



UNIVERSIDADE DO ALGARVE

Faculdade de Ciências e Tecnologia – Campus Gambelas

Dissertação de Mestrado

Conforto e Energia em Edifícios Escolares
Universitários

Vera Sofia Ferreira Pires

Aluna nº 20407

e-mail: vsfp@sapo.pt

Orientador : Prof. Doutor Eusébio Conceição

FARO

2012

Declaro ser a autora deste trabalho, que é original e inédito.
Autores e trabalhos consultados estão devidamente citados no texto e constam da
listagem de referências incluída.

Vera Sofia Ferreira Pires

Agradecimentos

Mesmo considerando que esta dissertação é um trabalho de investigação individual, a sua realização não teria sido possível sem o apoio de várias pessoas. Como tal gostaria de lhes conceder os meus mais sinceros agradecimentos:

- Ao meu orientador Prof. Doutor. Eusébio da Conceição, pelo incentivo e entusiasmo na escolha da área a realizar a minha dissertação de mestrado e por todo o empenho e dedicação prestados ao longo do projeto. Obrigado pelo seu acompanhamento, disponibilidade, conselhos e sugestões que se revelaram cruciais para que o trabalho fosse bem-sucedido.

- À Sra. Paula Caboz e à Sra. Carla Maria Reis, que me ajudaram sempre que precisei, nomeadamente na obtenção das plantas dos edifícios.

- Ao Eng.º Artur Neves pelas dúvidas que me tirou e pelo apoio prestado.

- Ao meu marido e ao meu filho, pelo apoio em todas as alturas, pela compreensão, carinho e pelas palavras amigas nos momentos mais necessários.

- À minha irmã, por toda a força que me transmitiu nas horas mais difíceis, pela sua ajuda incondicional e por todo o carinho que sempre me deu.

- Por último é com grande contentamento que agradeço aos meus pais, pois sem eles e a sua ajuda incondicional, este trabalho nunca poderia ter sido desenvolvido.

Resumo

Os edifícios apresentam uma elevada dinâmica de crescimento, quer em termos de número total, quer em termos de utilização de energia. Assim, é fundamental criar novos edifícios que sejam mais eficientes energeticamente, aplicando um conjunto de ações e medidas que têm como objetivo a melhor utilização da energia, mantendo o conforto dos ocupantes e a produtividade das atividades dependentes da energia.

Com a realização deste trabalho pretende-se avaliar as condições energéticas de três edifícios da Universidade do Algarve (UAlg). Estes fazem parte da Faculdade de Ciências e Tecnologia (FCT), o edifício 1, 7 e 8. Os edifícios são de tipologia complexa e encontram-se na plenitude das suas funções.

Foram estudados vários fatores, tais como, resposta térmica de edifícios, avaliação do nível de conforto e qualidade do ar, horas de desconforto e consumo de energia para vários perfis de utilização, quer de ocupação, quer de ventilação, quer de utilização de sistemas de ar condicionado e aquecimento.

Foi executado um levantamento dos dados que foram utilizados como dados de entrada no programa *Efficient Buildings 3D*, nomeadamente a ocupação dos compartimentos, o volume dos compartimentos, a ventilação e os dados ambientais externos.

Após a simulação, procedeu-se à análise pormenorizada dos dados e foi efetuada uma comparação entre os edifícios. Em função dos resultados obtidos, é possível correlacionar as horas de desconforto e o consumo de energia provocado pelo sistema de ar condicionado e aquecimento.

Com a realização deste trabalho conclui-se que os compartimentos são confortáveis com a aplicação desses sistemas o que provoca um elevado consumo de energia. Desta forma, foi necessário propor algumas medidas de modo a reduzir esse consumo e a melhorar o conforto dos ocupantes.

Palavras-chave: Conforto térmico; qualidade do ar; eficiência energética; edifícios universitários; simulação numérica.

Abstract

The buildings have a high dynamic growth, in terms of total number both or in energy use. Thus, it is essential to create new buildings that are more energetically efficient by applying a set of actions and measures that aim to better use of energy, maintaining occupant comfort and productivity of activities dependent on energy.

The purpose of this work is to evaluate the energy conditions of three buildings at the Algarve University (UAAlg). These are part of the Faculty of Science and Technology (FCT), the building 1, 7 and 8. All the buildings have a complex typology and are in the prime of their duties.

It was studied several factors, such as thermal response of buildings, evaluation of the comfort level and air quality, uncomfortable hours and energy consumption for various usage profiles, either occupancy or ventilation or use of air conditioning and heating system.

It was executed a survey of some parameters, which were used as input data in the program Efficient Buildings 3D in particular the occupation of compartments, the volume compartments, ventilation and external environmental data.

After the simulation, it was analyzed the details of the data and a balance between the buildings was made. Depending on the results obtained, is possible to correlate the uncomfortable hours and energy consumption caused by the air conditioning system and heating.

With this work it was concluded that the compartments are comfortable with the application of these systems, which causes high energy consumption. Thus, it was necessary to propose some measures to reduce this consumption and improve occupant comfort.

Keyword: Thermal comfort; air quality; energy efficiency; university buildings; numerical simulation.

Índice Geral

AGRADECIMENTOS	III
RESUMO	V
ABSTRACT	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABELAS	XIII
SIGLAS E ABREVIATURAS	XV
1. OBJETIVOS	1
2. INTRODUÇÃO	3
3. ESTADO ATUAL DO CONHECIMENTO	5
3.1 TIPO DE EDIFÍCIOS	6
3.1.1 Edifícios residenciais	7
3.1.2 Edifícios de serviços	7
3.2 CONSUMO DE ENERGIA	8
3.3 RESPOSTA TÉRMICA DE EDIFÍCIOS	10
3.4 AVALIAÇÃO DO NÍVEL DE CONFORTO TÉRMICO	10
3.5 QUALIDADE DO AR E VENTILAÇÃO DE ESPAÇOS INTERIORES	12
3.6 IMPORTÂNCIA DA RADIAÇÃO SOLAR NOS EDIFÍCIOS	14
3.7 REGULAMENTAÇÃO TÉRMICA	16
4. CASOS DE ESTUDO	19
4.1 LOCALIZAÇÃO	19
4.2 CARACTERIZAÇÃO	19
5. PROJETO	23
5.1 DADOS DE ENTRADA	24
5.2 METODOLOGIA	30
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
6.1 EDIFÍCIO 1	33
6.1.1 Inverno	36
6.1.2 Verão	42
6.2 EDIFÍCIO 7	47
6.2.1 Inverno	49
6.2.2 Verão	54
6.3 EDIFÍCIO 8	60

6.3.1 Inverno.....	62
6.3.2 Verão	68
6.4 CONSIDERAÇÕES GERAIS	73
7. CONCLUSÕES FINAIS	75
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77

Índice de Figuras

Figura 3.1 – Balanço térmico do corpo humano (Silva, 2010).....	11
Figura 3.2 – Percurso do sol ao longo do ano (Gonçalves <i>et al</i> , 2004).....	15
Figura 4.1 – Mapa da Universidade do Algarve – Campus de Gambelas onde se encontra assinalada a localização dos edifícios em estudo (Google Earth, 2012)	21
Figura 4.2 – Desenho em 3D assistido por computador do caso de estudo. Comparação entre os edifícios que vão ser estudados. a) Edifício 1 da FCT. b) Edifício 7 da FCT. c) Edifício 8 da FCT.	22
Figura 5.1 – Desenho em 3D assistido por computador dos vários pisos do edifício 1 com os compartimentos numerados. a) Rés-do-chão. c) Piso 1. d) Piso 2.....	25
Figura 5.2 – Desenho em 3D assistido por computador dos vários pisos do edifício 7 com os compartimentos numerados. a) Cave. b) Rés-do-chão. c) Piso 1. d) Piso 2	27
Figura 5.3 – Desenho em 3D assistido por computador dos vários pisos do edifício 8 com os compartimentos numerados. a) Piso 2. b) Piso 1. c) Rés-do-chão. d) Cave.	29
Figura 6.1 – Evolução, ao longo do dia, da concentração de dióxido de carbono (CO ₂) nas salas do edifício 1 com janelas voltadas a: a) Norte (N), b) Sul (S), c) Este (E) e d) Oeste (O).	35
Figura 6.2 – Evolução, ao longo de um dia de Inverno, do nível de radiação solar nas salas do edifício 1 com janelas voltadas a: a) Norte (N), b) Sul (S), c) Este (E) e d) Oeste (O).	37
Figura 6.3 – Evolução, ao longo de um dia de Inverno, do nível de temperatura do ar (Tar) nas salas do edifício 1, com o ar condicionado desligado e com janelas voltadas a: a) Norte (N), b) Sul (S), c) Este (E) e d) Oeste (O).	38
Figura 6.4 – Evolução, ao longo de um dia de Inverno, do nível de conforto térmico (PMV) nas salas do edifício 1, com o ar condicionado desligado e janelas voltadas a: a) Norte (N), b) Sul (S), c) Este (E) e d) Oeste (O).	39
Figura 6.5 – Evolução, ao longo de um dia de Inverno, do nível de temperatura do ar (Tar) nas salas do edifício 1, com o ar condicionado ligado e com janelas voltadas a: a) Norte (N), b) Sul (S), c) Este (E) e d) Oeste (O).	40
Figura 6.6 – Evolução, ao longo de um dia de Inverno, do nível de conforto térmico (PMV) nas salas do edifício 1, com o ar condicionado ligado e janelas voltadas a: a) Norte (N), b) Sul (S), c) Este (E) e d) Oeste (O).	41

Figura 6.7 – Evolução, ao longo de um dia de Verão, do nível de radiação solar nas salas do edifício 1 com janelas voltadas a: a) Norte (N), b) Sul (S), c) Este (E) e d) Oeste (O).	42
Figura 6.8 – Evolução, ao longo de um dia de Verão, do nível de temperatura do ar (Tar) nas salas do edifício 1, com o ar condicionado desligado e com janelas voltadas a: a) Norte (N), b) Sul (S), c) Este (E) e d) Oeste (O).	43
Figura 6.9 – Evolução, ao longo de um dia de Verão, do nível de conforto térmico (PMV) nas salas do edifício 1, com o ar condicionado desligado e janelas voltadas a: a) Norte (N), b) Sul (S), c) Este (E) e d) Oeste (O).	44
Figura 6.10 – Evolução, ao longo de um dia de Verão, do nível de temperatura do ar (Tar) nas salas do edifício 1, com o ar condicionado ligado e com janelas voltadas a: a) Norte (N), b) Sul (S), c) Este (E) e d) Oeste (O).	45
Figura 6.11 – Evolução, ao longo de um dia de Verão, do nível de conforto térmico (PMV) nas salas do edifício 1, com o ar condicionado ligado e janelas voltadas a: a) Norte (N), b) Sul (S), c) Este (E) e d) Oeste (O).	46
Figura 6.12 – Evolução, ao longo do dia, da concentração de dióxido de carbono (CO ₂) nas salas do edifício 7 com janelas voltadas a: a) Norte (N), b) Sul (S), c) Este (E) e d) Oeste (O).	49
Figura 6.13 – Evolução, ao longo de um dia de Inverno, do nível de radiação solar nas salas do edifício 7 com janelas voltadas a: a) Norte (N), b) Sul (S), c) Este (E) e d) Oeste (O).	50
Figura 6.14 – Evolução, ao longo de um dia de Inverno, do nível de temperatura do ar (Tar) nas salas do edifício 7, com o ar condicionado desligado e com janelas voltadas a: a) Norte (N), b) Sul (S), c) Este (E) e d) Oeste (O).	51
Figura 6.15 – Evolução, ao longo de um dia de Inverno, do nível de conforto térmico (PMV) nas salas do edifício 7, com o ar condicionado desligado e janelas voltadas a: a) Norte (N), b) Sul (S), c) Este (E) e d) Oeste (O).	52
Figura 6.16 – Evolução, ao longo de um dia de Inverno, do nível de temperatura do ar (Tar) nas salas do edifício 7, com o ar condicionado ligado e com janelas voltadas a: a) Norte (N), b) Sul (S), c) Este (E) e d) Oeste (O).	53
Figura 6.17 – Evolução, ao longo de um dia de Inverno, do nível de conforto térmico (PMV) nas salas do edifício 7, com o ar condicionado ligado e janelas voltadas a: a) Norte (N), b) Sul (S), c) Este (E) e d) Oeste (O).	54

Figura 6.18 – Evolução, ao longo de um dia de Verão, do nível de radiação solar nas salas do edifício 7 com janelas voltadas a: a) Norte (N), b) Sul (S), c) Este (E) e d) Oeste (O).	55
Figura 6.19 – Evolução, ao longo de um dia de Verão, do nível de temperatura do ar (Tar) nas salas do edifício 7, com o ar condicionado desligado e com janelas voltadas a: a) Norte (N), b) Sul (S), c) Este (E) e d) Oeste (O).	56
Figura 6.20 – Evolução, ao longo de um dia de Verão, do nível de conforto térmico (PMV) nas salas do edifício 7, com o ar condicionado desligado e janelas voltadas a: a) Norte (N), b) Sul (S), c) Este (E) e d) Oeste (O).	57
Figura 6.21 – Evolução, ao longo de um dia de Verão, do nível de temperatura do ar (Tar) nas salas do edifício 7, com o ar condicionado ligado e com janelas voltadas a: a) Norte (N), b) Sul (S), c) Este (E) e d) Oeste (O).	58
Figura 6.22 – Evolução, ao longo de um dia de Verão, do nível de conforto térmico (PMV) nas salas do edifício 7, com o ar condicionado ligado e janelas voltadas a: a) Norte (N), b) Sul (S), c) Este (E) e d) Oeste (O).	59
Figura 6.23 – Evolução, ao longo do dia, da concentração de dióxido de carbono (CO ₂) nas salas do edifício 8 com janelas voltadas a: a) Norte (N), b) Sul (S), c) Este (E) e d) Oeste (O).	62
Figura 6.24 – Evolução, ao longo de um dia de Inverno, do nível de radiação solar nas salas do edifício 8 com janelas voltadas a: a) Norte (N), b) Sul (S), c) Este (E) e d) Oeste (O).	63
Figura 6.25 – Evolução, ao longo de um dia de Inverno, do nível de temperatura do ar (Tar) nas salas do edifício 8, com o ar condicionado desligado e com janelas voltadas a: a) Norte (N), b) Sul (S), c) Este (E) e d) Oeste (O).	64
Figura 6.26 – Evolução, ao longo de um dia de Inverno, do nível de conforto térmico (PMV) nas salas do edifício 8, com o ar condicionado desligado e janelas voltadas a: a) Norte (N), b) Sul (S), c) Este (E) e d) Oeste (O).	65
Figura 6.27 – Evolução, ao longo de um dia de Inverno, do nível de temperatura do ar (Tar) nas salas do edifício 8, com o ar condicionado ligado e com janelas voltadas a: a) Norte (N), b) Sul (S), c) Este (E) e d) Oeste (O).	66
Figura 6.28 – Evolução, ao longo de um dia de Inverno, do nível de conforto térmico (PMV) nas salas do edifício 8, com o ar condicionado ligado e janelas voltadas a: a) Norte (N), b) Sul (S), c) Este (E) e d) Oeste (O).	67

Figura 6.29 – Evolução, ao longo de um dia de Verão, do nível de radiação solar nas salas do edifício 8 com janelas voltadas a: a) Norte (N), b) Sul (S), c) Este (E) e d) Oeste (O).	68
Figura 6.30 – Evolução, ao longo de um dia de Verão, do nível de temperatura do ar (Tar) nas salas do edifício 8, com o ar condicionado desligado e com janelas voltadas a: a) Norte (N), b) Sul (S), c) Este (E) e d) Oeste (O).	69
Figura 6.31 – Evolução, ao longo de um dia de Verão, do nível de conforto térmico (PMV) nas salas do edifício 8, com o ar condicionado desligado e janelas voltadas a: a) Norte (N), b) Sul (S), c) Este (E) e d) Oeste (O).	70
Figura 6.32 – Evolução, ao longo de um dia de Verão, do nível de temperatura do ar (Tar) nas salas do edifício 8, com o ar condicionado ligado e com janelas voltadas a: a) Norte (N), b) Sul (S), c) Este (E) e d) Oeste (O).	71
Figura 6.33 – Evolução, ao longo de um dia de Verão, do nível de conforto térmico (PMV) nas salas do edifício 8, com o ar condicionado ligado e janelas voltadas a: a) Norte (N), b) Sul (S), c) Este (E) e d) Oeste (O).	72

Índice de Tabelas

Tabela 6.1 – Ciclo de ocupação usado nos laboratórios do edifício 7.....	34
Tabela 6.2 – Ciclo de ocupação usado nas salas de aula do edifício 7.....	34
Tabela 6.3 – Ciclo de ocupação usado nas áreas de passagem do edifício 7.	34
Tabela 6.4 – Ciclo de ocupação usado nos gabinetes do edifício 7.	34
Tabela 6.5 – Ciclo de ocupação usado nos laboratórios do edifício 7.....	47
Tabela 6.6 – Ciclo de ocupação usado nas salas de aula do edifício 7.....	48
Tabela 6.7 – Ciclo de ocupação usado nas áreas de passagem do edifício 7.	48
Tabela 6.8 – Ciclo de ocupação usado nos gabinetes do edifício 7.	48
Tabela 6.9 – Ciclo de ocupação usado nos laboratórios do edifício 8.....	60
Tabela 6.10 – Ciclo de ocupação usado nas salas de aula do edifício 8.....	60
Tabela 6.11 – Ciclo de ocupação usado nas áreas de passagem do edifício 8.	61
Tabela 6.16 – Ciclo de ocupação usado nos gabinetes do edifício 8.....	61
Tabela 6.13 – Horas de desconforto por frio e consumo de energia, no Inverno, nos três edifícios	73
Tabela 6.14 – Horas de desconforto por calor e consumo de energia, no Verão, nos três edifícios	74

Siglas e Abreviaturas

ASHRAE – *American Society of Heating Refrigerating and Air-conditioning Engineers*

AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar-Condicionados

DGEG – Direção Geral de Geologia e Energia

FCT – Faculdade de Ciências e Tecnologia

FE – Faculdade de Economia

FER – Fontes de Energia Renovável

HDC – Horas de Desconforto por Calor

HDF – Horas de Desconforto por Frio

HDQA – Horas de Desconforto de Qualidade do Ar

PMV – Votação Média Previsível

PPD – Percentagem de pessoas insatisfeitas

QAI – Qualidade do Ar Interior

RCCTE – Regulamento das Características do Comportamento térmico de Edifícios

RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios

UALg – Universidade do Algarve

1. Objetivos

O objetivo principal deste trabalho consiste na avaliação do conforto térmico e da qualidade do ar em edifícios escolares universitários, recorrendo a um modelo de simulação.

Para manter o conforto dos ocupantes é necessário recorrer a sistemas de ar condicionado e aquecimento. Assim, estes edifícios detêm um elevado consumo de energia provocado por esses sistemas. Portanto, outro dos objetivos é propor medidas de forma a reduzir esse consumo, tendo em conta a garantia do conforto dos ocupantes, quer a nível térmico, quer a nível de qualidade do ar. Uma dessas medidas será propor uma ventilação apropriada às condições de utilização e exposição do edifício.

Com este estudo pretende-se também contribuir de forma positiva para futuras investigações.

2. Introdução

Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), a população mundial será de 8,5 milhares de milhões de habitantes em 2025 e atingirá os 10,2 milhares de milhões em 2100 sendo que os maiores aumentos de população serão nos países menos favorecidos. A par desta evolução demográfica, está também uma forte urbanização: suporte do desenvolvimento económico e social.

Estes fatores exercem uma enorme pressão no meio ambiente visto esgotarem os recursos e aumentarem os resíduos o que provoca a sobrecarga do biociclo natural levando à inevitável poluição (Lanham 2004).

Devido à redução do custo e massificação do uso da energia, desencadeado pela Revolução Industrial, aliado ao aumento dos padrões de vida das populações, o consumo energético teve um aumento exponencial. Como tal, este consumo exacerbado de energia levou à depleção de várias matérias-primas, assim como a uma crise ambiental. Apenas com estes indicadores ambientais deveriam ter sido tomadas medidas drásticas, de forma a travar este aumento do consumo energético. Mas foi com as crises petrolíferas de 1973 e 1979 que foram despoletadas medidas para reduzir o consumo energético e a elevada dependência do petróleo (Silva 2006).

Na área da construção, o fascínio pela técnica e a inconsciência de que os recursos podem esgotar, conduziram a que as boas práticas ancestrais fossem sendo esquecidas, talvez por se pensar que a tecnologia poderia resolver todos os problemas. Entrou-se então numa época em que grande parte dos princípios básicos de construção foi sendo substituída por interesses económicos ou estéticos e onde foi necessário, para suplantar o desconforto causado, introduzir soluções tecnológicas tais como sistemas de iluminação e climatização artificiais. Isto levou a que os consumos energéticos dos edifícios, sobretudo em energia elétrica subissem em flecha, consumos totalmente desnecessários que poderiam ser diminuídos ou mesmo eliminados seguindo outras vias. Ora esta realidade só começou a ser um problema quando se começou a falar não só da escassez de combustíveis fósseis, mas também do aquecimento global, provocado em grande parte pela emissão de gases de estufa como o CO₂ (Lanham 2004).

Esta temática, indiretamente tem promovido a aplicação de Fontes de Energia Renovável (FER) no sector da construção com o propósito de reduzir a escassez dos combustíveis fósseis e a degradação do meio ambiente. A utilização racional de energia através da recuperação do calor e do frio existente no ar e no solo, fortuitamente fará diminuir

as necessidades energéticas exógenas. Nesta vertente ecológica, conceitos como ventilação, aquecimento e resfriamento utilizando a energia ambiente têm sido sublinhados. A inevitável procura energética continua a ser um dos elementos chave para atender aos requisitos de sustentabilidade (Omer 2008).

3. Estado atual do conhecimento

Os edifícios definem espaços onde as pessoas passam mais de 80 % do tempo das suas vidas, pelo que devem oferecer as adequadas condições de conforto e de qualidade do ar interior. Neste contexto, os consumos energéticos associados à satisfação daquelas condições assumem valores de tal forma importantes que o “sector dos edifícios”, integrando as vertentes dos serviços e residencial é um dos sectores com mais consumo de energia em Portugal, representando Atualmente cerca de 22 % do consumo global em energia final, com uma taxa anual de crescimento significativo (4 % no sector residencial e 7 % nos serviços) e com perspectivas de aumento substancial (Gonçalves *et al.* 2005).

O uso da capacidade térmica num edifício pode reduzir o pico de calor ou a carga de arrefecimento e subsequentemente o consumo de energia (Olesen 2002), em particular quando é integrado com a ventilação noturna. A capacidade térmica é definida como a capacidade de absorção, armazenamento e libertação de calor que os materiais possuem, ou seja, armazena calor durante um período em que ocorrem temperaturas mais elevadas, libertando-o mais tarde na ocorrência dum período mais fresco no decorrer do dia (Geros *et al.* 1999; ASHRAE 1999, *in* Yang *et al.* 2008; Yam *et al.* 2003; Zhou *et al.* 2008). O que inclui a estrutura do edifício, mobiliário, paredes internas, entre outros como referiu também Conceição *et al.* (2003). Um dos parâmetros que nos dá a performance térmica de um edifício é a sua capacidade de armazenamento térmico (Conceição *et al.* 2006b).

No Sul de Portugal, a região Algarvia possui um clima bastante peculiar e apresenta altos níveis de radiação solar durante todo o ano, principalmente no Verão. Devido a esta característica, durante os meses de Inverno a temperatura do ar não é muito baixa, não obstante, podem-se registar valores indicadores de desconforto térmico. Esta situação influencia os ocupantes dos edifícios, a nível de conforto térmico (Kurazumia *et al.* 2008), e também contribui para um maior consumo de energia ao nível dos edifícios (Conceição *et al.* 2007b; 2007c; 2008c).

Em espaços amplos interiores, os objetivos ambientais requerem que se utilize ar condicionado de modo a atingir qualidade, temperatura e humidade relativa standardizadas (Conceição *et al.*, 2007b; 2007c), bem como um caudal de ar desejado (Lopes *et al.* 2008). No passar dos anos, estas normas têm vindo a ser substancialmente cada vez mais exigentes (Olesen 2002). Os utilizadores e construtores de edifícios de serviço, como escritórios ou escolas pedem um local de trabalho mais estimulante e com um melhor ambiente de trabalho (Aluclu *et al.* 2005 *in* Abrantes 2011).

