visível, infravermelho de curta e infravermelho de onda longa, sendo os primeiros três os constituintes da radiação solar como demonstra a figura 2.8.

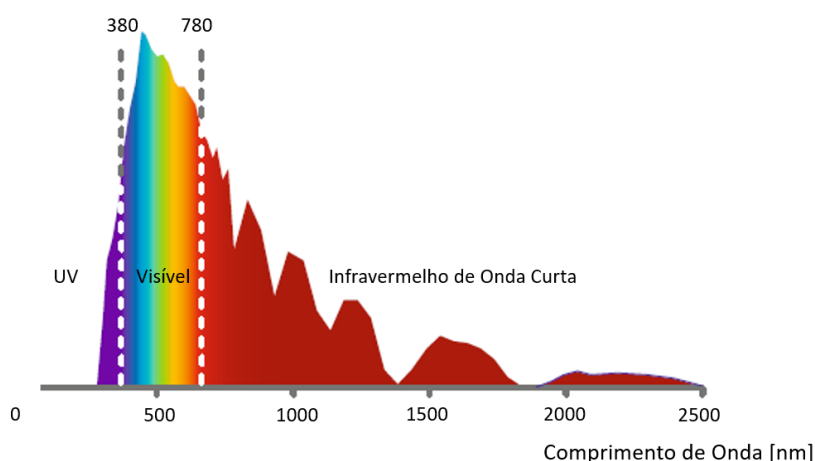


Figura 2.8 - Espectro da radiação solar (Adaptado de [24])

Comprimentos de onda inferiores a 380 nm (Radiação Ultravioleta) [25], são invisíveis ao olho humano, mas nocivos para os seres vivos, quando em sobreexposição à mesma [23]. No caso dos materiais, esta causa envelhecimento dos mesmos, danificando superfícies e cores [17]. No entanto, em termos de balanço energético de edifícios, esta tende a ter pouca influência sobre o mesmo [25].

A luz visível (380 nm a 780 nm) corresponde a cerca de metade da radiação solar incidente [25]. Ao contrário das restantes radiações, esta é capaz de ser captada pelo olho humano, sendo responsável pela reprodução de cores e formas [17].

A última das componentes da radiação solar, correspondendo a cerca de 40% da mesma, é a radiação dos infravermelhos de onda curta, estando esta compreendida

entre 780 nm e 2500 nm [25]. Após ser emitida pelo sol, parte desta radiação é absorvida pelo CO<sub>2</sub> e outros gases presentes na atmosfera, originando o efeito, mais conhecido por efeito de estufa [16]. Ainda abrangido pela gama dos infravermelhos, existe a radiação de onda longa, estando esta associada a comprimentos superiores a 2500 nm, sendo emitida por todos os objetos à temperatura ambiente [25].

O vidro tem um coeficiente de transparência de cerca de 0.9, para comprimentos de onda contidos no intervalo de 300 a 3000 nm, permitindo que seja atravessado por cerca de 90% da radiação solar. No entanto para radiações com um comprimento de onda superior ao intervalo, o vidro funciona como um elemento opaco, absorvendo essa radiação e reemitindo-a para o interior do edifício, dando origem ao efeito de estufa [23]. Este fenómeno será importante, quando mais à frente, no ponto 2.2.4, for estudada a influência da posição do DPS.

### 2.1.5 – Comportamento de um corpo quando sujeito a radiação

---

Quando a radiação térmica incide sobre um corpo, parte desta é refletida pela superfície, uma percentagem absorvida e a restante transmitida através do mesmo [26]. Este efeito encontra-se esquematizado através da figura 2.9.

Pela lei da conservação de energia a soma destas parcelas equivale a 100% da radiação incidente ( $\varphi_i$ ) [27]:

$$\varphi_i = \varphi_a + \varphi_r + \varphi_t \quad (2.1)$$

Onde:

$\varphi_a$  – Radiação absorvida [W/m<sup>2</sup>]

$\varphi_r$  – Radiação refletida [W/m<sup>2</sup>]

$\varphi_t$  – Radiação transmitida [W/m<sup>2</sup>]

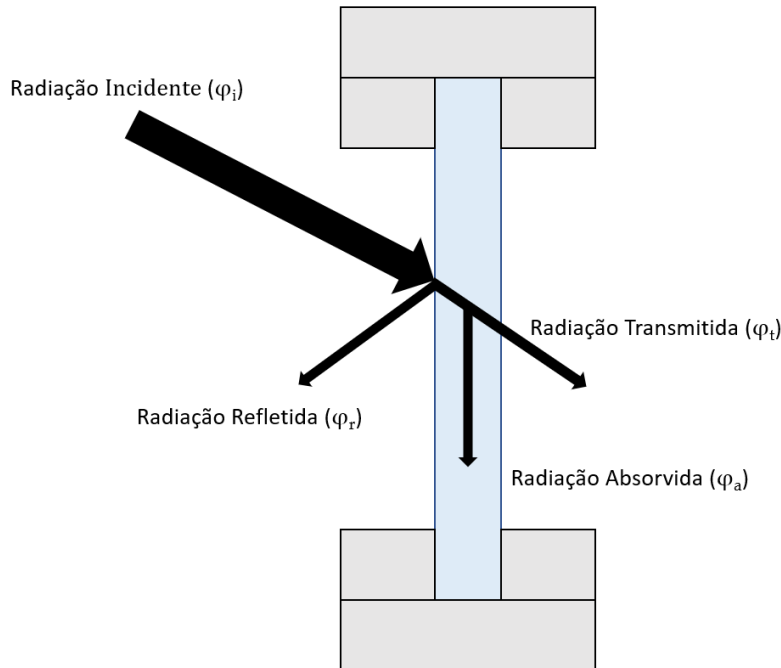


Figura 2.9 - Comportamento de um corpo sujeito a radiação (Adaptado de [17])

O comportamento do corpo quando sujeito a radiação vai, no entanto, variar de acordo com as propriedades do mesmo. Isto é, coeficiente de absorção ( $\alpha$ ), coeficiente de transparência ( $\tau$ ) e coeficiente de reflexão ( $\rho$ ) [23]. Estes coeficientes podem ser calculados de acordo com as seguintes expressões [28]:

$$\alpha = \frac{\varphi_a}{\varphi_i} \quad (2.2)$$

$$\tau = \frac{\varphi_t}{\varphi_i} \quad (2.3)$$

$$\rho = \frac{\varphi_r}{\varphi_i} \quad (2.4)$$

No caso do espectro da radiação solar os coeficientes são representados pelo índice "s" e quando restringidos apenas à radiação da luz visível "v". Sendo o último o mais frequentemente utilizado, para descrever as propriedades óticas dos materiais, visto ser determinante para a análise da visão através do material, seja este um vidro ou um dispositivo de oclusão, e a quantidade de luz natural que o atravessa [25].

### 2.1.5.1 – Coeficiente de Absorção

---

O coeficiente de absorção,  $\alpha$ , caracteriza-se pela eficiência com que um corpo absorve energia que nele incide, variando entre o valor de 0 e 1. Quanto maior for o coeficiente de absorção, maior será a quantidade de energia absorvida pelo corpo. Um corpo com um coeficiente de absorção igual a 1, é designado de corpo negro [23].

A noção de corpo negro corresponde a um conceito teórico, associado a um corpo que absorve na íntegra a radiação nele incidente, independentemente do comprimento de onda e da direção da mesma [19].

O corpo cinzento é um conceito em que a emissividade espectral se mantém constante para todos os comprimentos de onda. É muitas vezes utilizado para tentar uma aproximação à superficial real [23].

As características da superfície têm influência sobre este coeficiente, por exemplo, cores mais claras e superfícies polidas resultam em coeficientes de absorção mais baixos [23].

### 2.1.5.2 – Coeficiente de Transparência

---

Tal como descrito anteriormente pela equação 2.3, o coeficiente de transparência ( $\tau$ ) é a razão entre a energia que atravessa a superfície e a energia total que nela incide [22]. No caso de elementos opacos homogêneos, este coeficiente é nulo ao contrário de elementos translúcidos ou transparentes (Fig 2.10) [23].

A radiação transmitida pode ser dividida em direta, quando a direção da propagação não se altera, isto é, o ângulo do raio incidente é igual ao ângulo do raio transmitido, e em difusa, quando existe uma dispersão da radiação em várias direções uniformemente [22]. O primeiro caso é comum para materiais transparentes, sendo que o último é predominante em materiais translúcidos.

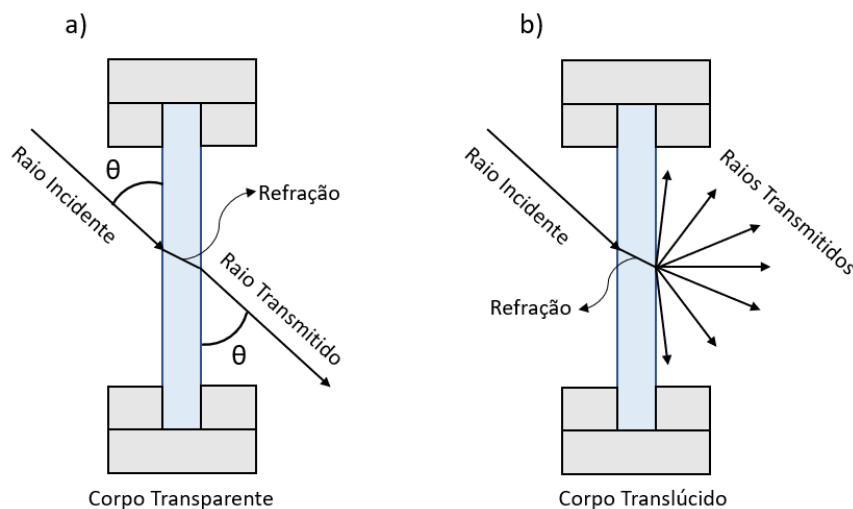


Figura 2.10 - Diferentes tipos de transmissão: a) Transmissão direta; b) Transmissão difusa  
(Adaptado de [16])

### 2.1.5.3 – Coeficiente de Reflexão

O coeficiente de reflexão,  $\rho$ , tal como demonstrado pela equação 2.4, é o quociente entre a radiação refletida pela superfície e a radiação total que nela incide. A reflexão pode ser caracterizada por reflexão especular, difusa ou uma combinação de ambas (Ver figura 2.11) [22]. O comportamento da reflexão especular é semelhante ao de um espelho, neste caso, o ângulo de incidência é igual ao de reflexão. Na situação da reflexão difusa, a radiação é dispersa equitativamente em todas as direções [23], este tipo de reflexão é comum para superfícies com textura rugosa [22].

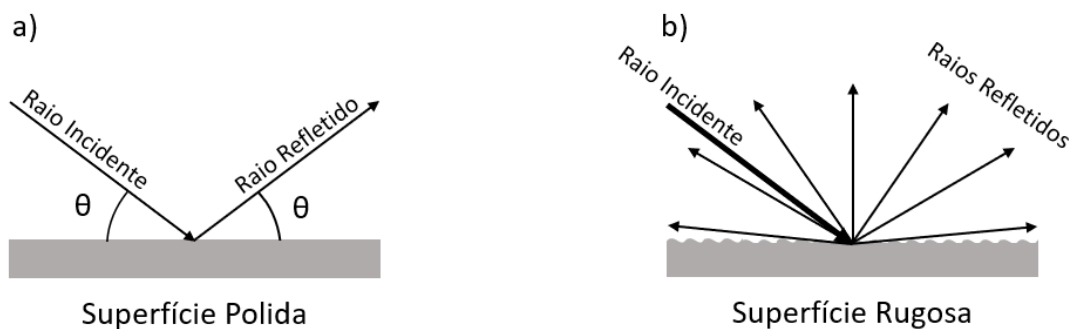


Figura 2.11 - Diferentes tipos de reflexão: a) Reflexão especular; b) Reflexão difusa  
(Adaptado de [22])

### 2.1.5.4 – Emissividade

Uma outra propriedade dos materiais é a emissividade ( $\epsilon$ ), esta representa a relação entre a energia emitida por um corpo e o valor máximo correspondente à emissão do corpo negro, como demonstra a seguinte equação [23]:

$$\epsilon = \frac{E}{E_b} \quad (2.5)$$

Sendo que:

E - Radiância da superfície ( $W/m^2$ )

$E_b$  - Radiância de corpo negro ( $W/m^2$ )

Em 1860, Gustav Robert Kirchhoff constatou, o que é hoje conhecido por *lei de Kirchhoff*, que em equilíbrio térmico, a energia emitida por um corpo é igual à energia absorvida pelo mesmo [29].

$$\alpha = \epsilon \quad (2.6)$$

Contudo esta fórmula é apenas aplicável ao corpo negro ou a um corpo sujeito à radiação de um corpo negro e com temperatura igual a ele. O corpo negro trata-se de um conceito teórico, como referido anteriormente, pelo que para situações correntes os valores de  $\alpha$  e  $\epsilon$  variam como demonstra a tabela 2.1 [23].

Tabela 2.1 - Coeficientes de absorção da radiação solar ( $\alpha$ ) e emissividade ( $\epsilon$ ) de materiais de construção correntes (Adaptado de [23])

Material de Construção	$\alpha$	$\epsilon$
Cerâmicos Vermelhos	0,63	0,93
Betão	0,60	0,88
Vidro	0,05	0,90-0,95
Alumínio anodizado	0,14	0,84
Pintura branca	0,12-0,18	0,90-0,93
Pintura preto baço	0,96	0,95

## 2.2 – Vão envidraçado

---

O vidro tem vindo a ser utilizado durante séculos como forma de garantir iluminação natural no interior dos edifícios, mantendo, no entanto, a separação física entre o interior e o exterior, assegurando assim a proteção contra as intempéries [30].

Ao longo dos últimos 100 anos, os vãos envidraçados têm sofrido numerosas alterações, tanto ao nível das suas propriedades como no impacto que estas têm no comportamento dos edifícios e dos seus ocupantes.

### 2.2.1 – Propriedades

---

#### 2.2.1.1 – Coeficiente de transmissão térmica

---

O coeficiente de transmissão térmica,  $U$ , representa a quantidade de calor por unidade de tempo que atravessa uma superfície de área unitária desse elemento da envolvente por unidade de diferença de temperatura entre os ambientes que o elemento separa. É normalmente definido em  $W/m^2\text{ }^\circ\text{C}$  [6]. O  $U$  pode ser calculado como o inverso da resistência térmica total ( $R_t$ ) sendo esta calculada através da seguinte expressão:

$$R_T = \frac{d}{\lambda} + R_{se} + R_{si} \quad (2.7)$$

onde  $d$  é a espessura do elemento em metros,  $\lambda$  é a condutibilidade térmica do mesmo, sendo esta uma propriedade do material que exprime a forma como o material se deixa atravessar pelo calor, em  $W/m^\circ\text{C}$ ,  $R_{se}$  e  $R_{si}$  são as resistências superficiais exterior e interior respetivamente em  $m^2\text{ }^\circ\text{C}/W$  [23].

Quando o elemento se trata de um vão envidraçado, o coeficiente de transmissão térmica é designado por  $U_w$  e pode ser calculado através da seguinte expressão, prevista na norma europeia EN ISO 10077-1:

$$U_w = \frac{A_v U_v + A_c U_c + L_v \psi_v}{A_v + A_c} \quad (2.8)$$

em que  $U_v$  e  $U_c$  são os coeficientes de transmissão térmica do vidro e do caixilho, respetivamente, em  $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ ,  $A_v$  e  $A_c$  são as áreas visíveis de vidro e caixilho, respetivamente em  $m^2$ ,  $L_v$  é o perímetro visível de vidro em  $m$ , e  $\psi$  é o coeficiente de transmissão térmica linear em  $W/m \text{ } ^\circ C$  [17].

No caso de dispositivos de proteção solar que quando ativos formam uma camada de ar entre estes e o vidro, como por exemplo portadas ou persianas, existe um acréscimo da resistência térmica do vão, diminuindo assim o  $U$  que passa a ser calculado pela seguinte expressão:

$$U_{ws} = \frac{1}{\frac{1}{U_w} + \Delta R} \quad (2.9)$$

em que  $U_w$  é o coeficiente de transmissão térmica do envidraçado calculado pela equação 2.8 e  $\Delta R$  é o incremento de resistência térmica resultante da introdução da camada de ar [23].

O valor de  $\Delta R$  (Tabela 2.2) varia dependendo da permeabilidade ao ar do dispositivo de proteção solar.

Tabela 2.2 - Acréscimo de resistência térmica em função da permeabilidade do dispositivo de proteção solar

Permeabilidade ao Ar	$\Delta R$ [ $m^2 \text{ } ^\circ C/W$ ]
Muito elevada	0,08
Elevada	$0,25R_{sh} + 0,09$
Média	$0,55R_{sh} + 0,11$
Baixa	$0,80R_{sh} + 0,14$
Estanque	$0,95R_{sh} + 0,17$

Onde  $R_{sh}$  é a resistência térmica do dispositivo de proteção solar, sem contabilizar as resistências superficiais [23].

### **2.2.1.2 – Fator solar**

---

O fator solar de um vão envidraçado,  $g$ , representa o valor da relação entre a energia solar transmitida para o interior através do vão envidraçado e a radiação solar nele incidente [6]. Trata-se de um valor adimensional entre 0 e 1, sendo que quanto menor for este valor menor será a quantidade de energia que atravessa o vão envidraçado [31].  $g_T$  é o valor do fator solar global, isto é, a combinação do vidro e do dispositivo de proteção solar totalmente ativados. O cálculo do  $g_T$  será efetuado através do método especificado na norma EN ISO 52022-3, podendo se optar por um método mais simplificado em que se tem em conta o  $U$  e  $g$  do vidro, bem como o  $\alpha$  e  $\tau$  do DPS, ou recorrendo a uma ferramenta de cálculo específica. [17]. Para o caso de dispositivos de proteção solar opacos, como não irá existir transmissão solar através destes, resultam valores de fator solar perto de zero. À medida que a opacidade destes diminui, o fator solar irá aumentar pois alguma da radiação atinge de forma direta ou refletida o vidro [23].

## **2.2.2 – Tipos de vidro**

---

### **2.2.2.1 – Vidro simples**

---

Solução mais básica de envidraçado, composto por apenas uma lâmina de vidro. Esta solução caiu em desuso, devido ao seu fraco comportamento térmico e acústico, limitando-se agora para soluções mais económicas ou para reabilitação de edifícios antigos cujo caixilho não permite acomodar uma solução de vidro duplo [31].

### **2.2.2.2 – Vidro duplo**

---

O vidro duplo é composto por duas lâminas de vidro separadas por uma camada de ar ou um outro gás inerte, com o objetivo de diminuir a quantidade de calor perdida através da envolvente envidraçada [32]. Como o ar é um bom isolante térmico, com um  $\lambda$  de cerca de 0,025 W/m°C [33], a utilização deste na separação das lâminas

de vidro, resulta na diminuição das perdas de calor, sendo esta diminuição mais acentuada quando maior for a espessura de camada de ar [34]. Existe ainda a possibilidade de preencher este mesmo espaço com gases inertes com massa volúmica superior à do ar, tendo por sua vez um comportamento mais isolante, sendo os mais utilizados o árgon ( $\lambda=0,017 \text{ W/m}^\circ\text{C}$  [33]) e o cripton ( $\lambda=0,0090 \text{ W/m}^\circ\text{C}$  [33]) [35].

### 2.2.2.3 – Vidro de baixa emissividade, *low-ε*

No caso dos vidros duplos o principal mecanismo responsável pelas trocas térmicas é a radiação entre ambas as superfícies vidradas [23]. Tendo em consideração este fator surgiu a necessidade de diminuir a emissividade das lâminas de vidro, mediante da aplicação, na face interior de uma destas, de partículas metálicas transparentes e seletivas, isto é, com um elevado  $\tau$  para a radiação na gama da luz visível e um elevado  $\rho$  para o intervalo de comprimento de onda correspondente aos infravermelhos, como se pode observar na figura 2.12 [31].

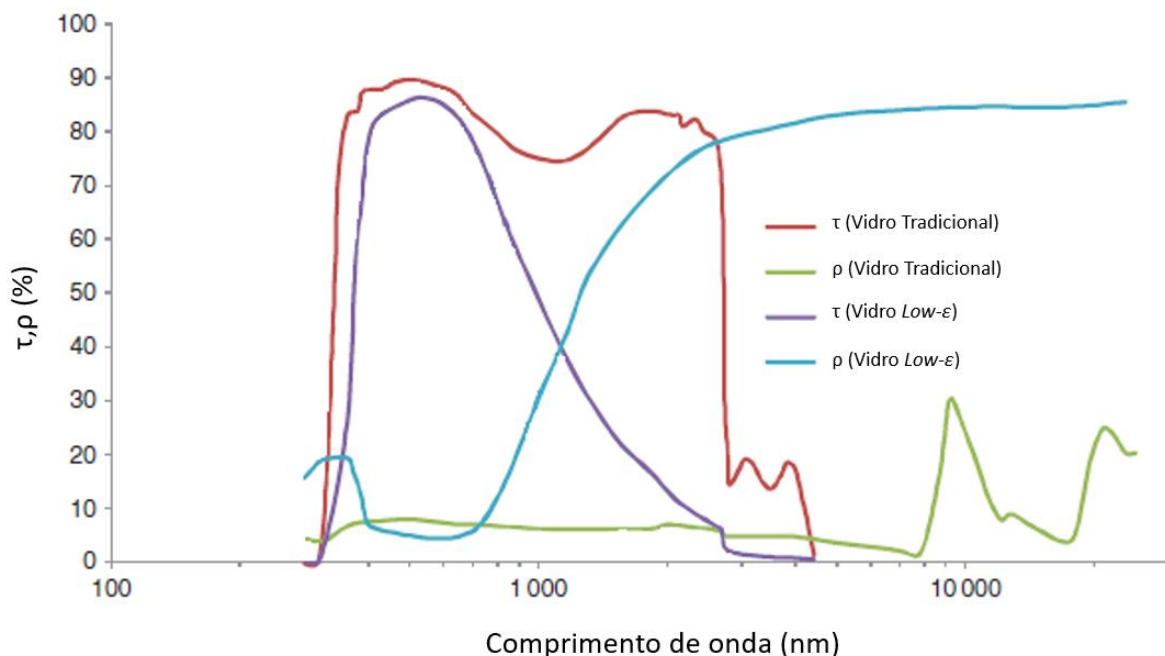


Figura 2.12 - Propriedades óticas de um vidro tradicional e *low-ε* (Adaptado de [31])

Pela aplicação da lei da conservação de energia resulta que, quando  $\tau$  é alto o valor dos restantes coeficientes será baixo. O mesmo acontece para a situação em que

$\rho$  é elevado [31]. Para radiações com o comprimento de onda e como a temperatura da atmosfera não difere de uma forma substancial da temperatura ambiente, é possível aplicar a *lei de Kirchhoff* pelo que resulta que o  $\alpha$  é igual à  $\epsilon$  [23].