A avaliação da performance dos edifícios é um ponto fulcral para a eficiência energética, pois apenas com o seu conhecimento, é possível identificar se os edifícios possuem, ou não, boa eficiência energética (Silva 2006).

No entanto, essa avaliação é um processo que implica um alto grau de dificuldade, pois um edifício é um sistema complexo, em que cada subsistema (paredes exteriores, cobertura, envidraçados) tem um papel importante na performance energética global (Silva 2006).

Assim, pode-se recorrer a modelos que simulam comportamentos supostamente reais. Estes modelos podem ir desde uma ideia que existe na nossa mente, desde cálculos numéricos até um elaborado programa computacional de simulação de edifícios. Como tal, dependendo do tipo de performance que se precisa prever e respetiva complexidade, deverá ser escolhido um método que se adapte (Silva 2006).

Neste trabalho será utilizado o programa *Efficient Buildings 3D*, que tem sido desenvolvido pelo Prof. Doutor. Eusébio da Conceição ao longo dos últimos anos.

Nos estudos térmicos de edifícios ou construções que sejam ou irão ser ocupadas por pessoas é bastante importante que se tenha uma boa ideia de qual irá ser o seu desempenho ou eficiência térmica, de preferência antes da construção, quando ainda se encontra em fase de projeto, porque dessa forma podem-se articular todo um conjunto de sistemas que permitirão um conforto térmico (como também explica Conceição *et al.* 2006b) e qualidade do ar superiores possivelmente em todas as divisões desse edifício, com um consumo de energia bastante baixo.

Em estudos de investigação deste cariz, os *softwares* de simulação numérica são vitais quando o objetivo é prever como se comportará termicamente e como afetará os seus ocupantes (Ruano *et al.* 2006). Estes *softwares* baseados em fenómenos térmicos e mássicos, devem ser sujeitos a diferentes tipos de testes de validação, quer em condições de Verão e de Inverno, quer para diferentes tipos de topologias dos edifícios. É também muito importante, neste tipo de estudo, dispor de informação, não só relativamente ao edifício, como também ao clima exterior, nomeadamente, às variáveis ambientais esperadas ao longo do ano na região onde o edifício irá ser construído (Conceição 2003; Conceição *et al.*, 2006a; 2006d; 2007a, 2008a; 2008b; 2008c).

3.1 Tipo de edifícios

O sector dos edifícios está entre os maiores consumidores energéticos e de matérias-primas. É estimado que, mundialmente, sejam emitidas 6 biliões de toneladas de dióxido de carbono devido à atividade humana.

Aproximadamente 37,5% destas emissões são, de uma forma ou de outra, devido ao sector dos edifícios. Na Europa, este sector utiliza cerca de um terço de todas as matérias-primas e energia final, produzindo gases relacionados com as alterações climáticas, ou seja, são GEE. A distribuição da emissão de GEE é dividida em 2/3 por parte de edifícios residenciais e 1/3 por parte dos edifícios de serviços.

Assim, os edifícios estão entre os grandes poluidores da atualidade. Com a construção de edifícios energeticamente mais eficientes seria possível reduzir em 60% as emissões de carbono, ou seja, em 1,35 bilhões de toneladas (Tzikopoulos *et al* 2005).

3.1.1 Edifícios residenciais

A qualidade dos edifícios residenciais e do conforto a eles associados têm aumentado ao longo do tempo, particularmente nos últimos anos.

As necessidades ligadas à higiene (casa de banho, esgotos, água corrente quente e fria), as necessidades básicas (fogão, frigorífico), as necessidades de conforto térmico (aquecimento e arrefecimento), e ainda o uso de equipamentos de entretenimento (TV, sistemas de som) e equipamentos elétricos de apoio às tarefas (computadores pessoais, eletrodomésticos, incluindo máquinas de lavar e secar), são comodidades que foram sendo postas gradualmente à disposição dos seus utilizadores. Estas comodidades traduzem-se num acréscimo de investimento e em geral, num maior consumo de energia e conseqüente aumento da emissão de gases que contribuem para o aquecimento global. Como resultado desta situação, o crescimento médio anual dos consumos de energia nos edifícios de habitação, entre 1990 e 2000, foi de 3,7%. Desde já estes gastos energéticos evidenciam a necessidade de uma atenção particular à Eficiência Energética dos equipamentos consumidores de eletricidade como forma de moderação dos consumos (Mendonça 2005).

Os consumos de energia nos edifícios residenciais distribuem-se, numa forma grosseira, deste modo: Cozinhas e Águas Quentes Sanitárias (AQS) 50%; iluminação e equipamentos (eletrodomésticos) 25%; aquecimento e arrefecimento 25% (Ogilvy 2002).

3.1.2 Edifícios de serviços

Os edifícios de serviços têm uma taxa de crescimento de consumo energético geralmente superior aos residenciais.

Há uma enorme heterogeneidade neste tipo de edifícios, desde uma simples loja até aos restaurantes, piscinas cobertas, hotéis, grandes superfícies comerciais, hospitais e escolas. O

desempenho energético deste grupo de edifícios tem de ser analisado de forma distinta, em função do tipo de edifício (Ogilvy 2002).

Estudos em hotéis e grandes superfícies mostram por exemplo, no sector hoteleiro, existe uma grande variação de consumos finais entre 50 e 600kWh/m².ano. Conclui-se que o consumo de energia elétrica em média aproximava-se dos 45% em relação ao consumo energético total, onde os maiores gastos são em aquecimento e arrefecimento ambiente [30 a 35%], seguindo-se as AQS [10 a 18%], cozinhas [16 a 18%], iluminação e lavandarias.

Os hipermercados e grandes superfícies comerciais são os edifícios de serviços onde se verificam os maiores consumos energéticos, sobretudo elétricos (98 a 99%). As utilizações finais mais importantes são, para os centros comerciais, a climatização com 70% e a iluminação 20%. No caso dos hipermercados, o frio industrial é preponderante com cerca de 35%, enquanto o ar condicionado e a iluminação têm a mesma ordem de grandeza (30 %) (Ogilvy 2002).

Concluiu-se assim, através deste estudo que os edifícios apresentam uma elevada dinâmica de crescimento, quer em termos de número total de edifícios existentes, quer em termos de utilização de energia em cada edifício. Trata-se também de um sector muito heterogéneo, englobando alguns edifícios muito eficientes e outros claramente maus utilizadores da energia em que há, portanto, um elevado potencial para melhoria.

3.2 Consumo de energia

A energia é mais do que simples números numa fatura; é a base de tudo o que se faz. A energia utiliza-se diariamente no transporte, na preparação dos alimentos, na climatização, no fabrico de inúmeros produtos, iluminação, abastecimento de água, no tratamento dos efluentes e até no lazer. Conta-se com a energia para se ter uma vida confortável, produtiva e agradável. Sustentar esta qualidade de vida requer que a energia seja sensatamente utilizada. A gestão dos recursos energéticos inclui, não apenas a redução do consumo de energia, mas também uma utilização mais eficiente.

As escolhas que se faz no modo como se consome a energia, desligar os equipamentos quando não estão em utilização ou adquirir equipamentos mais eficientes, têm impacto no ambiente e na qualidade de vida do Homem.

Neste momento, o consumo energético não está distribuído de forma equitativa. As Nações mais desenvolvidas têm consumos *per capita* muito mais elevados do que a média mundial. Por exemplo a América do Norte, em 2002, teve um consumo de energia final *per*

capita de 4.39 tep^a/pessoa, enquanto a média mundial estava nos 1.15 tep/pessoa. Ao se considerar a soma do consumo de energia final na América do Norte e União Europeia, é possível verificar que 40.7% do consumo de energia final está distribuído por 12.9% da população mundial (IEA Energy Statistics).

Outros indicadores energéticos importantes são o consumo de eletricidade e as emissões de CO₂.

Segundo a IEA Energy Statistics, é possível verificar que as tendências que estes indicadores seguem são semelhantes às do consumo de energia final. No caso do consumo de eletricidade, a América do Norte e a União Europeia representam 40.5% do consumo mundial e para as emissões de dióxido de carbono, 48.2% do total de emissões mundiais.

Em relação ao consumo energético por sector, em Portugal, segundo a DGEG, os sectores com maior peso são: transportes (36.4%), indústria (29%), doméstico (16.1%) e serviços (12.3%). De todos estes sectores, apenas a indústria e o doméstico utilizam fontes de energia renováveis. O sector doméstico, juntamente com o sector dos serviços representam cerca de 29% do consumo final de energia.

Neste contexto, e na sequência da apresentação do programa Nacional de Eficiência Energética em Edifícios, a Direção Geral de Geologia e Energia, desenvolveu, a partir de Maio de 2002, um programa destinado a fomentar a melhoria das condições de habitação e de bem-estar no interior dos edifícios, tendo em conta patamares de conforto e qualidade do ambiente interior, minimizando os acréscimos de consumos necessários à sua concretização e contribuindo de forma significativa para a redução de emissões de Dióxido de Carbono, por forma a contribuir para que Portugal possa cumprir os compromissos derivados do Protocolo de Quioto.

No último século, os combustíveis fósseis baratos, tem perdurado, porém poderão estar próximos do fim. De acordo com os dados do Balanço Energético divulgados anualmente pela DGEG e ao ter o ano de 2005 como referência, em que houve um consumo bruto de energia final de aproximadamente 20 milhões de tep, pode-se ver que este número tem diminuído ao longo dos últimos anos. Assim no ano de 2008, este consumo foi cerca de 19 milhões de tep.

Concluindo, o consumo energético é dos maiores problemas da atualidade. A humanidade está em luta contra o esgotamento das reservas de combustíveis sólidos, dos quais o Homem se tornou dependente, enquanto, por outro lado, a queima destes combustíveis fósseis causa grandes problemas ambientais (Wilde *et al.* 2004).

^a (tep) é uma unidade de energia definida como o calor libertado na combustão de uma tonelada de petróleo cru, aproximadamente 42 gigajoules

3.3 Resposta térmica de edifícios

As variáveis climáticas que mais influenciam os edifícios, em termos de transferência de calor, são a temperatura do ar exterior e a radiação solar. A temperatura do ar, variável indutora das trocas de calor através da envolvente do edifício, determina o estabelecimento de fluxos energéticos do interior para o exterior, fluxos estes, que ocorrem fundamentalmente no período de Inverno, tratando-se neste caso de perdas térmicas, enquanto no Verão o sentido do fluxo tem tendência a inverter-se e estar-se-á numa situação de ganhos térmicos (Gonçalves *et al.* 2004).

No Inverno, as perdas térmicas, constituem a razão principal para a diminuição da temperatura interior num edifício e é um dos principais aspetos a acautelar num projeto. A redução das perdas constitui pois, uma das medidas mais eficazes no sentido de melhorar as condições de conforto no interior de edifícios, e as medidas normalmente adotadas resultam na utilização de soluções de isolamento térmico nos elementos opacos (paredes, cobertura e pavimentos) e/ou a utilização de vidros duplos nos vãos envidraçados (Gonçalves *et al.* 2004).

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

No projeto térmico de edifícios é de extrema importância avaliar *à priori* o verdadeiro desempenho térmico do edifício, de forma a intervir antecipadamente, antes da sua construção e eliminar as cargas térmicas que se possam manifestar nefastas, quer num excessivo consumo de energia, quer em níveis de conforto não aceitáveis. Neste tipo de estudo os programas de simulação numérica são de uma importância crucial na previsão do comportamento térmico do edifício e na avaliação quer do nível de consumo de energia, quer dos níveis de conforto a que os ocupantes estão sujeitos (Conceição *et al.* 2006a; 2007a; 2007b; 2007c).

3.4 Avaliação do nível de conforto térmico

De um ponto de vista geral, segundo a ASHRAE (2004a), a sensação de conforto térmico pode ser definida como “o estado de espírito que expressa satisfação com o ambiente térmico”. Por outras palavras, uma pessoa está termicamente confortável quando não sente nem calor nem frio.

O conforto térmico resulta das trocas de calor existentes entre o corpo humano e o ambiente. Uma das exigências para o bem-estar e conforto é manter o equilíbrio térmico entre

o corpo humano e o meio ambiente. Isso implica conservar a temperatura interior do corpo à temperatura aproximada de 37°C, independentemente das variações das condições ambientais.

Uma forma simplificada de especificar as condições ambientes satisfatórias recorre apenas à temperatura do ar. No Regulamento das Características do Comportamento térmico de Edifícios (RCCTE, 2006) estabelecem-se as temperaturas de referência de 20°C e de 25°C, respetivamente, para as estações de aquecimento (Inverno) e de arrefecimento (Verão).

A RCCTE não refere níveis de conforto, mas sim temperaturas. Novas regulamentações, baseadas no Fanger (1970), refere níveis de conforto e qualidade do ar.

O nível de conforto térmico em ambientes moderados (não suscetíveis de causar variações significativas na temperatura do corpo humano) é avaliado recorrendo aos índices PMV (votação média previsível) e PPD (percentagem de pessoas termicamente insatisfeitas) de acordo com Fanger (1970). Os princípios basilares destes índices, definem que a neutralidade térmica do indivíduo é atingida quando o calor perdido pelo corpo equivale ao produzido pelo próprio metabolismo (PMV igual a zero).

O método desenvolvido por Fanger (1972) e adaptado na Norma ISO 7730 tem por base a determinação do índice PMV (Predicted Mean Vote) calculado a partir de uma equação de balanço térmico (ver figura 3.1) para o corpo humano, em que intervêm os termos de geração interna e de troca de calor com o ambiente circundante.

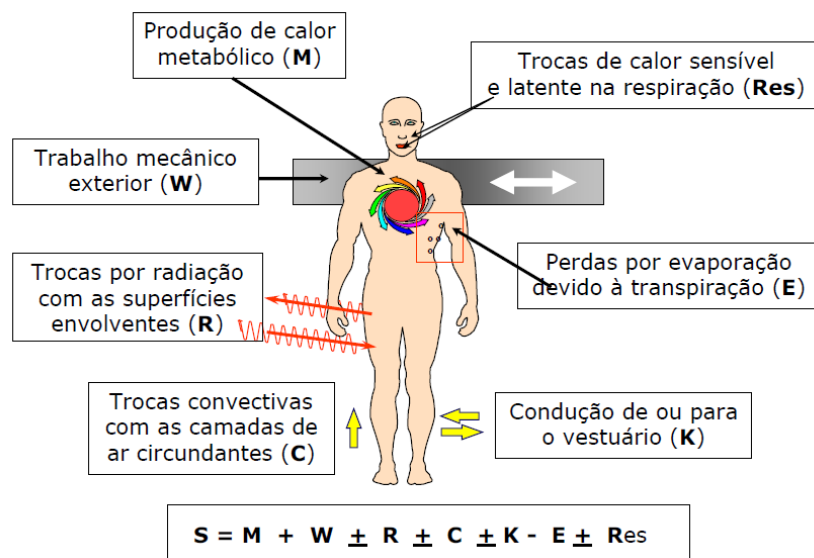


Figura 3.1 – Balanço térmico do corpo humano (Silva, 2010)

As normas preveem um intervalo admissível nas condições de conforto, dada a dificuldade na obtenção de condições de neutralidade térmica simultânea para todas as pessoas que partilham um determinado espaço no mesmo intervalo temporal (Conceição *et al.* 2006d).

Os ambientes térmicos, de acordo com ISO 7730 (2005), encontram-se classificados segundo três categorias (A, B e C). A referida norma estipula que num ambiente térmico de categoria A o índice varia entre -0.2 e 0.2 (PPD<6%), de categoria B varia entre -0.5 e 0.5 (PPD<10%) e de categoria C varia entre -0.7 e 0.7 (PPD<15%) (Conceição *et al.* 2006a; 2006b; 2006d).

Nos últimos anos têm sido efetuados vários estudos de forma a atualizar as normas de conforto térmico existentes. Vários autores verificaram que as normas ISO (2005) e ASHRAE (2010), não se aplicam a todos os locais e propuseram algumas soluções para melhorar estas normas.

Um estudo, realizado na Tailândia, mostrou que em escritórios equipados com ar-condicionado eram aceitáveis temperaturas de 28 °C e para escritórios com ventilação natural, a temperatura poderia chegar aos 31 °C (Glicksman *et al.* 2001).

Outro estudo foi realizado com o intuito de reduzir as cargas térmicas de arrefecimento registou votos de sensação térmica em alunos de liceu, utilizando arrefecimento por unidades ventiladoras. Este estudo concluiu que a temperatura neutra era de 30.6 °C com velocidade do ar de 1.0 m/s e humidade relativa entre 50 a 60%, mas que poderia chegar aos 33.5 °C se a humidade fosse entre 50 – 80% com velocidade do ar de 2.0 m/s (Khedari *et al.* 2000).

Em face das diferenças entre indivíduos e locais é impossível especificar condições de conforto que satisfaçam em simultâneo, todos os ocupantes de um mesmo edifício. Haverá sempre uma percentagem de ocupantes insatisfeitos.

Pode então concluir-se que o conforto térmico é reconhecido como não sendo um conceito exato, que não implica uma temperatura exata. O conforto térmico depende de fatores quantificáveis – temperatura do ar, velocidade do ar, humidade, etc. e de fatores não quantificáveis – estado mental, hábitos, educação, etc. Assim, as preferências de conforto das pessoas variam bastante consoante a sua aclimatização particular ao ambiente local (Khedari *et al.* 2000).

3.5 Qualidade do ar e ventilação de espaços interiores

A crise do petróleo no início dos anos setenta levou a uma maior tomada de consciência relativamente aos desperdícios de energia, nomeadamente nos sistemas de aquecimento e de arrefecimento utilizados. Para diminuir as perdas energéticas foi necessário proceder a uma melhoria do isolamento, reduzindo ao mesmo tempo as trocas de ar entre o interior e exterior, criando situações de confinamento do ar que geraram condições de degradação intoleráveis da qualidade do ar (Lemos 1997).

A qualidade do ambiente no interior de edifícios é uma preocupação que acompanha o Homem desde há séculos. Contudo, o aumento do tempo de permanência em edifícios (cerca de 80 % das nossas vidas acontece no seu interior) e as novas práticas construtivas, geradoras de potenciais deficiências de carácter higrotérmico (nível de humidade relativa do ar e temperatura do ar interior que provocam desconforto), têm vindo a incitar um crescente interesse por esta problemática (Pinto 2007).

É desejável que o ar seja percecionado como fresco e agradável, isto é, não tenha impacto negativo na saúde e estimule o trabalho e a atividade humana (Fanger 2005).

O ambiente interior dos edifícios é contaminado por substâncias que resultam da utilização corrente desses espaços ou que são emanadas pelos materiais que os integram (admitindo que o ar exterior não é fonte de poluição). Essas substâncias, dependendo das suas características e da sua concentração, podem ter efeitos sobre o bem-estar dos ocupantes, que vão desde a sensação ligeira de mal-estar até, no limite, originar doenças graves ou mesmo a morte, como no caso do monóxido de carbono (Viegas 2000).

A qualidade do ar interior (QAI) deve ser assegurada com a finalidade de evitar que poluentes perigosos atinjam concentrações que possam pôr em risco a saúde dos ocupantes (critério de saúde) e mantendo simultaneamente um ambiente agradável (critério sensorial. Quando a fonte mais importante de poluição é a ocupação humana, é corrente ser utilizado o dióxido de carbono como indicador para o critério sensorial. Este constitui o bioflúente humano mais importante e é proporcional ao metabolismo (Viegas 2000).

A norma *American Society of Heating Refrigerating and Air-conditioning Engineers* ASHRAE (2004) define um limite para a concentração do dióxido de carbono em ambientes interiores de 1800 mg/m^3 e um caudal de renovação do ar por ocupante e pelo tipo de espaço. Para edifícios escolares esta norma recomenda valores compreendidos entre 3.8 l/s e 5 l/s (unicamente renovação) e entre 4 l/s e 9.5 l/s (renovação e recirculação) por pessoa (*in* Conceição *et al* 2008).

O Decreto-Lei n.º 79/2006, de 4 de Abril 2006, define um caudal de renovação do ar para ambientes escolares de $35 \text{ m}^3/\text{h}$ por ocupante. Esta norma recomenda igualmente um limite para a concentração do dióxido de carbono em ambientes interiores de 1800 mg/m^3 .

A ventilação surge como uma estratégia fundamental no controlo da qualidade do ar interior.

Os edifícios estão sujeitos a trocas de massa de ar entre o interior e o exterior, dependendo das diferenças de temperatura no caso de processos de ventilação natural. Noutros edifícios, a ventilação é forçada por equipamento mecânico, de forma regulada e

controlada. Uma terceira ação, a do vento, poderá influenciar também de forma significativa o desempenho energético dos edifícios, contribuindo também para a ventilação natural (Gonçalves *et al.* 2004).

O clima influencia naturalmente a escolha do sistema de ventilação, variando este entre sistemas totalmente controláveis e baixa permeabilidade ao ar da envolvente (climas mais frios) até sistemas de ventilação natural (controlo quase nulo) e alta permeabilidade da envolvente (climas mais quentes) (Liddament 1996)

Em Portugal, no Inverno, quando a temperatura exterior apresenta praticamente sempre valores abaixo das condições de conforto, interessa limitar as infiltrações. No Verão, a ventilação natural assume um papel de relevo no arrefecimento noturno do edifício (Gonçalves *et al.* 2004).

Assim sendo, para garantir uma boa qualidade do ar em ambientes interiores, é necessário existirem entradas e saídas de ar novo, estrategicamente colocadas, com níveis de conforto térmico e desconfortos locais aceitáveis. O ar novo ao entrar no espaço deve proporcionar um micro-clima agradável em torno dos ocupantes, garantir uma boa qualidade do ar na zona de respiração e extrair os contaminantes libertados pelos mesmos (Conceição *et al.* 2006e)

Há que ter em conta que o conceito de qualidade do ambiente interior é bastante complexo e abrangente, dependendo de um grande número de fatores: temperatura, humidade relativa, iluminação, velocidade do ar, existência de odores, concentração de microrganismos ou poeiras em suspensão no ar, nível de ruído (Pinto *et al.* 2007).

3.6 Importância da radiação solar nos edifícios

Uma variável de grande importância para os edifícios, é a radiação solar. Esta variável tem um papel determinante no conforto térmico em qualquer edifício, sendo que no Inverno, constitui uma fonte de calor muito importante, contribuindo para o aumento da temperatura interior, constituindo no Verão uma fonte de calor a evitar, precisamente para evitar o aumento da temperatura interior nos edifícios (Gonçalves *et al.* 2004).

A energia solar depende de dois fatores: a trajetória do Sol e a duração da exposição solar. Sendo o Sol a maior fonte de energia utilizada na arquitetura bioclimática, é muito importante ter uma ideia da sua trajetória e do número de horas de Sol recebidas ao longo do dia e do ano (Lanham *et al.* 2004).

É a trajetória solar que define a duração da exposição solar, e o ângulo de incidência dos raios solares que determinam a intensidade da radiação (Lanham *et al.* 2004).

Em Portugal, no solstício de Inverno (21 de Dezembro) o sol nasce relativamente próximo da orientação Sudeste e põe-se relativamente próximo da orientação Sudoeste, variando o ângulo de azimute do Nascer e do Pôr-do-Sol com a latitude do lugar. Neste dia, o ângulo de altura do Sol apresenta os valores mais baixos de todo o ano.

Nos Equinócios (21 de Março e 21 de Setembro) o sol nasce exatamente na orientação Este e põe-se exatamente na orientação Oeste.

No solstício de Verão (21 de Junho) o sol nasce relativamente próximo da orientação Nordeste e põe-se relativamente próximo da orientação Noroeste, variando o ângulo de azimute do Nascer e do Pôr-do-Sol com a latitude do lugar. Neste dia, o ângulo de altura do Sol apresenta os valores mais altos de todo o ano (Gonçalves *et al.* 2004).

Na Figura 2.5 pode-se observar o percurso do sol durante o dia ao longo do ano.

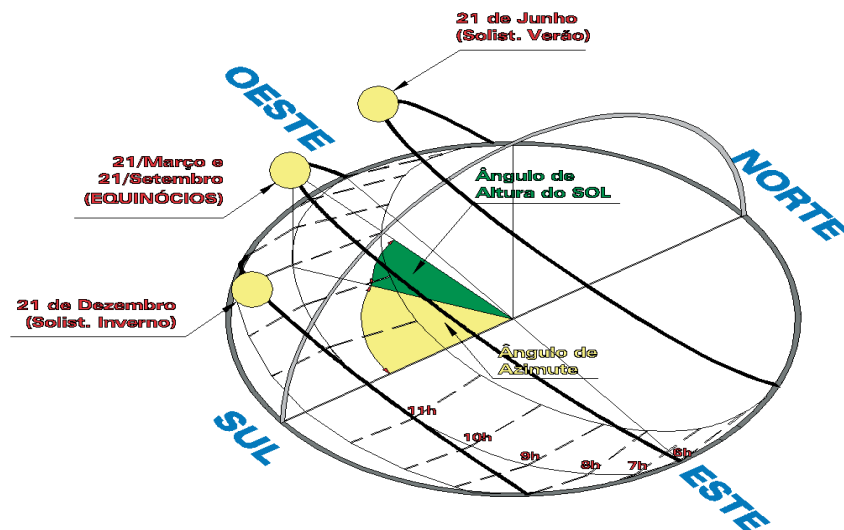


Figura 3.2 – Percurso do sol ao longo do ano (Gonçalves *et al.*, 2004)

A energia solar é na realidade a origem da maior parte das energias renováveis. A base da captação de energia solar em todos os sistemas passivos e nalguns sistemas ativos consiste no efeito de estufa, sendo para tal utilizadas superfícies seletivas, tais como o vidro, que permitam a passagem da radiação solar (Mendonça 2005)

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

No Verão interessa restringir esses mesmos ganhos, pelo que se apresenta importante que os vãos sejam dotados de dispositivos sombreadores eficazes (árvores de folha caduca, palas sombreadoras sobre os vidros). Principalmente nos vãos a Poente e Nascente.

Nos quadrantes Norte, Nascente e Poente, seria desejável que a abertura de vãos se restrinja a menores dimensões, desde que isso seja aceitável em termos das outras exigências também presentes no edifício (Gonçalves *et al.* 2004).

Para além do papel que o sol tem a nível térmico (radiação solar), também contribui para o fornecimento de iluminação do edifício.

Assim sendo, iluminação pode ser obtida de forma natural (luz solar), artificial (lâmpadas) ou uma combinação de ambas. Com vista à redução dos consumos energéticos dos edifícios, a iluminação natural é a melhor opção. A iluminação natural é a forma mais antiga de iluminação, mas na atualidade apenas ganhou popularidade desde a crise petrolífera. Em termos energéticos, a iluminação natural promove poupanças uma vez que não tem custos de operação, além de reduzir as necessidades de arrefecimento, devido a uma maior eficiência luminosa. Em edifícios comerciais a iluminação artificial pode chegar aos 33.3% da fatura energética total, enquanto em edifícios residenciais pode atingir os 25%. Como tal, a iluminação natural pode ser um fator essencial para a eficiência energética dos edifícios. É certo que a iluminação natural, devido à sua aleatoriedade e inexistência durante a noite, não pode satisfazer todas as necessidades de iluminação, mas nos períodos que está disponível pode reduzir substancialmente os consumos energéticos subjacentes à iluminação artificial (West 2001).

3.7 Regulamentação térmica

A implementação de regulamentação térmica é uma medida com grande potencial de diminuição do consumo energético dos edifícios, a partir da imposição de limitações, de várias formas, que condicionam a performance energética dos edifícios. Mas os regulamentos do comportamento térmico dos edifícios podem ser muito diversos, com diferentes aproximações (Silva 2006).

Em Portugal os dois regulamentos de performance térmica dos edifícios em vigor são o Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE 1991), entrando em vigor em 1991, e o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização dos Edifícios (RSECE 1998), entrando em vigor em 1998, complementados com um Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos edifícios (SCE 2006).

Estes sistemas são uma combinação de um sistema de performance e um sistema de consciencialização, mas todos na ótica de novos edifícios (ou seja apenas analisam o projeto). Somente na certificação existem auditorias (simples, no caso de edifícios residenciais e mais

complexas em edifícios de serviços), que classificam na ótica dos edifícios existentes (Zmeureanu *et al.* 1999 in Silva 2006).

O RCCTE (1991), aprovado pelo Decreto-Lei n.º 40/90, de 6 de Fevereiro, foi o primeiro instrumento legal que em Portugal impôs requisitos ao projeto de novos edifícios e de grandes remodelações de forma a salvaguardar a satisfação das condições de conforto térmico nesses edifícios sem necessidades excessivas de energia, quer no Inverno, quer no Verão. Entretanto, este primeiro RCCTE (1991) pretendia limitar potenciais consumos sendo, portanto, relativamente pouco exigente nos seus objetivos concretos relativamente às questões de viabilidade económica face a potenciais consumos baixos. Atualmente, justifica-se uma contabilização mais realista de consumos, que com muito maior probabilidade possam ocorrer, evoluindo portanto na direção de maiores exigências de qualidade térmica da envolvente dos edifícios. Esta nova versão assenta, portanto, no pressuposto de que uma parte significativa dos edifícios devem ter meios de promoção das condições ambientais nos espaços interiores, quer no Inverno, quer no Verão, e impõe limites aos consumos que decorrem dos seus potenciais, existência e uso. Nesta sua reformulação, o RCCTE (2006) impõe mecanismos mais efetivos de comprovação de toda a conformidade regulamentar. Impõe-se que o regulamento seja atualizado nos atuais contextos social, económico e energético, promovendo um novo acréscimo de qualidade térmica dos edifícios num futuro próximo (Pragana *et al.* 2007 in Abrantes 2011).

O Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE 1998) foi aprovado pelo Decreto-Lei n.º 118/98, de 7 de Maio, e veio substituir o Decreto-Lei n.º 156/92, de 29 de Julho, que não chegou ser aplicado e que visava regulamentar a instalação de sistemas de climatização em edifícios. O RSECE (2006) foi reformulado e este apresenta quatro objetivos principais:

- Definir as condições de Qualidade do Ar Interior (QAI) necessárias nos espaços, consoante as respetivas atividades e fontes poluentes. Tal é conseguido apresentando os limites permitidos da concentração dos vários poluentes, quer para edifícios residenciais, quer para edifícios de serviços;
- Limitar o consumo energético global dos edifícios, consoante o tipo de edifícios. Assim, os edifícios estão divididos em serviços e residenciais, novos ou existentes, pequenos ou grandes;
- Impor regras para os sistemas de climatização, de forma a melhorar a sua eficiência energética, assim com garantir a qualidade do ar interior. Definir procedimentos de manutenção dos equipamentos adequados;

- Obrigar à monitorização das práticas de manutenção dos equipamentos dos sistemas de climatização (Silva 2006).

A implementação do Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos edifícios, além de obrigatória devido à Diretiva n.º 2002/91/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de Dezembro de 2002, tem grande interesse do ponto de vista da eficiência energética dos edifícios, pois irá “obrigar” os intervenientes no sector da construção a cumprir o regulamento térmico a que estão sujeitos (RCCTE (2006) ou RSECE (2006)), resultando na construção de edifícios energeticamente mais eficientes e garantindo o conforto térmico e a qualidade do ar interior.

A Certificação Energética permite dar informação sobre mais um conjunto de aspetos importantes para a caracterização dos edifícios, nomeadamente, os consumos de energia dos edifícios e os respetivos custos energéticos durante o funcionamento normal do mesmo.

A certificação energética também irá beneficiar os utentes, pois será obrigatório os edifícios possuírem um certificado identificando o nível de performance energética (escala – do A ao H, sendo o A o mais eficiente).

Os “alvos” do SCE (2006) são os edifícios novos, edifícios com grandes intervenções de reabilitação, grandes edifícios públicos e todos os edifícios para venda, locação ou aluguer (Silva 2006).

4. Casos de Estudo

Este estudo incide principalmente na avaliação dos níveis de conforto térmico e da qualidade do ar em três edifícios escolares.

É de referir que são edifícios que já estão construídos e encontram-se na plenitude das suas funções. Assim, não existe a vantagem de estar ainda em fase de projeto, situação que permitiria tomar conhecimento sobre qual seria o seu desempenho e conforto térmico. Desta forma, apenas é possível analisar a atual situação e propor novas medidas que têm como objetivo a melhor utilização da energia, mantendo o conforto dos ocupantes.

Os edifícios estudados pertencem à Universidade do Algarve e fazem parte de Faculdade de Ciências e Tecnologia.

4.1 Localização

A Universidade do Algarve foi criada em 1979 e estrutura-se em unidades orgânicas, para efeito de ensino e de investigação científica, bem como serviços (Universidade do Algarve - Anuário, 1991-92 e 1992-93). Com 31 anos contados de serviços à comunidade, a UAlg tem consolidado o seu desenvolvimento, quer em termos estruturais e administrativos, quer em termos académicos e pedagógicos. Composta por três campi (Penha, Gambelas e Saúde), na cidade de Faro e um campus em Portimão, conta Atualmente com espaços amplos, infra-estruturas e equipamentos que proporcionam excelentes condições de estudo, trabalho, investigação e socialização a uma população de cerca de 10.000 estudantes, 700 docentes e 400 funcionários (Abrantes 2011).

No que diz respeito ao Campus de Gambelas, trata-se de uma área bastante sossegada, pouco ruidosa e praticamente não poluída a nível atmosférico, onde se pode respirar o ar puro do Pinhal, que também abrange parte do campus. A zona envolvente mais abrangente faz com que se localize adjacientemente a uma área residencial (prédios até um máximo de 5 andares e moradias) a Este. É rodeada pela Mata do Pontal (composta maioritariamente por pinhal, zona protegida) tanto a Sul como a Oeste, sendo que na zona Norte se encontram campos agrícolas não explorados intensivamente (Abrantes 2011).

4.2 Caracterização

O caso de estudo proposto para Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente, são os edifícios número 1 e número 7 que fazem parte da Faculdade de Ciências e Tecnologia (FCT) e o edifício número 8 que engloba parte da Faculdade de Ciências e Tecnologia e parte

da Faculdade de Economia (FCT+FE) do Campus de Gambelas da Universidade do Algarve. Os edifícios são frequentados diariamente por discentes, docentes e funcionários de toda a comunidade universitária.

Como se pode observar na figura 3.1 e na figura 3.2, estes edifícios são semelhantes arquitetonicamente, sendo que todos eles apresentam uma planta quadrangular com um recinto aberto no seu interior. A escolha dos mesmos para a realização deste trabalho teve em conta esse fator, uma vez que é uma condição importante para efetuar a comparação entre os três.

O edifício 1 é constituído por três pisos e projetado para várias atividades, apresentando compartimentos que se destinam a salas de aula, salas de informática, a laboratórios, a gabinetes, um anfiteatro, um bar e a três secretarias.

O edifício 7 contém quatro pisos e é essencialmente constituído por laboratórios e gabinetes, tendo também duas secretarias, sete salas de aula, uma sala de informática e um bar.

O edifício 8 consiste numa construção relativamente recente na Universidade do Algarve em geral e no campus de Gambelas em particular, tendo menos de 10 anos. Este edifício é essencialmente constituído por salas de aulas, laboratórios e gabinetes, havendo também três secretarias, dez anfiteatros, quatro salas de informática e um bar. Sendo os edifícios de tipologia complexa e encontrarem-se na plenitude das suas funções, pode-se prever que sejam edifícios onde o consumo de energia é muito elevado.

Assim, com este trabalho pretende-se reduzir esse consumo, mantendo os níveis de conforto térmico e de qualidade do ar para os seus ocupantes.

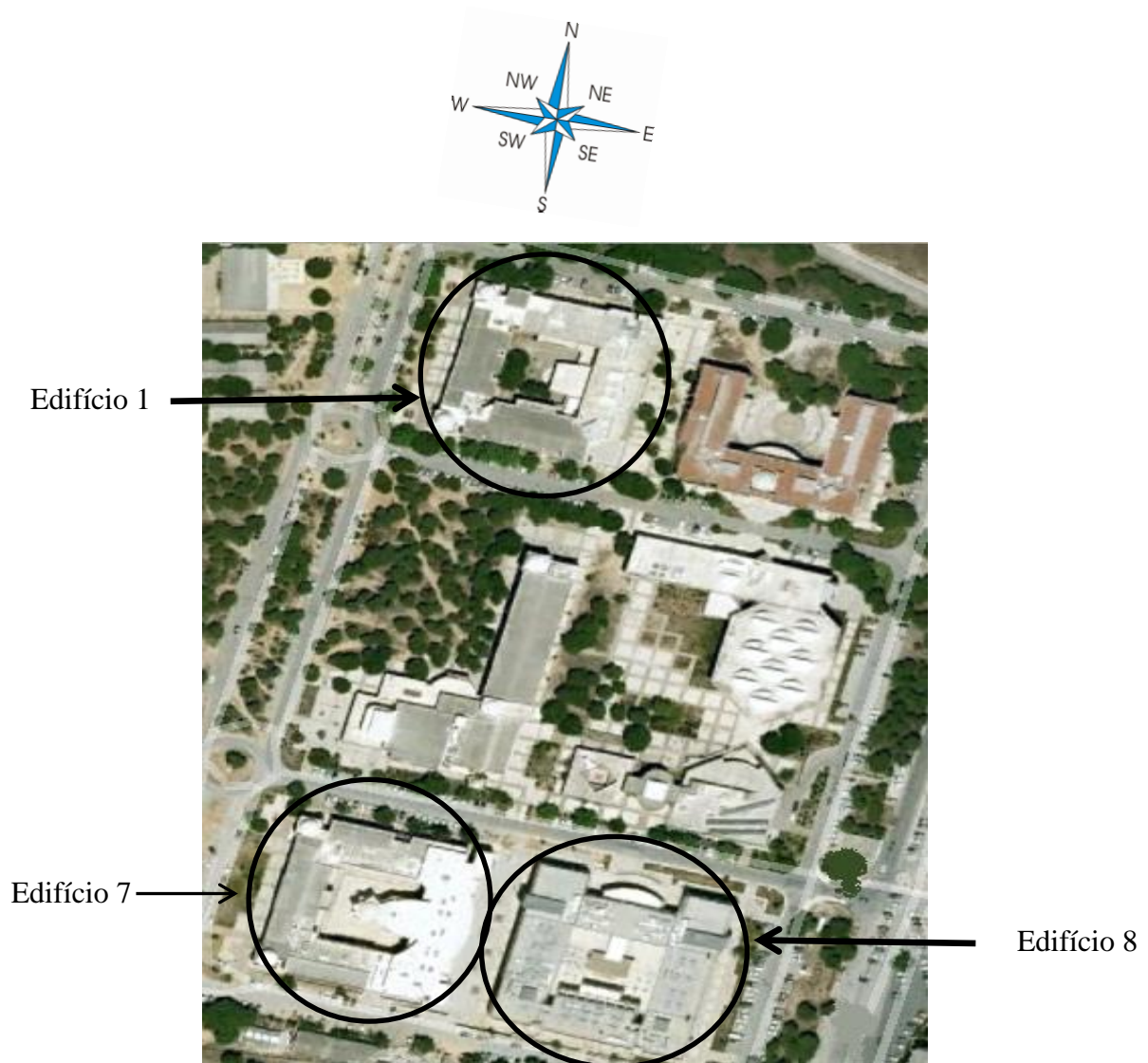
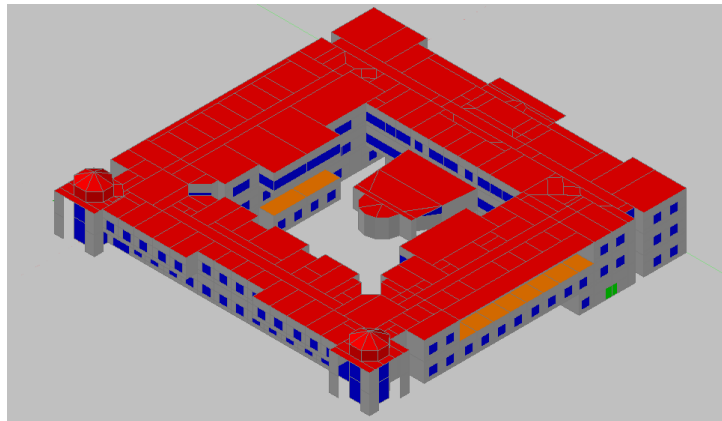
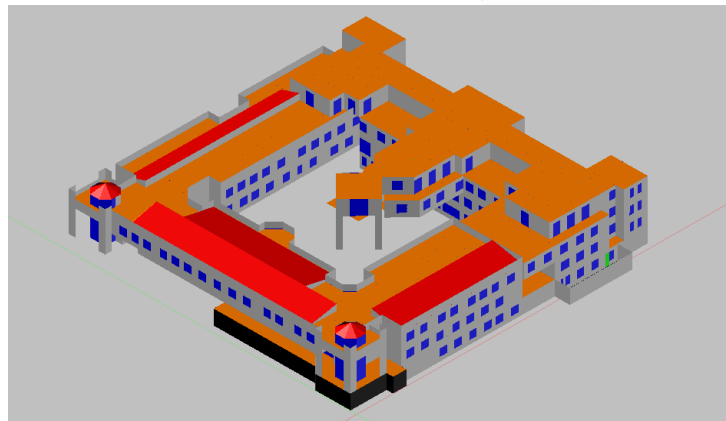


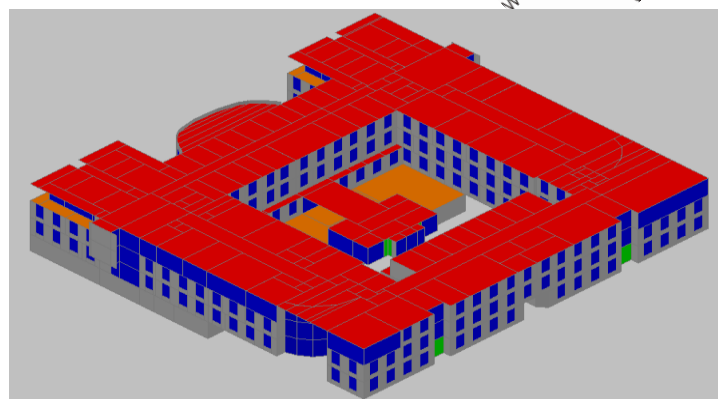
Figura 4.1 – Mapa da Universidade do Algarve – Campus de Gambelas onde se encontra assinalada a localização dos edifícios em estudo (Google Earth, 2012)



a)



b)



c)

Figura 4.2 – Desenho em 3D assistido por computador do caso de estudo. Comparação entre os edifícios que vão ser estudados. a) Edifício 1 da FCT. b) Edifício 7 da FCT. c) Edifício 8 da FCT.

5. Projeto

O programa utilizado neste trabalho, desenvolvido pelo Prof. Dr. Eusébio da Conceição, simula a resposta térmica de edifícios com topologia complexa.

Para além disso, é utilizado para avaliar a qualidade média do ar nos espaços interiores (tendo sido validado em condições de Inverno em (Conceição *et al*, 2006c) e em condições de Verão em (Conceição *et al*, 2004)).

Através deste programa é possível calcular diversos parâmetros dois quais se destacam:

- temperatura do ar no interior dos compartimentos e das condutas;
- temperatura das camadas dos corpos opacos do edifício (paredes, placas, portas, chão, telhados...);
- temperatura dos corpos transparentes (vidros das janelas);
- temperatura dos corpos interiores;
- massa de vapor de água e outros gases no interior dos compartimentos e das condutas dos diferentes sistemas;
- vapor de água à superfície dos corpos do edifício;
- vapor de água e de outros gases na matriz sólida dos corpos opacos e interiores;
- humidade relativa no interior dos compartimentos;
- velocidade média do ar no interior dos compartimentos;
- temperatura média radiante no interior dos compartimentos.

O programa calcula ainda:

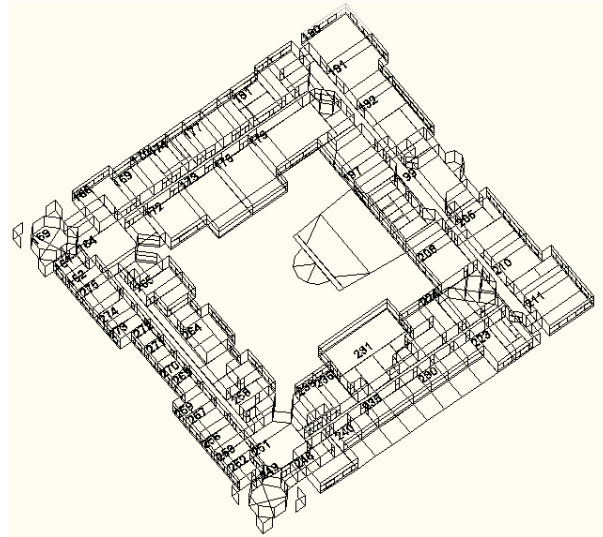
- a radiação solar nas superfícies exteriores;
- a radiação solar que entra através das janelas e que incide nas superfícies dos corpos principais e interiores;
- as trocas de calor por radiação entre superfícies exteriores do edifício e o céu ou as superfícies envolventes;
- as trocas radiativas verificadas no interior dos diferentes compartimentos;
- as propriedades radiativas dos vidros;
- os coeficientes de transmissão de calor e massa;
- os fatores de forma no interior de cada um dos compartimentos;
- o nível de conforto térmico médio em cada espaço;
- a potência de aquecimento ou arrefecimento do sistema de climatização.

5.1 Dados de entrada

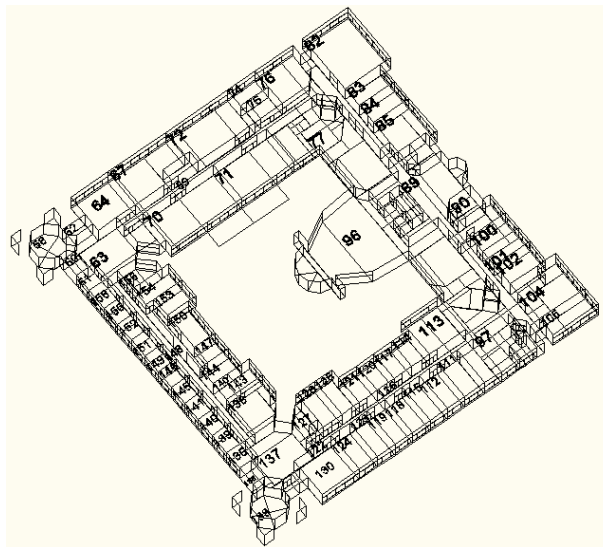
Tal como já foi referido o estudo numérico foi efetuado nos edifícios número 1, 7 e 8 da FCT da UAlg.

O edifício 1, representado na figura 5.1, contém três pisos e é constituído por:

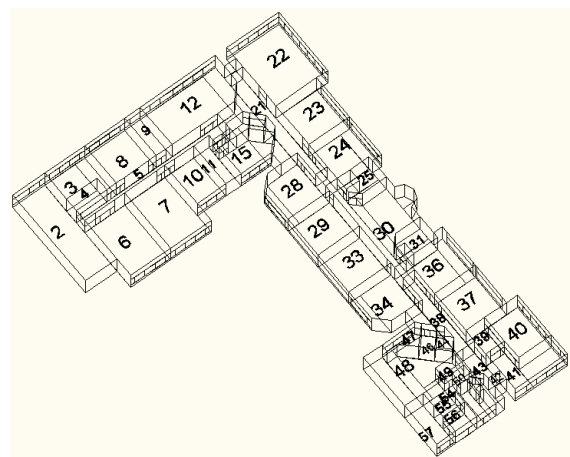
- 215 compartimentos;
- 333 corpos transparentes (janelas);
- 2746 corpos opacos (paredes interiores e exteriores, placas, chão, telhado e portas).



a)



b)

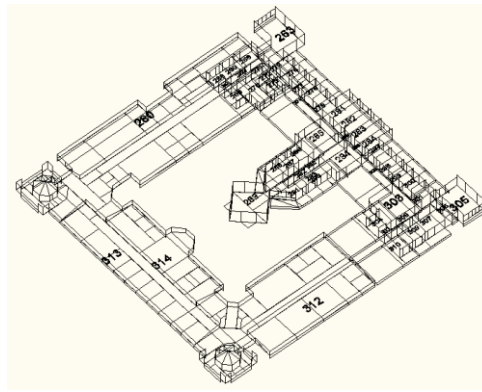


c)

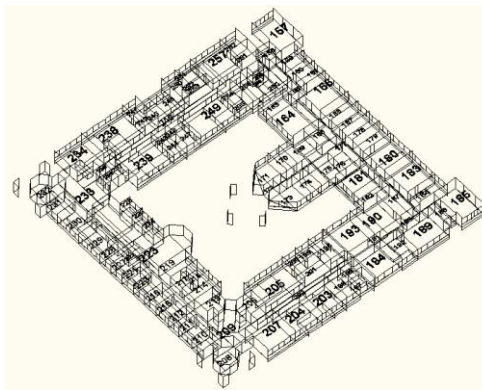
Figura 5.1 – Desenho em 3D assistido por computador dos vários pisos do edifício 1 com os compartimentos numerados. a) Piso 2. b) Piso 1. c) Rés-do-chão.