#### 2.2.2.4 – Vidro fosco

---

O vidro fosco caracteriza-se por ter uma das suas faces abrasidas mecanicamente ou com recurso a ácido, transformando um material inicialmente transparente em translucido. Devido à rugosidade aplicada à face pela abrasão, a transmissão da luz terá, para além da parcela direta uma parcela difusa, como já tinha sido referido no capítulo 2.1.5.2 A quantidade de transmissão difusa dependerá da unidade *Haze (%)*, isto é, quanto maior for o *Haze* maior será a parcela da transmissão difusa [36][37].

$$Haze (\%) = \frac{\varphi_1}{\varphi_2} \times 100 \quad (2.8)$$

Onde:

$\varphi_1$  - Fluxo de luz difusa com ângulo de dispersão  $> 2.5^\circ$

$\varphi_2$  - Fluxo total de luz incidente

#### 2.2.3 – Tipologia de caixilhos

---

Os caixilhos representam uma componente importante dos vãos envidraçados. Este trata-se do elemento de transição entre a envolvente opaca e envidraçada com a função de não só suportar os painéis de vidro, mas também de garantir a selagem perimetral assegurando assim a estanquidade. As propriedades do caixilho desempenham um papel fundamental no desempenho térmico do vão, com especial ênfase no U do mesmo. Existem no mercado diversos tipos de materiais sendo alguns destes apresentados de seguida [31].

##### 2.2.3.1 – Caixilharia de madeira

---

A madeira foi dos primeiros materiais a ser utilizado como caixilharia, grande parte graças à sua elevada disponibilidade natural e à facilidade com que se trabalha

de maneira a conceber as formas, por vezes complexas, dos vãos envidraçados. Do ponto de vista térmico o desempenho do caixilho de madeira é positivo, com valores de U entre 2 e 3 W/m<sup>2</sup> °C [31].

No entanto a madeira tem diversas desvantagens. Tratando-se de um material higroscópico esta tem a capacidade de adsorver e desadsorver vapor de água do ambiente que a envolve levando a empenamentos dos vãos nos períodos mais húmidos e a folgas nos períodos mais secos, originando uma perda de estanquidade. Devido a este fator e ao facto de a madeira ser suscetível a ataques biológicos é necessária uma manutenção periódica e cuidada [38].

### 2.2.3.2 – Caixilharia de alumínio

O alumínio é um material leve, resistente e durável. Graças ao acabamento por anodização este requer, ao contrário da madeira, praticamente nenhuma manutenção. No entanto em termos de transmissão térmica o desempenho do alumínio fica muito aquém do da madeira. Devido ao facto de o alumínio apresentar um valor elevado de U, na ordem dos 5 W/m<sup>2</sup>°C, foram desenvolvidos sistemas com o intuito de minimizar este valor. O sistema mais conhecido é o "corte térmico" que separa o perfil interior do caixilho do perfil exterior, utilizando um material com uma condutibilidade térmica mais baixa como elo de ligação (Ver figura 2.13) [31].

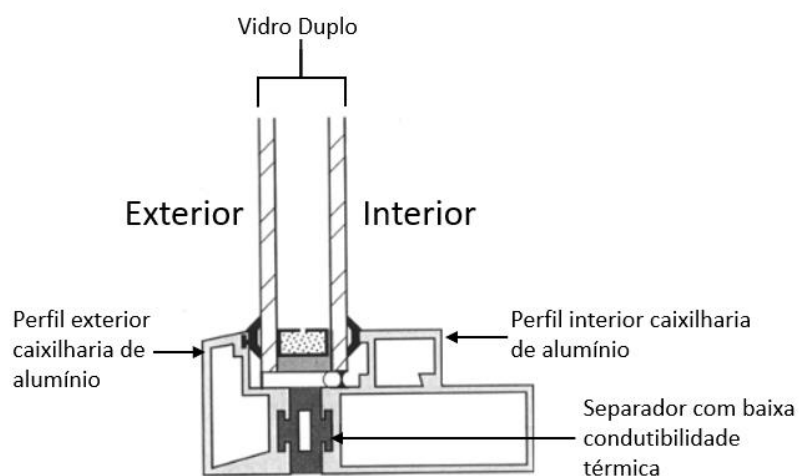


Figura 2.13 - Sistema corte térmico (Adaptado de [39])

### **2.2.3.3 – Caixilharia de plástico**

---

O policloreto de vinilo (PVC) é um material versátil, com boas propriedades térmicas e tal como o alumínio necessita de praticamente nenhuma manutenção. No entanto o PVC, tal como qualquer outro polímero, tende a deteriorar-se e a perder as suas propriedades quando exposto a radiação UV. Os caixilhos podem ainda ser produzidos com outro tipo de plástico, por exemplo fibra de vidro e termoplásticos, que devido ao facto de serem mais resistentes que o PVC permitem uma redução da secção do perfil do caixilho, levando a uma diminuição da área ocupada pelo mesmo [31].

### **2.2.4 – Dispositivos de proteção solar**

---

Os DPS exercem um papel fundamental no desempenho energético do edifício e no conforto térmico e visual dos utilizadores. Existem dois requisitos essenciais para um funcionamento eficaz destes dispositivos. Estes devem reduzir as necessidades de energia para climatização, evitando problemas de sobreaquecimento, e reduzir a entrada excessiva de luz natural reduzindo assim a ocorrência de fenómenos de encandeamento, sendo que nesta dissertação apenas se irá incidir sobre os problemas de sobreaquecimento [40]. Contudo o comportamento destes dispositivos está dependente de diversos fatores como por exemplo, o posicionamento, o material, período de funcionamento/utilização, etc.

#### **2.2.4.1 – Posicionamento**

---

- **Exterior**

Dos diversos posicionamentos que serão apresentados no presente capítulo, o exterior é frequentemente apontado como o mais eficaz em termos de diminuição de ganhos solares, pois estes são capazes de intersetar a radiação solar antes que esta atinja a superfície do envidraçado [41]. São ainda capazes de dissipar para o exterior, qualquer energia absorvida através de processos de radiação e convecção tendo, no entanto, devido a este posicionamento, a desvantagem de necessitarem de uma

manutenção mais atenta e cuidada pois são suscetíveis a um maior desgaste devido à exposição às intempéries [42].

- **Interior**

Quando os dispositivos de proteção solar são colocados pelo interior estes tornam-se menos eficientes pois, a radiação que incide sobre o vão envidraçado vai atravessar o mesmo, em função do seu  $\tau$ , e atingir de forma direta o DPS. Após esta radiação incidir sobre o DPS irão ocorrer os fenómenos já apresentados na Fig 2.9, isto é, parte da radiação será refletida para o envidraçado, se o DPS for transparente ou translúcido uma outra parte irá atravessá-lo atingindo os elementos interiores como o pavimento ou o mobiliário sendo a restante absorvida pelo DPS [23].

É importante perceber a influência que esta última parcela tem no comportamento do dispositivo de proteção. Ao absorver a radiação a temperatura do DPS aumenta originando trocas térmicas com a envolvente. Por condução a face oposta do DPS aumenta de temperatura dando início a trocas por radiação e convecção para o interior do compartimento. A face sobre a qual incide a radiação irá, por convecção, libertar calor para o espaço de ar que separa ambos os elementos enquanto emite radiação para o vidro num comprimento de onda para o qual este é opaco fazendo com que o envidraçado a absorva e aumente de temperatura e liberte parte desse calor para o ambiente interior. Esta última situação é comum para todas as superfícies interiores cujo aumento de temperatura motiva um processo de radiação na gama dos infravermelhos que não consegue atravessar o vão envidraçado resultando assim na criação de efeito de estufa no interior do edifício [23].

- **Integrado**

Como descrito anteriormente a colocação dos DPS pelo exterior é em regra a melhor solução em termos de redução dos ganhos solares, no entanto estes têm um elevado impacto visual ao nível arquitetónico da fachada do edifício e por esse motivo são usualmente descartados em fase de projeto. Com o objetivo de contornar o impacto que estes dispositivos têm na envolvente do edifício, surgiram soluções integradas, que permitem que estes sejam montados no espaço de ar do vidro duplo

impedindo que a radiação atinja o pano interior do vão envidraçado. Têm a vantagem sobre os DPS colocados pelo exterior pois, estando estes implementados entre os panos de vidro, estão protegidos das ações climáticas aumentando assim a sua durabilidade e reduzindo a necessidade de manutenção. No entanto, tal como os DPS montados pelo interior, a radiação emitida por estes é absorvida pelos vidros originando trocas térmicas dentro do espaçamento de ar [43].

#### 2.2.4.2 - Funcionamento

---

- **Fixo**

Os dispositivos fixos são especialmente eficazes a bloquear a radiação direta tendo, contudo, dificuldade a impedir com que a radiação difusa e refletida incida sobre o vão envidraçado. São geralmente constituídos por palas horizontais, verticais ou uma combinação das duas sendo este dispositivo intitulado de "*eggcrate*". As palas horizontais são o dispositivo mais comum, sendo principalmente utilizado no Hemisfério Norte nas fachadas orientadas a Sul, por forma a controlar a incidência da radiação quando a altitude solar é elevada [44]. Têm ainda a vantagem de não dificultar a abertura de janelas nem diminuir a visibilidade para o exterior [45]. Podem ser sólidas (Fig 2.14a) ou constituídas por ripas (Fig 2.14b) sendo que a segunda solução permite a redução de cargas aplicadas sobre a estrutura, nomeadamente devido a neve e vento, pois permite a passagem de ambos. Permite ainda, durante o período de verão, a passagem de ar quente que ficaria, de outra forma, acumulado junto à janela [44].

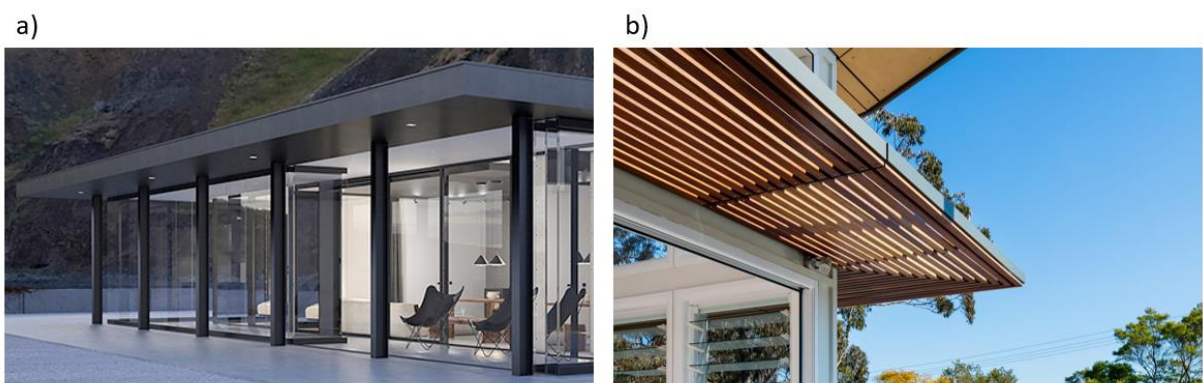


Figura 2.14 - Soluções Palas Horizontais: a) Sólida (Adaptado de [46]); b) Ripas (Adaptado de [47])

As palas verticais (Fig 2.15a) são usualmente utilizadas como forma de proteção da incidência da radiação quando esta se encontra a baixa altitude [41]. São utilizadas na fachada norte em edifícios cujo período de sobreaquecimento é longo e podem ainda ser utilizadas nas fachadas este e oeste inclinadas (Fig 2.15b) para norte em climas quentes e para sul em climas frios [44]. No entanto, esta solução tem um elevado impacto na iluminação natural e na visibilidade para o exterior [41].

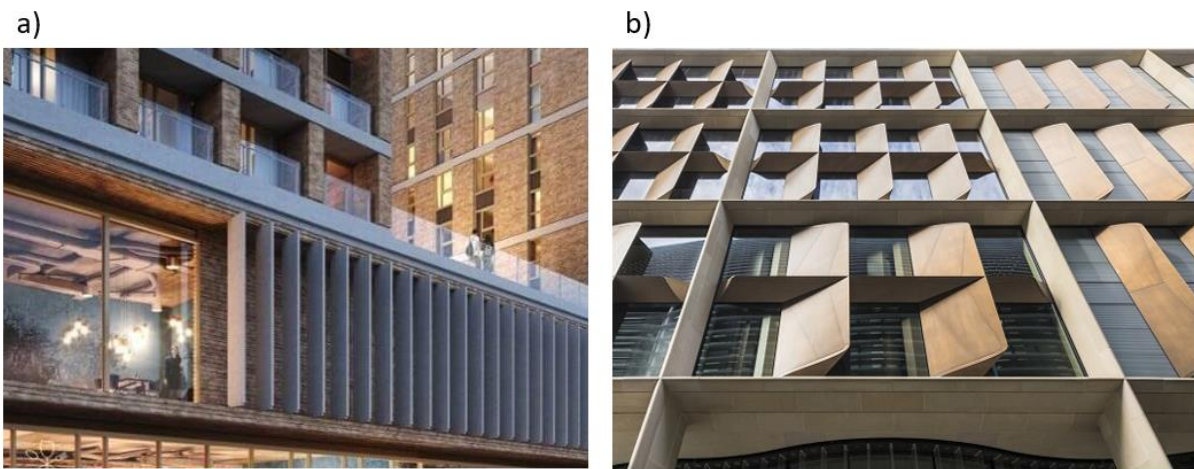


Figura 2.15 - Soluções Palas Verticais: a) Direita (Adaptado de [48]); b) Inclinada (Adaptado de [49])

A solução de "eggcrate" (Fig 2.16) é usada maioritariamente em climas quentes. Com a junção de ambas as soluções descritas anteriormente, é possível controlar a incidência solar tanto em termos de altitude como em termos de azimute, sacrificando no entanto a visibilidade para o exterior bem como a iluminação natural [44].



Figura 2.16 - Solução de Eggcrate: Pertubuhan Arkitek Malaysia (PAM) em Bangsar, Kuala Lumpur (Adaptado de [50])

- **Dinâmicos**

Como o comportamento do sol e da temperatura ambiente é dinâmico as soluções fixas apresentadas anteriormente podem não responder da melhor forma. As soluções fixas são dimensionadas com o objetivo de bloquear a radiação solar mediante a altura do sol. No entanto existe uma discrepância entre a altitude solar e a temperatura ambiente. O principal fator para esta disparidade deve-se à elevada massa do planeta que aquece lentamente ao longo da primavera atingindo apenas a temperatura máxima um ou dois meses após o dia de maior altitude solar (21 junho). O mesmo acontece para a estação de aquecimento em que o sol se encontra à menor altitude a 21 de dezembro sendo os meses mais frios janeiro e fevereiro [44].

A Fig 2.17 ilustra uma situação em que as temperaturas são elevadas ao longo do mês de setembro e permanecem baixas ao longo do mês de março. Devido a este fenómeno o dispositivo de proteção solar deveria bloquear a radiação no mês de setembro enquanto permitiria a passagem da mesma ao longo do mês de março. No entanto tal situação é impossível visto que ambos os meses têm ângulos solares idênticos como foi demonstrado anteriormente pela Figura 2.3 [44].

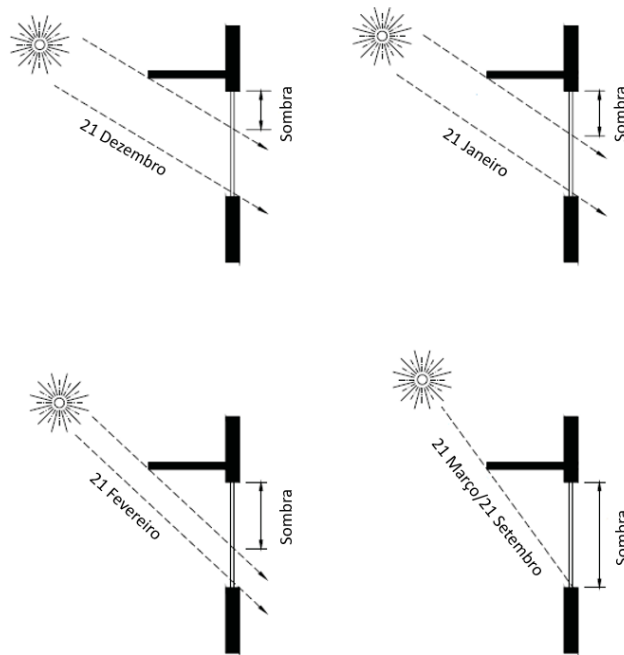


Figura 2.17 - Comportamento de uma pala ao longo dos meses de inverno e o impacte desta no aquecimento passivo do edifício (Adaptado de [44])

É ainda possível observar que na realidade, apesar de a altitude ser mais baixa para os meses da estação de aquecimento, continua a existir sombreamento por parte da pala. Com isto conclui-se que, uma pala que proteja o vão totalmente no verão vai, involuntariamente, ter um efeito prejudicial no aquecimento passivo do edifício. Em virtude deste facto, é apenas recomendável a utilização de dispositivos de proteção solar fixos em climas cuja necessidade de aquecimento seja reduzida. É, no entanto, possível contornar este problema recorrendo a dispositivos dinâmicos. Por exemplo um toldo de verão é capaz de executar a mesma função que uma pala fixa (Fig 2.18a) sendo, contudo, possível recolher o mesmo (Fig 2.18b) garantindo que este não interfere nos ganhos solares durante a estação de aquecimento [44].

De seguida, irão ser apresentados outros exemplos de DPS, que irão também atuar de forma dinâmica.

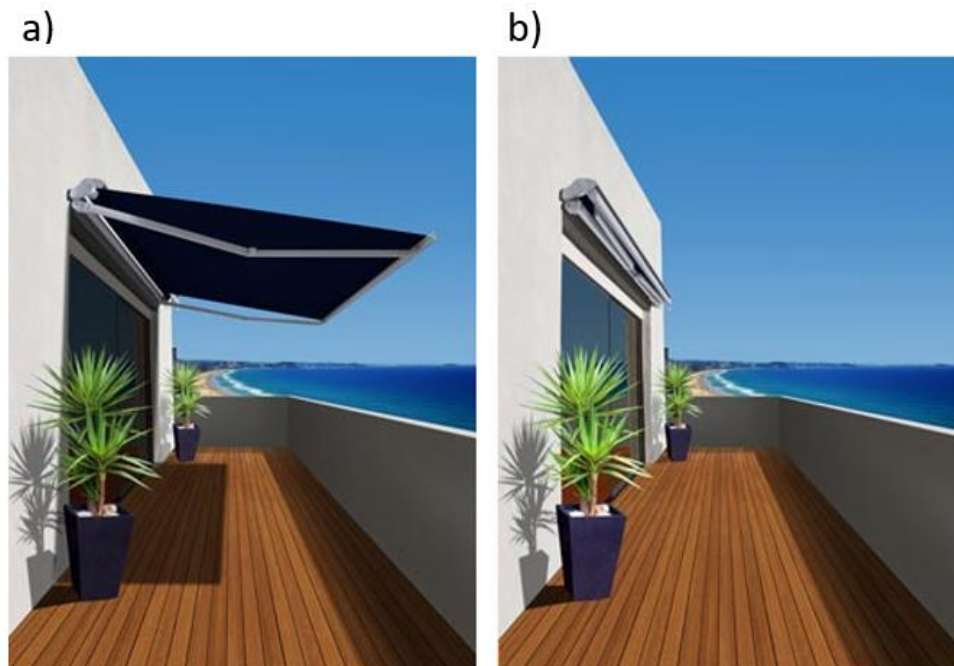


Figura 2.18 - Solução de Toldo: a) Ativo; b) Recolhido (Adaptado de [51])

### 2.2.4.3 – Outros exemplos/tipos de DPS

---

- **Vegetação**

Com o aumento da preocupação ambiental um dos dispositivos de proteção solar a considerar é a utilização de vegetação, em especial de plantas caducifólias. Estas têm um comportamento ideal pois respondem à temperatura e não à altitude solar. Na estação de arrefecimento são ideais para bloquear a radiação solar com as suas folhas e devido à perda destas durante a estação de aquecimento permitem a passagem da radiação (Fig 2.19). Para além da óbvia vantagem ambiental têm ainda outros importantes benefícios como por exemplo, a contribuição para a redução do efeito de ilha de calor em meios urbano [52] e servirem como barreira ao som e ao vento sem, no entanto, afetar a ventilação natural do edifício. Têm, contudo, desvantagens associadas como por exemplo, os ramos e troncos contribuem para o bloqueio da radiação solar durante os meses mais frios, crescimento lento, altura limitada e manutenção necessária para manter a vegetação saudável [44].

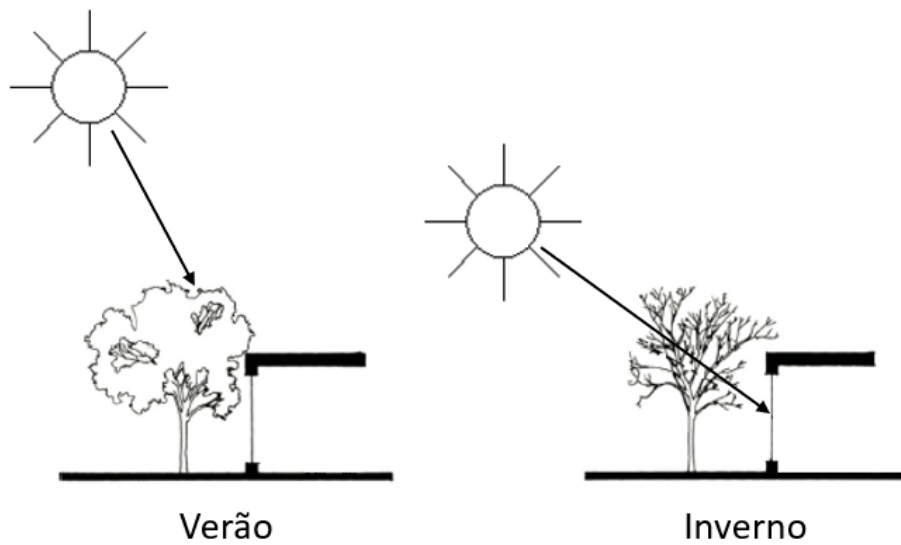


Figura 2.19 - Vegetação como dispositivo de proteção solar (Adaptado de [44])

- **Persianas**

Um outro DPS bastante flexível em termos de utilização são as persianas. As persianas são compostas por lâminas, de PVC (Fig 2.20a) ou alumínio (Fig 2.20b), podendo estas últimas ser preenchidas com um isolante térmico, ligadas entre si formando uma barreira paralela ao vidro protegendo o mesmo de radiação solar [44].

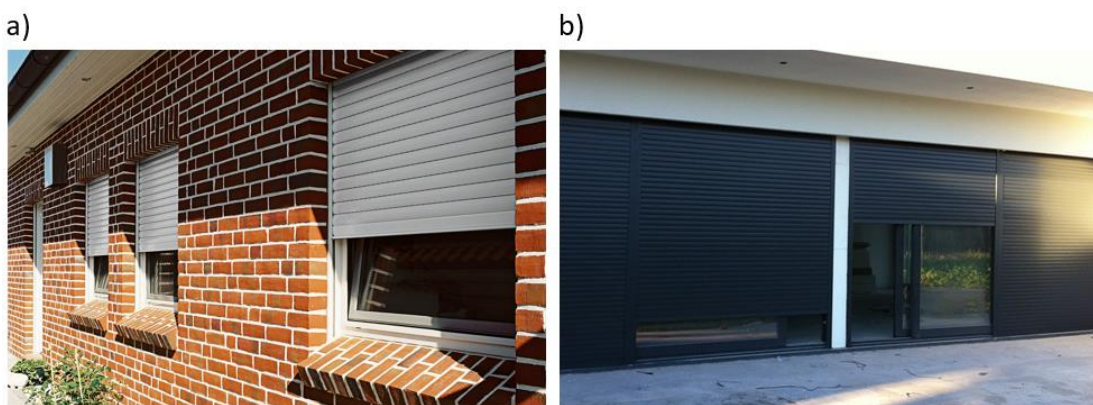


Figura 2.20 - Solução de persiana: a) PVC (Adaptado de [53]); b) Alumínio (Adaptado de [54])

Pode ser ajustado por forma a maximizar o conforto sendo que, quando está recolhido na íntegra não têm qualquer influência sobre a radiação que incide o vão envidraçado e quando está completamente ativo confere opacidade ao vão sendo ideal para questões de privacidade e segurança [44]. Algumas persianas possuem ainda um mecanismo que permitem que estas se projetem para a frente quando ativas, sendo ideais para permitir a ventilação do edifício em períodos de chuva, como é possível observar na figura 2.21.