O edifício 7, representado na figura 5.2, possui quatro pisos e é composto por:

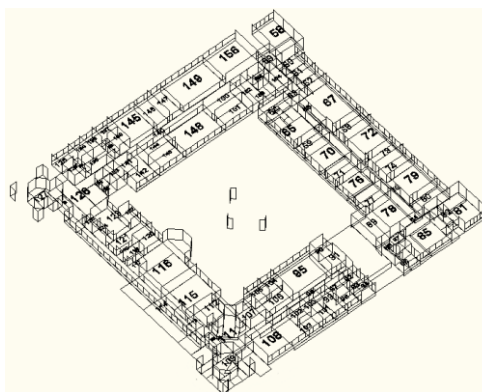
- 314 compartimentos;
- 430 corpos transparentes (janelas);
- 3161 corpos opacos (paredes interiores e exteriores, placas, chão, telhado e portas).



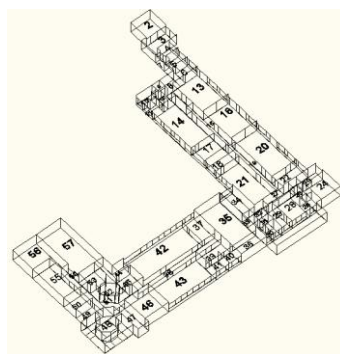
a)



b)



c)



d)

Figura 5.2 – Desenho em 3D assistido por computador dos vários pisos do edifício 7 com os compartimentos numerados. **a)** Piso 2. **b)** Piso 1. **c)** Rés-do-chão. **d)** Cave

O edifício 8 , representado na figura 5.3, com quatro pisos é formado por:

- 344 compartimentos;
- 404 corpos transparentes (janelas);
- 2908 corpos opacos (paredes interiores e exteriores, placas, chão, telhado e portas).

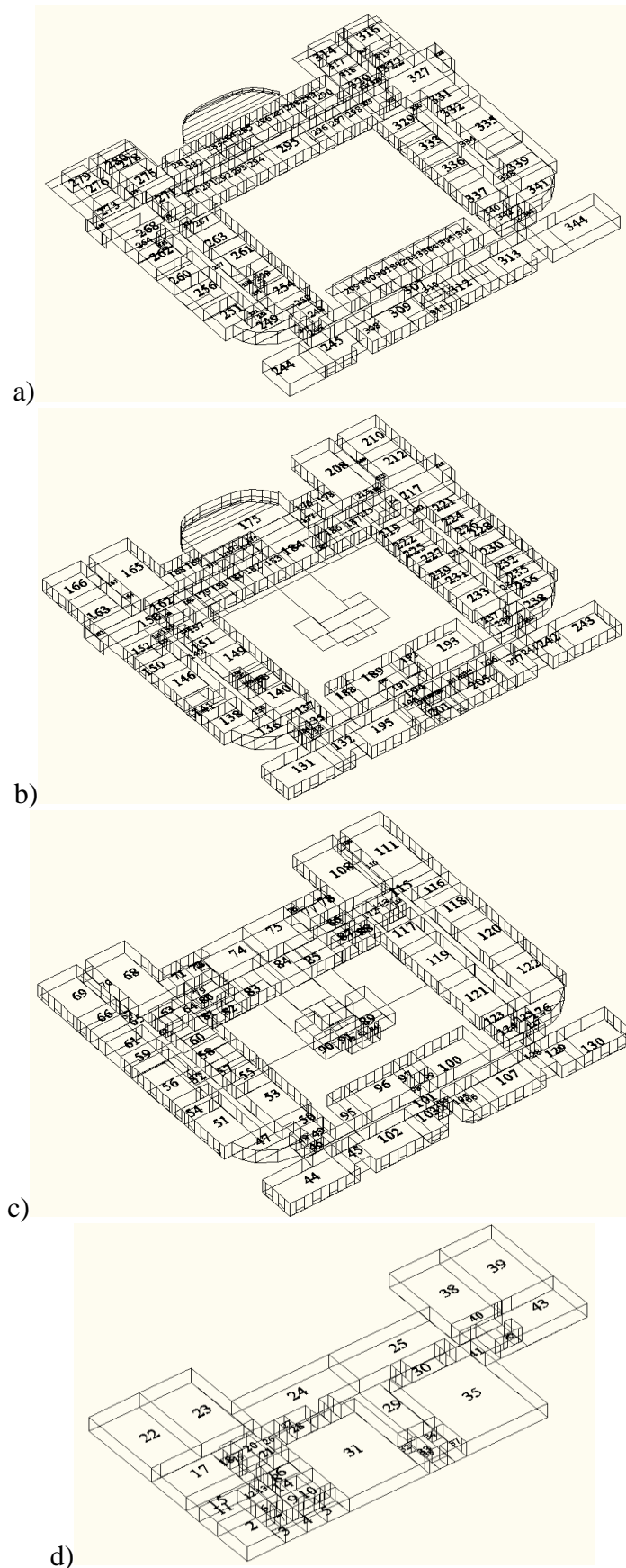


Figura 5.3 – Desenho em 3D assistido por computador dos vários pisos do edifício 8 com os compartimentos numerados. **a)** Piso 2. **b)** Piso 1. **c)** Rés-do-chão. **d)** Cave.

Considerou-se como compartimentos, para todos os edifícios, as salas de aula, de reuniões, de apoio a docentes, de informática, os anfiteatros, os laboratórios e as suas respectivas salas de apoio, as secretarias, os gabinetes, os bares, os corredores, escadas e entradas, ou seja, as áreas de passagem, as casas de banho e as arrecadações/armazéns/arquivos.

A simulação apresentada neste trabalho foi realizada no dia 22 de Dezembro, em condições de Inverno, e no dia 22 de Junho, em condições de Verão. De forma a ter em conta a inércia térmica do edifício, foram simulados os cinco dias anteriores.

A simulação efetuada toma em consideração o ciclo de ocupação dos diversos espaços existentes no edifício. Inclui um estudo estatístico da evolução da ocupação dos diferentes compartimentos.

Relativamente aos dados de entrada no modelo relativos à componente ambiental, durante o dia da simulação, foram utilizados valores da temperatura do ar, humidade relativa do ar, velocidade e direção do vento medidos neste dia, enquanto a determinação da radiação solar direta e difusa foi calculada numericamente, a partir de um conjunto de equações empíricas apresentadas em (Iqbal 1983).

5.2 Metodologia

A elaboração deste estudo teve como principal objetivo demonstrar que é fundamental a utilização de ferramentas de simulação, de forma a prever a solução que vai resultar na melhor performance do edifício e assim contribuir de forma positiva para futuras investigações. Para se atingir o propósito foi necessário realizar-se o trabalho por etapas.

Foi efetuado um levantamento de alguns parâmetros, internos e externos, que foram utilizados como dados de entrada no programa *Efficient Building 3D*. Para os dados interiores foram avaliados a ocupação dos compartimentos, o volume dos mesmos, a ventilação e o consumo de energia (através de equipamentos existentes em cada compartimento, nomeadamente através dos sistemas de Ar-Condicionado). Para os dados exteriores foram avaliados valores de temperatura do ar, velocidade do ar, humidade relativa do ar, direção do vento e intensidade do vento. Relativamente aos dados exteriores, estes foram obtidos a partir de uma estação meteorológica instalada nas imediações dos edifícios analisados.

Após o levantamento dos parâmetros e com a disponibilização da topologia dos edifícios em desenho 3D, foi realizada uma análise. Verificou-se se a geometria tridimensional dos edifícios estava correta, bem como a sua orientação, analisou-se os valores de radiação solar e comprovou-se se correspondem às diferentes fachadas dos edifícios,

analisou-se a ocupação dos edifícios e procedeu-se à numeração dos diferentes compartimentos.

A numeração é importante para de uma forma expedita se encontrar a superfície desejada. Neste caso para os compartimentos tem-se em conta o compartimento zero como sendo o ambiente exterior (ar exterior que envolve o edifício) e o compartimento 1 é o subsolo (onde o edifício assenta). Em consequência, o primeiro compartimento da faculdade a ser numerado começará no número 2, tal como se verifica nas figuras 4.1, 4.2 e 4.3.

Para análise da ocupação foi necessário um levantamento de dados diretamente nos edifícios, onde se confirmou qual a ocupação de cada um dos compartimentos através de uma análise visual.

Nesta fase foram ainda analisadas as variáveis ambientais externas (insolação, temperatura, humidade, velocidade do ar, entre outros), os dados relativos ao funcionamento do edifício e as características dos seus ocupantes (nível de vestuário, nível de conforto).

Após a análise pormenorizada dos dados referidos na tarefa anterior e correção dos mesmos, foi efetuada a simulação numérica do edifício.

6. Resultados e Discussão

De forma a ilustrar a metodologia utilizada, serão apresentados alguns resultados obtidos nos diferentes edifícios. Para um estudo mais pormenorizado selecionaram-se algumas divisões de forma avaliar as condições de conforto e consumo de energia. Optou-se por escolher um laboratório, uma sala de aula, um gabinete e uma área de passagem (corredor ou *hall*-de-entrada). Em cada uma das situações, são considerados compartimentos voltados a Norte, Sul, Este e Oeste. Quatro casos serão analisados: condições de Inverno e Verão, com e sem o sistema de ar condicionado ligado.

A partir do programa “*Efficient Buildings 3D*” foi considerado um dia para a simulação (que neste caso será o 5º dia de simulação), desde as 0 horas até às 24 horas. As figuras que vão ser representadas neste capítulo mostram o período diurno, desde as 8h até as 20h, que representa o período de maior ocupação do edifício universitário (horário laboral).

O sistema implementado pretende controlar o índice PMV, baseado nos valores da temperatura do ar, da velocidade do ar, da humidade relativa do ar, da temperatura média radiante, do nível de vestuário e do nível de atividade física. Considera-se que o sistema AVAC liga e desliga quando o espaço está ocupado.

6.1 Edifício 1

O edifício 1 é composto por três pisos: rés-do-chão, primeiro andar e segundo andar.

São então considerados os espaços voltados a:

- Norte (salas 3, 67 e 74),
- Sul (salas 6, 123 e 173),
- Este (salas 22, 30, 40 e 102)
- Oeste (salas 29, 33, 38 e 61).

Tal como já foi referido, organizou-se um ciclo de ocupação para cada compartimento. Assim foram elaboradas tabelas de ocupação, que serão representadas apenas com as áreas escolhidas (tabelas 6.1, 6.2, 6.3, 6.4).

Não foram consideradas áreas de passagem a Norte e a Sul porque nestas direções o edifício não dispõe deste tipo de divisão que contenha janelas.

Tabela 6.1 – Ciclo de ocupação usado nos laboratórios do edifício 7.

Tempo (horas)	0h-8h30	8h30-10h	10h-10h15	10h15-11h45	11h45-12h	12h-13h30	13h30-13h45	13h45-15h15	15h15-15h30	15h30-17h	17h-17h15	17h15-18h45	18h45-19h	19h-20h30	20h30-24h	
Compartimento																Tipo de Compartimento
3	0	8	0	8	0	8	0	8	0	8	0	8	0	8	0	Laboratório (N)
29	0	4	0	4	0	4	0	4	0	4	0	4	0	4	0	Laboratório (O)
40	0	4	0	4	0	4	0	4	0	4	0	4	0	4	0	Laboratório (E)
173	0	8	0	8	0	8	0	8	0	8	0	8	0	8	0	Laboratório (S)

Tabela 6.2 – Ciclo de ocupação usado nas salas de aula do edifício 7.

Tempo (horas)	0h-8h30	8h30-10h	10h-10h15	10h15-11h45	11h45-12h	12h-13h30	13h30-13h45	13h45-15h15	15h15-15h30	15h30-17h	17h-17h15	17h15-18h45	18h45-19h	19h-20h30	20h30-24h	
Compartimento																Tipo de Compartimento
6	0	20	0	20	0	20	0	20	0	20	0	20	0	20	0	Sala de aula (S)
22	0	16	0	16	0	16	0	16	0	16	0	16	0	16	0	Sala de aula (E)
33	0	10	0	10	0	10	0	10	0	10	0	10	0	10	0	Sala de aula (O)
67	0	12	0	12	0	12	0	12	0	12	0	12	0	12	0	Sala de aula (N)

Tabela 6.3 – Ciclo de ocupação usado nas áreas de passagem do edifício 7.

Tempo (horas)	0h-8h30	8h30-10h	10h-10h15	10h15-11h45	11h45-12h	12h-13h30	13h30-13h45	13h45-15h15	15h15-15h30	15h30-17h	17h-17h15	17h15-18h45	18h45-19h	19h-20h30	20h30-24h	
Compartimento																Tipo de Compartimento
30	0	0	12	0	12	0	12	0	12	0	12	0	12	0	0	Área de passagem (E)
38	0	0	12	0	12	0	12	0	12	0	12	0	12	0	0	Área de passagem (O)

Tabela 6.4 – Ciclo de ocupação usado nos gabinetes do edifício 7.

Tempo (horas)	0h-8h30	8h30-10h	10h-10h15	10h15-11h45	11h45-12h	12h-13h30	13h30-13h45	13h45-15h15	15h15-15h30	15h30-17h	17h-17h15	17h15-18h45	18h45-19h	19h-20h30	20h30-24h	
Compartimento																Tipo de Compartimento
61	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0	Gabinete (O)
74	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0	Gabinete (N)
102	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0	Gabinete (E)
123	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0	Gabinete (S)

Como este estudo incide principalmente no conforto dos ocupantes, é necessário analisar principalmente a evolução do nível de concentração do dióxido de carbono (CO_2), (figura 6.1).

A concentração de dióxido de carbono apresenta os mesmos valores para todos os casos estudados (Verão/Inverno e com/sem ar-condicionado) porque a taxa de renovação se manteve inalterada (uma taxa de renovação em cada compartimento).

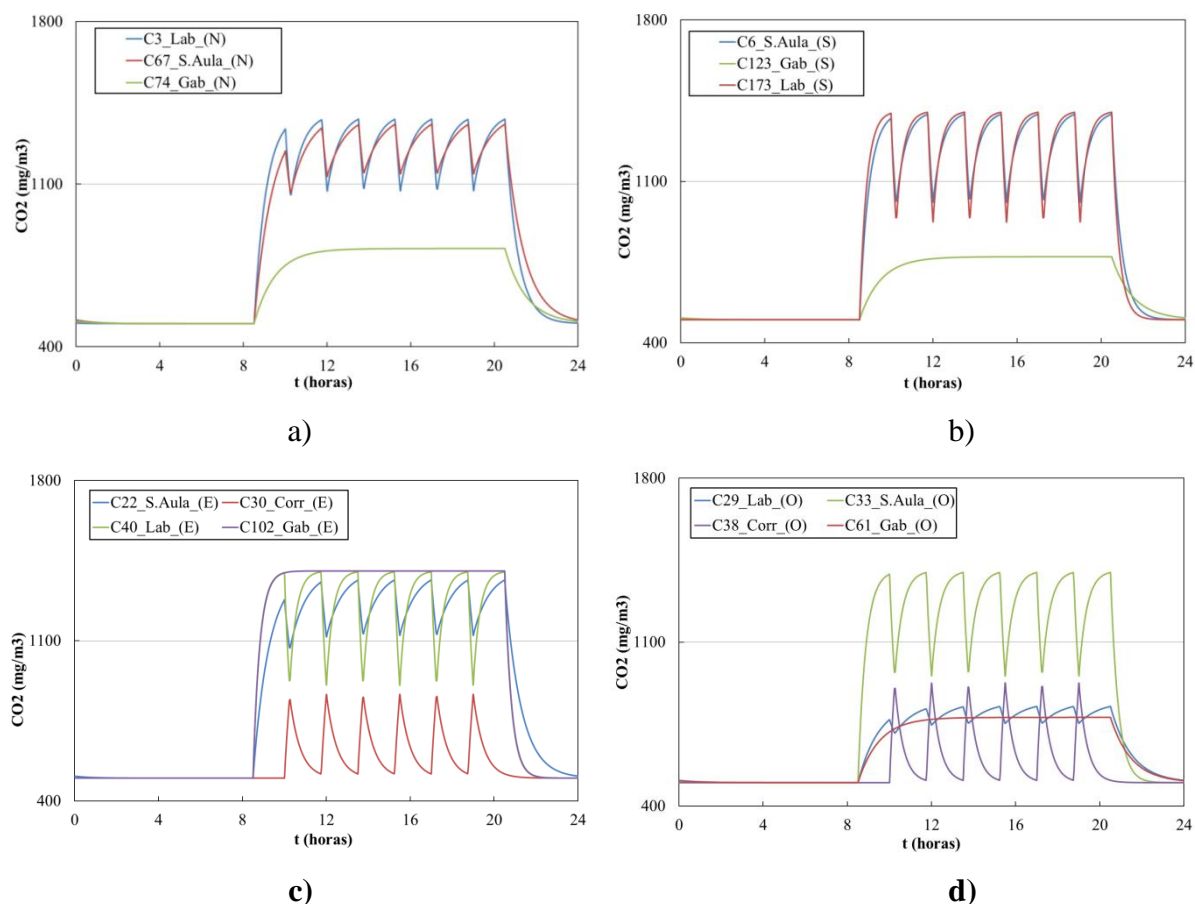


Figura 6.1 – Evolução, ao longo do dia, da concentração de dióxido de carbono (CO_2) nas salas do edifício 1 com janelas voltadas a: **a)** Norte (N), **b)** Sul (S), **c)** Este (E) e **d)** Oeste (O).

Ao analisar a figura 6.1, pode-se verificar que a qualidade do ar é boa para todas as divisões escolhidas, uma vez que a concentração de dióxido de carbono se encontra abaixo do valor recomendado (1800 mg/m^3). As curvas têm um comportamento semelhante para os laboratórios e para as salas de aula, uma vez que o seu ciclo de ocupação é semelhante.

Seria de esperar que, quanto maior o número de pessoas que se encontrasse em cada um dos compartimentos, maior seria a concentração de dióxido de carbono. No entanto, este estado não se verifica em todos os casos, como se pode notar no gráfico correspondente às salas com janelas orientadas a Este, onde se observa que o gabinete (com apenas duas

peças) tem um valor de concentração de dióxido de carbono mais elevado do que qualquer uma das outras divisões.

Para comprovar que a qualidade do ar é favorável aos seus ocupantes em todo o edifício, foram calculadas as horas de desconforto devido à qualidade do ar (HDQA). Através da simulação obtiveram-se valores de HDQA para cada um dos compartimentos. Somando as horas de cada compartimento obteve-se a horas de desconforto para todo o edifício.

No caso do edifício 1, obteve-se o valor zero, o que comprova que em qualquer divisão deste edifício se pode assegurar uma concentração de dióxido de carbono inferior a 1800 mg/m³.

6.1.1 Inverno

A radiação solar é muito importante para este tipo de estudo. Esta variável tem um papel determinante no conforto térmico em qualquer edifício, pois é através do conhecimento dos seus valores que se pode avaliar os valores de conforto dos diversos compartimentos. Por esse motivo é que foi necessário realizar os ensaios para as diferentes orientações.

Na figura 6.2 é apresentada a evolução dos níveis de radiação solar, no Inverno, para as diferentes janelas correspondentes aos compartimentos escolhidos para análise. Serão apresentados gráficos para as janelas orientadas a Norte, Sul, Este e Oeste.

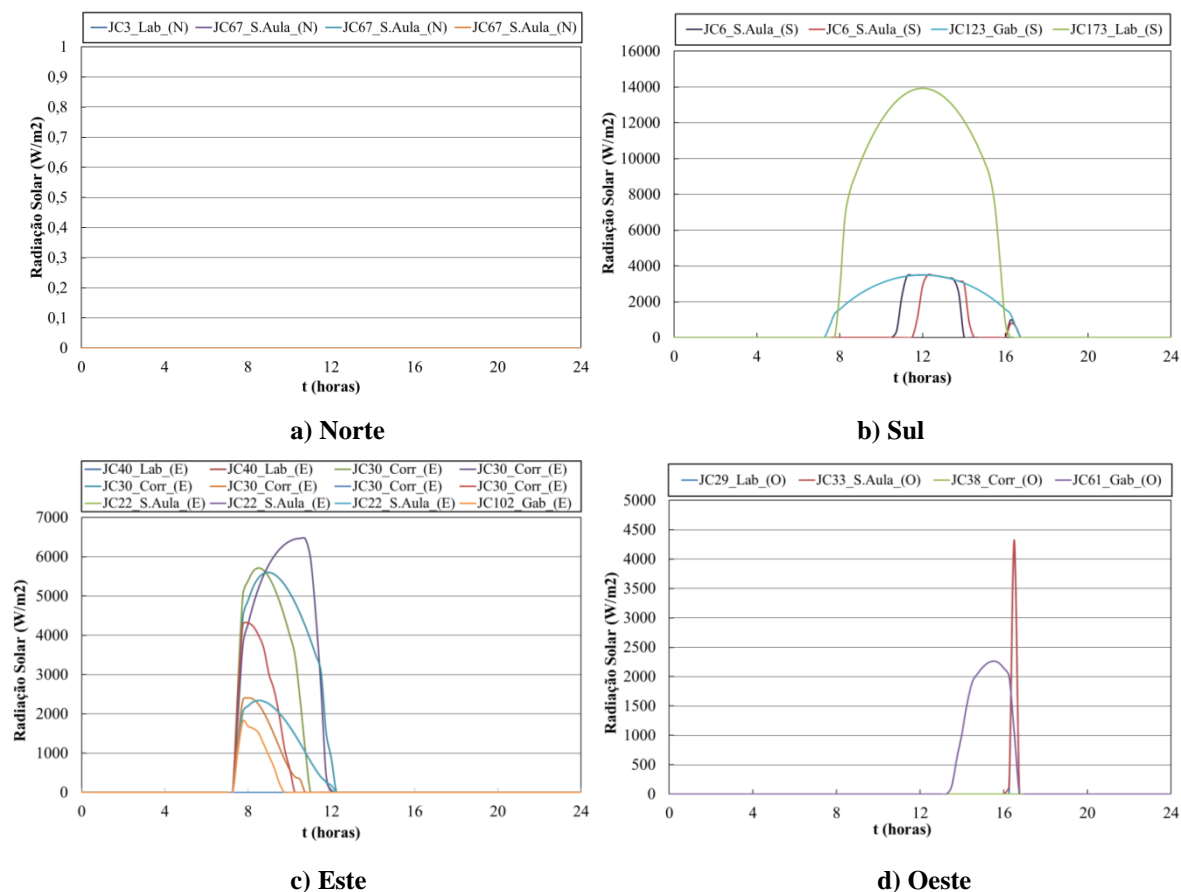


Figura 6.2 – Evolução, ao longo de um dia de Inverno, do nível de radiação solar nas salas do edifício 1 com janelas voltadas a: **a)** Norte (N), **b)** Sul (S), **c)** Este (E) e **d)** Oeste (O).

Após a análise da figura 6.2 pode-se constatar que os valores da radiação para todos os compartimentos correspondem ao que era esperado. A Norte não foi representada a divisão 74 porque não está sujeita a radiação. A Sul os valores mais elevados de radiação dão-se por volta do meio-dia, enquanto a Este e Oeste estes valores se verificam da parte da manhã e da parte da tarde, respetivamente.

Em alguns casos, nomeadamente a Sul, verifica-se a existência de dois picos, o que pode corresponder ao facto de haver algum tipo de sombreamento para este compartimento (compartimento 6), visto que o mesmo se encontra no rés-do chão e na parte interior do edifício (sombreamento provocado pela ala a sul). Também a Oeste se verifica que existe uma janela com um nível de radiação anormal para esta orientação. A sala de aula 33 está sujeita a sombreamento, por esse motivo a curva tem um pico.

Condições de Inverno com sistema de aquecimento desligado

A temperatura do ar está relacionada diretamente com a radiação solar que incide sobre as diversas divisões através das suas janelas.

Ainda que não se verifiquem valores de temperatura do ar, muito reduzidos, são passíveis de provocar desconforto térmico, uma vez que o nível de atividade neste tipo de compartimentos é nulo. Como existem variações biológicas de pessoa para pessoa, não é possível obter conforto térmico simultaneamente para todos os indivíduos. Neste estudo o equilíbrio térmico é descrito pelo índice PMV, de onde se pode obter os valores de conforto térmico.

Na figura 6.3, pode ser observado a evolução da temperatura do ar para as salas 3, 67 e 74 a Norte; 6, 123 e 173 a Sul; 22, 30, 40 e 102 a Este e 29, 33, 38 e 61 a Oeste.

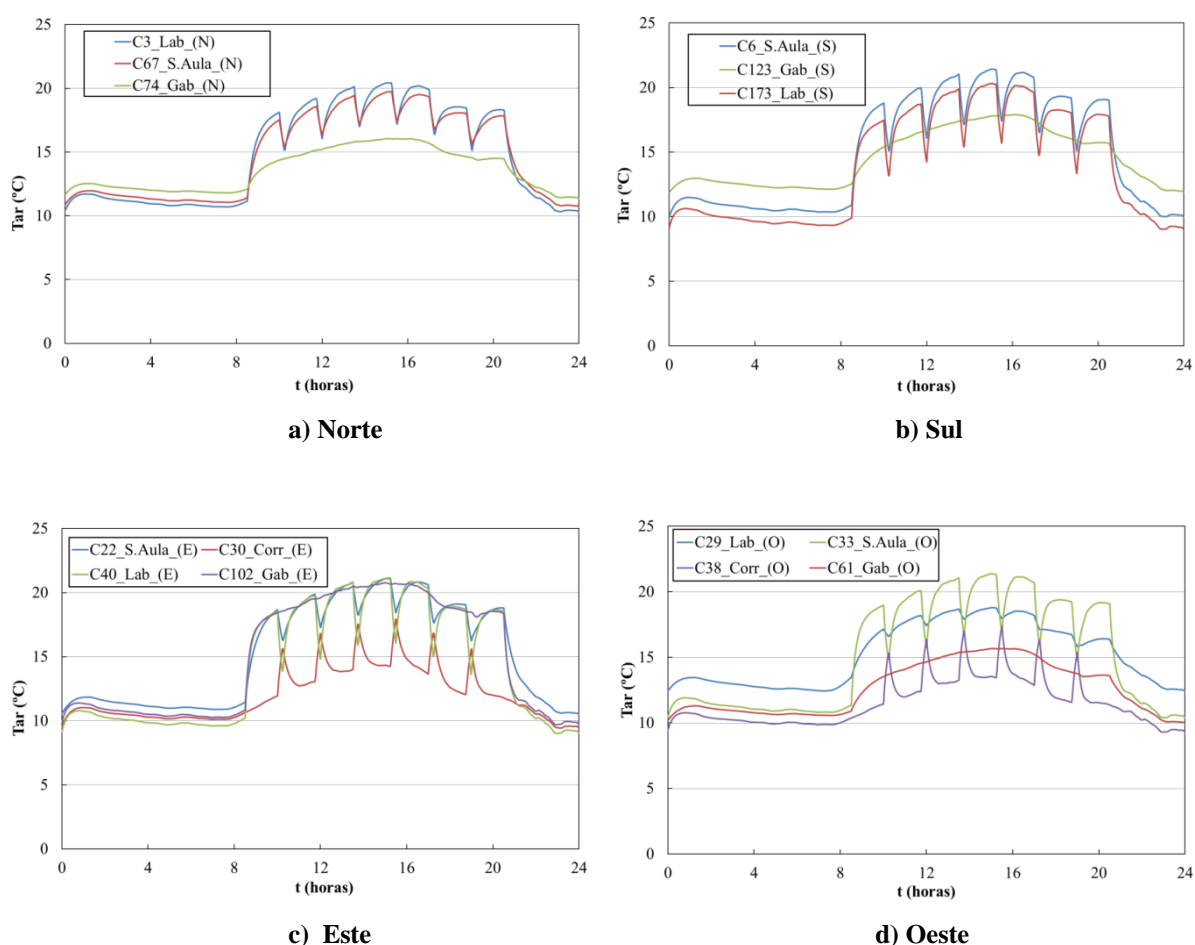


Figura 6.3 – Evolução, ao longo de um dia de Inverno, do nível de temperatura do ar (Tar) nas salas do edifício 1, com o ar condicionado desligado e com janelas voltadas a: **a)** Norte (N), **b)** Sul (S), **c)** Este (E) e **d)** Oeste (O).

Como se pode observar na figura 6.3, nota-se que o valor da temperatura do ar não é constante ao longo do dia. Este facto está associado à evolução das outras variáveis, com especial atenção para a radiação solar. Pode-se comprovar que, apesar de ser pouca a diferença, a Norte as temperaturas são mais reduzidas do que nas restantes direções, o que

comprova a influência da radiação solar na obtenção deste parâmetro. É de realçar que na maioria dos casos, as temperaturas mais elevadas se verificam nas divisões com maior ocupação.

A evolução do nível de conforto térmico para as salas selecionadas pode ser observada na figura 6.4.

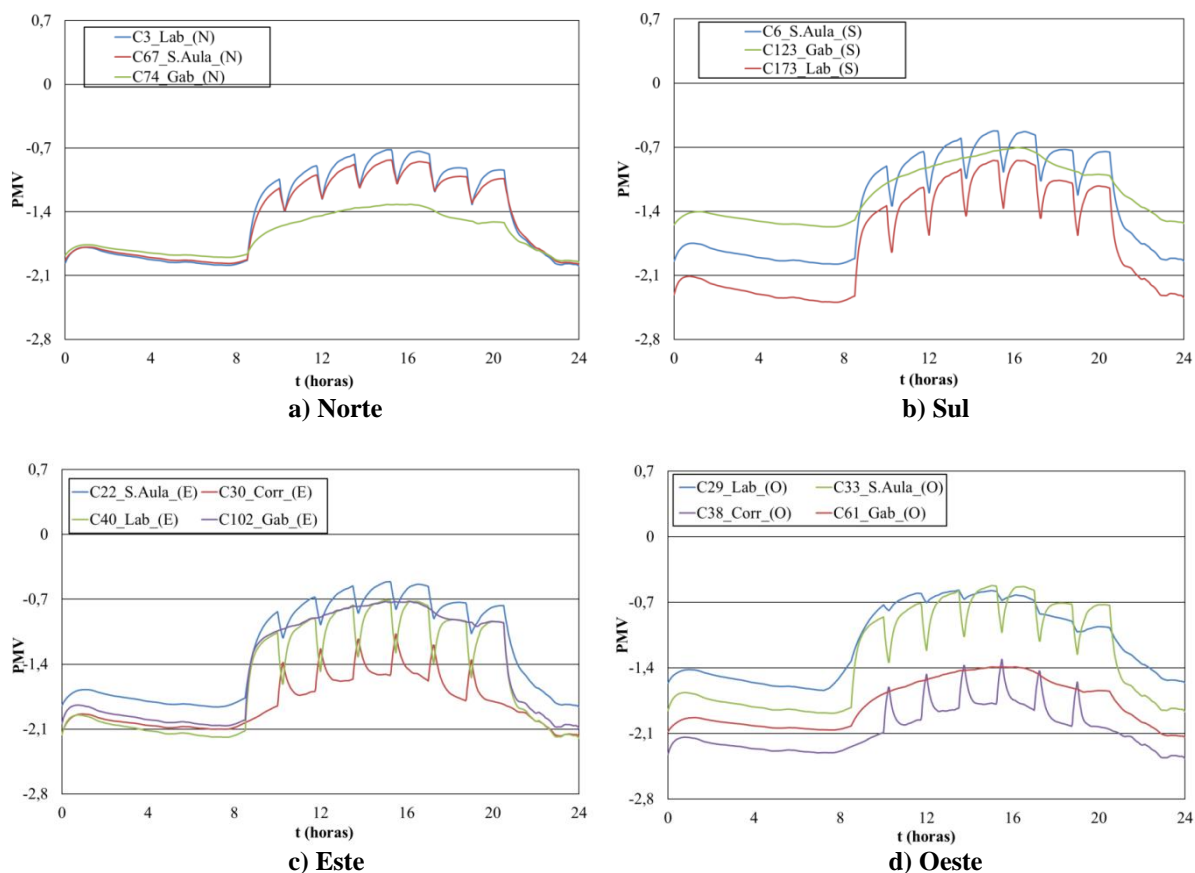


Figura 6.4 – Evolução, ao longo de um dia de Inverno, do nível de conforto térmico (PMV) nas salas do edifício 1, com o ar condicionado desligado e janelas voltadas a: **a)** Norte (N), **b)** Sul (S), **c)** Este (E) e **d)** Oeste (O).

Em condições de Inverno e com o ar condicionado desligado é possível verificar que todas as salas são desconfortáveis por valores negativos do índice PMV. Os valores são mais baixos nos compartimentos com janelas orientadas a Norte, tal como seria de esperar, visto que, estas janelas não recebem radiação e conseqüentemente os valores da temperatura do ar desses compartimentos também são inferiores às das restantes, o que faz com que os ocupantes se sintam desconfortáveis por frio.

Condições de Inverno com sistema de aquecimento ligado

Em condições de Inverno, para garantir o conforto dos ocupantes, é necessário acionar o sistema de aquecimento, por forma a aumentar a temperatura do ar nos compartimentos e manter os valores constantes ao longo o dia.

Na figura 6.5 estão representados os gráficos com a evolução do nível da temperatura do ar nos compartimentos selecionados, para as diferentes orientações.

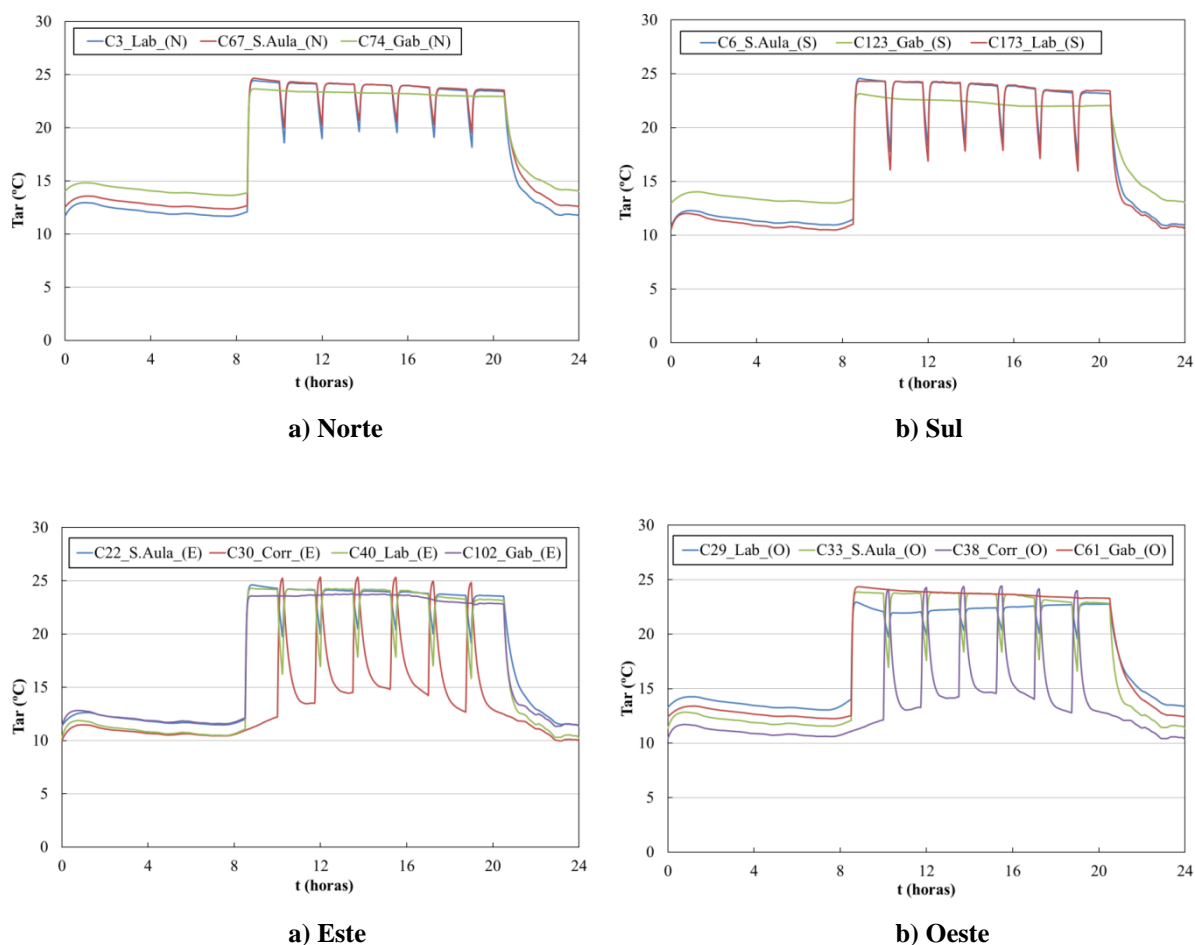


Figura 6.5 – Evolução, ao longo de um dia de Inverno, do nível de temperatura do ar (Tar) nas salas do edifício 1, com o ar condicionado ligado e com janelas voltadas a: **a)** Norte (N), **b)** Sul (S), **c)** Este (E) e **d)** Oeste (O).

Verifica-se que para todas as orientações a temperatura média ronda os 24° C, sendo esta mais constante ao longo do dia do que se verificava quando o ar condicionado estava desligado. Nos compartimentos 30 a Este e 38 a Oeste, não se verifica uma melhoria significativa de resultados porque, de modo a minimizar os consumos, nas áreas de passagem apenas se ligou o sistema de aquecimento nos intervalos das aulas.

Na figura seguinte (figura 6.6) são reproduzidos os resultados do índice de PMV aquando da aplicação do sistema de aquecimento. É de referir que todas as divisões escolhidas para este estudo são confortáveis por valores negativos de PMV de acordo com a categoria A da ISO 7730 (2005), com exceção dos compartimentos 30 e 38 pelo motivo acima descrito. O nível de conforto térmico é relativamente constante ao longo do dia.

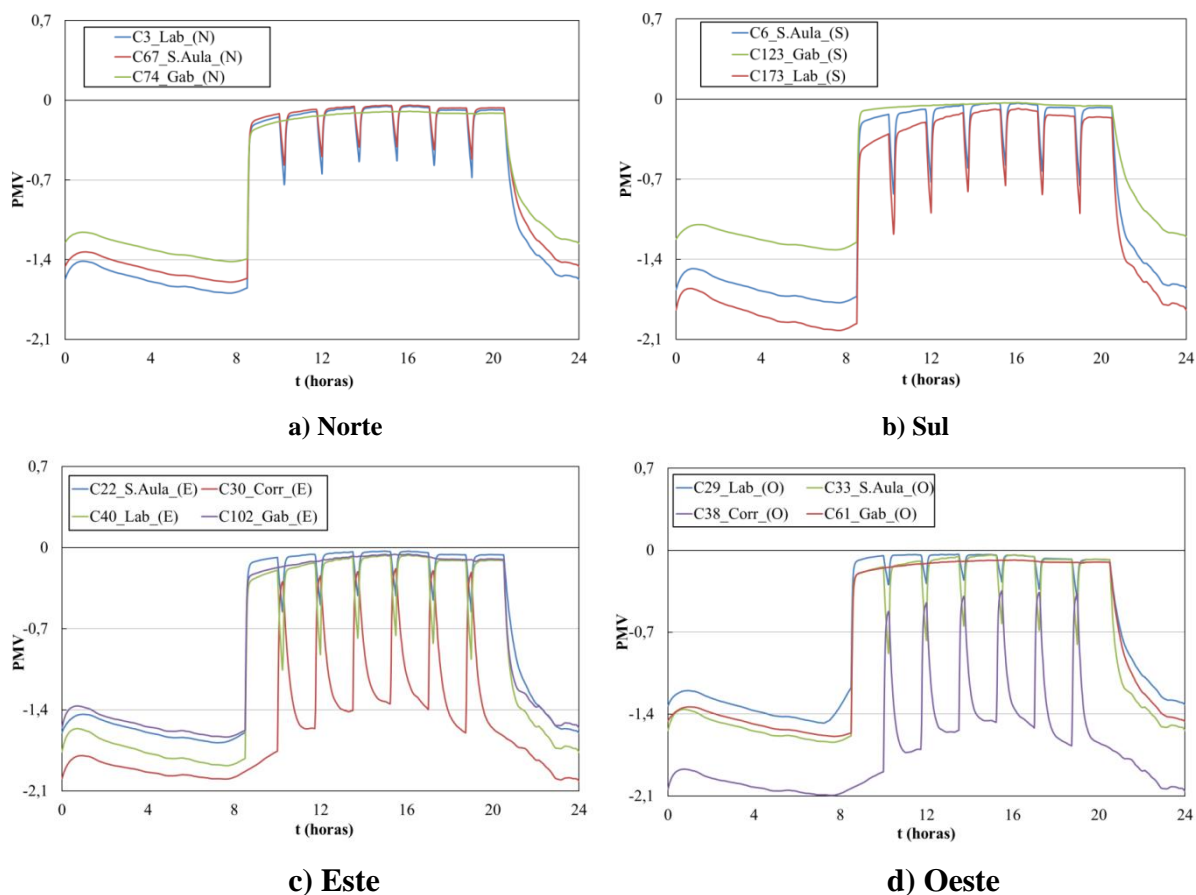


Figura 6.6 – Evolução, ao longo de um dia de Inverno, do nível de conforto térmico (PMV) nas salas do edifício 1, com o ar condicionado ligado e janelas voltadas a: **a)** Norte (N), **b)** Sul (S), **c)** Este (E) e **d)** Oeste (O).

Através da simulação numérica foi possível obter as horas de desconforto por frio (HDF) para cada compartimento e assim calcular a quantidade de horas de desconforto total do edifício. As horas de desconforto com o sistema de aquecimento desligado foram 3082,6 h, enquanto com o sistema de aquecimento ligado apenas se verificaram 101,4 horas (estas horas estão associadas aos espaços não ocupados) de desconforto. Estes valores estão de acordo com o que foi apresentado anteriormente, pois com o ar condicionado desligado todas as salas apresentavam desconforto e com o sistema ligado apenas as áreas de passagem se encontravam nesse estado.

No que diz respeito ao consumo térmico, foi também através da simulação que se obtiveram os valores para cada compartimento. O consumo advém, principalmente, do sistema de ar condicionado. Para este edifício o consumo, para o dia mais frio do Inverno, foi de 43663 kW.

6.1.2 Verão

Tal como no Inverno, em condições de Verão, a radiação solar que incide sobre as janelas, influencia em muito os valores de temperatura e consequentemente os níveis de conforto térmico. É evidente, que neste cenário as temperaturas são mais elevadas que aquelas que se verificaram no Inverno e assim os ocupantes dos compartimentos selecionados sentem-se desconfortáveis por calor.

A figura 6.7 apresenta a evolução dos níveis de radiação solar, no Verão, para cada uma das orientações.

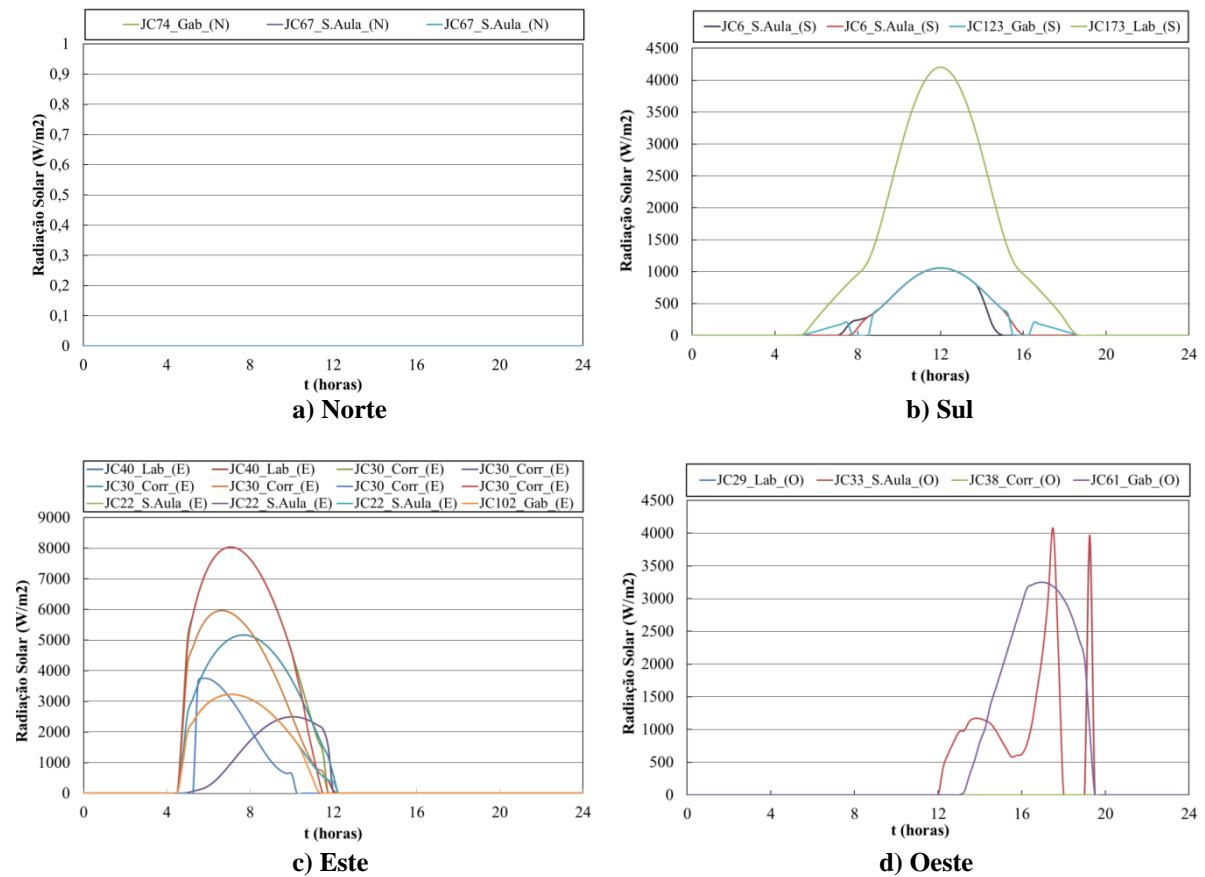


Figura 6.7 – Evolução, ao longo de um dia de Verão, do nível de radiação solar nas salas do edifício 1 com janelas voltadas a: **a)** Norte (N), **b)** Sul (S), **c)** Este (E) e **d)** Oeste (O).

Nos gráficos referentes à radiação solar no Verão, que são expostos na figura 6.7, verifica-se que a Norte a radiação é nula. A Sul, nota-se que os níveis de radiação são muito superiores no compartimento 173. A Este, os níveis de radiação correspondem ao que era de esperar, pois é da parte da manhã que se verificam as suas curvas. A Oeste, para o compartimento 33, que se encontra no rés-do-chão na parte interior do edifício, observa-se uma curva com dois picos, que corresponde ao facto de existirem sombreamentos por parte da ala Oeste.

Condições de Verão com sistema de ar condicionado desligado

Em condições de Verão sem ar condicionado, as temperaturas do ar no edifício 1, são elevadas. Desta forma, os seus ocupantes vão sentir calor e assim um desconforto térmico.

As figuras seguintes representam os valores de temperatura e PMV nas salas escolhidas com o sistema de ar condicionado desligado.