Figura 2.21 - Persiana com mecanismo de projeção.

- **Estore Veneziano**

Os estores venezianos são também compostos por ripas, metálicas (Fig 2.22a) ou de madeira (Fig 2.22b), estando estas, no entanto, espaçadas entre si ao contrário do que acontece nas persianas. No caso das lâminas dos estores venezianos estas podem ser ajustáveis por forma a controlar a quantidade de luz solar que atinge o vão envidraçado [44].

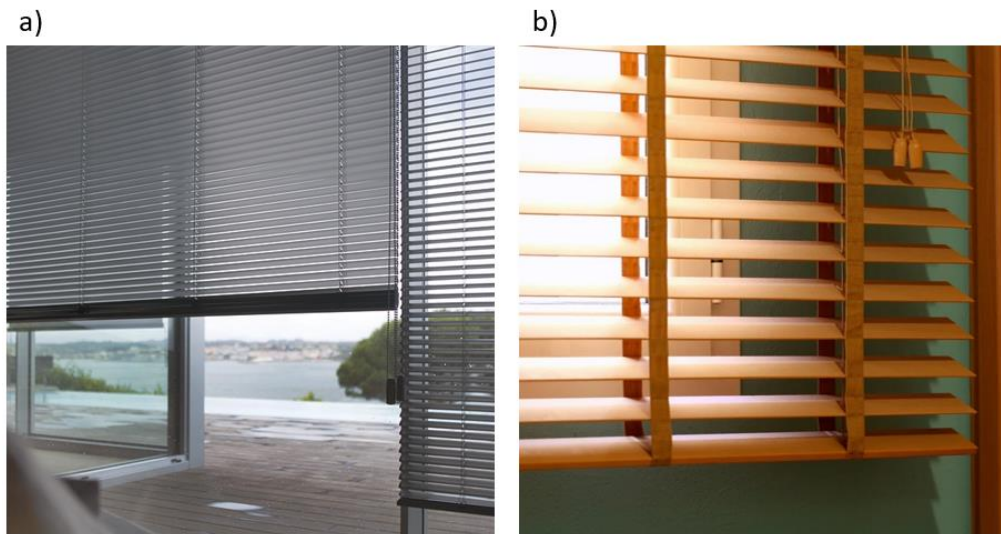


Figura 2.22 - Solução de Estores Venezianos: a) Ripas Metálicas (Adaptado de [55]); b) Ripas de Madeira (Adaptado de [56])

Este tipo de dispositivo tem a vantagem de conseguir redirecionar a luz, evitando assim situações de encandeamento, sem que seja necessário impedir a entrada, na totalidade, desta no edifício [57]. Os estores venezianos são muito versáteis em termos de montagem, podendo estes ser interiores, integrados ou exteriores, tendo em conta que para este último caso devem de ser mais resistentes e robustos de maneira a resistir às ações climáticas [58].

- **Estore de Lona/Textil e Cortinas**

Os estores de lona (Fig 2.23) são muito semelhantes às persianas em termos de funcionamento sendo a principal diferença entre eles o tipo de material. No caso dos estores de lona é utilizado um material têxtil sendo este mais ou menos transparente, dependendo da opacidade do mesmo, permitindo uma maior visibilidade para o exterior do que as persianas. Podem ainda ter um acabamento metálico na face exterior, aumentando assim o seu  $\rho$  diminuindo o  $\alpha$ , atenuando desta forma o fenómeno de efeito de estufa descrito no capítulo 2.2.4.1.2. Tal como os estores venezianos, os de lona podem ser instalados nas três posições tendo em consideração as mesmas precauções que nos venezianos quando instalados pelo exterior [58].



Figura 2.23 - Solução Estore de Têxtil Transparente (Adaptado de [59])

- **Portadas**

As portadas é um outro dispositivo polivalente em termos de posicionamento, podendo este ser montado pelo exterior ou pelo interior. Podem ser de diversos materiais, sendo os mais comuns a madeira, o alumínio e o PVC. A portada é constituída por um caixilho sendo depois preenchido por ripas verticais ou horizontais, móveis ou fixas. As portadas têm a vantagem, tal como as persianas, de quando colocadas pelo exterior garantirem segurança e privacidade ao utilizador. O sistema de portada, quando completamente fechado, bloqueia na totalidade a radiação solar. Quando as ripas são ajustáveis é possível ter a o sistema fechado permitindo, contudo, a entrada de luz natural através de um funcionamento semelhante ao de um estore venezianos (Fig 2.24). O tipo de abertura mais comum para o sistema de portada é de batente (Fig 2.25a) existindo ainda outras soluções como por exemplo, de correr (Fig 2.25b) [44].

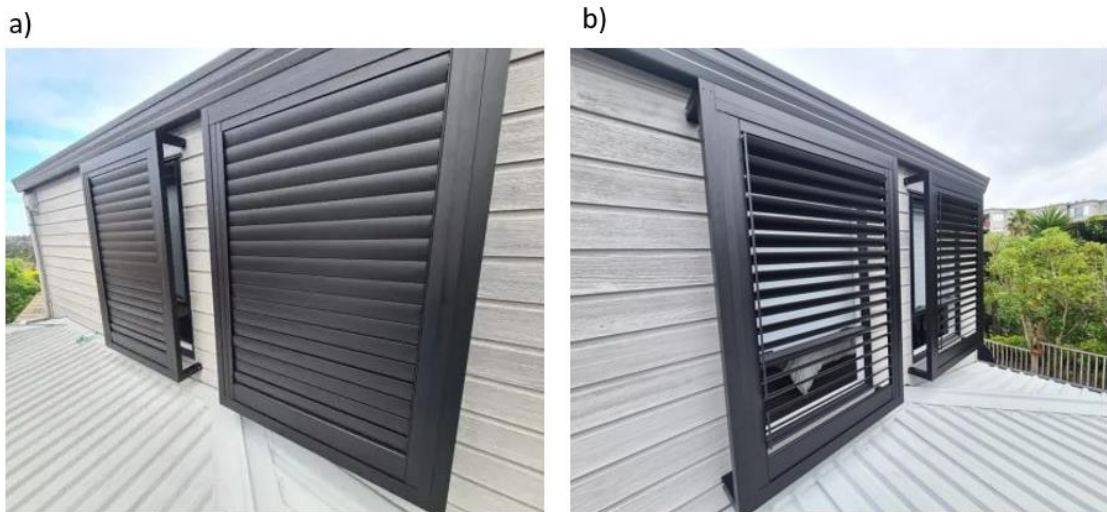


Figura 2.24 - Sistema de Portada a Funciona como Estores Veneziano: a) Fechado; b) Aberto (Adaptado de [60])



Figura 2.25 - Sistema de abertura de portadas: a) Batente (Adaptado de [61]); b) Correr (Adaptado de [62])

#### 2.2.4.4 – Soluções Inovadoras

---

- Painéis fotovoltaicos integrados

Uma das principais preocupações relativamente aos DPS é o facto de que para que exista uma diminuição dos ganhos solares, tem que existir, inevitavelmente uma redução na quantidade de radiação que transita para o interior do edifício. Por este motivo, irá haver uma redução das necessidades energéticas para climatização,

havendo, no entanto, um aumento das mesmas para a iluminação natural. Com o objetivo de equilibrar os efeitos positivos e negativos dos DPS, surgiu a solução de integrar painéis fotovoltaicos nos mesmos. Esta conjugação de sistemas traduz-se numa resposta eficiente e económica pois irá reduzir os ganhos solares que incidem sobre o vão envidraçado, convertendo os mesmos em energia elétrica, compensando assim a eventual necessidade de iluminação artificial. A integração de painéis fotovoltaicos nos DPS fixos (Fig 2.26a) consegue ainda compensar o aumento das necessidades para aquecimento que resultam do sombreamento involuntário durante os meses mais frios [40]. Para além das soluções fixas começam já a aparecer no mercado soluções móveis, em estilo de estore veneziano (Fig 2.26b), em que cada uma das lâminas é composta por um painel fotovoltaico [63].

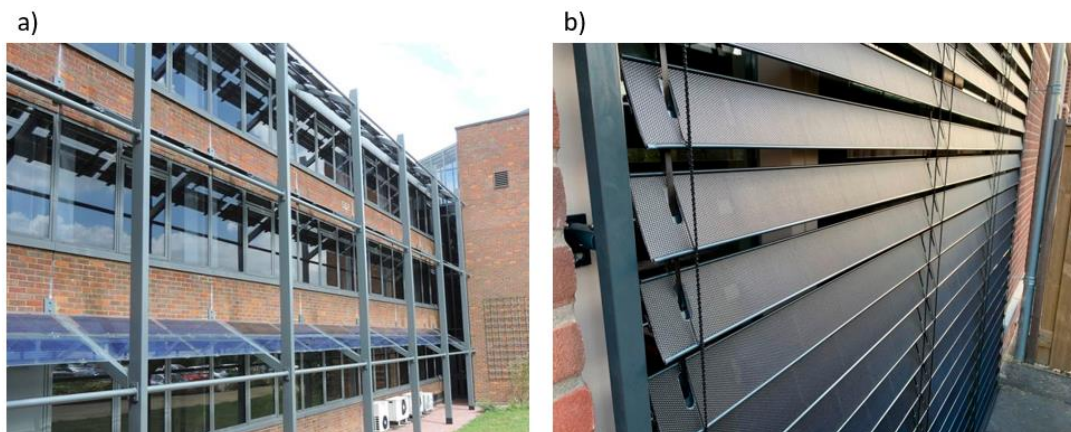


Figura 2.26 - Soluções fotovoltaicos integrados: a) DPS Fixo (Adaptado de [64]); b) DPS Móvel (Adaptado de [65])

- **Fachadas de algas**

Algas são plantas capazes de absorver  $\text{CO}_2$  e libertar oxigénio ( $\text{O}_2$ ) através da fotossíntese. Estas podem ser geradas em reatores biológicos integrados em edifícios. A *BIQ House* em Hamburgo (Fig 2.27) foi pioneira na implementação destes reatores nas suas fachadas, sendo estes capazes de gerar aquecimento, biocombustível, fornecer proteção solar e sombreamento e ainda reduzir as emissões de  $\text{CO}_2$  [66]. Estima-se que, para os 200  $\text{m}^2$  de fachada de microalgas instaladas neste edifício, exista uma redução de emissões de  $\text{CO}_2$  de cerca de 6 toneladas por ano e uma eliminação de cerca de 2,5 toneladas por sequestro de carbono [67].



Figura 2.27 - BIQ House Hamburgo, Alemanha (Adaptado de [68])

Podem servir como dispositivos de proteção solar pois as próprias algas garantem opacidade dependendo da dimensão da cultura, isto é, quanto maior a quantidade de algas, menor será a transmissão de radiação, garantindo não só o sombreamento das zonas envidraçadas bem como das opacas. Têm, no entanto, a desvantagem de limitar a visibilidade através destes painéis [66]. No caso da *BIQ House* os valores de transparência variam entre 10 e 80% dependendo da densidade da cultura [67].

Converter a luz solar em calor e biomassa através do processo fotossintético é a principal função desenvolvida por este tipo de fachada. No edifício da *BIQ House* foram usados reatores "*SolarLeaf*" com uma eficiência de conversão de cerca de 10% de luz para biomassa e 38% luz-calor, sendo uma solução competitiva com outras semelhantes, como por exemplo, painéis fotovoltaicos e coletores solares. Contudo, uma das principais desvantagens desta solução é o facto de a biomassa gerada necessitar de ser transportada para uma estação externa para ser produzida energia sendo esta depois inserida na rede pública. O calor é aproveitado para o uso do edifício, seja em termos de aquecimento de águas ou pavimento radiante hidráulico, sendo guardado, quando em excesso, no solo através de um sistema geotérmico. Na figura 2.28 encontra-se esquematizado todo o processo [67].

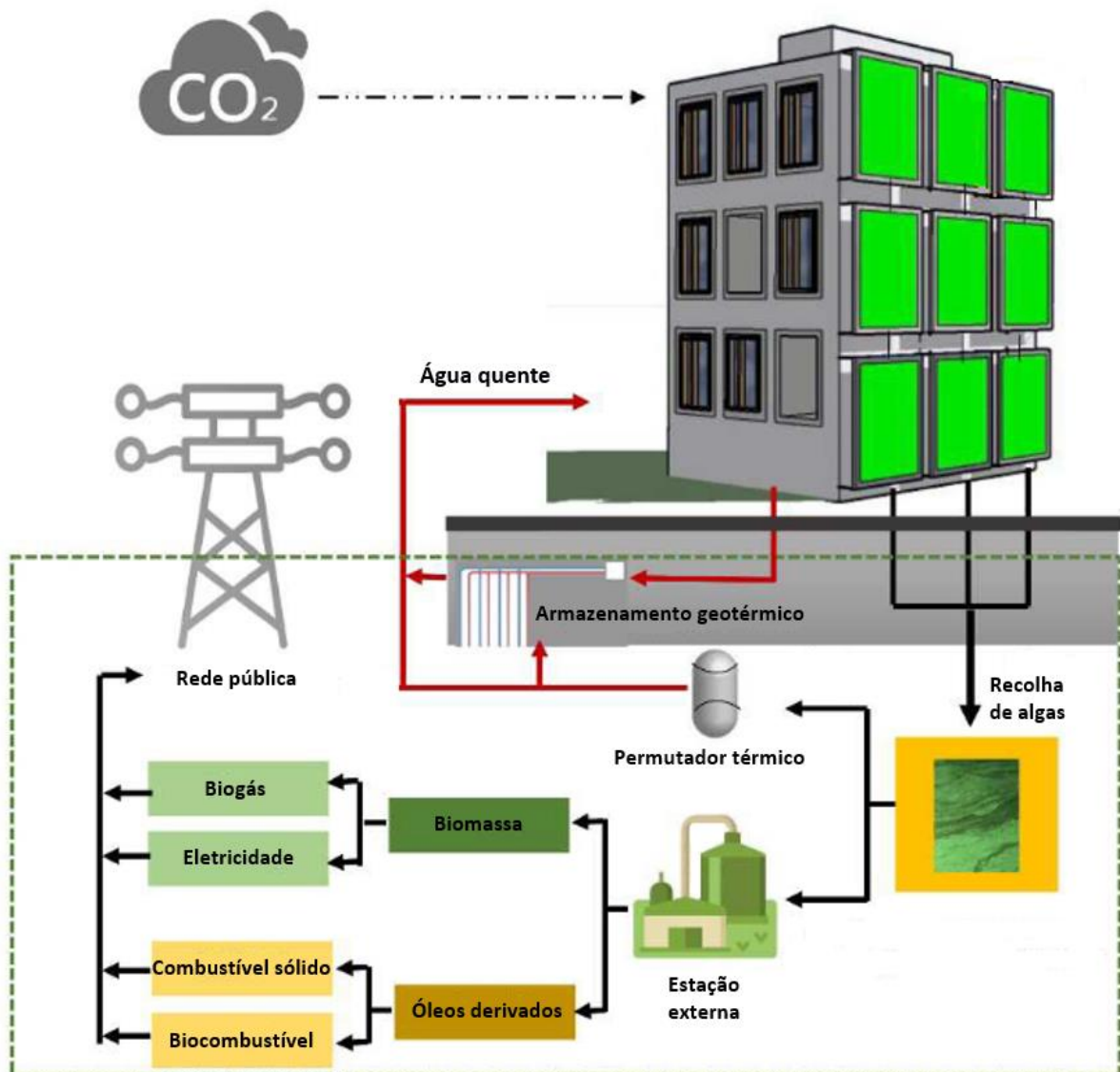


Figura 2.28 - Esquema do funcionamento de um fachada de algas (Adaptado de [66])

Tratando-se de uma solução recente, tem ainda diversos obstáculos e desafios no seu caminho. Desde regulamentação que a aborde ao nível de construção, proteção contra incêndios e sismos, como também o elevado custo de implementação e manutenção [66].

### 2.2.4.5 – Sistemas de controlo

---

O uso dos DPS em edifícios está diretamente ligado ao comportamento dos seus ocupantes, existindo diversos estudos que relacionam o conforto do utilizador com o tipo de controlo do DPS, sendo este manual ou automático [63]. Na Dinamarca foram enviados cerca de 2500 questionários sobre o comportamento dos ocupantes e quais eram os seus conhecimentos ao nível dos sistemas de controlo da qualidade do ambiente interior, aos quais 645 foram respondidos. Os resultados mostraram que o controlo manual é preferido para a ativação dos DPS e dos sistemas de iluminação artificial. 54% das respostas relataram problemas derivados ao ambiente interior cuja maioria não procurou forma de solucionar estas questões, demonstrando uma necessidade de consciencializar as pessoas para os consequências derivados de uma má qualidade do ambiente interior [69]. Galasiu and Veitch, comprovaram que quando o controlo dos dispositivos é manual estes são raramente alterados por forma a responder às necessidades do edifício e que para que os sistemas automáticos sejam aceites pelos utilizadores estes devem ser simples, fáceis de utilizar e ter a opção de anular o sistema automático [70]. Bakker *et al*, concluíram que não existe uma relação entre a automatização e o desconforto ou distração dos utilizadores, desde que as transições automáticas sejam discretas e pouco frequentes [71]. Reinhart and Voss, estudaram os motivos que originam uma reação no comportamento dos utentes. Estes estudos demonstraram que os utilizadores não se opuseram à abertura automática dos DPS mas sim à sua ativação, sendo esta apenas aceitável quando incide sobre a superfície de trabalho uma quantidade de luz superior a  $50 \text{ W/m}^2$  [72].

No entanto em termos de poupança de energia e de conforto visual e térmico, estes podem ser apenas otimizados recorrendo ao auxílio de automatização [73]. Tzempelikos and Athienitis estudaram o impacte da automatização num edifício de escritórios em Montreal e concluíram que recorrendo a um sistema combinado de controlo da iluminação artificial e dos DPS seria possível beneficiar de uma redução das necessidades energéticas anuais em cerca de 12% [74]. Nielsen, Svendsen and Jensen concluíram que para um edifício de escritórios na Dinamarca a implementação de um DPS dinâmico resultava num decréscimo de cerca de 16% das necessidades energéticas anuais [75]. Leslie *et al*/demostraram que o recurso a sistemas automáticos em

vez de sistemas manuais, traduzem-se numa redução de cerca de 24% das necessidades energéticas anuais para um edifício de escritórios em Albany, Nova Iorque [76]. Oh, Lee and Yoon analisaram um sistema de controlo que ajustava o ângulo das lâminas de um estore veneziano para que estas fossem otimizadas para reduzir as necessidades energéticas e a ocorrência de encandeamento. Esta solução conduziu a uma diminuição de cerca de 29% das necessidades energéticas anuais [77].

Atendendo a estes dois fatores é importante conceber um sistema de controlo que não seja completamente automático, nem apenas manual, permitindo a interação do utilizador em determinados intervalos de parâmetros [21].

Existem inúmeros algoritmos de controlo, dependendo principalmente dos critérios de desempenho que estas englobam. Este tema será abordado em mais detalhe no caso de estudo quando for feita a escolha do sistema de controlo e analisada as diferenças entre eles no comportamento do edifício. No entanto alguns dos critérios derivam de limites de iluminância, irradiância, temperatura, entre outros, sendo possível ainda conjugar todos estes parâmetros por forma a maximizar a eficiência do sistema. São usados diversos tipos de sensor para se implementar as regras de controlo como por exemplo, sensores solares que medem a irradiância, sensores de temperatura, sensores de ocupação que permitem avaliar se o DPS se deve focar no conforto visual, caso existam utentes no edifício ou maximizar o comportamento térmico se este estiver desocupado [21].

É possível que esta automatização esteja incorporada num sistema isolado, funcionando de acordo com os parâmetros nele estabelecido e os valores medidos pelos sensores, ou então, por forma a maximizar a eficiência energética, interligado com os restantes sistemas técnicos através de um sistema de *Building Automation and Control* (BAC) [13].



## Metodologia e caso de estudo

---

### 3.1– Introdução ao *EnergyPlus* e ao caso de estudo

---

#### 3.1.1 – *EnergyPlus*

---

O *EnergyPlus* é um *software* numérico desenvolvido para realizar análises energéticas e higrotérmicas em edifícios. Após se introduzir no programa todas as informações relativas ao edifício que se pretende estudar, desde a geometria do mesmo, os materiais que o constituem, os sistemas técnicos que nele existem, o tipo de utilização deste e ficheiro climático do local onde se encontra implantado, o *software* permite calcular as necessidades energéticas para climatização do espaço, dentro de parâmetros de temperatura estabelecidos *à priori*, ganhos e perdas térmicas através das envolventes, transmissão solar através do vão envidraçado, entre muitos outros, sendo no entanto, estes os três principais parâmetros utilizados ao longo desta dissertação[78].

#### 3.1.2 – Localização

---

O caso de estudo localiza-se na Coudelaria de Alter, numa zona rural, na freguesia de Alter do Chão, distrito de Portalegre. O edifício encontra-se implantado, a uma altitude de 222 metros, numa zona climática, baseada na Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos (NUTS) de nível III, do Alto Alentejo caracterizado por uma zona climática de verão (V3) e de inverno (I1) [79].

### 3.1.3 – Descrição geral

O caso de estudo trata-se de uma unidade hoteleira composta por 42 quartos (Fig 3.1), sendo estes todos térreos com porta direta para o pátio interior. Devido ao formato do edifício, irá haver quatro conjuntos de quartos com orientações diferentes. Por forma a analisar as necessidades energéticas em função da solução adotada de DPS e da orientação dos vãos envidraçados, foi modelado um quarto no *software* EnergyPlus, sendo este depois simulado para orientações distintas.

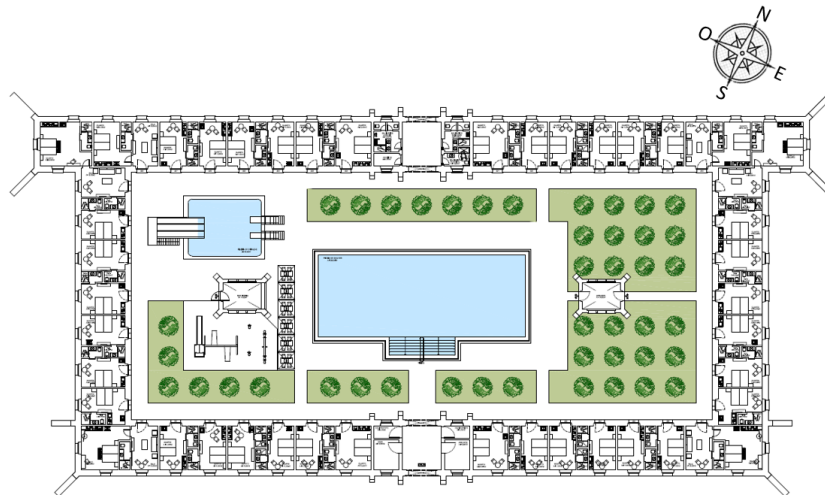


Figura 3.1 - Planta edifício caso de estudo

As dimensões do quarto podem ser observadas na figura 3.2, correspondendo a 3,28 metros de largura, 5,30 metros de comprimento e um pé direito de 2,5 metros.

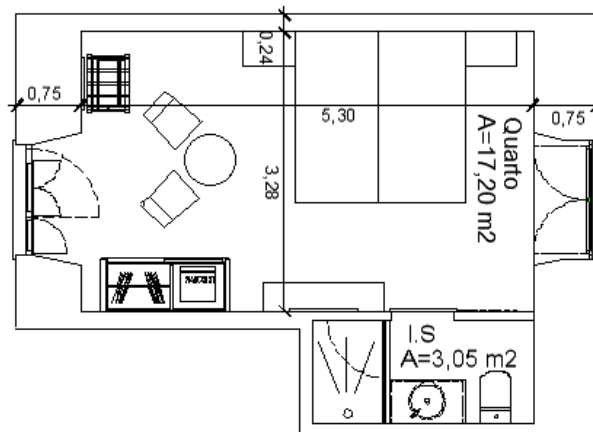


Figura 3.2 - Planta quarto do caso de estudo

### 3.1.3.1 – Soluções construtivas

- Paredes

As paredes exteriores são constituídas por paredes simples de alvenaria de pedra com cerca de 0,75 metros de espessura. Estas paredes são rebocadas em ambos os lados por uma argamassa de cal aérea. No *software* EnergyPlus é necessário construir o elemento camada a camada, atribuindo valores de espessura, condutibilidade térmica, massa volúmica e calor específico a cada material como demonstra a tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Propriedades dos materiais (Paredes Exteriores)

Elemento	Espessura (m)	$\lambda^{[33]}$ (W/m°C)	Massa Volúmica <sup>[33]</sup> (kg/m <sup>3</sup> )	Calor Específico <sup>[80]</sup> (J/kg°C)
Argamassa Cal Aérea	0,02	0,80	1600,00	968,75
Alvenaria Pedra Calcária	0,71	1,70	2095,00	920,00

Após definidos cada um dos materiais é necessário construir o elemento. Começando do exterior para o interior são atribuídos cada um dos materiais que constituem a solução construtiva, com a sua respetiva espessura até perfazer a totalidade da solução.

É possível determinar o valor de U do elemento através da equação 3.1, em que  $R_t$  é a resistência térmica total calculada através da equação 2.7.

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (3.1)$$

Aplicando a equação 3.1, determinou-se que o coeficiente de transmissão térmica da solução de parede exterior é de 1,57 W/m<sup>2</sup>°C.

As paredes interiores são compostas por alvenaria de tijolo de 20cm, rebocadas em ambas as faces, por uma argamassa de cimento. Na tabela 3.2 encontram-se definidas as propriedades inseridas no programa para cada um dos materiais.

Tabela 3.2 - Propriedades dos materiais (Paredes Interiores)

Elemento	Espessura (m)	$\lambda$ [33] (W/m <sup>2</sup> C)	Massa Volúmica <sup>[33]</sup> (kg/m <sup>3</sup> )	Calor Específico <sup>[80]</sup> (J/kg <sup>2</sup> C)
Reboco de cimento	0,02	1,30	1800,00	790,00
Tijolo furado	0,20	0,38	625,00	920,00

Tratando-se o tijolo de um material heterogéneo, não lhe é possível atribuir uma condutibilidade térmica. No entanto, trata-se de um parâmetro necessário para a definição do material no *software*. Assim sendo, foi assumida a simplificação de que, na realidade o tijolo funcionaria como um material homogéneo, sendo a sua condutibilidade térmica calculada através da divisão da espessura pela sua resistência térmica indicada na publicação do LNEC, ITE 50 [33].

O valor determinado referente ao U, pela equação 3.1, corresponde a 1,38 W/m<sup>2</sup>C

- **Cobertura**

O caso de estudo é composto por uma cobertura inclinada, com duas águas, constituída por uma estrutura de suporte em madeira, que sustenta um revestimento cerâmico (telha de aba e canudo) e uma esteira leve horizontal, em placas de gesso cartonado preenchido por um isolamento térmico de lã mineral. O valor de U associado a esta solução construtiva é de 0,619 W/m<sup>2</sup>C.

As propriedades de cada um dos materiais que constituem a solução construtiva encontra-se descritos na tabela 3.3.

Tabela 3.3 - Propriedades dos materiais (Cobertura)

Elemento	Espessura (m)	$\lambda$ [33] (W/m <sup>2</sup> C)	Massa Volúmica <sup>[33]</sup> (kg/m <sup>3</sup> )	Calor Específico <sup>[80]</sup> (J/kg <sup>2</sup> C)
Revestimento cerâmico (telha aba e canudo)	0,02	0,34	1000,00	960,00
Lã Mineral	0,10	0,04	70,00	735,00
Gesso Cartonado	0,03	0,22	970,00	1090,00

- **Pavimento**

O pavimento é composto por uma laje em betão sendo esta revestida por um revestimento em *parquet* de cor escura. O valor de U para esta solução corresponde a 3,11 W/m<sup>2</sup>°C.

Na tabela 3.4 encontram-se indicados os valores correspondentes às propriedades de cada um dos materiais que constitui esta solução construtiva.

Tabela 3.4 - Propriedades dos materiais (Pavimento)

Elemento	Espessura (m)	$\lambda$ [33] (W/m <sup>2</sup> C)	Massa Volúmica <sup>[33]</sup> (kg/m <sup>3</sup> )	Calor Específico <sup>[80]</sup> (J/kg <sup>2</sup> C)
Betão	0,200	2,00	2400,00	1040,00
Betonilha de regularização	0,010	0,25	700,00	900,00
Parquet	0,015	0,15	500,00	1200,00

- **Vãos envidraçados**

Cada quarto pertencente ao caso de estudo é composto por dois vãos envidraçados. Um destes corresponde a uma janela de batente composta por um vidro duplo, separado por uma camada de ar, caixilharia em alumínio sem corte térmico e uma solução de DPS de portada interior também de alumínio de cor escura. Segundo o projeto fornecido, o vidro duplo implementado corresponde a um SGG Cool-Lite SKN 174/174 II.

As propriedades deste vidro foram consultadas através do catálogo de soluções envidraçadas da Saint-Gobain, podendo ser observadas na tabela 3.5.

Tabela 3.5 - Propriedades do vidro (SGG Cool-Lite SKN 174/174 II)

<b>g</b>	<b><math>\tau_s</math></b>	<b><math>\tau_v</math></b>	<b><math>U_v</math> (W/m<sup>2</sup>°C)</b>
0,398	0,344	0,689	1,475

Relativamente ao valor de U associado ao caixilho, foi adotado um valor baseado no proposto para uma caixilharia de alumínio sem corte térmico da ferramenta de cálculo WINDOW 7.4 [80], sendo este de 5.7 W/m<sup>2</sup>°C.

As dimensões das janelas, obtidas através de alçados fornecidos, correspondem a 1,2 metros de largura por 1,1 metros de altura. Sendo que o caixilho tem uma largura de 0,06 metros.

Relativamente à solução de portada interior, a base de dados do *software* não engloba este tipo de solução, tendo sido necessário recorrer a um outro sistema de proteção solar, que simulasse de forma idêntica o comportamento de uma solução de portada interior. A solução escolhida foi de um estore veneziano, composto por lâminas de alumínio anodizado, com as propriedades expostas na tabela 3.6, assumindo que estas permaneceriam numa posição de 90° com a horizontal e que o estore funcionaria apenas em duas posições, ativo na totalidade ou recolhido na íntegra.

Tabela 3.6 - Propriedades dos materiais (Lâminas de alumínio anodizado)

	$\rho^{[23]}$	$\epsilon^{[23]}$	Espessura (m)	$\lambda^{[33]}$ (W/m°C)
Alumínio Anodizado	0,86	0,84	0,02	230

O outro vão envidraçado corresponde à porta de entrada, composta também por um vidro duplo, caixilharia de alumínio sem corte térmico e uma portada interior de alumínio de cor escura. No projeto consultado não havia informação sobre as propriedades deste vidro, a única informação disponível é que este seria translúcido e não transparente. Como tal foi assumido que este vão envidraçado seria composto pelo vidro dotado da capa de baixa emissividade pelo exterior, tal como no caso da janela, mas a lâmina interior em vez de ser um vidro transparente seria um vidro fosco. Para tal foi selecionado "Yes", no parâmetro "Solar Diffusing" do software *EnergyPlus*, mantendo os restantes parâmetros idênticos ao vidro transparente utilizado para a janela.

O DPS e o caixilho mantêm-se os idênticos em ambos os vãos, tendo, no entanto, dimensões diferentes. No caso da porta, esta tem 1,2 metros de largura por 2 metros de altura, sendo que a área de caixilharia corresponde na mesma a uma largura de 0,06 metros.

### 3.1.3.2 – Sistemas técnicos

Por forma a acomodar as necessidades ao nível do conforto térmico dos ocupantes, foi equipado em cada um dos quartos do caso de estudo um ar-condicionado com um coeficiente de desempenho (COP), que descreve a eficiência da capacidade de aquecimento do aparelho, de 3,71 e um rácio de eficiência energética (EER), semelhante ao COP, mas para a capacidade de arrefecimento, de 3,24. No entanto tratando-se estes apenas de indicador de desempenho, serão desprezados para o caso de estudo, sendo estudadas as necessidades energéticas para a climatização considerando que tanto o valor de COP como de EER corresponde a 1, por forma a permanecer imparcial ao tipo de eficiência do equipamento instalado. Com o intuito de maximizar

o conforto dos utentes, foram definidos dois limites de temperatura, de aquecimento, quando a temperatura se encontrar abaixo de 20°C, e de arrefecimento, quando a temperatura se encontrar acima dos 25°C. Caso a temperatura se afaste deste intervalo, o sistema de climatização irá ser acionado por forma a manter a temperatura entre os valores estabelecidos, assumindo que existe ocupação do quarto. Se o quarto estiver desocupado, mesmo que a temperatura se afaste do intervalo estabelecido, o sistema não se irá ativar, por forma a que não existam desperdícios energéticos.

Para além dos sistemas de climatização foram instalados ventiladores mecânicos para assegurar os valores mínimos de caudal de ar novo previstos no RECS. Estes ventiladores têm a capacidade de insuflar e extrair 70 m<sup>3</sup>/h, sendo este valor superior ao mínimo regulamentar de 32 m<sup>3</sup>/h.

### 3.1.3.3 – Ganhos internos

---

Para além dos ganhos solares, será necessário considerar os ganhos internos provocados pelos equipamentos, iluminação e presença de pessoas no interior do quarto da unidade hoteleira. Por forma a serem determinados os ganhos gerados pelos aparelhos e pelas pessoas é necessário introduzir no *software* o consumo de cada um dos aparelhos e a taxa de metabolismo das pessoas dependendo da atividade que estes executam, bem como o período de funcionamento do mesmo. Em termos de equipamento foi considerada a presença de uma televisão de 32 polegadas com uma potência de 38 W e um minibar com uma potência de 60 W. No projeto fornecido encontrava-se especificado que a potência combinada dos equipamentos e iluminação era de 10 W/m<sup>2</sup>. Sendo apenas essa informação cedida sobre a iluminação e já tendo sido escolhido os equipamentos foi subtraído ao valor inicial de 10 W/m<sup>2</sup> a potência dos equipamentos, de 5,64 W/m<sup>2</sup>, resultando num valor de potência de iluminação de 4,36 W/m<sup>2</sup>. Relativamente aos ganhos causados pelo metabolismo dos ocupantes, foi considerado que estariam em média, duas pessoas por quarto e que estas desempenhavam atividades de descanso. De acordo com a tabela de metabolismo, fornecida pelo manual de apoio do *software EnergyPlus*, a atividade de "sentado", seria a mais condicionante, tendo se assumido então um valor de metabolismo igual a 1 met [81]. Foi

ainda necessário definir o isolamento térmico do vestuário dos utentes tendo sido adotado valores base de 0,5 clo para a estação de arrefecimento e 1,0 clo para estação de aquecimento. Em termos do horário a definir para o período de ocupação dos quartos, devido à pandemia global SARS-COV-2, a unidade hoteleira foi impedida de abrir portas ao público e devido a isso, foi impossível obter-se o perfil de utilização referente a esta. Por forma a se definir o plano de ocupação dos quartos foi tido por base o perfil de ocupação proposto no Decreto-Lei 79/2006 para unidades hoteleiras com 4 ou mais estrelas (Figura 3.9) [82].

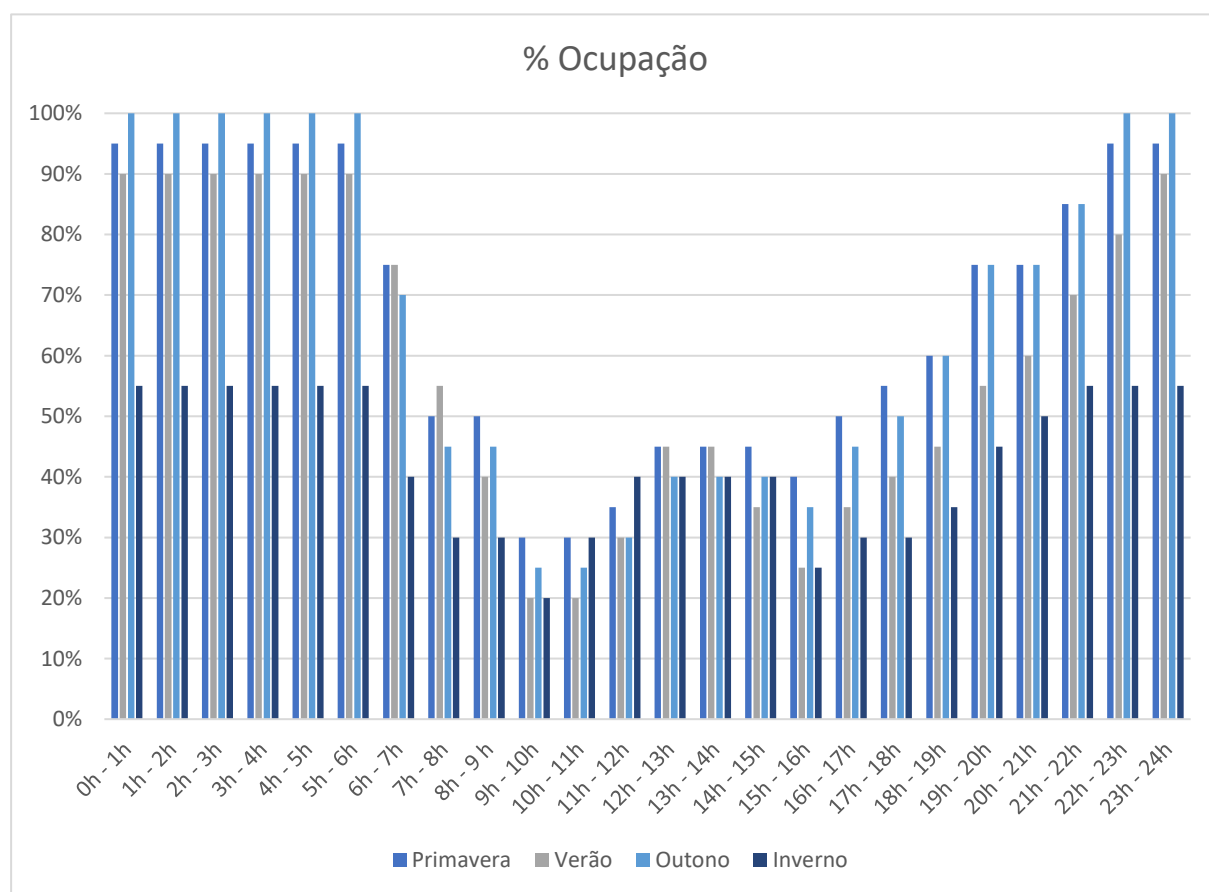


Figura 3.3 - Perfil de ocupação (Adaptado de [82])

Baseado na figura 3.3, foram definidos dois perfis de ocupação, um para a estação de aquecimento e o outro para a estação de arrefecimento. Para a estação de aquecimento foi tido em conta que as pessoas permaneceriam no quarto desde as 18

horas até às 9 horas do dia seguinte. No entanto durante esta época foi assumido que a unidade hoteleira seria apenas frequentada durante fins de semana, não tendo sido considerada a presença de pessoas durante os dias de semana.

No caso da estação de arrefecimento, considerou-se que as pessoas estariam presentes no quarto entre o período das 21 horas e as 8 horas do dia seguinte. Ao contrário do que se passa para a estação de aquecimento, irão ser considerados todos os dias de semana para este perfil de ocupação.

Em termos dos perfis para equipamentos e iluminação estes dependerão da presença de pessoas. No caso dos equipamentos, foi assumido que o minibar estaria a funcionar 100% do tempo e, relativamente à televisão, foi previsto um funcionamento das 7 às 9 horas no período da manhã e das 18 às 24 horas da noite durante a estação de aquecimento e das 6 às 8 horas da manhã e das 21 às 24 horas no período noturno para a estação de arrefecimento.

O perfil de utilização referente à iluminação será idêntico ao adotado para a televisão em ambas as estações.

Sintetizando a informação apresentada nos parágrafos anteriores referentes aos perfis de utilização, pode observar-se nas tabelas 3.10 e 3.11 os horários de utilização referidos para as estações de aquecimento e arrefecimento, respetivamente.

**Tabela 3.7 - Horários de utilização - Estação de aquecimento**

	<b>Iluminação</b>	<b>Minibar</b>	<b>TV</b>	<b>Ocupação</b>
<b>Segunda-Sexta</b>	-	00:00h-24:00h	-	-
<b>Sábado e Domingo</b>	07:00h-09:00h 18:00h-24:00h	00:00h-24:00h	07:00h-09:00h 18:00h-24:00h	18:00h-09:00h

**Tabela 3.8 - Horários de utilização - Estação de arrefecimento**

	<b>Iluminação</b>	<b>Minibar</b>	<b>TV</b>	<b>Ocupação</b>
<b>Segunda-Sexta</b>	06:00h-08:00h 21:00h-24:00h	00:00h-24:00h	06:00h-08:00h 21:00h-24:00h	21:00h-08:00h
<b>Sábado e Domingo</b>	06:00h-08:00h 21:00h-24:00h	00:00h-24:00h	06:00h-08:00h 21:00h-24:00h	21:00h-08:00h

### 3.1.3.4 – Parâmetros adicionais

---

Para a modulação do caso de estudo foram ainda necessários introduzir os seguintes parâmetros:

- Versão utilizada: 8.7;
- Tipo de terreno: *Country*;
- Distribuição Solar: *Full interior and exterior*;
- Período de simulação: Durante todo o ano;
- Ficheiro Climático: Évora (Apesar de não existir ficheiro climático para Portalegre, este é o que mais se aproxima da realidade).
- Condições de fronteira:
  - Pavimento: Em contacto com o terreno, sem exposição ao sol e vento
  - Cobertura: Exterior com exposição ao sol e vento
  - Parede Exterior: Exterior com exposição ao sol e vento
  - Parede Interior: Sistema adiabático, considerou-se que todos os quartos estariam ocupados e à mesma temperatura, não havendo assim trocas de calor entre estes.

Qualquer parâmetro não indicado anteriormente, foi assumido a utilização por *default* do mesmo no *software*.



## Análise e discussão de resultados

---

### 4.1 – Solução 1 – Solução Existente

---

Neste primeiro caso foi simulada a solução existente no caso de estudo anteriormente descrita. Foram estudadas as quatro orientações do quarto para esta situação sendo que se partiu de uma orientação inicial de  $60^\circ$  com o norte e foram, de seguida, realizadas rotações de  $90$  em  $90^\circ$ , no sentido horário, por forma a se estudar os restantes quartos (Fig 4.1).

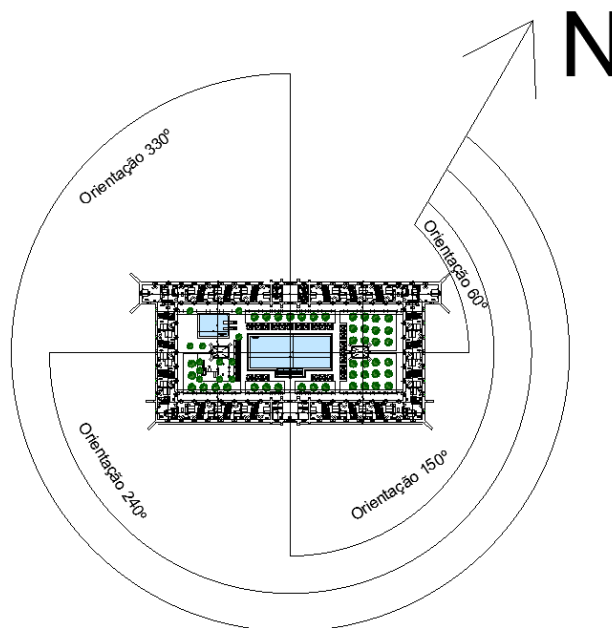


Figura 4.1 - Orientações dos diferentes quartos em relação ao Norte

Para que se pudesse dar início às simulações para esta solução foi necessário definir o horário segundo o qual os DPS, neste caso uma portada interior, estariam ativos. Devido ao facto deste tipo de DPS estar dependente do utilizador para o seu funcionamento, foi assumido que o dispositivo estaria ativo durante a noite, por questões de privacidade, de manhã seria aberto quando os utentes saíssem do quarto e voltaria apenas a estar ativo quando os ocupantes regressassem ao interior do mesmo. O horário adotado encontra-se especificado na tabela 4.1 para ambas as estações.

Tabela 4.1 - Horário de ativação do DPS Solução 1

	Aquecimento	Arrefecimento
<b>Segunda-Sexta</b>	00:00h-24:00h	06:00h-08:00h 21:00h-24:00h
<b>Sábado-Domingo</b>	07:00h-09:00h 18:00h-24:00h	06:00h-08:00h 21:00h-24:00h

Após ter sido definido o horário de ativação foi possível começar as simulações para as diversas orientações. Nas tabelas 4.2 e 4.3 são apresentados os valores das necessidades de aquecimento, arrefecimento e totais por metro quadrado para cada uma das orientações.