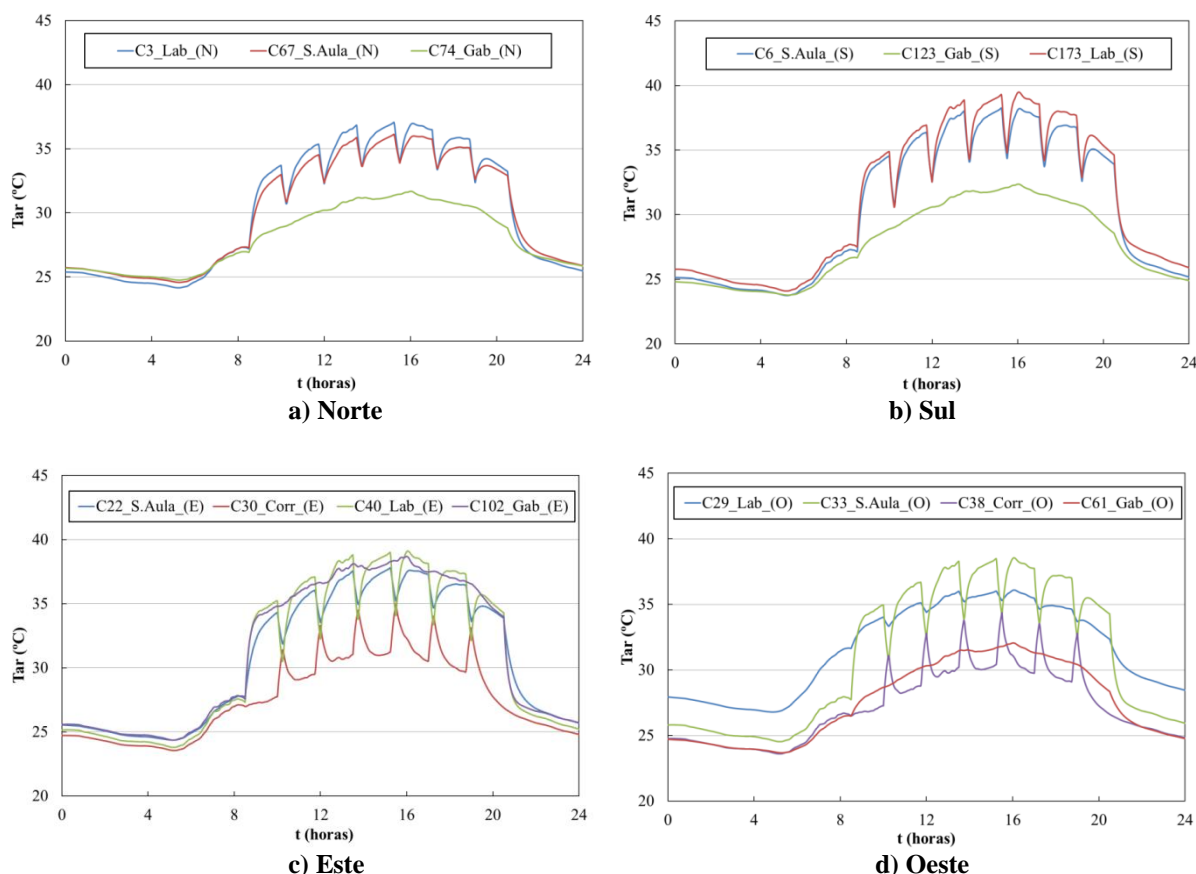


Figura 6.8 – Evolução, ao longo de um dia de Verão, do nível de temperatura do ar (Tar) nas salas do edifício 1, com o ar condicionado desligado e com janelas voltadas a: **a)** Norte (N), **b)** Sul (S), **c)** Este (E) e **d)** Oeste (O).

Os valores de temperatura no Verão (figura 6.8), variam aproximadamente entre os 30 °C e os 40 °C. As temperaturas mais baixas verificam-se nos compartimentos a Norte, enquanto as mais elevadas se podem observar nos compartimentos a Sul.

A figura 6.9 representa os níveis de conforto térmico nas salas seleccionadas, em condições de Verão.

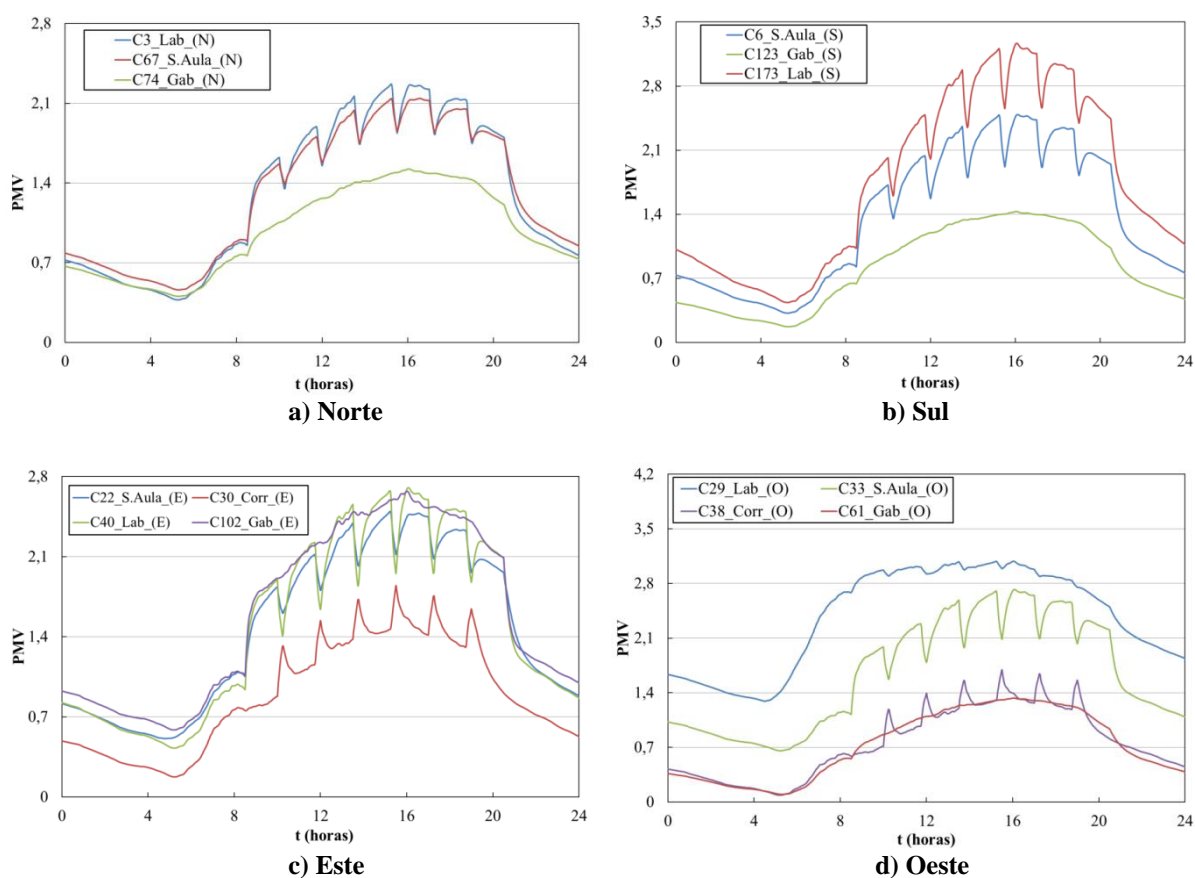


Figura 6.9 – Evolução, ao longo de um dia de Verão, do nível de conforto térmico (PMV) nas salas do edifício 1, com o ar condicionado desligado e janelas voltadas a: **a)** Norte (N), **b)** Sul (S), **c)** Este (E) e **d)** Oeste (O).

Analisando a figura 6.9 e os diferentes gráficos, constata-se que todos os espaços são desconfortáveis por valores positivos de PMV, como era de prever pois as temperaturas nos compartimentos são muito elevadas, o que faz com que os seus ocupantes se sintam desconfortáveis devido ao calor.

Analisando os valores das horas de desconforto por calor (HDC) verifica-se que o valor é de 9823,9 horas.

Condições de Verão com sistema de ar condicionado ligado

Os resultados relativos ao Verão com o sistema de ar condicionado são bastantes mais favoráveis e serão apresentados nas figuras a seguir.

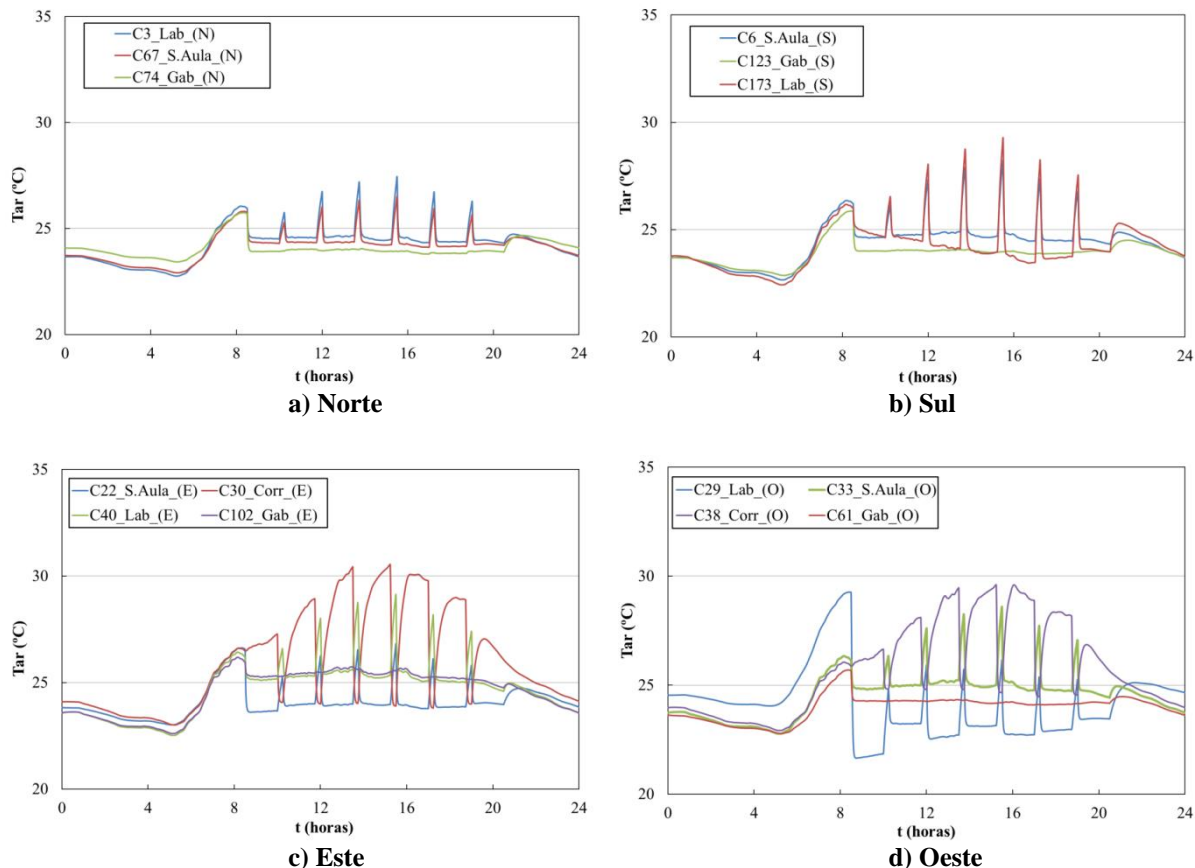


Figura 6.10 – Evolução, ao longo de um dia de Verão, do nível de temperatura do ar (Tar) nas salas do edifício 1, com o ar condicionado ligado e com janelas voltadas a: **a)** Norte (N), **b)** Sul (S), **c)** Este (E) e **d)** Oeste (O).

O nível de temperatura do ar, para o Verão e com o ar condicionado ligado é bastante mais baixo do que sem o sistema de ar condicionado. Os valores de temperatura, que podem ser analisados na figura 6.10, rondam os 24 °C para a maioria das salas seleccionadas. Neste caso, a temperatura não é constante ao longo do dia, como se verificou no Inverno. Isto pode dever-se ao facto de os ocupantes emitirem mais calor e assim a temperatura radiativa ser diferente ao longo do dia.

Na figura 6.11 é apresentada a evolução do nível de conforto térmico para as diferentes salas e orientações

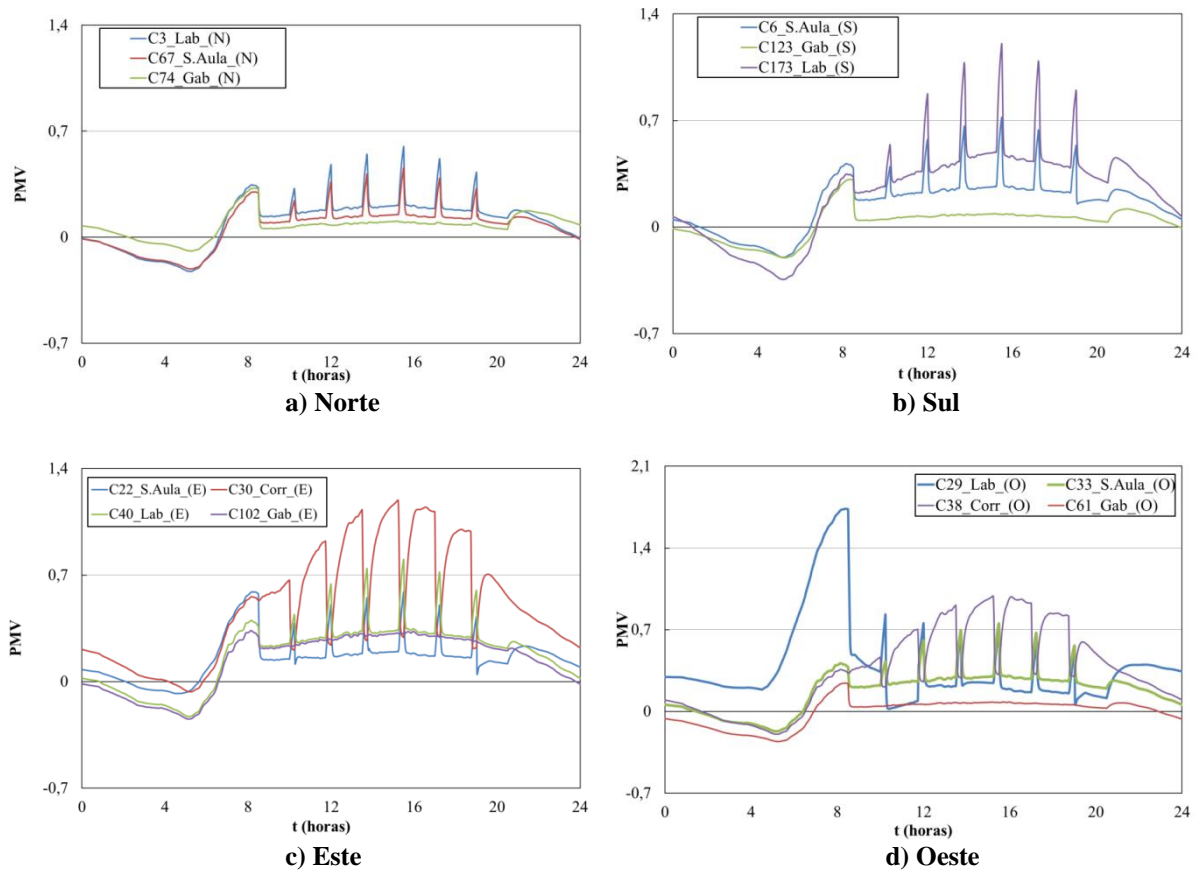


Figura 6.11 – Evolução, ao longo de um dia de Verão, do nível de conforto térmico (PMV) nas salas do edifício 1, com o ar condicionado ligado e janelas voltadas a: **a)** Norte (N), **b)** Sul (S), **c)** Este (E) e **d)** Oeste (O).

Comprova-se pela análise da figura 6.11 que o sistema de ar condicionado é muito importante para o conforto dos ocupantes. No entanto, esta condição é mais vantajosa no Inverno. Isto porque se verifica que praticamente em todas as salas a percentagem de pessoas insatisfeitas é inferior a 6% (categoria A da ISO 7730 (2005)).

No Verão verifica-se que todas as salas são confortáveis termicamente com valores positivos de PMV, mas estes são mais discrepantes. A Norte todas as divisões são confortáveis de acordo com a categoria A da ISO 7730 (2005). A Sul o compartimento 123 é confortável de acordo com a mesma categoria, mas as restantes (6 e 173) são confortáveis em consonância com a categoria B da mesma ISO. No que diz respeito às divisões orientadas a Este apurou-se que a 40 e a 102 são confortáveis segundo a categoria B da ISO 7730 (2005), enquanto a divisão 22 é confortável de acordo com a A. No sentido Oeste, o gabinete (61) é classificado como confortável na categoria A e a sala de aula (33) pertence à categoria B. A análise do laboratório (29), apesar de confortável, deixa algumas dúvidas em que categoria se insere, uma vez que apresenta valores ao longo o dia muito inconstantes.

Os compartimentos 30 e 38, são as áreas de passagem e apenas são confortáveis nos intervalos, já que é apenas nesse momento que é ligado o ar condicionado.

No que diz respeito às HDC, estas comprovam que no Inverno os resultados são mais favoráveis, pois para este caso o valor é de 670,5h (no Inverno eram 101,4 h). Nota-se uma melhoria muito mais acentuada no Verão com a aplicação do sistema AVAC do que no Inverno.

No entanto esta melhoria reflete-se num enorme aumento do consumo de energia. Para o edifício 1 da FCT, durante o dia mais quente do Verão, o consumo foi de 78537,5 kW.

6.2 Edifício 7

O edifício 7 é composto por quatro pisos: cave (que recebe radiação), rés-do-chão, primeiro andar, segundo andar.

São então considerados os espaços voltados a:

- Norte (salas 34, 42 e 234),
- a Sul (salas 48, 148, 192 e 207),
- a Este (salas 3, 16, 216 e 284) ,
- a Oeste (salas 70, 181 e 211).

O ciclo de ocupação para cada compartimento selecionado é representado nas seguintes tabelas de ocupação (tabelas 6.5, 6.6, 6.7, 6.8).

Não foi selecionada nenhuma sala de aula orientada a Oeste, nem nenhuma área de passagem a Norte, porque no edifício não havia este tipo de divisões nessas direções.

Tabela 6.5 – Ciclo de ocupação usado nos laboratórios do edifício 7.

Tempo (horas)	0h-8h30	8h30-10h	10h-10h15	10h15-11h45	11h45-12h	12h-13h30	13h30-13h45	13h45-15h15	15h15-15h30	15h30-17h	17h-17h15	17h15-18h45	18h45-19h	19h-20h30	20h30-24h	
Compartimento																Tipo de Compartimento
16	0	8	0	8	0	8	0	8	0	8	0	8	0	8	0	Laboratório (E)
42	0	8	0	8	0	8	0	8	0	8	0	8	0	8	0	Laboratório (N)
181	0	8	0	8	0	8	0	8	0	8	0	8	0	8	0	Laboratório (O)
189	0	8	0	8	0	8	0	8	0	8	0	8	0	8	0	Laboratório (S)

Tabela 6.6 – Ciclo de ocupação usado nas salas de aula do edifício 7.

Tempo (horas)	0h-8h30	8h30-10h	10h-10h15	10h15-11h45	11h45-12h	12h-13h30	13h30-13h45	13h45-15h15	15h15-15h30	15h30-17h	17h-17h15	17h15-18h45	18h45-19h	19h-20h30	20h30-24h	
Compartimento																Tipo de Compartimento
207	0	20	0	20	0	20	0	20	0	20	0	20	0	20	0	Sala de aula (S)
234	0	16	0	16	0	16	0	16	0	16	0	16	0	16	0	Sala de aula (N)
284	0	10	0	10	0	10	0	10	0	10	0	10	0	10	0	Sala de aula (E)

Tabela 6.7 – Ciclo de ocupação usado nas áreas de passagem do edifício 7.

Tempo (horas)	0h-8h30	8h30-10h	10h-10h15	10h15-11h45	11h45-12h	12h-13h30	13h30-13h45	13h45-15h15	15h15-15h30	15h30-17h	17h-17h15	17h15-18h45	18h45-19h	19h-20h30	20h30-24h	
Compartimento																Tipo de Compartimento
3	0	0	12	0	12	0	12	0	12	0	12	0	12	0	0	Área de passagem (E)
70	0	0	12	0	12	0	12	0	12	0	12	0	12	0	0	Área de passagem (O)
186	0	0	12	0	12	0	12	0	12	0	12	0	12	0	0	Área de passagem (S)

Tabela 6.8 – Ciclo de ocupação usado nos gabinetes do edifício 7.

Tempo (horas)	0h-8h30	8h30-10h	10h-10h15	10h15-11h45	11h45-12h	12h-13h30	13h30-13h45	13h45-15h15	15h15-15h30	15h30-17h	17h-17h15	17h15-18h45	18h45-19h	19h-20h30	20h30-24h	
Compartimento																Tipo de Compartimento
34	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0	Gabinete (N)
192	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0	Gabinete (S)
211	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0	Gabinete (O)
216	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0	Gabinete (E)

A concentração de CO₂ apresenta os mesmos valores para todos os cenários estudados já que a taxa de renovação se manteve inalterada.

A figura 6.12 apresenta os resultados relativos evolução da concentração de dióxido de carbono para as diversas salas.

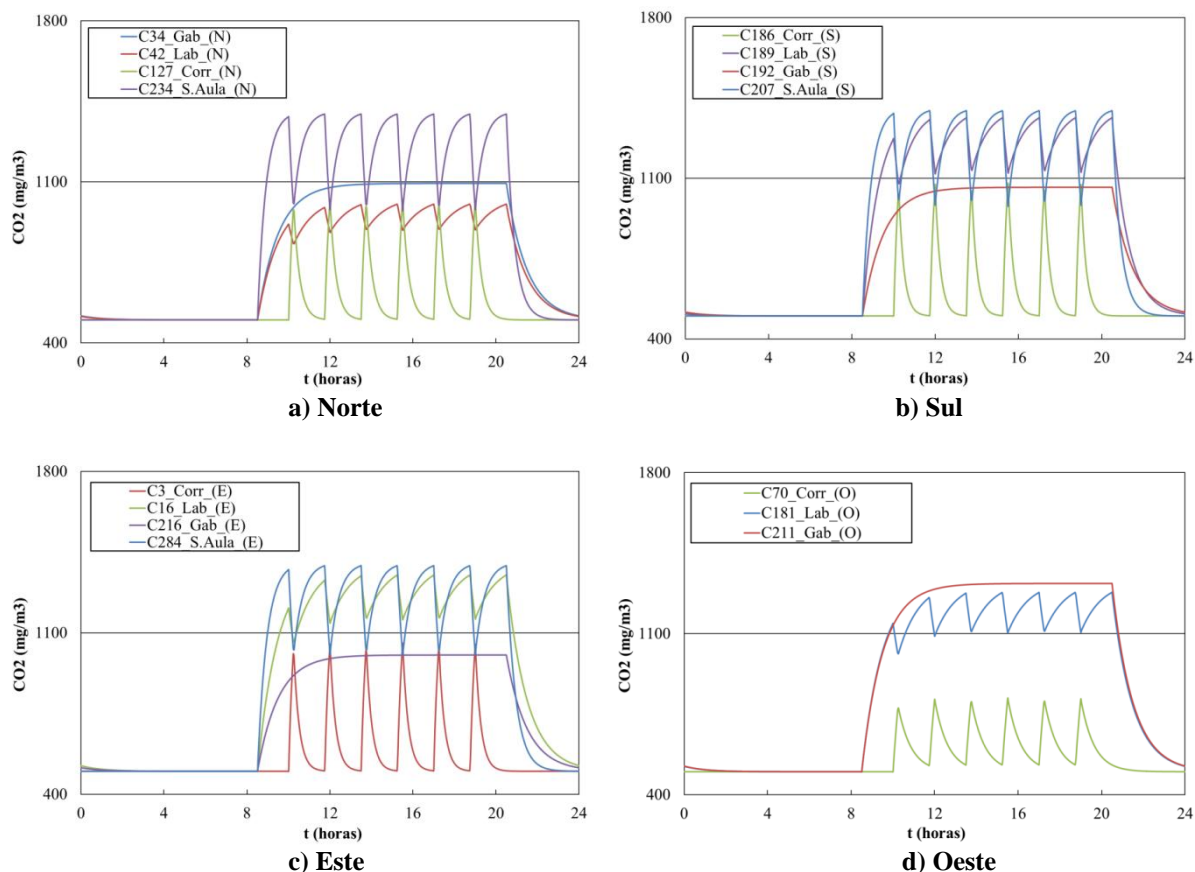


Figura 6.12 – Evolução, ao longo do dia, da concentração de dióxido de carbono (CO_2) nas salas do edifício 7 com janelas voltadas a: **a)** Norte (N), **b)** Sul (S), **c)** Este (E) e **d)** Oeste (O).

Através da figura 6.12 nota-se que a qualidade do ar é boa para todas as divisões escolhidas, pois a concentração de dióxido de carbono encontra-se sempre num nível inferior àquele que é o recomendado (1800 mg/m^3).

Para comprovar a boa qualidade do ar foram calculadas as HDQA, que para o caso deste edifício, não foram zero. Chegou-se a um valor de 11,6h. Analisando estes dados, constata-se que este valor advém apenas um compartimento, o 204, uma sala de aula orientada a Sul com uma ocupação de 14 pessoas. Não havendo nenhum fator externo que explique este comportamento, este valor pode dever-se a um erro da simulação.

6.2.1 Inverno

A figura 6.13 contém os gráficos referentes à evolução dos níveis de radiação solar, no Inverno, para as diferentes janelas correspondentes aos compartimentos escolhidos para análise.

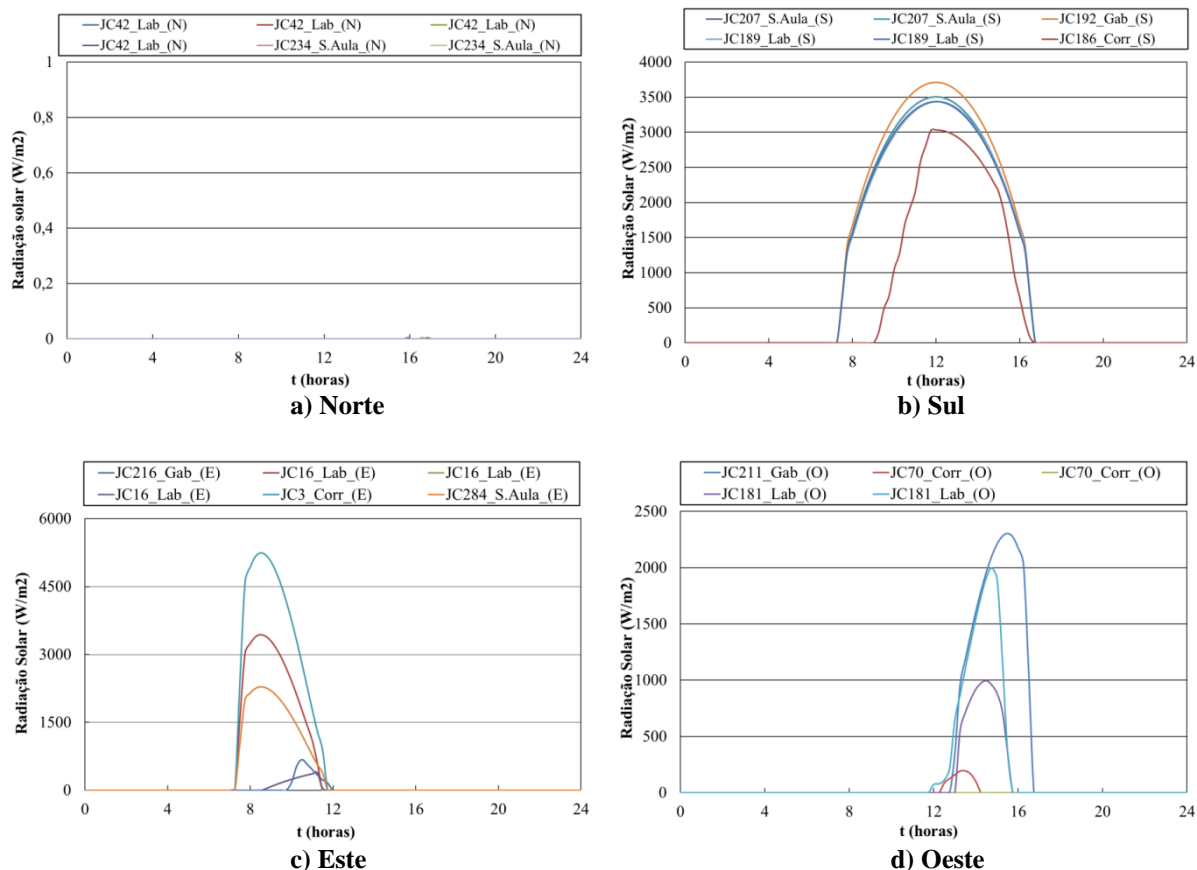


Figura 6.13 – Evolução, ao longo de um dia de Inverno, do nível de radiação solar nas salas do edifício 7 com janelas voltadas a: **a)** Norte (N), **b)** Sul (S), **c)** Este (E) e **d)** Oeste (O).

Os níveis de radiação solar, são o que se esperava, para todas as divisões. A Norte não se verifica radiação, a Sul a radiação solar incide principalmente ao meio-dia, a Este incide nas janelas na parte da manhã e a Oeste observam-se os níveis mais elevados da parte da tarde.

Condições de Inverno com sistema de aquecimento desligado

Poderá verificar-se se as temperaturas do ar estão em consonância com a orientação de cada compartimento pela figura seguinte.

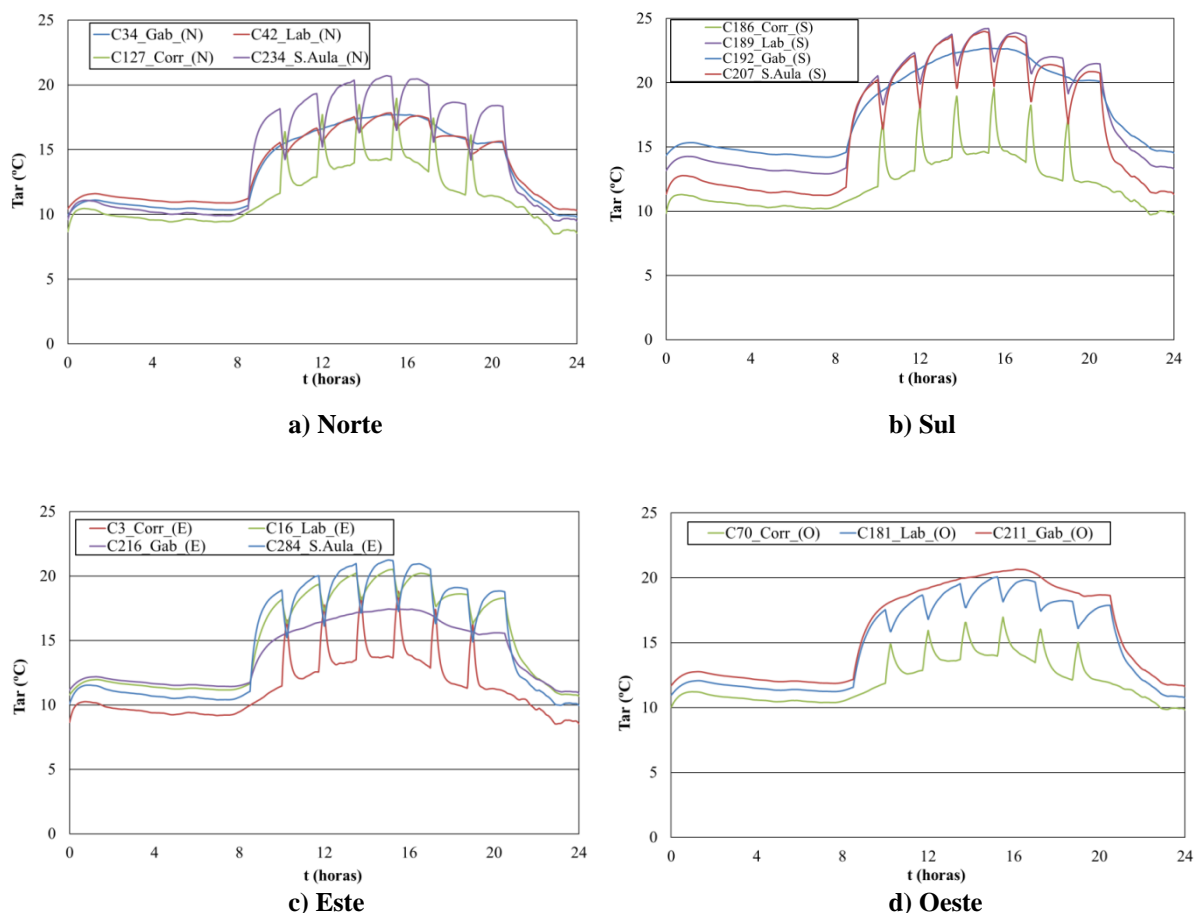


Figura 6.14 – Evolução, ao longo de um dia de Inverno, do nível de temperatura do ar (Tar) nas salas do edifício 7, com o ar condicionado desligado e com janelas voltadas a: **a)** Norte (N), **b)** Sul (S), **c)** Este (E) e **d)** Oeste (O).

Com a análise da figura 6.14 verifica-se que a maioria dos compartimentos apresenta uma temperatura do ar baixa, inferior a 20 °C, o que poderá ser sinal de desconforto dos ocupantes. A Sul, é de referir que na maioria dos compartimentos se observam temperaturas amenas, aproximadamente 24 °C. A Norte, as temperaturas são um pouco mais reduzidas do que nas restantes direções e a Sul mais elevadas, como era de prever.

Também para este edifício, tal como acontecia no edifício 1, nota-se que o valor da temperatura do ar não é constante ao longo do dia.

Seguidamente são apresentados os resultados do índice PMV através da figura 6.15.

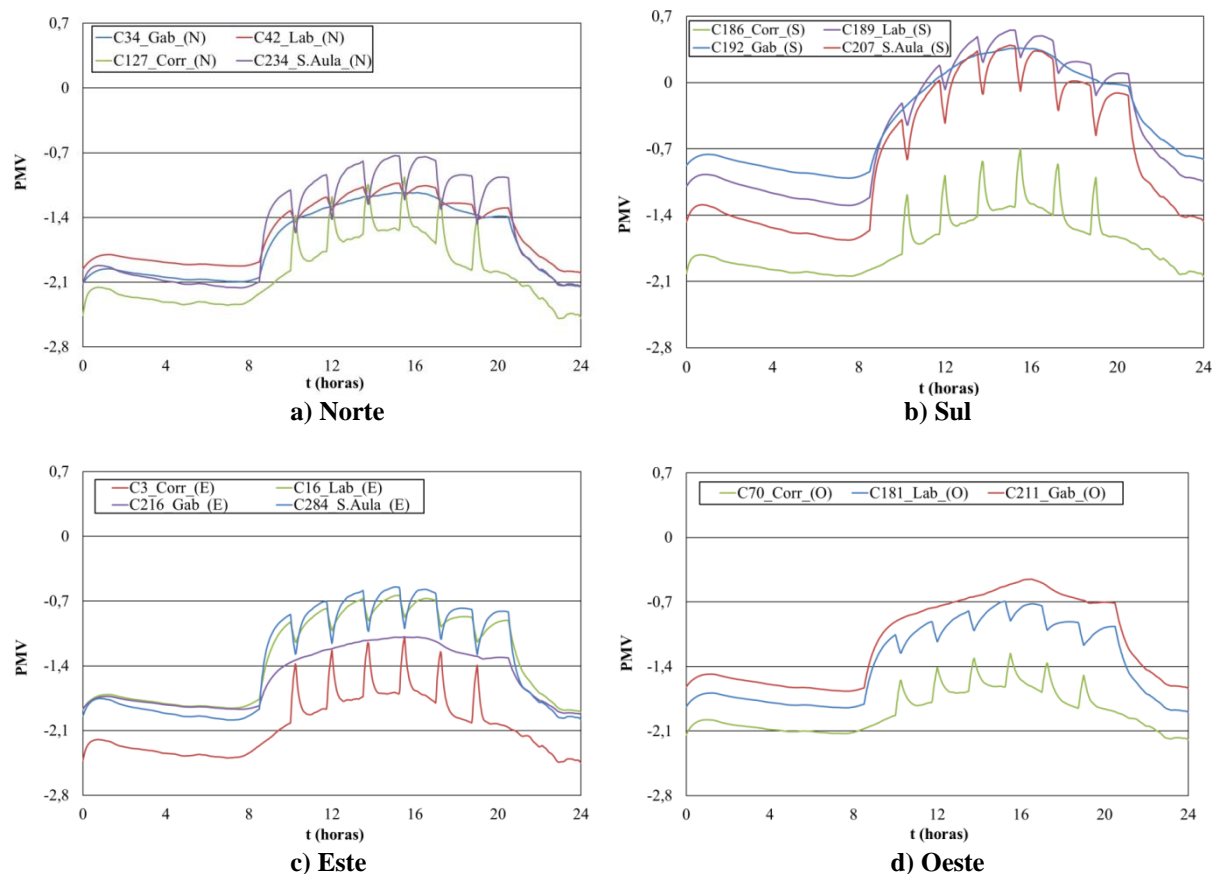


Figura 6.15 – Evolução, ao longo de um dia de Inverno, do nível de conforto térmico (PMV) nas salas do edifício 7, com o ar condicionado desligado e janelas voltadas a: **a)** Norte (N), **b)** Sul (S), **c)** Este (E) e **d)** Oeste (O).

Em condições de Inverno e com o ar condicionado desligado é possível verificar que as salas com as janelas orientadas a Sul são confortáveis por valores positivos de acordo com a categoria B da ISO 7730 (2005), em algumas horas do dia, nomeadamente das 12h às 17h. Era de esperar tal acontecimento, pois as temperaturas do ar nestes compartimentos eram amenas. Nas áreas de passagem verifica-se um desconforto por valores negativos. As restantes divisões são todas desconfortáveis por valores negativos do índice PMV.

As horas de desconforto por frio (HDF) são calculadas de forma a se puder comprovar que existe realmente desconforto nos compartimentos e em que proporção. Para este edifício obtiveram-se 2640,5h.

Condições de Inverno com sistema de aquecimento ligado

As figuras seguintes apresentam os resultados que se obtiveram com o sistema de aquecimento ligado.

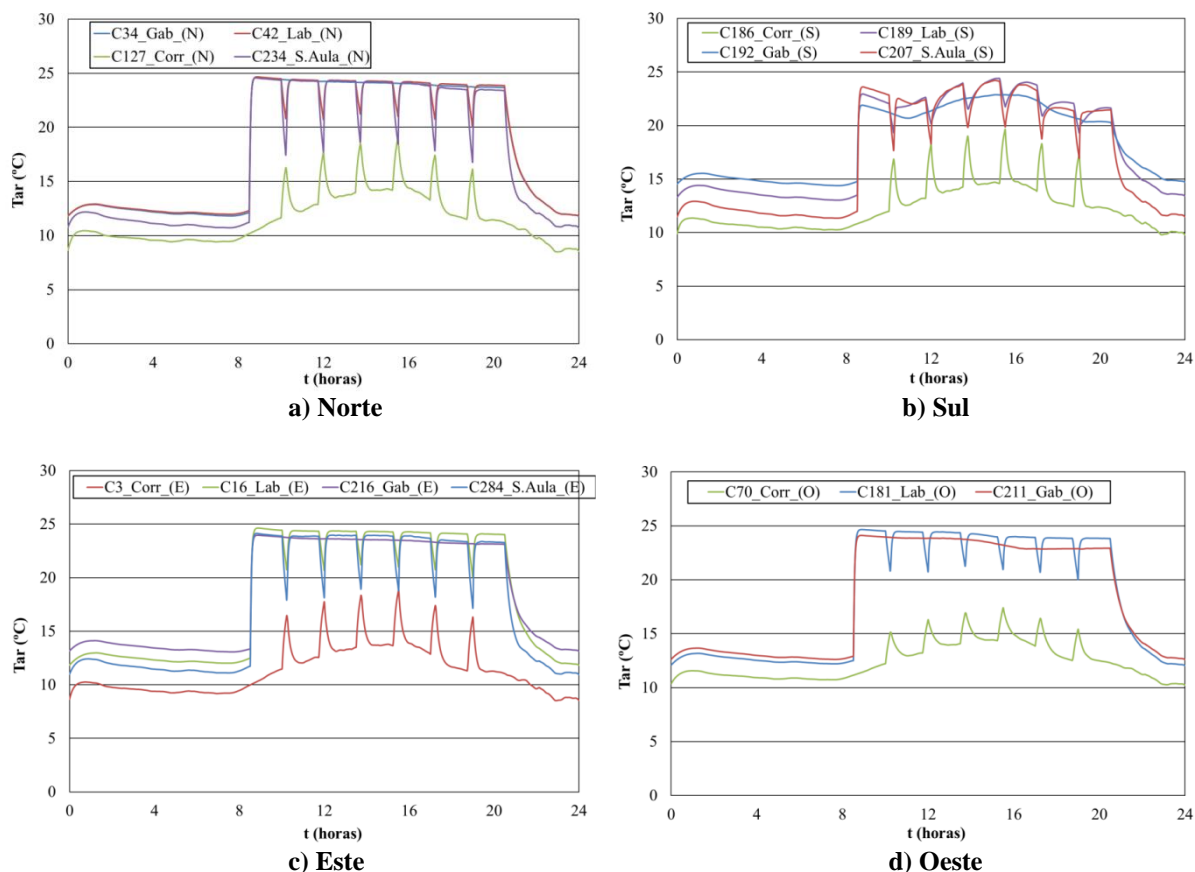


Figura 6.16 – Evolução, ao longo de um dia de Inverno, do nível de temperatura do ar (Tar) nas salas do edifício 7, com o ar condicionado ligado e com janelas voltadas a: **a)** Norte (N), **b)** Sul (S), **c)** Este (E) e **d)** Oeste (O).

No que diz respeito à temperatura do ar nos compartimentos após a ativação do sistema de aquecimento, verifica-se pela figura 6.16 que os valores se mantêm constantes e a um nível mais favorável para os seus ocupantes do que com o ar condicionado desligado. A temperatura do ar ronda os 24 °C em todos os compartimentos. É de referenciar que os compartimentos a Sul não apresentam um comportamento muito diferente daquele que apresentavam com o ar condicionado desligado, porque nesse cenário estes já mostravam temperaturas aproximadas a 24 °C.

A figura seguinte representa a evolução do nível de conforto térmico.

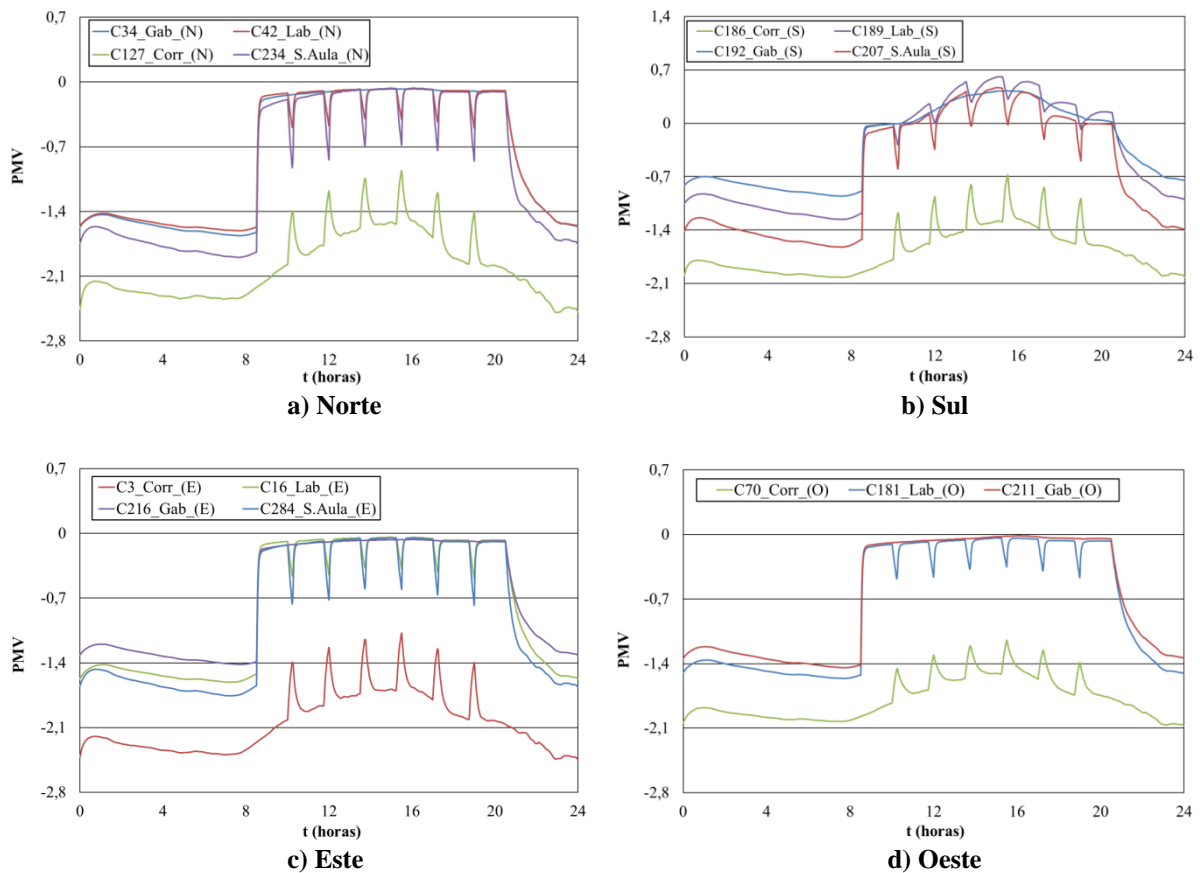


Figura 6.17 – Evolução, ao longo de um dia de Inverno, do nível de conforto térmico (PMV) nas salas do edifício 7, com o ar condicionado ligado e janelas voltadas a: **a)** Norte (N), **b)** Sul (S), **c)** Este (E) e **d)** Oeste (O).

Através do estudo da figura 6.17, reconhece-se que o sistema de arrefecimento é eficiente no conforto dos ocupantes. Com exceção das áreas de passagem e dos compartimentos a Sul, todas as salas são confortáveis por valores negativos de PMV consoante a categoria A da ISO 7730 (2005). Nas áreas de passagem o ar condicionado não é ligado. A Sul, as salas são confortáveis por valores positivos de acordo com a categoria B, tal como já se verificava com o ar condicionado desligado.

Com a obtenção das horas de desconforto por frio (HDF), que para este caso foi de 234,4h, pode-se afirmar que a maioria das divisões é confortável. Este valor resulta do desconforto que se verifica nas áreas de passagem.

O consumo térmico para este edifício, em condições de Inverno, foi de 32589,1 kW.

6.2.2 Verão

Este estudo é realizado no Algarve e assim sendo no Verão, as temperaturas do ar exterior são bastante elevadas. Este facto, induz a que o interior dos edifícios também se apresente mais quente. Os ocupantes dos edifícios, normalmente, sentem-se desconfortáveis

quando permanecem algum tempo dentro das salas, a não ser que se arranje alguma forma de as arrefecer. A utilização de ar condicionado, torna-se imprescindível ao bem-estar dos ocupantes.

A figura seguinte mostra a evolução dos valores de radiação incidente nas janelas orientadas a Norte, Sul, Este e Oeste.