Tabela 4.2 - Solução 1 - Necessidades energéticas (kWh/m<sup>2</sup>) - Orientações de 60° e 150°

Mês	Orientação - 60°		Mês	Orientação - 150°	
	Aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> )	Arrefecimento (kWh/m <sup>2</sup> )		Aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> )	Arrefecimento (kWh/m <sup>2</sup> )
<b>Janeiro</b>	4,7	0,0	<b>Janeiro</b>	4,6	0,0
<b>Fevereiro</b>	3,7	0,0	<b>Fevereiro</b>	3,8	0,0
<b>Março</b>	2,2	0,0	<b>Março</b>	2,4	0,0
<b>Abril</b>	3,6	0,0	<b>Abril</b>	4,0	0,0
<b>Mai</b>	0,2	0,0	<b>Mai</b>	0,3	0,0
<b>Junho</b>	0,0	0,3	<b>Junho</b>	0,0	0,2
<b>Julho</b>	0,0	2,8	<b>Julho</b>	0,0	2,1
<b>Agosto</b>	0,0	2,5	<b>Agosto</b>	0,0	1,9
<b>Setembro</b>	0,0	2,2	<b>Setembro</b>	0,0	1,9
<b>Outubro</b>	0,2	0,0	<b>Outubro</b>	0,2	0,0
<b>Novembro</b>	1,6	0,0	<b>Novembro</b>	1,6	0,0
<b>Dezembro</b>	3,8	0,0	<b>Dezembro</b>	3,8	0,0
	<b>20,0</b>	<b>7,7</b>		<b>20,7</b>	<b>6,1</b>
	<b>27,7</b>			<b>26,7</b>	

Tabela 4.3 - Solução 1 - Necessidades energéticas (kWh/m<sup>2</sup>) - Orientações de 240° e 330°

Mês	Orientação - 240°		Mês	Orientação - 330°	
	Aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> )	Arrefecimento (kWh/m <sup>2</sup> )		Aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> )	Arrefecimento (kWh/m <sup>2</sup> )
Janeiro	4,8	0,0	Janeiro	4,5	0,0
Fevereiro	3,8	0,0	Fevereiro	3,7	0,0
Março	2,3	0,0	Março	2,3	0,0
Abril	3,8	0,0	Abril	3,9	0,0
Maio	0,2	0,0	Maio	0,2	0,0
Junho	0,0	0,2	Junho	0,0	0,2
Julho	0,0	2,7	Julho	0,0	2,1
Agosto	0,0	2,3	Agosto	0,0	2,0
Setembro	0,0	2,1	Setembro	0,0	2,0
Outubro	0,2	0,0	Outubro	0,2	0,0
Novembro	1,6	0,0	Novembro	1,5	0,0
Dezembro	3,9	0,0	Dezembro	3,7	0,0
	<b>20,5</b>	<b>7,3</b>		<b>20,1</b>	<b>6,2</b>
	<b>27,8</b>			<b>26,3</b>	

Os três primeiros e os três últimos meses do ano foram considerados como sendo meses da estação de aquecimento, enquanto os restantes foram estudados como sendo de arrefecimento. Esta escolha foi tomada tendo em conta o calendário de início das estações de Primavera e Outono. A Primavera começa a 20 de março e por esse motivo foi considerado que a estação de arrefecimento se iniciaria a partir de abril e que se prolongaria até ao início da estação de Outono, que por sua vez começa a 22 de setembro pelo que se considerou o mês de outubro como o início da estação de aquecimento. No entanto após constatar os resultados das simulações anteriormente apresentados nas tabelas 4.2 e 4.3 e a temperatura exterior média para cada um dos meses do ano (Tabela 4.4), foi percebido que o mês de abril apresenta temperaturas exteriores semelhantes aos meses de aquecimento e dispares quando em comparação com os meses de arrefecimento, levando a maiores necessidades de aquecimento. Por ambos este motivo, foi definido abril como pertencendo à estação de aquecimento. Nas tabelas 4.5 e 4.6 encontram-se os resultados das simulações realizadas de novo para a solução 1, mas neste caso com o mês de abril como sendo um mês de aquecimento.

Tabela 4.4 - Temperatura exterior caso de estudo

Mês	Temperatura de bolbo seco exterior (°C)
Janeiro	8,8
Fevereiro	10,2
Março	12,5
Abril	13,2
Maio	17,2
Junho	19,8
Julho	22,7
Agosto	23,0
Setembro	22,0
Outubro	17,2
Novembro	12,1
Dezembro	10,5

Tabela 4.5 - Solução 1 - Necessidades energéticas (kWh/m<sup>2</sup>) - Orientações de 60° e 150° (abril como mês de aquecimento)

Mês	60°		Mês	150°	
	Aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> )	Arrefecimento (kWh/m <sup>2</sup> )		Aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> )	Arrefecimento (kWh/m <sup>2</sup> )
Janeiro	4,7	0,0	Janeiro	4,6	0,0
Fevereiro	3,7	0,0	Fevereiro	3,8	0,0
Março	2,2	0,0	Março	2,4	0,0
Abril	1,6	0,0	Abril	1,8	0,0
Maio	0,2	0,0	Maio	0,3	0,0
Junho	0,0	0,3	Junho	0,0	0,2
Julho	0,0	2,8	Julho	0,0	2,1
Agosto	0,0	2,5	Agosto	0,0	1,9
Setembro	0,0	2,2	Setembro	0,0	1,9
Outubro	0,2	0,0	Outubro	0,2	0,0
Novembro	1,6	0,0	Novembro	1,6	0,0
Dezembro	3,8	0,0	Dezembro	3,8	0,0
	<b>18,0</b>	<b>7,7</b>		<b>18,4</b>	<b>6,1</b>
	<b>25,7</b>			<b>24,5</b>	

Tabela 4.6 - Solução 1 - Necessidades energéticas (kWh/m<sup>2</sup>) - Orientações de 240° e 330° (abril como mês de aquecimento)

Mês	240°		Mês	330°	
	Aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> )	Arrefecimento (kWh/m <sup>2</sup> )		Aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> )	Arrefecimento (kWh/m <sup>2</sup> )
Janeiro	4,8	0,0	Janeiro	4,5	0,0
Fevereiro	3,8	0,0	Fevereiro	3,7	0,0
Março	2,3	0,0	Março	2,3	0,0
Abril	1,7	0,0	Abril	1,7	0,0
Maio	0,2	0,0	Maio	0,2	0,0
Junho	0,0	0,2	Junho	0,0	0,2
Julho	0,0	2,7	Julho	0,0	2,1
Agosto	0,0	2,3	Agosto	0,0	2,0
Setembro	0,0	2,1	Setembro	0,0	2,0
Outubro	0,2	0,0	Outubro	0,2	0,0
Novembro	1,6	0,0	Novembro	1,5	0,0
Dezembro	3,9	0,0	Dezembro	3,7	0,0
	<b>18,4</b>	<b>7,3</b>		<b>17,9</b>	<b>6,2</b>
	<b>25,7</b>			<b>24,1</b>	

Comparando os resultados apresentados nas tabelas 4.2 e 4.3 com as tabelas 4.5 e 4.6 é possível observar uma divergência do valor das necessidades de energia para aquecimento no mês de abril. A descida das necessidades aquando da consideração do mês de abril como sendo de aquecimento, resulta do facto dos perfis de ocupação e utilização serem diferentes para ambas estações. Como existe uma diminuição da utilização durante os meses de inverno, apenas durante os fins de semana, as necessidades são relativamente mais baixas para estes meses.

Comparando os resultados expostos nas tabelas 4.5 e 4.6 é possível concluir que a orientação que necessita de uma menor quantidade de energia, por forma a manter o quarto dentro dos intervalos de temperatura impostos, é a orientação de 330° e que a orientação mais prejudicial ao nível dessas mesmas necessidades é a de 240°. Será analisado de seguida com maior detalhe a razão pela qual estas duas orientações têm necessidades energéticas diferentes.

Começando pela estação de aquecimento é possível observar através da tabela 4.7 que existem maiores ganhos solares na porta para a orientação de 330° relativamente à janela. Isto deve-se ao facto de a porta estar orientada segundo o quadrante sul e devido à baixa altitude solar durante a estação de inverno, como descrito anteriormente no ponto 2.1.2, potenciando assim um aumento dos ganhos solares. No caso da janela, esta encontra-se segundo o Norte, apresentando por isso valores muito baixos relativamente aos ganhos solares, devidos unicamente a componente da radiação difusa. No caso da orientação de 240° existe uma menor incidência solar na porta pois esta encontra-se orientada segundo nordeste, recebendo apenas radiação solar aquando do nascer do sol, sendo grande parte desta bloqueada pelo DPS visto que este se encontra ativo até às nove horas da manhã. Para a janela os ganhos são significativamente mais elevados, devendo-se ao facto de esta estar orientada a sudoeste e ser alvo da radiação solar ao final da tarde. No entanto apesar do valor da incidência neste vão ser superior à orientação anterior, não é suficiente para contrabalançar as diferenças de ganhos na porta, resultando em maiores necessidades de aquecimento.

Tabela 4.7 - Solução 1 - Ganhos solares para diferentes vãos envidraçados - Orientações de 240° e 330°

Mês	Ganhos solares Orientação – 240° (kWh)			Mês	Ganhos solares Orientação – 330° (kWh)		
	Porta	Janela	Total		Porta	Janela	Total
Janeiro	4,2	13,7	17,8	Janeiro	42,6	0,1	42,8
Fevereiro	9,2	13,7	22,9	Fevereiro	39,1	1,2	40,3
Março	20,4	26,8	47,2	Março	58,4	3,2	61,6
Abril	36,4	29,1	65,5	Abril	56,6	10,5	67,1
Maio	56,0	37,7	93,7	Maio	60,9	19,5	80,4
Junho	62,4	36,9	99,3	Junho	58,5	23,4	81,9
Julho	67,2	42,5	109,7	Julho	66,1	24,1	90,2
Agosto	57,7	44,8	102,5	Agosto	77,7	19,1	96,8
Setembro	41,4	37,8	79,2	Setembro	77,1	12,4	89,5
Outubro	17,9	21,7	39,6	Outubro	51,3	3,4	54,7
Novembro	7,0	11,3	18,3	Novembro	35,2	0,9	36,1
Dezembro	3,7	11,3	15,0	Dezembro	36,3	0,1	36,5
	<b>383,5</b>	<b>327,2</b>	<b>710,7</b>		<b>659,9</b>	<b>118,1</b>	<b>778,0</b>

Relativamente à estação de arrefecimento é possível observar um aumento dos ganhos solares em ambos os vãos. Esta variação resulta do aumento da amplitude solar, apresentado anteriormente na figura 2.5. No entanto para a orientação de 240° o acréscimo da amplitude origina um aumento significativo dos ganhos solares em ambos os vãos. Neste caso os ganhos da orientação de 240° ultrapassam os de 330°, num período em que os ganhos solares são prejudiciais, resultando assim num aumento das necessidades energéticas para arrefecimento em 16,7%.

As restantes orientações são semelhantes às apresentadas, existindo apenas a troca da posição dos vãos envidraçados. No caso da orientação de 150° existe um aumento das necessidades de aquecimento e uma diminuição das necessidades de arrefecimento quando comparado com a solução de 330°. Isto deve-se ao facto de o vão com uma área menor (janela) passar a estar orientado segundo sul, levando a uma diminuição dos ganhos solares, prejudicando uma das estações em prol da outra. A mesma situação acontece para a orientação 240° quando comparado com a orientação de 60°.

Nas tabelas 4.8, 4.9 e 4.10 é possível observar as diferenças, percentuais, que as distintas orientações propiciam nas necessidades energéticas para aquecimento, arrefecimento e totais.

**Tabela 4.8 - Comparação das necessidades de aquecimento para as diferentes orientações**

<b>Aquecimento</b>	<b>60°</b>	<b>150°</b>	<b>240°</b>	<b>330°</b>
<b>60°</b>	-	2,4%	2,5%	-0,4%
<b>150°</b>	-2,4%	-	0,1%	-2,9%
<b>240°</b>	-2,5%	-0,1%	-	-2,9%
<b>330°</b>	0,4%	2,9%	2,9%	-

**Tabela 4.9 - Comparação das necessidades de arrefecimento para as diferentes orientações**

<b>Arrefecimento</b>	<b>60°</b>	<b>150°</b>	<b>240°</b>	<b>330°</b>
<b>60°</b>	-	-27,1%	-6,0%	-23,8%
<b>150°</b>	27,1%	-	15,7%	2,6%
<b>240°</b>	6,0%	-15,7%	-	-16,7%
<b>330°</b>	23,8%	-2,6%	16,7%	-

Tabela 4.10 - Comparação das necessidades totais para as diferentes orientações

Total	60º	150º	240º	330º
60º	-	-4,9%	0,1%	-6,4%
150º	4,9%	-	4,7%	-1,4%
240º	-0,1%	-4,7%	-	-6,5%
330º	6,4%	1,4%	6,5%	-

Num estudo apresentado por *Cunha e Oliveira* [83], relativamente a uma unidade hoteleira de 4 estrelas em Faro, os autores determinaram necessidades energéticas de aquecimento semelhante às apresentadas no presente caso de estudo de 18,2 kWh/m<sup>2</sup>ano, com um aumento significativo (65% em relação à orientação de 330º) relativamente às necessidades de arrefecimento, de 17,9 kWh/m<sup>2</sup>ano. No entanto este aumento pode-se dever ao facto de a maioria dos vão envidraçados estar orientado segundo o quadrante sul, numa zona climática com uma estação de arrefecimento mais rigorosa.

## 4.2 – Solução 2 – Portada pelo exterior

Para esta solução foi utilizado o mesmo DPS que na solução anterior trocando apenas o seu posicionamento, do interior para o exterior, por forma a analisar o impacte que este poderia ter nas necessidades energéticas do quarto da unidade hoteleira. O raciocínio será idêntico para estas simulações, serão utilizados os mesmos horários de funcionamento do DPS bem como os mesmos perfis de utilização especificados no ponto 3.1.3.3. Nas tabelas 4.11 e 4.12 encontram-se indicados os resultados obtidos para esta solução. A influência da orientação nesta solução mantém-se idêntica à anterior pelos motivos já explicados e por esse motivo não será repetida para esta solução.

Tabela 4.11 - Solução 2 - Necessidades energéticas (kWh/m<sup>2</sup>) - Orientações de 60° e 150°

Mês	Orientação - 60°		Mês	Orientação - 150°	
	Aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> )	Arrefecimento (kWh/m <sup>2</sup> )		Aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> )	Arrefecimento (kWh/m <sup>2</sup> )
Janeiro	4,3	0,0	Janeiro	4,3	0,0
Fevereiro	3,5	0,0	Fevereiro	3,5	0,0
Março	1,9	0,0	Março	2,1	0,0
Abril	1,4	0,0	Abril	1,6	0,0
Maio	0,1	0,0	Maio	0,2	0,0
Junho	0,0	0,3	Junho	0,0	0,2
Julho	0,0	2,9	Julho	0,0	2,2
Agosto	0,0	2,7	Agosto	0,0	2,0
Setembro	0,0	2,3	Setembro	0,0	2,0
Outubro	0,1	0,0	Outubro	0,1	0,0
Novembro	1,4	0,0	Novembro	1,3	0,0
Dezembro	3,5	0,0	Dezembro	3,5	0,0
	16,2	8,2		16,6	6,5
	24,4			23,1	

Tabela 4.12 - Solução 2 - Necessidades energéticas (kWh/m<sup>2</sup>) - Orientações de 240° e 330°

Mês	Orientação - 240°		Mês	Orientação - 330°	
	Aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> )	Arrefecimento (kWh/m <sup>2</sup> )		Aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> )	Arrefecimento (kWh/m <sup>2</sup> )
Janeiro	4,4	0,0	Janeiro	4,2	0,0
Fevereiro	3,5	0,0	Fevereiro	3,4	0,0
Março	2,0	0,0	Março	2,1	0,0
Abril	1,5	0,0	Abril	1,6	0,0
Maio	0,1	0,0	Maio	0,1	0,0
Junho	0,0	0,2	Junho	0,0	0,2
Julho	0,0	2,8	Julho	0,0	2,2
Agosto	0,0	2,5	Agosto	0,0	2,1
Setembro	0,0	2,2	Setembro	0,0	2,1
Outubro	0,1	0,0	Outubro	0,1	0,0
Novembro	1,4	0,0	Novembro	1,3	0,0
Dezembro	3,5	0,0	Dezembro	3,3	0,0
	16,6	7,7		16,2	6,6
	24,3			22,8	

O importante para esta análise é perceber os benefícios ou prejuízos que a diferente escolha de posicionamento poderá ter nas necessidades energéticas para climatização da unidade hoteleira. Esta análise será apresentada de seguida.

- **Comparação com Solução 1**

Nas tabelas 4.13 e 4.14 serão apresentadas as diferenças entre cada uma das soluções ao nível das necessidades energéticas para aquecimento, arrefecimento e total.

Tabela 4.13 - Comparação da Solução 2 com a Solução 1 - Orientação 60° e 150°

	NO-SE (30°)			SO-NE (120°)		
	Aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Arrefecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Totais (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Arrefecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Totais (kWh/m <sup>2</sup> .ano)
Solução 1	18,0	7,7	25,7	18,4	6,1	24,5
Solução 2	16,2	8,2	24,4	16,6	6,5	23,1
	10%	-6%	5%	10%	-7%	6%

Tabela 4.14 - Comparação da Solução 2 com a Solução 1 - Orientação 240° e 330°

	SE-NO (210°)			NE-SO (300°)		
	Aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Arrefecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Totais (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Arrefecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Totais (kWh/m <sup>2</sup> .ano)
Solução 1	18,4	7,3	25,7	17,9	6,2	24,1
Solução 2	16,6	7,7	24,3	16,2	6,6	22,8
	10%	-6%	5%	10%	-7%	5%

É possível observar pelas tabelas 4.13 e 4.14 que existe uma melhoria ao nível das necessidades de aquecimento. Tratando-se o caso de estudo de um edifício com predominantes necessidades de aquecimento, esta melhoria traduz-se numa redução das necessidades de energia totais, apesar de existir um aumento das necessidades de arrefecimento. De seguida serão analisadas as razões que dão origem a esta melhoria. O valor percentual das melhorias é idêntico para as diversas orientações e por esse motivo a seguinte análise irá apenas incidir sobre a orientação de 330° e 240°, tendo sido estas identificadas como a orientação mais favorável e prejudicial, respetivamente, para a solução 1.

Para perceber o que motivou estas variações nas necessidades energéticas é necessário entender as alterações ao nível dos ganhos e perdas através do vão envidraçado.

Começando pelos ganhos solares, é possível observar pela tabela 4.15 que estes se mantiveram idênticos para ambas as orientações. A alteração da posição do DPS para o exterior não motivou uma grande variação ao nível dos ganhos solares, em grande parte devido ao seu horário de funcionamento. Para o horário definido, o DPS passa grande parte do dia recolhido, não contribuindo de qualquer forma para o bloqueio da radiação, exceto raras exceções junto ao quadrante Este, visto ser capaz de bloquear de forma parcial alguma da radiação inicial do período da manhã e, acontecendo o mesmo para o quadrante Oeste aquando do pôr do sol.

Este horário é na realidade ineficaz no controlo da radiação solar, mas traduz de forma aproximada a realidade em relação à ativação do DPS na unidade hoteleira.

Tabela 4.15 - Solução 2 - Ganhos através do vão envidraçado - Orientação 240° e 330°

Mês	Orientação - 240°			Orientação - 330°		
	Solução 1 (kWh/m <sup>2</sup> )	Solução 2 (kWh/m <sup>2</sup> )	Diferença (kWh/m <sup>2</sup> )	Solução 1 (kWh/m <sup>2</sup> )	Solução 2 (kWh/m <sup>2</sup> )	Diferença (kWh/m <sup>2</sup> )
Janeiro	17,0	17,4	-0,4	39,9	37,1	2,8
Fevereiro	22,2	21,4	0,7	39,0	34,8	4,2
Março	45,5	43,7	1,9	60,1	52,2	7,8
Abril	64,2	64,5	-0,3	66,2	66,3	0,0
Maio	92,2	92,0	0,2	79,8	79,5	0,3
Junho	97,9	97,6	0,4	81,3	81,0	0,3
Julho	108,3	107,8	0,5	89,6	89,1	0,4
Agosto	101,4	101,5	0,0	96,1	95,8	0,3
Setembro	78,1	78,2	-0,1	88,6	88,6	0,1
Outubro	38,4	37,1	1,3	53,4	47,8	5,5
Novembro	17,7	17,7	0,1	34,2	31,1	3,1
Dezembro	14,4	15,4	-1,0	33,8	33,6	0,1

Após a análise dos ganhos pelo vão envidraçado e se ter concluído que esta não é a causa da redução das necessidades de energia para climatização, da unidade hoteleira, é necessário analisar as perdas através do mesmo.

Na tabela 4.16 encontram-se apresentados os valores das perdas através do vão envidraçado para cada uma das soluções bem e orientações. É possível observar que existe uma diminuição significativa (22-27%) das perdas através do vão envidraçado.

Esta redução das perdas, através do vão envidraçado, é resultado do facto de o vidro, estar abrigado dos agentes atmosféricos, em especial do vento. A utilização de um DPS colocado pelo exterior e afastado do vidro, cria uma camada de ar entre eles deixando o vidro de estar em contacto direto com o ambiente exterior diminuindo assim as perdas de calor por convecção.

Tabela 4.16 - Solução 2 - Perdas através do vão envidraçado - Orientação 240° e 330°

Mês	Orientação - 240°			Orientação - 330°		
	Solução 1 (kWh/m <sup>2</sup> )	Solução 2 (kWh/m <sup>2</sup> )	Diferença (kWh/m <sup>2</sup> )	Solução 1 (kWh/m <sup>2</sup> )	Solução 2 (kWh/m <sup>2</sup> )	Diferença (kWh/m <sup>2</sup> )
Janeiro	47,5	35,0	12,5	47,5	35,3	12,2
Fevereiro	36,4	27,4	9,0	36,6	27,5	9,0
Março	33,1	24,2	8,9	33,5	24,3	9,2
Abril	35,3	27,4	7,9	36,0	27,9	8,1
Maior	26,4	20,6	5,8	26,7	20,7	6,0
Junho	22,8	17,5	5,3	23,0	17,5	5,5
Julho	21,3	16,2	5,1	21,8	16,6	5,3
Agosto	20,6	15,6	5,0	20,8	15,7	5,1
Setembro	21,8	17,0	4,8	21,9	17,1	4,8
Outubro	28,1	20,8	7,3	28,5	21,0	7,4
Novembro	37,9	27,9	9,9	38,0	28,1	9,9
Dezembro	44,9	33,3	11,7	44,4	33,1	11,3

### 4.3 – Solução 3 – Inexistência de DPS

Como referido anteriormente, o horário adotado para as soluções anteriores é, na realidade, ineficaz a combater os ganhos solares excessivos durante a estação de arrefecimento. Para demonstrar que, em termos energéticos, a existência da solução 1 é irrelevante, foi simulada uma solução em que se considerou a inexistência de qualquer DPS. Os resultados obtidos para esta solução encontram-se indicados nas tabelas 4.17 e 4.18.

Tabela 4.17 - Solução 3 - Necessidades energéticas (kWh/m<sup>2</sup>) - Orientações de 60° e 150°

Mês	Orientação - 60°		Mês	Orientação - 150°	
	Aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> )	Arrefecimento (kWh/m <sup>2</sup> )		Aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> )	Arrefecimento (kWh/m <sup>2</sup> )
Janeiro	4,6	0,0	Janeiro	4,5	0,0
Fevereiro	3,6	0,0	Fevereiro	3,7	0,0
Março	2,0	0,0	Março	2,3	0,0
Abril	1,5	0,0	Abril	1,7	0,0
Maio	0,2	0,0	Maio	0,3	0,0
Junho	0,0	0,3	Junho	0,0	0,2
Julho	0,0	2,8	Julho	0,0	2,1
Agosto	0,0	2,6	Agosto	0,0	1,9
Setembro	0,0	2,3	Setembro	0,0	1,9
Outubro	0,1	0,0	Outubro	0,2	0,0
Novembro	1,5	0,0	Novembro	1,5	0,0
Dezembro	3,7	0,0	Dezembro	3,7	0,0
	<b>17,2</b>	<b>8,0</b>		<b>17,9</b>	<b>6,1</b>
	<b>25,2</b>			<b>24,0</b>	

Tabela 4.18 - Solução 3 - Necessidades energéticas (kWh/m<sup>2</sup>) - Orientações de 240° e 330°

Mês	Orientação - 240°		Mês	Orientação - 330°	
	Aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> )	Arrefecimento (kWh/m <sup>2</sup> )		Aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> )	Arrefecimento (kWh/m <sup>2</sup> )
Janeiro	4,7	0,0	Janeiro	4,4	0,0
Fevereiro	3,7	0,0	Fevereiro	3,6	0,0
Março	2,2	0,0	Março	2,1	0,0
Abril	1,6	0,0	Abril	1,7	0,0
Maio	0,2	0,0	Maio	0,2	0,0
Junho	0,0	0,3	Junho	0,0	0,2
Julho	0,0	2,7	Julho	0,0	2,1
Agosto	0,0	2,3	Agosto	0,0	2,0
Setembro	0,0	2,1	Setembro	0,0	2,0
Outubro	0,2	0,0	Outubro	0,1	0,0
Novembro	1,6	0,0	Novembro	1,4	0,0
Dezembro	3,8	0,0	Dezembro	3,6	0,0
	<b>17,9</b>	<b>7,4</b>		<b>17,1</b>	<b>6,4</b>
	<b>25,2</b>			<b>23,6</b>	

- **Comparação com Solução 1**

Nas tabelas 4.19 e 4.20 serão apresentadas as diferenças entre cada uma das soluções ao nível das necessidades energéticas para aquecimento, arrefecimento e total.

Tabela 4.19 - Comparação da Solução 3 com a Solução 1 - Orientação 60° e 150°

	Orientação – 60°			Orientação – 150°		
	Aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Arrefecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Totais (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Arrefecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Totais (kWh/m <sup>2</sup> .ano)
Solução 1	18,0	7,7	25,7	18,4	6,1	24,5
Solução 3	17,2	8,0	25,2	17,9	6,1	24,0
	4%	-4%	2%	3%	0	2%

Tabela 4.20 - Comparação da Solução 3 com a Solução 1 - Orientação 240° e 330°

	Orientação – 240°			Orientação – 330°		
	Aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Arrefecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Totais (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Arrefecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Totais (kWh/m <sup>2</sup> .ano)
Solução 1	18,4	7,3	25,7	17,9	6,2	24,1
Solução 3	17,9	7,4	25,2	17,1	6,4	23,6
	3%	-2%	2%	4%	-3%	2%

Como é possível observar pelas tabelas 4.19 e 4.20 a solução sem qualquer DPS é ligeiramente melhor do que a solução existente. Não só apresenta menores necessidade de consumo energia ao longo do ano, mas como também não teve qualquer investimento inicial. No entanto, e como já falado anteriormente, a escolha de DPS não é só devido à proteção contra ganhos solares excessivos, estes têm também funções de privacidade, segurança e ainda regulação da iluminação natural. Esta solução sem qualquer DPS, apesar de apresentar resultados positivos em termos de consumo de energia, não seria viável nesta unidade hoteleira, pelas razões acima indicadas. No entanto, visto que será necessário implementar um DPS por razões de, principalmente, privacidade e controlo da iluminação natural, é imperativo compreender de que forma, a presença deste irá influenciar os ganhos solares e como maximizar a presença do mesmo para a redução das necessidades energéticas.

As seguintes soluções visam demonstrar várias alternativas de como melhorar as necessidades de consumo energético para climatização da unidade hoteleira. Inicialmente irá ser trocado o vidro presente em ambos os vãos envidraçados. O vidro

implementado na unidade hoteleira apresenta um valor de  $g$  bastante baixo, e devido a isso este vidro está a ter um efeito prejudicial nos ganhos solares úteis do edifício pois durante a estação de aquecimento, com os DPS recolhidos, ou a inexistência dos mesmos, o vidro é capaz de bloquear grande parte da radiação solar. Optando por um vidro menos eficiente, isto é, com um maior fator solar, irá permitir maximizar os ganhos solares na estação de aquecimento. No entanto, ao maximizar os ganhos de inverno, estes irão também aumentar durante a estação de arrefecimento levando a um aumento das necessidades para arrefecimento, no entanto será para combater este aumento que, mais a frente, serão analisadas diversas soluções de DPS.

#### 4.4 – Solução 4 – Substituição do vidro

---

Como referido anteriormente, o vidro implementado em cada um dos vãos envidraçados do caso de estudo possui um  $g$  baixo, de 0,39. Por forma a se maximizar os ganhos solares durante a estação de aquecimento, com o intuito de se diminuir as necessidades energéticas para aquecimento do quarto, foi substituído o vidro utilizado em ambos os vãos envidraçados. Manteve-se um vidro duplo, por forma a diminuir as perdas de calor através deste, mas trocou-se o vidro de baixa emissividade por um vidro tradicional. Na tabela 4.21 são apresentadas as propriedades do vidro adotado para esta solução.

Tabela 4.21 - Propriedades do vidro adotado para Solução 4 (SGG Climalit) (Adaptado de [80])

$g$	$\tau_s$	$\tau_v$	$U_v$ (W/m <sup>2</sup> °C)
0,78	0,75	0,82	2,7

Após a substituição do vidro, procedeu-se às simulações, neste caso ainda sem a implementação de um DPS, com o intuito de se verificar qual seria a diminuição das necessidades de aquecimento. Nas tabelas 4.22 e 4.23 encontram-se indicados os resultados dessas simulações.

Tabela 4.22 - Solução 4 - Necessidades energéticas (kWh/m<sup>2</sup>) - Orientações de 60° e 150°

Mês	Orientação - 60°		Mês	Orientação - 150°	
	Aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> )	Arrefecimento (kWh/m <sup>2</sup> )		Aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> )	Arrefecimento (kWh/m <sup>2</sup> )
Janeiro	4,1	0,0	Janeiro	4,2	0,0
Fevereiro	3,2	0,0	Fevereiro	3,3	0,0
Março	1,4	0,0	Março	1,8	0,0
Abril	1,0	0,0	Abril	1,3	0,0
Maio	0,0	0,0	Maio	0,1	0,0
Junho	0,0	0,7	Junho	0,0	0,4
Julho	0,0	4,7	Julho	0,0	3,2
Agosto	0,0	4,2	Agosto	0,0	2,9
Setembro	0,0	3,5	Setembro	0,0	2,7
Outubro	0,0	0,1	Outubro	0,1	0,1
Novembro	1,2	0,0	Novembro	1,2	0,0
Dezembro	3,3	0,0	Dezembro	3,4	0,0
	<b>14,2</b>	<b>13,3</b>		<b>15,2</b>	<b>9,2</b>
	<b>27,5</b>			<b>24,5</b>	

Tabela 4.23 - Solução 4 - Necessidades energéticas (kWh/m<sup>2</sup>) - Orientações de 240° e 330°

Mês	Orientação - 240°		Mês	Orientação - 330°	
	Aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> )	Arrefecimento (kWh/m <sup>2</sup> )		Aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> )	Arrefecimento (kWh/m <sup>2</sup> )
Janeiro	4,3	0,0	Janeiro	3,8	0,0
Fevereiro	3,3	0,0	Fevereiro	3,1	0,0
Março	1,6	0,0	Março	1,5	0,0
Abril	1,1	0,0	Abril	1,2	0,0
Maio	0,0	0,0	Maio	0,0	0,0
Junho	0,0	0,6	Junho	0,0	0,4
Julho	0,0	4,4	Julho	0,0	3,2
Agosto	0,0	3,8	Agosto	0,0	3,1
Setembro	0,0	3,1	Setembro	0,0	3,0
Outubro	0,1	0,1	Outubro	0,0	0,1
Novembro	1,3	0,0	Novembro	1,1	0,0
Dezembro	3,5	0,0	Dezembro	3,0	0,0
	<b>15,2</b>	<b>12,0</b>		<b>13,8</b>	<b>9,9</b>
	<b>27,2</b>			<b>23,7</b>	

- **Comparação com Solução 3**

Nas tabelas 4.24 e 4.25 encontram-se representadas as diferenças entre cada uma das soluções, com a intenção de perceber qual a contribuição que a substituição do tipo de vidro promove nas necessidades de aquecimento.

Tabela 4.24 - Comparação da Solução 4 com a Solução 3 - Orientação 60° e 150°

	Orientação – 60°			Orientação – 150°		
	Aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Arrefecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Totais (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Arrefecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Totais (kWh/m <sup>2</sup> .ano)
Solução 3	17,2	8,0	25,2	17,9	6,1	24,0
Solução 4	14,2	13,3	27,5	15,2	9,2	24,5
	18%	-66%	-9%	15%	-51%	-2%

Tabela 4.25 - Comparação da Solução 4 com a Solução 3 - Orientação 240° e 330°

	Orientação – 240°			Orientação – 330°		
	Aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Arrefecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Totais (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Arrefecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Totais (kWh/m <sup>2</sup> .ano)
Solução 3	17,9	7,4	25,2	17,1	6,4	23,6
Solução 4	15,2	12,0	27,2	13,8	9,9	23,7
	15%	-62%	-8%	19%	-54%	-1%

Como é possível observar pelos resultados apresentados, existe uma melhoria significativa das necessidades de aquecimento, no entanto é possível atentar um aumento elevado das necessidades de arrefecimento. Este acréscimo das necessidades de arrefecimento leva a um incremento das necessidades totais para climatização do caso de estudo, tornando esta solução pior quando em comparação com a solução 3. No entanto, neste ponto, o principal objetivo era perceber se existia uma melhoria das necessidades de aquecimento relativamente à solução 3, e é possível concluir que na realidade existe. Contudo, por forma a aproveitar este aumento de ganhos solares, é importante definir uma solução que permita o bloqueio dos mesmos, na estação em que estes são prejudiciais.

A razão pela qual se optou por um vidro duplo em vez de um vidro simples, prende-se no comportamento do vidro simples relativamente à transmissão de calor. Como é possível observar na tabela 4.26 o aumento do U do vidro simples ( $U_w=5,1 \text{ W/m}^2$ ), relativamente ao vidro duplo, com um U já apresentado na tabela 4.21,

origina um aumento das perdas de calor pela envolvente envidraçada em cerca do dobro.

Tabela 4.26 - Solução 4 - Perdas através do vão envidraçado - Orientação 240° e 330°

Mês	Orientação - 240°			Orientação - 330°		
	Duplo (kWh/m <sup>2</sup> )	Simplex (kWh/m <sup>2</sup> )	Diferença (kWh/m <sup>2</sup> )	Duplo (kWh/m <sup>2</sup> )	Simplex (kWh/m <sup>2</sup> )	Diferença (kWh/m <sup>2</sup> )
Janeiro	54,9	98,4	43,5	57,2	103,2	46,0
Fevereiro	43,9	77,7	33,7	45,4	80,6	35,2
Março	42,9	77,1	34,3	43,5	78,7	35,2
Abril	39,2	79,2	40,0	39,1	79,9	40,9
Maio	35,9	64,7	28,8	35,1	64,0	28,9
Junho	31,3	56,8	25,5	30,4	55,8	25,4
Julho	28,7	53,0	24,3	28,4	52,7	24,3
Agosto	27,9	51,6	23,7	27,7	51,2	23,5
Setembro	29,3	53,1	23,7	29,4	53,3	24,0
Outubro	37,3	64,9	27,7	38,3	67,2	28,8
Novembro	45,8	81,2	35,4	47,8	84,9	37,1
Dezembro	52,2	93,4	41,2	53,8	96,3	42,5

Os benefícios que surgem do aumento dos ganhos solares, por se ter adotado um vidro com um fator solar mais elevado, demonstrados nas tabelas 4.24 e 4.25, desaparecem aquando do vidro simples. Isto deve-se ao facto das elevadas perdas através do vão envidraçado desta solução, em especial durante o período noturno no inverno, em que ocorre um decréscimo da temperatura exterior e não existe potencial de ganhos solares, levando a um aumento significativo das necessidades de aquecimento como se pode observar pelas tabelas 4.27 e 4.28.

Tabela 4.27 - Comparação da Solução 4 com vidro simples e vidro duplo - Orientação 60° e 150°

	Orientação – 60°			Orientação – 150°		
	Aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Arrefecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Totais (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Arrefecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Totais (kWh/m <sup>2</sup> .ano)
Vidro Simplex	20,2	12,4	32,6	22,1	8,8	30,8
Vidro Duplo	14,2	13,3	27,5	15,2	9,2	24,5
	30%	-7%	16%	31%	-5%	21%

Tabela 4.28 - Comparação da Solução 4 com vidro simples e vidro duplo - Orientação 240° e 330°

	Orientação – 240°			Orientação – 330°		
	Aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Arrefecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Totais (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Arrefecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Totais (kWh/m <sup>2</sup> .ano)
Vidro Simples	21,6	11,1	32,7	20,3	9,4	29,7
Vidro Duplo	15,2	12,0	27,2	13,8	9,9	23,7
	30%	-7%	17%	32%	-5%	20%

A solução de vidro duplo é pior em termos de arrefecimento, pois o facto de o vidro simples ter um maior U, permite um acréscimo de perdas através do mesmo, como já tinha sido demonstrado anteriormente, no entanto estas perdas são benéficas no período de arrefecimento pois permitem que o edifício arrefeça mais rapidamente durante a noite. Contudo, apesar de ser pior em termos de arrefecimento, esta diferença é insignificante quando comparado com a o potencial de melhoria em termos de aquecimento, traduzindo-se numa melhor solução em termos da totalidade de energia necessária para climatização do caso de estudo.

Por este motivo, para as restantes soluções será mantido o vidro duplo implementado na Solução 4, e serão definidas soluções de DPS que, ao longo do mês de maio e até ao início de outubro, atuem por forma a bloquear os ganhos excessivos. Como é possível observar pelas tabelas 4.22 e 4.23, a inexistência de qualquer DPS não se revelou nefasto nos meses de aquecimento. Por esse motivo, para as seguintes soluções, irá ser considerado, independentemente do sistema de controlo e tipo de DPS, que durante os meses de aquecimento, o DPS estará permanentemente recolhido durante o dia, e apenas ativo durante a noite.

## 4.5 – Solução 5 – Estore veneziano interior automático

---

No ponto anterior foi possível concluir que a utilização de um vidro com um fator solar mais elevado, traria benefícios ao nível das necessidades de aquecimento, tendo, no entanto, um impacto negativo nas necessidades de arrefecimento. Contudo é possível ultrapassar o aumento das necessidades de arrefecimento, com a implementação de um DPS.

Devido ao facto de se tratar de uma unidade hoteleira com paredes de alvenaria de pedra com espessura elevada e mais focada em turismo rural, houve algumas restrições técnicas e arquitetónicas aquando da seleção do DPS a implementar. Soluções pelo exterior como persianas foram excluídas, pois seria extremamente complicado implementar uma caixa de persiana no interior das paredes, e caixas exteriores à parede iriam contrastar, de forma negativa, com a arquitetura do edifício. Por esse motivo foi escolhido iniciar as simulações com DPS colocados pelo interior, por forma a diminuir o impacto resultante da implementação destes na arquitetura do edifício.

Neste ponto será analisado o impacto que um estore veneziano, colocado pelo interior e funcionando segundo um sistema de ativação quando a radiação solar incidente no vão envidraçado exceder o limite imposto, tem nas necessidades energéticas para climatização do edifício. Foi escolhido que o estore teria lâminas que se ajustam automaticamente para bloquear a maior quantidade de radiação solar. Cada lâmina tem uma espessura de 0,001m, com uma largura de 0,025m e estando espaçadas 0,018m entre si. Para a primeira simulação foi imposto um limite de 100 W/m<sup>2</sup> de radiação solar no vão envidraçado, sendo que este foi apenas imposto para o período de verão, pelo que o DPS permanecerá recolhido durante o dia ao longo da estação de aquecimento [21].

Os resultados desta simulação encontram-se apresentados nas tabelas 4.29 e 4.30.

Tabela 4.29 - Solução 5 (100 W/m<sup>2</sup>) - Necessidades energéticas (kWh/m<sup>2</sup>) - Orientações de 60° e 150°

Mês	Orientação - 60°		Mês	Orientação - 150°	
	Aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> )	Arrefecimento (kWh/m <sup>2</sup> )		Aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> )	Arrefecimento (kWh/m <sup>2</sup> )
Janeiro	4,3	0,0	Janeiro	4,4	0,0
Fevereiro	3,4	0,0	Fevereiro	3,5	0,0
Março	1,6	0,0	Março	1,9	0,0
Abril	1,2	0,0	Abril	1,4	0,0
Maio	0,1	0,0	Maio	0,2	0,0
Junho	0,0	0,4	Junho	0,0	0,2
Julho	0,0	3,6	Julho	0,0	2,5
Agosto	0,0	3,2	Agosto	0,0	2,2
Setembro	0,0	2,7	Setembro	0,0	2,2
Outubro	0,1	0,1	Outubro	0,1	0,0
Novembro	1,3	0,0	Novembro	1,4	0,0
Dezembro	3,5	0,0	Dezembro	3,6	0,0
	15,5	10,0		16,4	7,1
	25,5			23,6	

Tabela 4.30 - Solução 5 (100 W/m<sup>2</sup>) - Necessidades energéticas (kWh/m<sup>2</sup>) - Orientações de 240° e 330°

Mês	Orientação - 240°		Mês	Orientação - 330°	
	Aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> )	Arrefecimento (kWh/m <sup>2</sup> )		Aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> )	Arrefecimento (kWh/m <sup>2</sup> )
Janeiro	4,5	0,0	Janeiro	4,1	0,0
Fevereiro	3,5	0,0	Fevereiro	3,3	0,0
Março	1,8	0,0	Março	1,7	0,0
Abril	1,3	0,0	Abril	1,3	0,0
Maio	0,1	0,0	Maio	0,1	0,0
Junho	0,0	0,4	Junho	0,0	0,2
Julho	0,0	3,5	Julho	0,0	2,5
Agosto	0,0	3,0	Agosto	0,0	2,4
Setembro	0,0	2,5	Setembro	0,0	2,5
Outubro	0,1	0,1	Outubro	0,1	0,1
Novembro	1,4	0,0	Novembro	1,2	0,0
Dezembro	3,7	0,0	Dezembro	3,3	0,0
	16,5	9,4		15,1	7,7
	25,9			22,9	

- **Comparação com Solução 4**

Nas tabelas 4.31 e 4.32 encontram-se apresentadas as diferenças das necessidades de energia para climatização entre a Solução 5 e a Solução 4.

Tabela 4.31 - Comparação da Solução 4 com a Solução 5 - Orientação 60° e 150°

	Orientação – 60°			Orientação – 150°		
	Aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Arrefecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Totais (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Arrefecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Totais (kWh/m <sup>2</sup> .ano)
Solução 4	14,2	13,3	27,5	15,2	9,2	24,5
Solução 5	15,5	10,0	25,5	16,4	7,1	23,6
	-9%	24%	7%	-8%	23%	4%

Tabela 4.32 - Comparação da Solução 4 com a Solução 5 - Orientação 240° e 330°

	Orientação – 240°			Orientação – 330°		
	Aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Arrefecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Totais (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Arrefecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Totais (kWh/m <sup>2</sup> .ano)
Solução 4	15,2	12,0	27,2	13,8	9,9	23,7
Solução 5	16,5	9,4	25,9	15,1	7,7	22,9
	-8%	21%	5%	-10%	22%	4%

Como é possível observar pelos resultados indicados nas tabelas 4.31 e 4.32, a implementação do DPS origina uma redução significativa das necessidades de arrefecimento. No entanto introduz também um aumento das necessidades de aquecimento devido ao facto do horário estabelecido para a abertura do DPS permitir o bloqueio de parte da radiação solar existente no período da manhã (até as 09:00h) fenómeno que já acontecia anteriormente. No entanto na totalidade da solução, a diminuição dos ganhos solares na estação de arrefecimento é benéfica, resultando numa diminuição das necessidades totais de energia para climatização.

Num estudo apresentado por *Tzemplikos e Athienitis*, para um edifício de escritórios em Montreal, Canadá, demonstrou-se que a colocação de um sistema de estore veneziano com ativação automática, semelhante à da solução apresentada, tendo, no entanto, um limite de ativação inferior, de 20 W/m<sup>2</sup>, reduz as necessidades de arrefecimento, para fachadas orientadas a sul em cerca de 50% [74].

Para o caso de estudo a maior redução existente é de 24%, para a orientação de 60°. A diferença deve-se, em grande parte, ao posicionamento do sistema. Estando o DPS pelo interior, o bloqueio da radiação solar dá-se após este já ter penetrado para o interior do compartimento através do vão envidraçado. A diminuição do limite para a ativação do DPS, tem alguma influência, mas não é o principal motivo para a diferença verificada, como se poderá observar mais adiante.

Na tabela 4.33 encontra-se os resultados de uma simulação realizada para a orientação de 60°, em que o dispositivo se mantém idêntico, mas com a alteração do seu posicionamento sendo colocado pelo exterior.

Contudo, não é a Solução 4 que está implementada no caso de estudo, mas sim a Solução 1, pelo que é importante perceber se a conjugação do vidro duplo com um fator solar superior e o estore veneziano automático, contribuem para uma redução das necessidades energéticas, quando comparado com a Solução 1.

Tabela 4.33 - Colocação da Solução 5 pelo exterior - Orientação 60°

Mês	60°	
	Aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> )	Arrefecimento (kWh/m <sup>2</sup> )
Janeiro	4,3	0,0
Fevereiro	3,4	0,0
Março	1,6	0,0
Abril	1,2	0,0
Maio	0,2	0,0
Junho	0,0	0,2
Julho	0,0	2,6
Agosto	0,0	2,3
Setembro	0,0	2,0
Outubro	0,1	0,1
Novembro	1,3	0,0
Dezembro	3,5	0,0
	<b>15,6</b>	<b>7,2</b>
	<b>22,8</b>	

A colocação do estore veneziano pelo exterior, resulta numa diminuição das necessidades de arrefecimento em cerca de 45% para a orientação de 60°. Tal como descrito anteriormente fica demonstrado o impacte que a colocação de um DPS pelo exterior tem em comparação com o mesmo dispositivo quando colocado pelo interior, resultando numa diminuição de 21% da energia necessária para o arrefecimento do compartimento. No entanto por razões já descritas anteriormente, esta solução não é viável para este caso de estudo, servindo esta simulação apenas para demonstrar a diferença que o posicionamento do DPS tem nas necessidades energéticas para climatização.

- **Comparação com Solução 1**

Nas tabelas 4.34 e 4.35 encontram se indicadas as comparações referentes às necessidades energéticas para climatização entre a Solução 1 e a Solução 5.

Como é possível observar através das tabelas 4.34 e 4.35, a melhoria introduzida após a implementação do vidro duplo com um fator solar mais alto permanece ao nível das necessidades de aquecimento.

Tabela 4.34 - Comparação da Solução 1 com a Solução 5 - Orientação 60° e 150°

	Orientação – 60°			Orientação – 150°		
	Aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Arrefecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Totais (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Arrefecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Totais (kWh/m <sup>2</sup> .ano)
Solução 1	18,0	7,7	25,7	18,4	6,1	24,5
Solução 5	15,5	10,0	25,5	16,4	7,1	23,6
	14%	-30%	1%	11%	-18%	4%

Tabela 4.35 - Comparação da Solução 1 com a Solução 5 - Orientação 240° e 330°

	Orientação – 240°			Orientação – 330°		
	Aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Arrefecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Totais (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Arrefecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Totais (kWh/m <sup>2</sup> .ano)
Solução 1	18,4	7,3	25,7	17,9	6,2	24,1
Solução 5	16,5	9,4	25,9	15,1	7,7	22,9
	11%	-30%	-1%	15%	-24%	5%

No entanto apesar das necessidades de arrefecimento terem diminuído com a implementação do DPS quando comparado com a Solução 4, esta redução fica aquém dos resultados da Solução 1. É possível então concluir que o vidro de baixa

emissividade, tem um comportamento mais benéfico em termos do bloqueio da radiação solar do que o estore veneziano interior. Devido ao aumento das necessidades de arrefecimento, a melhoria de uma forma global é baixa, ou até mesmo negativa como para o caso da orientação de 240°.

É importante perceber se o facto de não haver diminuição das necessidades de arrefecimento, se deve à escolha do DPS ou ao controlo de ativação do mesmo. Para tal foi simulada a mesma solução, mantendo tudo igual exceto o limite necessário para a ativação do DPS, que será diminuído para 50 W/m<sup>2</sup>.

Nas tabelas 4.36 e 4.37 encontram-se indicados os resultados obtidos para essas simulações.

Como é possível observar após a implementação do novo limite de radiação solar incidente, o resultado continua a ser muito aproximado ao valor anterior, pelo que é possível concluir que o motivo para a baixa diminuição dos ganhos solares durante a estação de arrefecimento se deve à escolha do DPS.

Tabela 4.36 - Solução 5.2 (50 W/m<sup>2</sup>) - Necessidades energéticas (kWh/m<sup>2</sup>) - Orientações de 60° e 150°

Mês	Orientação - 60°		Mês	Orientação - 150°	
	Aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> )	Arrefecimento (kWh/m <sup>2</sup> )		Aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> )	Arrefecimento (kWh/m <sup>2</sup> )
Janeiro	4,3	0,0	Janeiro	4,4	0,0
Fevereiro	3,4	0,0	Fevereiro	3,5	0,0
Março	1,6	0,0	Março	1,9	0,0
Abril	1,2	0,0	Abril	1,4	0,0
Maio	0,1	0,0	Maio	0,2	0,0
Junho	0,0	0,4	Junho	0,0	0,2
Julho	0,0	3,5	Julho	0,0	2,4
Agosto	0,0	3,2	Agosto	0,0	2,2
Setembro	0,0	2,7	Setembro	0,0	2,1
Outubro	0,1	0,1	Outubro	0,1	0,0
Novembro	1,3	0,0	Novembro	1,4	0,0
Dezembro	3,5	0,0	Dezembro	3,6	0,0
	<b>15,5</b>	<b>9,8</b>		<b>16,4</b>	<b>7,0</b>
	<b>25,3</b>			<b>23,4</b>	

Tabela 4.37 - Solução 5.2 (50 W/m<sup>2</sup>) - Necessidades energéticas (kWh/m<sup>2</sup>) - Orientações de 240° e 330°

Mês	Orientação - 240°		Mês	Orientação - 330°	
	Aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> )	Arrefecimento (kWh/m <sup>2</sup> )		Aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> )	Arrefecimento (kWh/m <sup>2</sup> )
Janeiro	4,5	0,0	Janeiro	4,1	0,0
Fevereiro	3,5	0,0	Fevereiro	3,3	0,0
Março	1,8	0,0	Março	1,7	0,0
Abril	1,3	0,0	Abril	1,3	0,0
Maio	0,1	0,0	Maio	0,2	0,0
Junho	0,0	0,3	Junho	0,0	0,2
Julho	0,0	3,4	Julho	0,0	2,4
Agosto	0,0	2,9	Agosto	0,0	2,4
Setembro	0,0	2,4	Setembro	0,0	2,4
Outubro	0,1	0,1	Outubro	0,1	0,1
Novembro	1,4	0,0	Novembro	1,2	0,0
Dezembro	3,7	0,0	Dezembro	3,3	0,0
	<b>16,5</b>	<b>9,2</b>		<b>15,2</b>	<b>7,5</b>
	<b>25,6</b>			<b>22,7</b>	

Como tal irá ser adotado soluções pelo exterior por forma a perceber se funcionam melhor em termos de bloqueio da radiação solar. Devido às restrições técnicas e arquitetónicas mencionadas anteriormente optou-se por uma solução mais flexível em termos de utilização e impacte visual, uma pala horizontal (Fig 4.2).



Figura 4.2 - Pala Horizontal Compatível com a Traça do Edifício

## 4.6 – Solução 6 – Pala horizontal

No ponto anterior foi possível concluir que uma solução de vidro de baixa emissividade sem qualquer DPS, produz resultados mais vantajosos em termos de diminuição da energia necessária para climatização do caso de estudo, que uma solução de estore veneziano colocado pelo interior e controlo de acordo com um limite imposto de radiação máxima incidente no vão envidraçado. No ponto 2.2.4.1 já tinha sido abordado algumas das desvantagens da colocação de um DPS pelo interior.

Por esse motivo, neste ponto será abordada uma solução posicionada pelo exterior por forma a perceber os benefícios que dela advém.

Primeiramente, antes de dar início às simulações, é necessário executar o dimensionamento das palas (Figura 4.3).

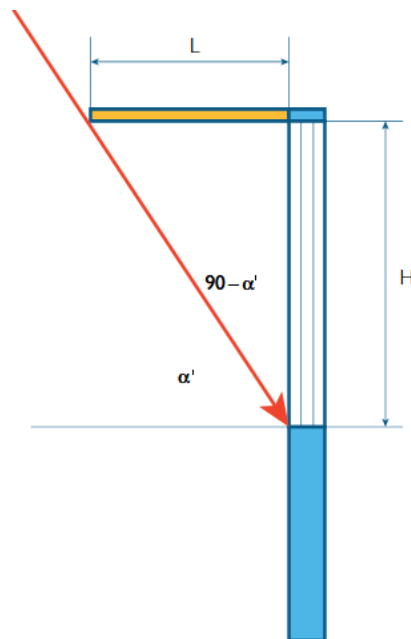


Figura 4.3 - Dimensionamento pala de sombreamento (Adaptado de [84])

Por forma a determinar-se o comprimento da pala,  $L$ , em metros, é necessário saber a altura do vão envidraçado  $H$ , em metros, e a altitude solar para os meses que se pretende bloquear a radiação solar. Como o edifício tem necessidades de aquecimento elevadas, irá procurar-se que, o sombreamento efetuado pela pala, atue apenas para os meses de arrefecimento. Como tal é necessário sombrear de maio até

setembro. No entanto tendo em conta a figura 2.3, o facto de se sombrear até setembro, irá de forma involuntária sombrear meses de Inverno. Sendo assim optou-se por sombrear de maio até início de agosto. Como tal foi necessário calcular a altitude solar para o mês de maio, sendo esta de 65,9°.

Após ser determinada a altitude solar e sabendo a altura de ambos os vãos envidraçados, 2,0 metros para a porta e 1,1 metros para a janela é possível calcular o comprimento da pala através da seguinte expressão.

$$L = H \times tg(90 - \alpha') \quad (4.1)$$

Da aplicação da equação 4.1, resultou que a pala a colocar sobre a porta têm um comprimento de 0,9m enquanto para as janelas, esta será de menor dimensão, tendo um comprimento de 0,5m.

De salientar ainda, que a colocação das palas será apenas feita nos vãos envidraçados que não se encontrem orientados segundo o quadrante norte. Daqui resulta que cada orientação terá apenas uma pala colocada sobre o vão envidraçado orientado em direção ao quadrante sul. A colocação de palas segundo o quadrante Norte, pode ser feita por razões arquitetónicas, não trazendo qualquer vantagem nem desvantagem em termos energéticos visto os ganhos através de esses vãos serem mínimos.

Após o dimensionamento das palas é possível iniciar as simulações da presente solução.

Os resultados destas simulações encontram-se indicados nas tabelas 4.38 e 4.39.

Tabela 4.38 - Solução 6 - Necessidades energéticas (kWh/m<sup>2</sup>) - Orientações de 60° e 150°

Mês	Orientação - 60°		Mês	Orientação - 150°	
	Aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> )	Arrefecimento (kWh/m <sup>2</sup> )		Aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> )	Arrefecimento (kWh/m <sup>2</sup> )
Janeiro	4,3	0,0	Janeiro	4,3	0,0
Fevereiro	3,3	0,0	Fevereiro	3,4	0,0
Março	1,6	0,0	Março	1,9	0,0
Abril	1,2	0,0	Abril	1,4	0,0
Maio	0,0	0,0	Maio	0,1	0,0
Junho	0,0	0,4	Junho	0,0	0,3
Julho	0,0	3,8	Julho	0,0	2,9
Agosto	0,0	3,4	Agosto	0,0	2,6
Setembro	0,0	3,0	Setembro	0,0	2,4
Outubro	0,1	0,1	Outubro	0,1	0,0
Novembro	1,3	0,0	Novembro	1,3	0,0
Dezembro	3,4	0,0	Dezembro	3,5	0,0
	<b>15,2</b>	<b>10,7</b>		<b>16,0</b>	<b>8,2</b>
	<b>25,9</b>			<b>24,2</b>	

Tabela 4.39 - Solução 6 - Necessidades energéticas (kWh/m<sup>2</sup>) - Orientações de 240° e 330°

Mês	Orientação - 240°		Mês	Orientação - 330°	
	Aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> )	Arrefecimento (kWh/m <sup>2</sup> )		Aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> )	Arrefecimento (kWh/m <sup>2</sup> )
Janeiro	4,4	0,0	Janeiro	4,0	0,0
Fevereiro	3,4	0,0	Fevereiro	3,3	0,0
Março	1,7	0,0	Março	1,8	0,0
Abril	1,2	0,0	Abril	1,4	0,0
Maio	0,0	0,0	Maio	0,1	0,0
Junho	0,0	0,5	Junho	0,0	0,3
Julho	0,0	3,9	Julho	0,0	2,8
Agosto	0,0	3,4	Agosto	0,0	2,6
Setembro	0,0	2,8	Setembro	0,0	2,5
Outubro	0,1	0,1	Outubro	0,1	0,1
Novembro	1,4	0,0	Novembro	1,2	0,0
Dezembro	3,6	0,0	Dezembro	3,2	0,0
	<b>15,9</b>	<b>10,6</b>		<b>15,1</b>	<b>8,2</b>
	<b>26,4</b>			<b>23,3</b>	

- Comparação com a Solução 4

Nas tabelas 4.40 e 4.41 encontram se indicadas as comparações referentes às necessidades energéticas para climatização entre a Solução 4 e Solução 6.

Tabela 4.40 - Comparação da Solução 4 com a Solução 6 - Orientação 60° e 150°

	Orientação - 60°			Orientação - 150°		
	Aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Arrefecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Totais (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Arrefecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Totais (kWh/m <sup>2</sup> .ano)
Solução 4	14,2	13,3	27,5	15,2	9,2	24,5
Solução 6	15,2	10,7	25,9	16,0	8,2	24,2
	-7%	19%	6%	-5%	11%	1%

Tabela 4.41 - Comparação da Solução 4 com a Solução 6 - Orientação 240° e 330°

	Orientação - 240°			Orientação - 330°		
	Aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Arrefecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Totais (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Aquecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Arrefecimento (kWh/m <sup>2</sup> .ano)	Totais (kWh/m <sup>2</sup> .ano)
Solução 4	15,2	12,0	27,2	13,8	9,9	23,7
Solução 6	15,9	10,6	26,4	15,1	8,2	23,3
	-4%	12%	3%	-9%	17%	2%

Como é possível observar pelas tabelas anteriores existe uma melhoria relativamente ao arrefecimento, no entanto essa melhoria é menor do que a da solução 5. Como dito anteriormente no ponto 2.2.4.2, as palas horizontais são mais eficazes para fachadas orientadas a sul, visto nenhuma das fachadas ser orientada a sul, o impacto que estas têm nas necessidades de arrefecimento diminui.

Segundo *Kim et al*, a implementação de uma pala de sombreamento em vãos envidraçados de um edifício residencial em Seul na Coreia do Sul, traduz-se numa diminuição de cerca de 11% nas necessidades de energia para arrefecimento [85].

De acordo com um artigo publicado por *Bellia et al*, [ref??] em que foram colocadas palas de sombreamento de 1 metro de comprimento, em edifícios de escritório, em três cidades italianas (Palermo, Roma e Milão), foram obtidos valores percentuais, bastante dispares, dependendo do clima de cada uma das cidades.

No caso de Palermo, sendo esta a cidade com o clima mais exigente ao nível das necessidades de arrefecimento, obtiveram valores de cerca de 20% de diminuição das necessidades totais de energia para climatização. Para Roma, com o clima mais

intermédio, a redução foi de cerca de 15%, enquanto para Milão, sendo esta a mais fria das três cidades, a redução foi de apenas 8%, concluindo assim que as palas são mais eficazes em climas mais quentes [86]. A diminuição verificada para Milão aproxima-se mais da apresentada para o caso de estudo, visto a unidade hoteleira estar implantada numa região mais fria, e tratando-se de um edifício com necessidades de aquecimento maiores.

Contudo, se fosse adotada uma solução dinâmica, isto é, um toldo em vez de uma pala, seria possível eliminar o acréscimo das necessidades de aquecimento, devido ao facto deste se encontrar recolhido ao longo da estação de inverno, não existindo por isso qualquer DPS durante este período tal como na solução 4, resultando numa melhoria das necessidades totais de energia para climatização.

Esta solução para além do benefício em termos energéticos, possui ainda outras vantagens, como por exemplo, proteção da chuva e do sol para os utentes do edifício, ficando, no entanto, aquém do estore veneziano em termos de privacidade.

## 4.7 – Resumo das simulações

---

Após a conclusão de todas as simulações é necessário perceber-se qual a solução que apresenta menores necessidades de energia para climatização do caso de estudo, para cada uma das orientações. Para tal irão ser compilados todos os resultados apresentados anteriormente, por orientação por forma a facilitar a análise das soluções estudadas.

Pela análise da figura 4.3, é possível observar que a solução que apresenta menores necessidades de energia para climatização do espaço, para a orientação de 60°, é a solução 2.

Esta solução destaca-se, pois, apresenta o melhor equilíbrio entre as necessidades de aquecimento e arrefecimento. Em termos de arrefecimento é a terceira solução mais eficaz, sendo apenas 2,4% pior que a solução 3 e 6,0% pior que a solução 1.

A presença de um vidro de baixa emissividade, bastante eficiente em termos do bloqueio dos raios solares, resultou ser uma solução bastante eficaz no caso de estudo.

No caso das três primeiras soluções, este serviu bastante bem para combater os ganhos solares devido à inexistência de um DPS ou a utilização destes de forma errada.

Contudo, o fator que torna a solução 2, menos eficiente em termos de arrefecimento quando comparada com a solução 1 e 3, é a que a torna a melhor solução de uma forma geral.

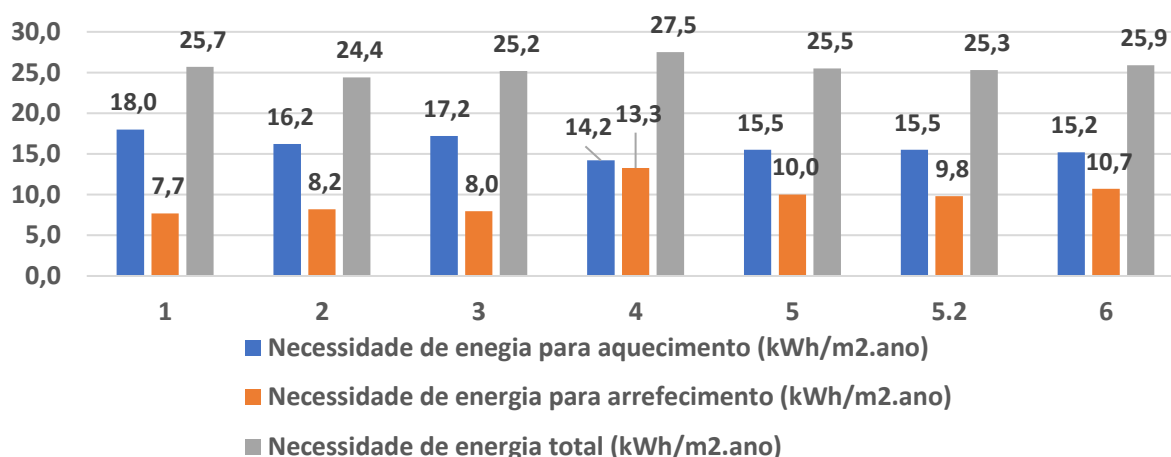


Figura 4.4 - Resumo das simulações - Orientação 60°

A presença de um sistema de portadas pelo exterior, apesar de este não contribuir para o bloqueio dos raios solares durante grande parte do dia, devido a não estar ativo em grande parte do tempo, executa uma função determinante durante o período noturno. A implementação do sistema de portadas origina uma diminuição das perdas através do vão envidraçado, já estudada no ponto 4.2, que conseqüentemente, provoca uma diminuição das necessidades de aquecimento. Sendo o edifício, propício a maiores necessidades de aquecimento de uma forma geral, devido em grande parte a paredes exteriores com elevada massa, isto é, elevada inércia térmica, e a vão envidraçados de dimensões reduzidas, a implementação de um DPS que contribua de forma passiva à redução das perdas de calor através do vão envidraçado, representa uma solução bastante viável para o caso de estudo.

No entanto, apesar de existir uma diminuição das necessidades de aquecimento através da redução das perdas, a solução 2 é apenas a quinta melhor solução em termos de necessidades de aquecimento. Isto deve-se ao facto de, mesmo existindo uma diminuição das perdas de calor, o vidro de baixa emissividade, é bastante prejudicial

em termos de aquecimento, pois impede o aquecimento passivo do edifício através do aproveitamento dos ganhos solares ao longo da estação de inverno.

Para além da diminuição das perdas, foi estudada outra alternativa por forma a se reduzir as necessidades de aquecimento do edifício. Esta segunda hipótese passou pela utilização de um vidro duplo, mais tradicional, sem capa de baixa emissividade, solução 4. É possível observar pela figura 4.3, que esta solução em termos de aquecimento é a melhor entre todas as outras soluções estudadas, tendo, no entanto, também o maior valor de necessidades para arrefecimento.

A conjugação do vidro duplo tradicional, com um estore veneziano automático (Solução 5), originou resultados semelhantes aos da Solução 3. Sendo no entanto 3,6% menos eficiente que a solução 2.

Para as orientações de 150° e 240° a solução 2 mantém-se a melhor solução, como se pode observar nas figuras 4.4 e 4.5.

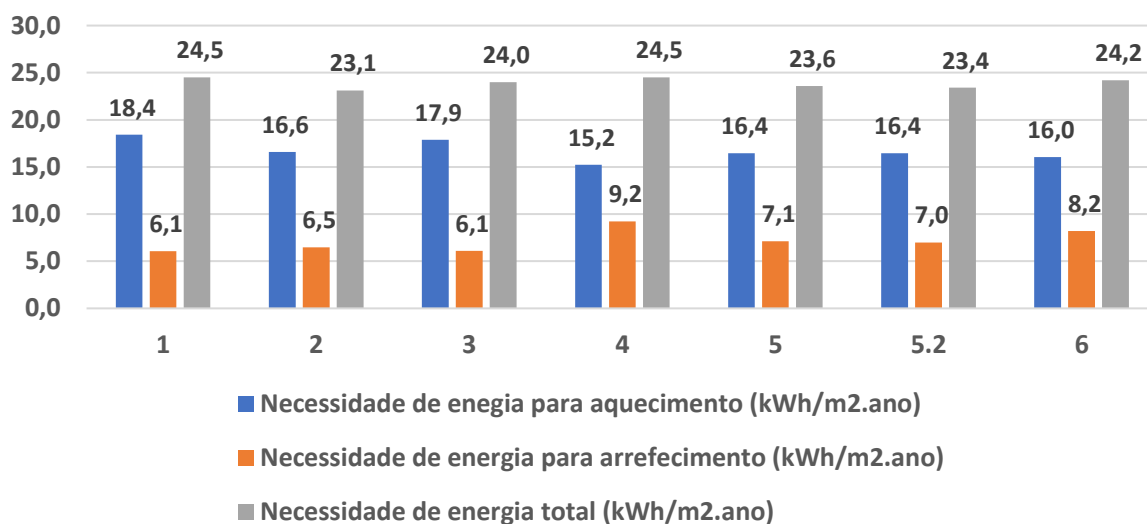


Figura 4.5 - Resumo das simulações - Orientação 150°

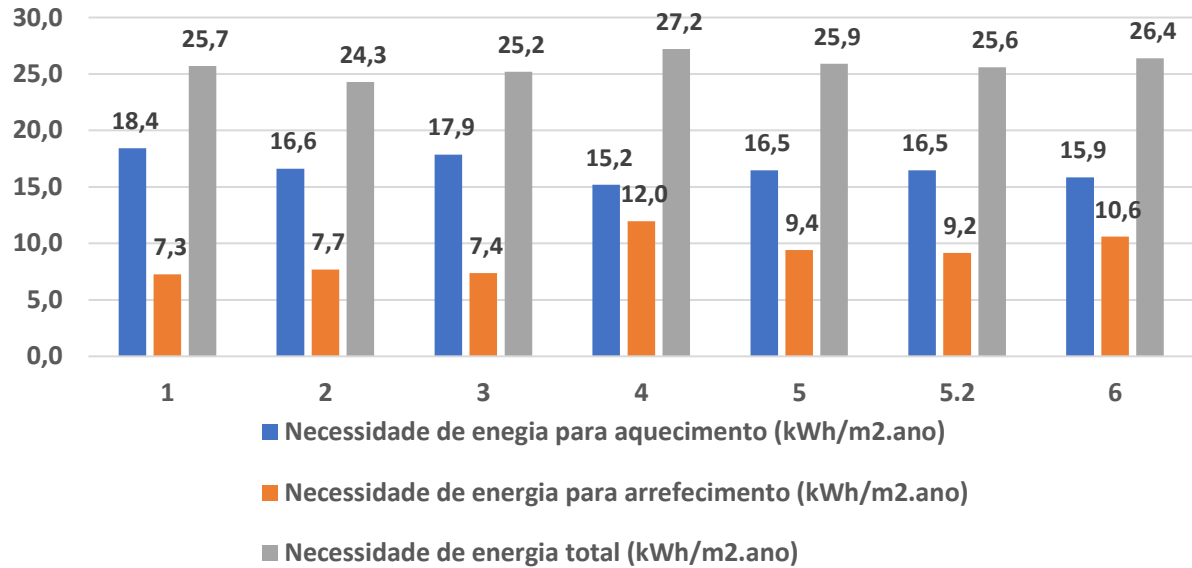


Figura 4.6 - Resumo das simulações - Orientação 240°

Contudo, para a orientação de 330°, a melhor solução passa a ser a solução 5.2, tendo, no entanto, um valor bastante próximo à solução 2, como é possível observar na figura 4.6.

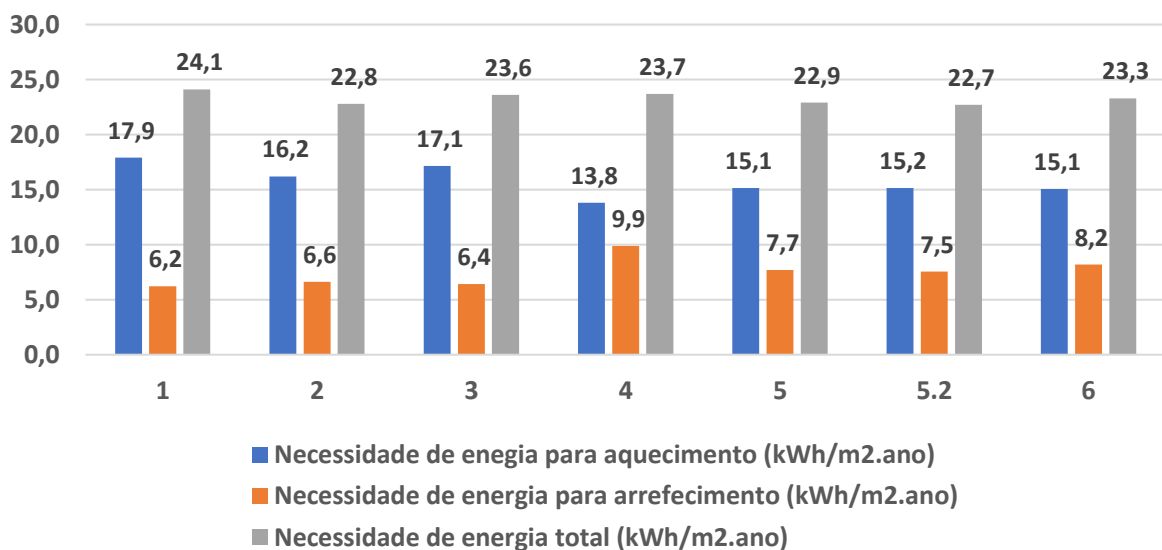


Figura 4.7 - Resumo das simulações - Orientação 330°

## Conclusões e trabalhos futuros

---

### 5.1– Conclusões gerais

---

Ao longo desta dissertação foi estudada a influência que, diferentes soluções de proteção solar, originam nas necessidades energéticas para climatização de um edifício. Foram realizadas diversas simulações para seis soluções diferente que respeitasse não só a arquitetura do edifício bem como o local no qual este se insere. Procurou-se encontrar a solução que resultaria nas menores necessidades de energia para manter a temperatura interior do caso de estudo entre os parâmetros de conforto indicados anteriormente. De seguida serão indicadas algumas das conclusões que foram identificadas ao longo do desenvolvimento desta dissertação.

- **Influência da orientação:** Devido à interessante geometria do edifício, foi possível analisar o impacte que a orientação de cada um dos quartos teria nas necessidades do mesmo. Sendo as necessidades de aquecimento as mais condicionantes para o caso de estudo, foi possível concluir que a melhor orientação seria aquela cuja qual houvesse um maior aproveitamento dos ganhos solares, de forma passiva, ao longo da estação de aquecimento. Ambas as orientações de 150° e 330° partilham da mesma orientação em termos de pontos cardeais, com a ligeira diferença em que a orientação de cada um dos vão envidraçados

é o oposto da outra. O facto de a orientação de 330° ter o vão com área superior, neste caso a porta, orientado segundo sudeste, faz com que as necessidades desta sejam menores em todas as soluções. Esta é uma análise interessante, em como o mesmo edifício orientado de forma diferente resulta em necessidades energéticas para climatização diferentes, chegando até 6% quando comparando a melhor orientação (330°) com as orientações de 60° e 240° para as soluções 1, 2 e 3 e a uma diferença de 10% para as soluções 5 e 6. Esta conclusão representa um fator importante a ter em conta durante a fase de projeto, por forma a tentar otimizar, se possível, a escolha da orientação dos vão envidraçados, de maneira a minimizar as necessidades energéticas. Contudo, para o caso de estudo, visto a geometria do mesmo e o facto de ser uma unidade hoteleira, é possível utilizar-se esta conclusão para perceber, que quartos ocupar primeiro por forma a minimizar as necessidades energéticas do edifício.

- **Vidro de baixa emissividade:** Este tipo de vidro mostrou ser bastante eficiente em termos de bloqueio da radiação solar, nas três primeiras soluções foi o elemento responsável pelo impedimento da penetração da radiação solar através do vão envidraçado, devido em grande parte, à inexistência ou utilização de forma errada dos dispositivos de proteção solar. Contudo as suas desvantagens também foram evidentes. Ao longo da estação de aquecimento, as soluções equipadas com este tipo de vidro, apresentaram as maiores necessidades de aquecimento para o edifício, entre 6 e 15% quando comparado com a solução 5. Como dito anteriormente, sendo as necessidades de aquecimento as mais condicionantes, procurou-se adotar uma outra solução de vidro que permitisse passagem da radiação solar para o interior do compartimento, diminuindo as necessidades de aquecimento durante o inverno, e com a utilização automática de um dispositivo de proteção solar, sendo possível diminuir as necessidades de arrefecimento ao longo do período de verão. Contudo, devido em grande parte às restrições técnicas e arquitetónicas que o edifício apresentava, as soluções de dispositivos de proteção solar utilizadas não mostraram ser as eficazes, ficando muito aquém da eficácia do vidro de baixa emissividade (18-24%). Isto

demonstra que apesar de o vidro de baixa emissividade apresentar uma vantagem bastante acentuada para climas variáveis, isto é, ambas as estações serem igualmente rigorosas, como foi o caso de Portalegre, esta solução pode ser a indicada para edifícios que apresentem elevadas restrições, tanto técnicas como arquitetónicas que impeçam a utilização de soluções de proteção solar mais eficientes, como ocorreu para este caso de estudo.

- **Colocação de dispositivo pelo interior:** Após a colocação de um vidro duplo sem capa de baixa emissividade, foi necessário a escolha de um dispositivo de proteção solar que permitisse uma ativação automática, para tal foi escolhido um sistema de estore veneziano com lâminas metálicas. Contudo, a colocação deste sistema pelo exterior iria contrastar com a fachada do edifício em análise tendo sido assim colocado o mesmo, mas pelo interior. No entanto, tal como referido no ponto 2.2.4.1, a colocação pelo interior de dispositivos de proteção solar não é a mais eficiente, pois permite a entrada de radiação solar para o interior do compartimento. Como indicado no ponto 4.5, a redução das necessidades de arrefecimento aquando da colocação de um estore veneziano pelo interior, é de 24%. Contudo quando a mesma solução é colocada pelo exterior, a redução das necessidades energéticas é maior, chegando a cerca de 45%. Isto demonstra, que sempre que possível, deve-se procurar implementar soluções pelo exterior.

## 5.2 – Recomendação de trabalhos futuros

---

Na presente dissertação foi apenas tido em consideração a influência que os DPS têm nas necessidades de energia para climatização de um edifício. Contudo, uma das desvantagens de algumas soluções de proteção solar, é o facto de reduzirem a iluminação do espaço. Por conseguinte, seria interessante abordar o impacte que estes sistemas originam nas necessidades energéticas para iluminação artificial.

As soluções apresentadas ao longo desta dissertação exibem resultados muito semelhantes entre si quando se analisa o valor total das necessidades energéticas. Contudo, cada solução tem custo de implementação associado e um custo de

exploração. Por esse motivo, seria importante perceber, a nível económico, qual a solução que se destaca, visto que ao longo do ano, os valores de necessidades energéticas serem idênticos.

A última recomendação passa pelo facto de o caso de estudo analisado apresentar algumas restrições, pelo que não foram estudadas diversas soluções de dispositivos de proteção solar. Sendo assim, é recomendável analisar diferentes zonas climáticas e um outro caso de estudo, que não apresente restrições, para que se possam estudar outras das soluções apresentadas no ponto 2.2.4.

## Referências

---

- [1] T. Tsoutsos, S. Tournaki, and M. Frangou, "Nearly Zero Energy Hotels in Europe - Flagship Projects and Tools for Hoteliers," 2016, [Online]. Available: [www.nezeh.eu](http://www.nezeh.eu).
- [2] Presidência do Conselho de Ministros, "Resolução do Conselho de Ministros N.º 107/2019 de 1 de julho de 2019," *D. da República, 1ª Série*, 2019.
- [3] Ambiente e Ação Climática and Presidência do Conselho de Ministros, "Decreto-Lei n.º 101-D/2020 de 7 de dezembro," *Diário da República n.º 237/2020, 1ª Série*, 2020.
- [4] European Commission, "Renovation Wave," *Eur. Union website*, no. October, 2020, doi: 10.2833/797135.
- [5] H. E. Solutions, "Analysis on Energy Use by European Hotels: Online Survey and Desk Research." 2011.
- [6] Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de Agosto, "Desempenho energético dos edifícios," *Diário da República*, 2013.
- [7] DGEG, "Pobreza Energética." <https://www.dgeg.gov.pt/pt/areas-transversais/politicas-de-protecao-ao-consumidor-de-energia/pobreza-energetica/>.
- [8] M. Bandeira, "Pobreza energética: Portugal é o quinto país europeu onde cidadãos têm mais dificuldades em aquecer casas," *Jornal Económico*. <https://jornaleconomico.sapo.pt/noticias/pobreza-energetica-portugal-e-o-quinto-pais-europeu-onde-cidadaos-tem-mais-dificuldades-para-aquecer-casas-531946> (accessed Feb. 19, 2021).
- [9] APA, "Plano Nacional Energia e Clima," 2019.
- [10] Conselho de Ministros, "Resolução do Conselho de Ministros n.º 8-A/2021," *Diário da República - I Série-B*, 2001.
- [11] J. W. Lee, H. J. Jung, J. Y. Park, J. B. Lee, and Y. Yoon, "Optimization of Building Window System in Asian Regions by Analyzing Solar Heat Gain and Daylighting Elements," *Renew. Energy*, 2013, doi: 10.1016/j.renene.2012.07.029.
- [12] EuroWindow, "The European House Needs Better Windows," 2009, [Online]. Available: [www.EuroWindow.org](http://www.EuroWindow.org).
- [13] D. Bush and I. O. Nava, "Guide to Low Energy Shading," 2013, [Online]. Available: [www.bbsa.org.uk](http://www.bbsa.org.uk).
- [14] R. L. Knowles, "The Solar Envelope: Its Meaning for Energy and Buildings," 2003.

- [15] F. J. S. De La Flor, R. O. Cebolla, J. L. M. Félix, and S. Á. Domínguez, "Solar Radiation Calculation Methodology for Building Exterior Surfaces," *Sol. Energy*, 2005, doi: 10.1016/j.solener.2004.12.007.
- [16] G. N. Tiwari, A. Tiwari, and Shyam, "*Handbook of Solar Energy Theory, Analysis and Applications.*" Springer, 2016.
- [17] European Solar-Shading Organization, "Solar Shading for Low Energy and Healthy Buildings," 2018.
- [18] A. Martinez-Gracia, I. Arauzo, and J. Uche, "Solar Energy Availability," *Sol. Hydrog. Prod. Process. Syst. Technol.*, 2019, doi: 10.1016/B978-0-12-814853-2.00005-9.
- [19] S. A. Kalogirou, "Environmental Characteristics," *Sol. Energy Eng.*, 2014, doi: 10.1016/b978-0-12-397270-5.00002-9.
- [20] University of Oregon, "Sun Path Chart Program." <http://solardat.uoregon.edu/SunChartProgram.php> (accessed Mar. 04, 2021).
- [21] W. Beck, D. Dolmans, G. Dutoo, A. Hall, and O. Seppänen, "*Solar Shading, How to Integrate Solar Shading in Sustainable Buildings.*" REHVA, 2010.
- [22] V. Bradshaw, "*The Building Environment: Active and Passive Control Systems.*" John Wiley & Sons, Inc., 2006.
- [23] F. M. A. Henriques, "*Comportamento higrotérmico de edifícios.*" 2016.
- [24] A. Andersen, "Daylight, Energy and Indoor Climate Basic Book," *VELUX*, 2014.
- [25] H. Bülow-hübe, "Energy-efficient Window Systems: Effects on Energy Use and Daylight in Buildings," Lund University, 2001.
- [26] M. Dubois, "Solar-Protective Glazing for Cold Climates A Parametric Study of Energy Use in Offices," Lund Institute of Technology, 1998.
- [27] C. G. Granqvist, "Fenestration for Reducing Building Cooling Needs: An Introduction to Spectral Selectivity, Thermochromics, and Electrochromics," *Eco-efficient Mater. Mitigating Build. Cool. Needs Des. Prop. Appl.*, 2015, doi: 10.1016/B978-1-78242-380-5.00016-9.
- [28] A. Höpe, "Diffuse Reflectance and Transmittance," *Exp. Methods Phys. Sci.*, 2014, doi: 10.1016/B978-0-12-386022-4.00006-6.
- [29] M. J. Riedl, "*Optical Design Fundamentals for Infrared Systems.*" SPIE - The International Society for Optical Engineering, 2001.
- [30] V. Viallet, V. Seznec, A. Hayashi, M. Tatsumisago, and A. Pradel, "*Glasses and Glass-Ceramics for Solid-State Battery Applications.*" Springer, 2019.
- [31] G. Leftheriotis and P. Yianoulis, "Glazings and Coatings," *Compr. Renew. Energy*,

- 2012, doi: 10.1016/B978-0-08-087872-0.00310-3.
- [32] E. Cuce, "Accurate and Reliable U-value Assessment of Argon-filled Double Glazed Windows: A Numerical and Experimental Investigation," *Energy Build.*, 2018, doi: 10.1016/j.enbuild.2018.04.036.
- [33] P. dos Santos and L. Matias, "*Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios.*" Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2006.
- [34] E. Allen and J. Iano, "*Fundamentals Of Building Construction Materials and Methods.*" John Wiley & Sons, Inc., 2019.
- [35] M. Hegger, V. Auch-Schwelk, M. Fuchs, and R. Thorsten, "*Construction Materials Manual.*" Birkhäuser Architecture, 2006.
- [36] L. Chen, Q. Wang, W. Chen, K. Huang, and X. Shen, "Investigation of a Novel Frosted Glass With Regular Pit Array Texture," *J. Mater. Process. Technol.*, 2016, doi: 10.1016/j.jmatprotec.2016.06.001.
- [37] M. Starý, F. Novotný, M. Horák, M. Stará, V. Hotař, and O. Matúšek, "Summary of the properties and benefits of glass mechanically frosted with an abrasive brush," *Constr. Build. Mater.*, vol. 206, pp. 364–374, 2019, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.02.062.
- [38] C. M. Popescu, "Wood as Bio-based Building Material," *Perform. Bio-based Build. Mater.*, 2017, doi: 10.1016/B978-0-08-100982-6.00002-1.
- [39] L. Kinney, "Windows and Window Treatments," 2004, [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/237427097\\_Windows\\_and\\_Window\\_Treatments](https://www.researchgate.net/publication/237427097_Windows_and_Window_Treatments).
- [40] M. Mandalaki and T. Tsoutsos, "Solar Shading Systems: Design, Performance, and Integrated Photovoltaics," *SpringerBriefs in Energy*, 2020, doi: <https://link.springer.com/book/10.1007%2F978-3-030-11617-0>.
- [41] A. Stack, J. Goulding, and J. O. Lewis, "*Shading Systems: Solar Shading for the European Climates.*" ENERGIE, 2006.
- [42] M. Wall and H. Bülow-Hübe, "*Solar Protection in Buildings.*" Division of Energy and Building Design Department of Construction and Architecture Lund Institute of Technology Lund University, 2003.
- [43] M. Zinzi, P. Ruggeri, F. Peron, E. Carnielo, and A. Righi, "Experimental Characterization and Energy Performances of Multiple Glazing Units with Integrated Shading Devices," *Energy Procedia*, 2017, doi: 10.1016/j.egypro.2017.04.002.
- [44] N. Lechner, "*Heating, Cooling, Lighting: Sustainable Methods for Architects.*"
-

- John Wiley & Sons, Inc., 2015.
- [45] P. Littlefair, *“Design for Improved Solar Shading Control.”* CIBSE, 2006.
- [46] Y. Architecture Desing, “Simple Modern Roof Designs.” <https://yr-architecture.com/simple-modern-roof-designs/> (accessed Apr. 01, 2021).
- [47] R. Krolke, “Davidson Renovation,” 2015. <https://hobbsjamieson.com.au/projects/davidson> (accessed Apr. 01, 2021).
- [48] D. Carroll, “Top Marks For Maple in Vertical Fin Façade Project,” 2019. <https://www.maplesunscreening.co.uk/news-and-insights/exchange-square> (accessed Apr. 01, 2021).
- [49] Metal Architect Kikukawa, “Bloomberg London, Exterior Fin,” 2017. <https://www.kikukawa.com/en/product/bloomberg-london-exterior-fin/> (accessed Apr. 01, 2021).
- [50] K. Nanthini, M. Laisa, N. Lobotoria, and N. Auckbaraulee, “Low-Energy Consumption Office Building,” vol. 1, no. 0328102, 2017.
- [51] Miles Ahead Blinds & Awnings, “Retractable and Folding Arm Awnings Melbourne.” <https://www.milesaheadblindsandawnings.com.au/awnings-melbourne/> (accessed Apr. 01, 2021).
- [52] A. Mohajerani, J. Bakaric, and T. Jeffrey-Bailey, “The Urban Heat Island Effect, Its Causes, and Mitigation, With Reference to the Thermal Properties of Asphalt Concrete,” *J. Environ. Manage.*, 2017, doi: 10.1016/j.jenvman.2017.03.095.
- [53] Alulux, “Tanext.” <https://www.alulux.com/roller-shutters/systems/product-lines/tanext/> (accessed Apr. 01, 2021).
- [54] MPVC, “O Estore Ideal para Cada Situação.” <https://www.mpvc.pt/outros-produtos/estores-exteriores/> (accessed Apr. 22, 2021).
- [55] Bandalux, “Aluminium Venetian Blinds.” <https://bandalux.com/en/product-system/aluminium-venetian-blinds> (accessed Apr. 01, 2021).
- [56] Blinds Hut, “Fabric, Venetian or Wooden Blinds: Which One is Right for Me?” <https://www.blinds-hut.co.uk/blogs/blinds-advice/fabric-venetian-or-wooden-blinds-which-one-is-right-for-me> (accessed Apr. 01, 2021).
- [57] C. Meek and J. Breshears, “Dynamic Solar Shading and Glare Control for Human Comfort and Energy Efficiency at UCSD: Integrated Design and Simulation Strategies,” *39th ASES Natl. Sol. Conf. 2010*.
- [58] I. D. P. Santos, “Performance Evaluation of Solar Shading Systems,” Instituto Superior Técnico de Lisboa, 2007.
- [59] SunGuard, “Sunscreen Roller Blinds.” <https://sunguard.nz/sunscreen-roller->

- blinds (accessed Apr. 01, 2021).
- [60] SunGuard, "Aluminium Outdoor Shutters." <https://sunguard.nz/aluminium-shutters> (accessed Apr. 01, 2021).
- [61] Impact Design Resources, "Exterior Shutters are Considered to be Architectural Adornment for Windows and Doors." <https://www.impactdesignresources.com/exterior/the-right-shutters-for-your-home-can-make-a-world-of-difference/> (accessed Apr. 01, 2021).
- [62] Designing Buildings Wiki, "Exterior Shutters," 2021. [https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Exterior\\_shutters](https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Exterior_shutters) (accessed Apr. 01, 2021).
- [63] J. Al Dakheel and K. T. Aoul, "Building Applications, Opportunities and Challenges of Active Shading Systems: A State-of-the-art review," *Energies*, 2017, doi: 10.3390/en10101672.
- [64] GB-SOL Architectural Solar Power, "Brise Soleil." <https://www.gb-sol.co.uk/products/buildingintegratedpv/brisesoleil/default.htm> (accessed Apr. 08, 2021).
- [65] Solar Gaps, "How Does Solar Gaps Work?" <https://solargaps.com/about-product/> (accessed Apr. 08, 2021).
- [66] M. Talaei, M. Mahdavinejad, and R. Azari, "Thermal and Energy Performance of Algae Bioreactive Façades: A Review," *J. Build. Eng.*, 2020, doi: 10.1016/j.jobe.2019.101011.
- [67] S. G. Colt International, Arup, "SolarLeaf: Bioreactor Façade," 2013, [Online]. Available: [https://www.colinfo.co.uk/files/pdf/UK/SolarLeaf\\_bioreactor\\_facade.pdf](https://www.colinfo.co.uk/files/pdf/UK/SolarLeaf_bioreactor_facade.pdf).
- [68] M. Hay, "Hamburg Now Has an Algae-Powered Building," 2014. <https://www.good.is/articles/algae-powered-building> (accessed Apr. 22, 2021).
- [69] M. Frontczak, R. V. Andersen, and P. Wargocki, "Questionnaire Survey on Factors Influencing Comfort With Indoor Environmental Quality in Danish Housing," *Build. Environ.*, 2012, doi: 10.1016/j.buildenv.2011.10.012.
- [70] A. D. Galasiu and J. A. Veitch, "Occupant Preferences and Satisfaction with the Luminous Environment and Control Systems in Daylit Offices: A Literature Review," *Energy Build.*, 2006, doi: 10.1016/j.enbuild.2006.03.001.
- [71] L. G. Bakker, E. C. M. Hoes-van Oeffelen, R. C. G. M. Loonen, and J. L. M. Hensen, "User Satisfaction and Interaction with Automated Dynamic Facades: A pilot study," *Build. Environ.*, 2014, doi: 10.1016/j.buildenv.2014.04.007.

- [72] Reinhart C. F. and V. K., "Monitoring Manual Control of Electric Lighting and Blinds," *Light. Res. Technol.*, 2003, doi: 10.1191/1365782803li064oa.
- [73] S. G. Colaco, C. P. Kurian, V. I. George, and A. M. Colaco, "Prospective Techniques of Effective Daylight Harvesting in Commercial Buildings by Employing Window Glazing, Dynamic Shading Devices and Dimming Control—a Literature Review," *Build. Simul.*, 2008, doi: 10.1007/s12273-008-8126-8.
- [74] A. Tzempelikos and A. K. Athienitis, "The Impact of Shading Design and Control on Building Cooling and Lighting Demand," *Sol. Energy*, 2007, doi: 10.1016/j.solener.2006.06.015.
- [75] M. V. Nielsen, S. Svendsen, and L. B. Jensen, "Quantifying the Potential of Automated Dynamic Solar Shading in Office Buildings Through Integrated Simulations of Energy and Daylight," *Sol. Energy*, 2011, doi: 10.1016/j.solener.2011.01.010.
- [76] R. P. Leslie, R. Raghavan, O. Howlett, and C. Eaton, "The Potential of Simplified Concepts for Daylight Harvesting," *Light. Res. Technol.*, 2005, doi: 10.1191/1365782805li127oa.
- [77] M. H. Oh, K. H. Lee, and J. H. Yoon, "Automated Control Strategies of Inside Slat-type Blind Considering Visual Comfort and Building Energy Performance," *Energy Build.*, 2012, doi: 10.1016/j.enbuild.2012.09.019.
- [78] EnergyPlus, "What is EnergyPlus." <https://energyplus.net/quickstart> (accessed Jul. 23, 2021).
- [79] Despacho n° 15793-F, "Zonamento Climático," *Diário da República*, 2013.
- [80] S. G. G. C. Plus, "Climalit ® plus."
- [81] EnergyPlus, "Input Output Reference," 2010.
- [82] Ministério das Obras Públicas, "O Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE)-Decreto-Lei n.o 79/2006," *Diário da República*, 2006.
- [83] F. O. Cunha and A. C. Oliveira, "Comparison of nZEB Indicators for Hotel Renovations Under Different European Climatic Conditions," *Int. J. Low-Carbon Technol.*, 2021, doi: 10.1093/ijlct/ctaa059.
- [84] L. Jankovic, "*Designing Zero Carbon Buildings Using Dynamic Simulation Methods.*" Routledge, 2014.
- [85] G. Kim, H. S. Lim, T. S. Lim, L. Schaefer, and J. T. Kim, "Comparative Advantage of an Exterior Shading Device in Thermal Performance for Residential Buildings," *Energy Build.*, 2012, doi: 10.1016/j.enbuild.2011.10.040.

- [86] L. Bellia, F. De Falco, and F. Minichiello, "Effects of Solar Shading Devices on Energy Requirements of Standalone Office Buildings for Italian Climates," *Appl. Therm. Eng.*, 2013, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2013.01.039.