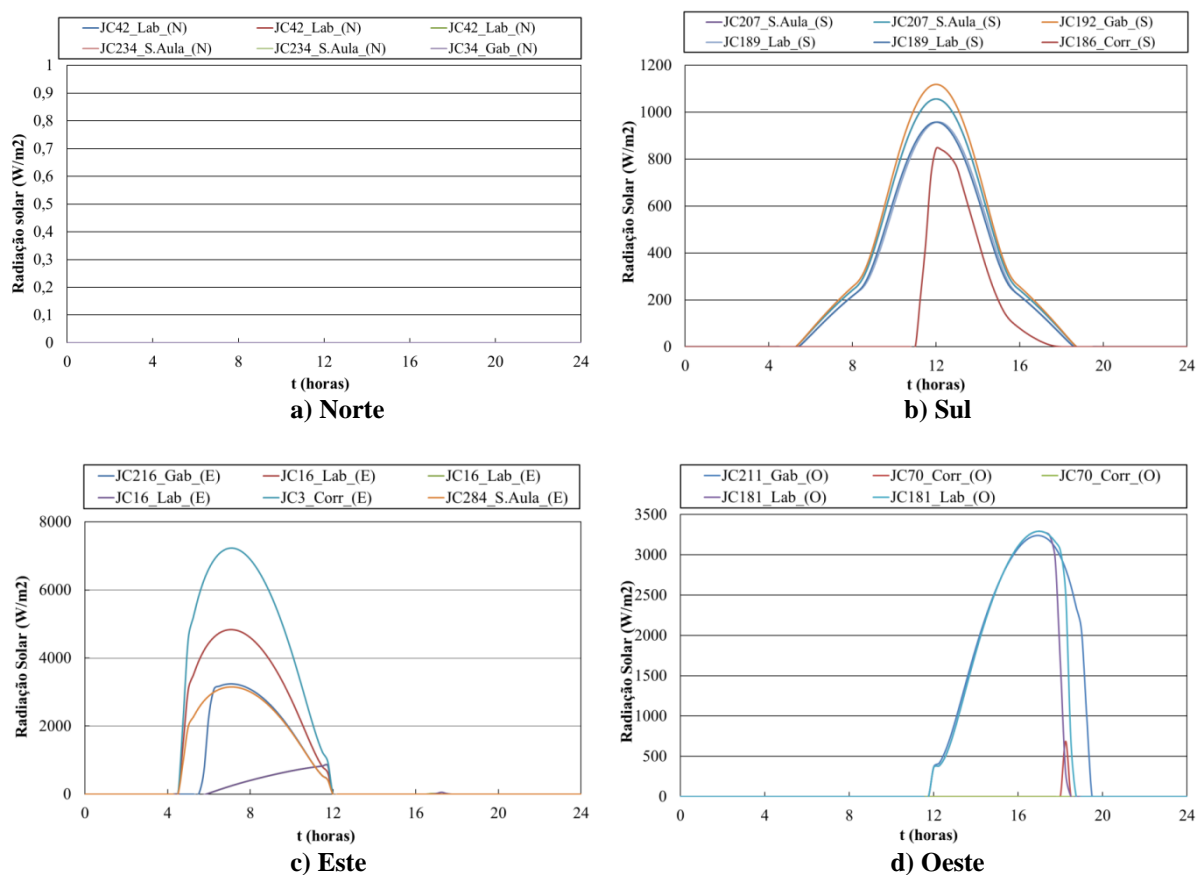


Figura 6.18 – Evolução, ao longo de um dia de Verão, do nível de radiação solar nas salas do edifício 7 com janelas voltadas a: **a)** Norte (N), **b)** Sul (S), **c)** Este (E) e **d)** Oeste (O).

Tal como se verifica no Inverno, os gráficos referentes à radiação solar, que são expostos na figura 6.18 revelam que os resultados então de acordo com o que se esperava, sendo que a Norte não se verifica radiação, a Sul a radiação é maior ao meio dia, a Este de manhã e a Oeste as curvas da evolução dos níveis de radiação apresentam os valores máximos à tarde.

Condições de Verão com sistema de ar condicionado desligado

Os resultados obtidos para este cenário serão apresentados nas figuras seguintes. Tanto os níveis de temperatura do ar, como os níveis de conforto térmico apresentam valores elevados.

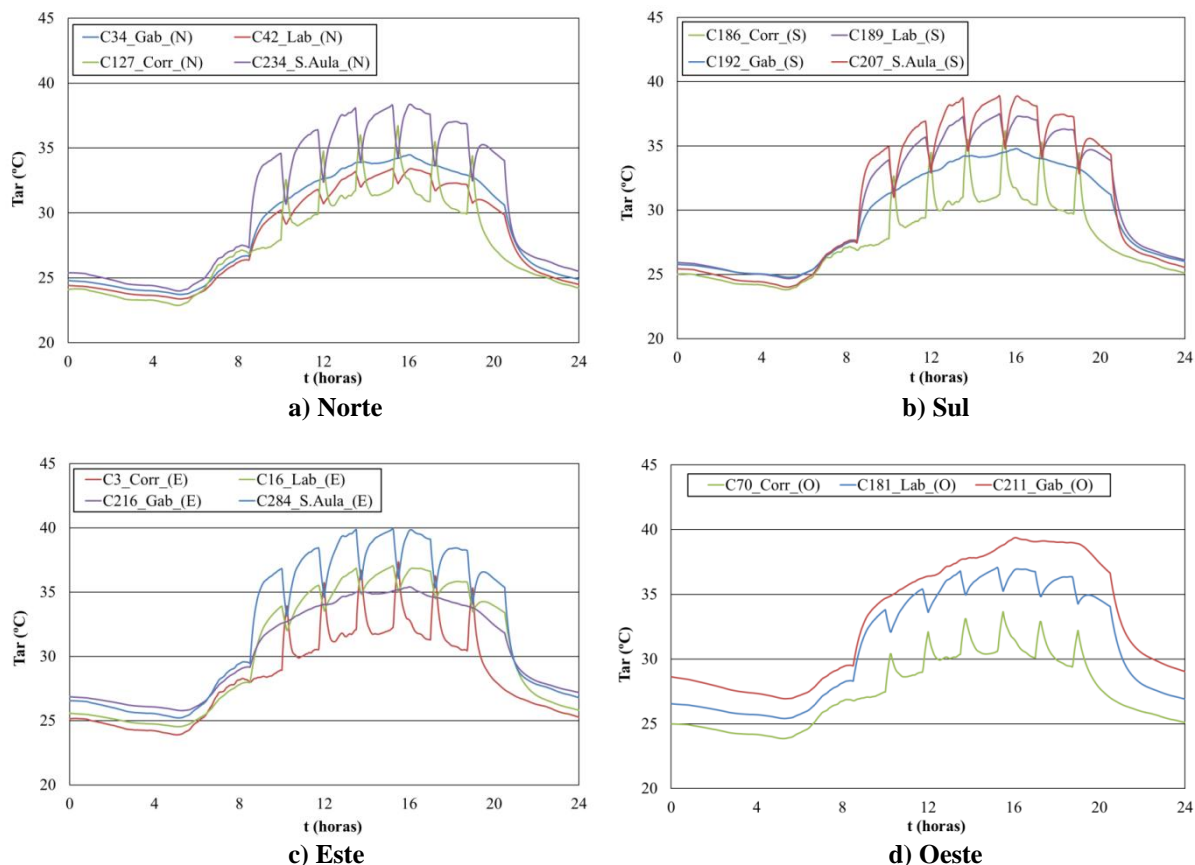


Figura 6.19 – Evolução, ao longo de um dia de Verão, do nível de temperatura do ar (Tar) nas salas do edifício 7, com o ar condicionado desligado e com janelas voltadas a: **a)** Norte (N), **b)** Sul (S), **c)** Este (E) e **d)** Oeste (O).

A evolução do nível de temperatura do ar ao longo de um dia de Verão é apresentada na figura 6.19 e é semelhante à do Inverno, com a diferença que os valores são mais elevados, neste caso entre os 30 °C e os 40 °C. Assim como já se comprovou noutros cenários, os valores elevados de temperatura vão influenciar no nível de conforto térmico, pois os ocupantes vão-se sentir desconfortáveis devido ao calor.

Este facto comprova-se pela observação da figura seguinte.

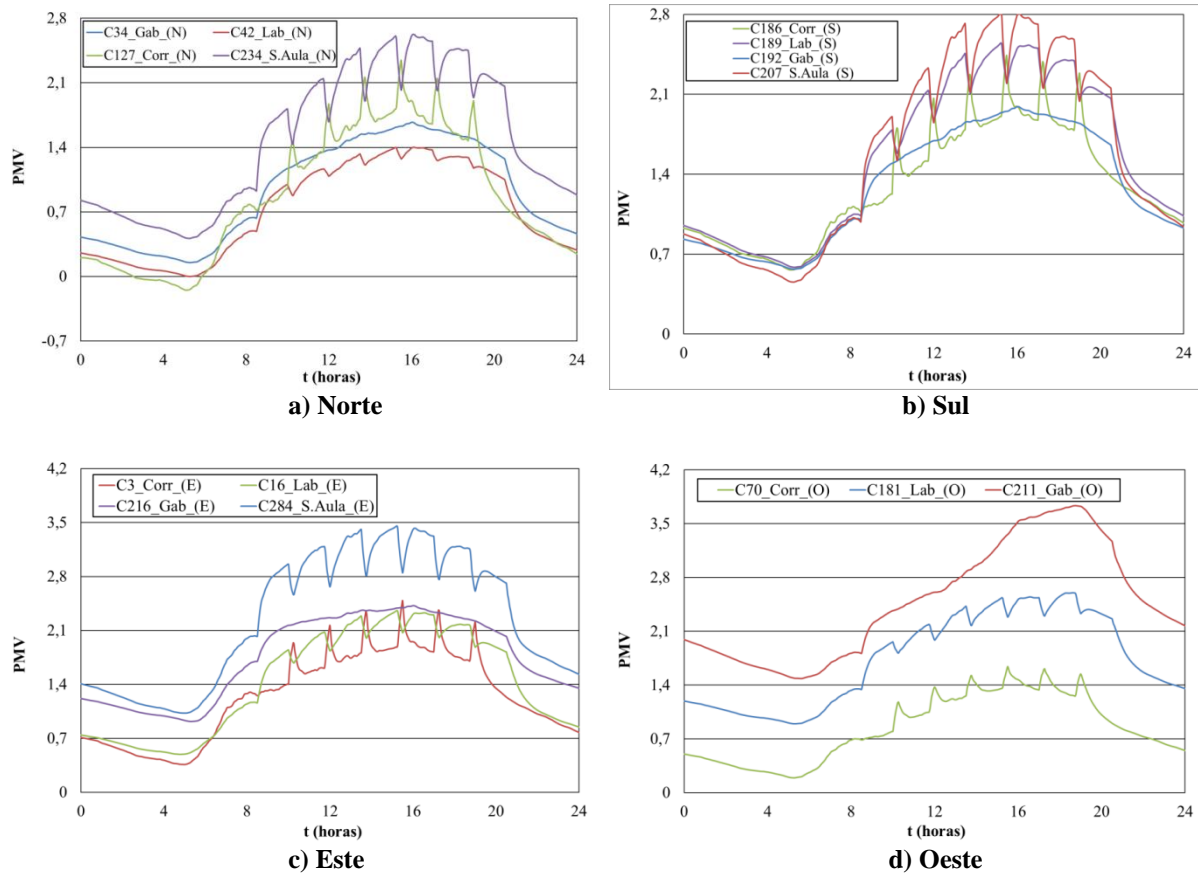


Figura 6.20 – Evolução, ao longo de um dia de Verão, do nível de conforto térmico (PMV) nas salas do edifício 7, com o ar condicionado desligado e janelas voltadas a: **a)** Norte (N), **b)** Sul (S), **c)** Este (E) e **d)** Oeste (O).

Em condições de Verão, sem ar condicionado, verifica-se pela figura 6.20, que todas as salas são desconfortáveis por valores positivos de PMV.

Analisando o valor das horas de desconforto por calor para todo o edifício comprova-se o que foi referido, pois 11962,1 h é um valor muito elevado.

Condições de Verão com sistema de ar condicionado ligado

Tal como foi referido anteriormente, no Verão, os ocupantes não se sentem confortáveis sem a utilização do sistema de ar condicionado.

Assim, os resultados relativos ao dia mais quente do Verão com o sistema de ar condicionado ligado são apresentados nas figuras a seguir.

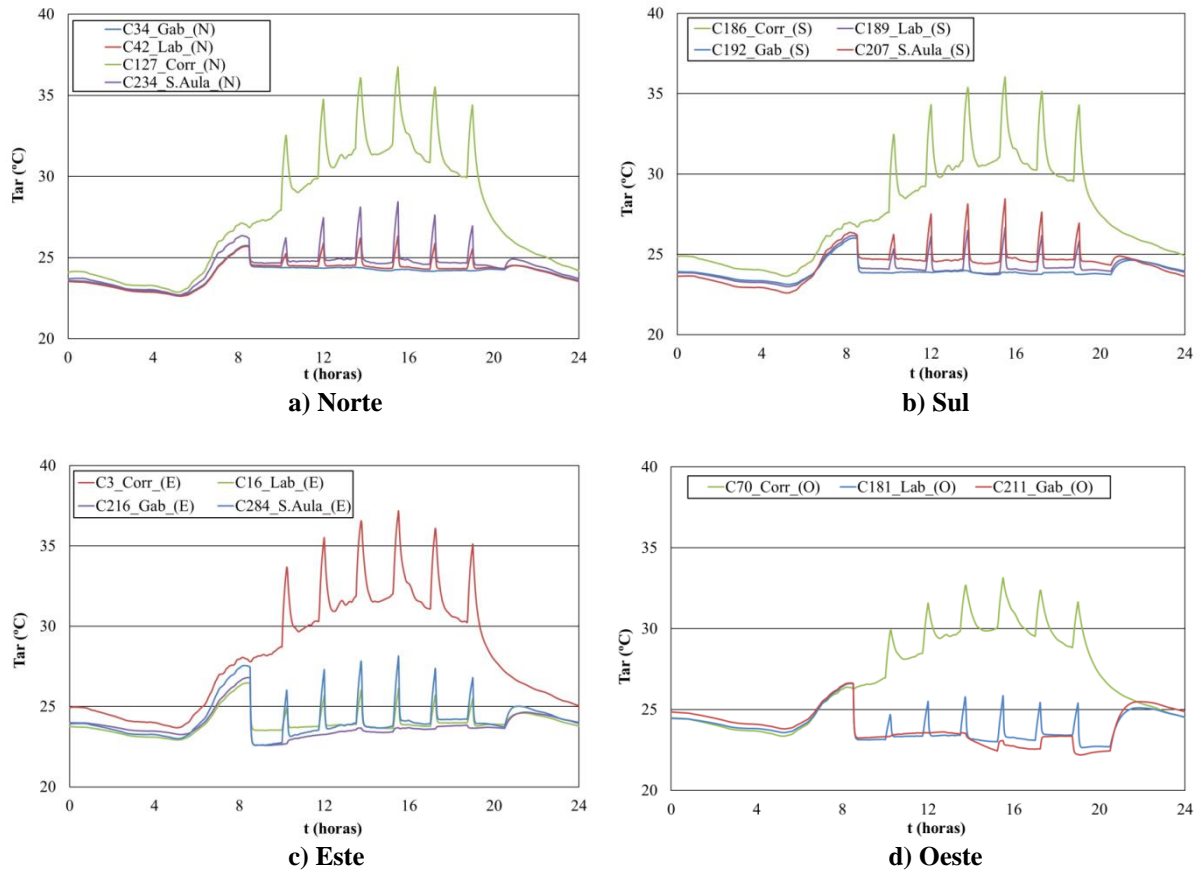


Figura 6.21 – Evolução, ao longo de um dia de Verão, do nível de temperatura do ar (Tar) nas salas do edifício 7, com o ar condicionado ligado e com janelas voltadas a: **a)** Norte (N), **b)** Sul (S), **c)** Este (E) e **d)** Oeste (O).

Através da observação da figura 6.21, nota-se que o nível de temperatura do ar, com o sistema de arrefecimento ligado, é benéfico para o conforto dos ocupantes destas salas. Verifica-se que ao longo das diferentes orientações, o valor de temperatura se encontra entre os 23 e os 24 °C. Estes valores podem ser considerados relativamente constantes ao longo do dia, uma vez que o ar condicionado vai manter a temperatura do ar sempre ao mesmo nível e assim a temperatura radiante não vai ter tanta influência.

Os gráficos seguintes, que estão inseridos na figura 6.22, apresentam os resultados do PMV para as divisões selecionadas.

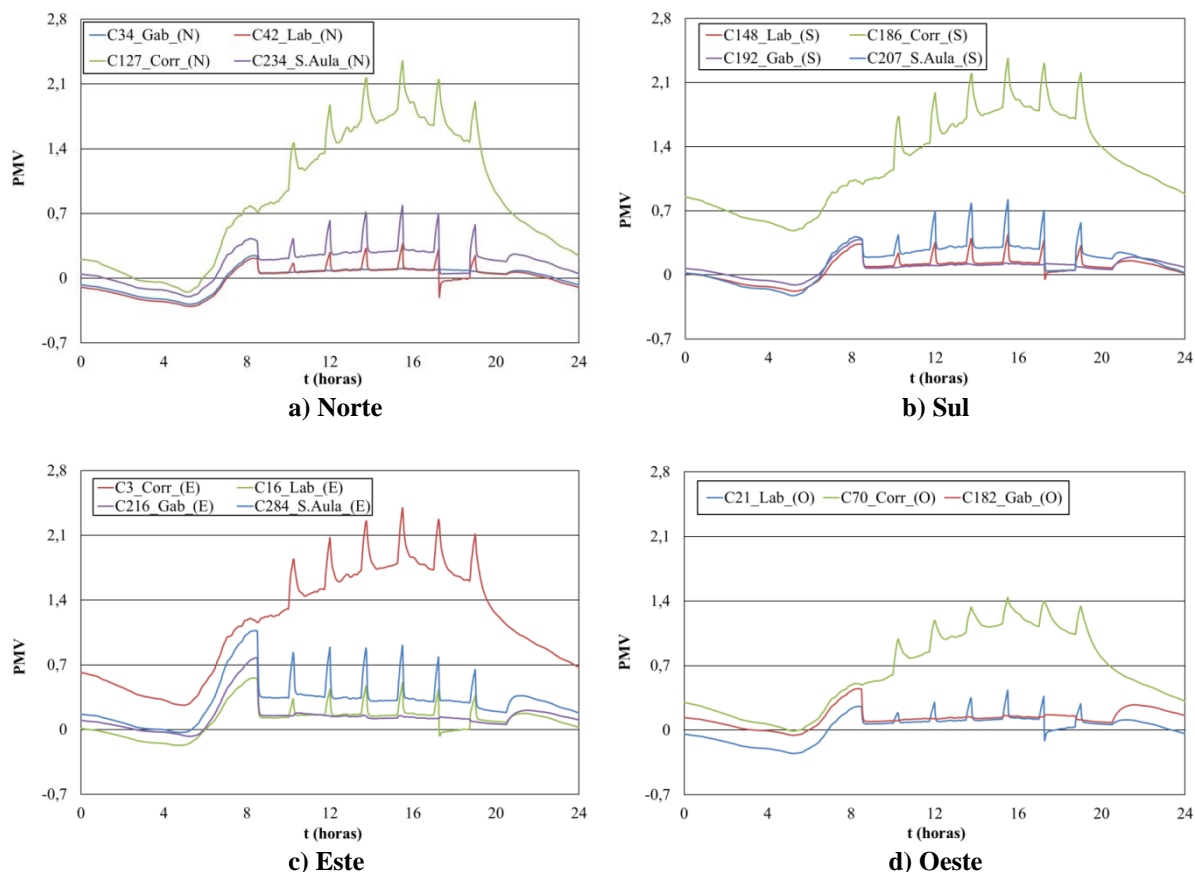


Figura 6.22 – Evolução, ao longo de um dia de Verão, do nível de conforto térmico (PMV) nas salas do edifício 7, com o ar condicionado ligado e janelas voltadas a: **a)** Norte (N), **b)** Sul (S), **c)** Este (E) e **d)** Oeste (O).

Os compartimentos seleccionados apresentam todos, com excepção das áreas de passagem, índices de PMV entre os 0 e os 0,7 (positivos) o que assegura o conforto dos ocupantes.

Em todas as direcções se verifica que as salas de aula são confortáveis de acordo com a categoria B da ISO 7730 (2005) enquanto os gabinetes e os laboratórios são confortáveis segundo a categoria A da mesma ISO.

As HDC neste caso são bastante inferiores às que se verificaram aquando do sistema de ar condicionado desligado. Ainda assim se pode constatar que existem compartimentos desconfortáveis ao longo de todo o edifício, pois num dia 269,7 horas são de desconforto.

O sistema de arrefecimento contribui em muito para o bem-estar, a nível térmico, das pessoas, no entanto contribui imenso para elevar o valor do consumo, que no caso do edifício 7, para condições de Verão é de 75056,0 kW.

6.3 Edifício 8

O edifício 8 é composto por quatro pisos: cave (que não recebe qualquer tipo de radiação), rés-do-chão, primeiro andar e segundo andar.

São então considerados os espaços voltados a:

- Norte (salas 75, 96, 178),
- a Sul (salas 84, 107, 129 e 183),
- a Este (salas 53, 120, 151 e 217),
- a Oeste (salas 56, 65, 121 e 229).

O ciclo de ocupação para cada compartimento selecionado, é representado nas seguintes tabelas de ocupação (tabelas 6.9, 6.10, 6.11, 6.12).

É de notar que a Norte não foi selecionada nenhuma sala de aula, uma vez que no edifício não havia este tipo de divisão nesta direção. Não foi escolhido nenhum compartimento da cave pois este piso não recebe radiação.

Tabela 6.9 – Ciclo de ocupação usado nos laboratórios do edifício 8.

Tempo (horas)	0h-8h30	8h30-10h	10h-10h15	10h15-11h45	11h45-12h	12h-13h30	13h30-13h45	13h45-15h15	15h15-15h30	15h30-17h	17h-17h15	17h15-18h45	18h45-19h	19h-20h30	20h30-24h	
Compartimento																Tipo de Compartimento
53	0	8	0	8	0	8	0	8	0	8	0	8	0	8	0	Laboratório (E)
56	0	8	0	8	0	8	0	8	0	8	0	8	0	8	0	Laboratório (O)
96	0	8	0	8	0	8	0	8	0	8	0	8	0	8	0	Laboratório (N)
107	0	8	0	8	0	8	0	8	0	8	0	8	0	8	0	Laboratório (S)

Tabela 6.10 – Ciclo de ocupação usado nas salas de aula do edifício 8.

Tempo (horas)	0h-8h30	8h30-10h	10h-10h15	10h15-11h45	11h45-12h	12h-13h30	13h30-13h45	13h45-15h15	15h15-15h30	15h30-17h	17h-17h15	17h15-18h45	18h45-19h	19h-20h30	20h30-24h	
Compartimento																Tipo de Compartimento
120	0	28	0	28	0	28	0	28	0	28	0	28	0	28	0	Sala de aula (E)
121	0	28	0	28	0	28	0	28	0	28	0	28	0	28	0	Sala de aula (O)
129	0	30	0	30	0	30	0	30	0	30	0	30	0	30	0	Sala de aula (S)

Tabela 6.11 – Ciclo de ocupação usado nas áreas de passagem do edifício 8.

Tempo (horas)	0h-8h30	8h30-10h	10h-10h15	10h15-11h45	11h45-12h	12h-13h30	13h30-13h45	13h45-15h15	15h15-15h30	15h30-17h	17h-17h15	17h15-18h45	18h45-19h	19h-20h30	20h30-24h	
Compartimento																Tipo de Compartimento
65	0	0	12	0	12	0	12	0	12	0	12	0	12	0	0	Área de passagem (O)
75	0	0	12	0	12	0	12	0	12	0	12	0	12	0	0	Área de passagem (N)
84	0	0	12	0	12	0	12	0	12	0	12	0	12	0	0	Área de passagem (S)
217	0	0	12	0	12	0	12	0	12	0	12	0	12	0	0	Área de passagem (E)

Tabela 6.12 – Ciclo de ocupação usado nos gabinetes do edifício 8.

Tempo (horas)	0h-8h30	8h30-10h	10h-10h15	10h15-11h45	11h45-12h	12h-13h30	13h30-13h45	13h45-15h15	15h15-15h30	15h30-17h	17h-17h15	17h15-18h45	18h45-19h	19h-20h30	20h30-24h	
Compartimento																Tipo de Compartimento
151	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0	Gabinete (E)
178	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0	Gabinete (N)
183	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0	Gabinete (S)
229	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0	Gabinete (O)

Seguidamente serão apresentados os resultados relativos ao edifício 8, começando por mostrar a qualidade do ar através dos níveis de concentração de dióxido de carbono nas diferentes salas (figura 6.23).

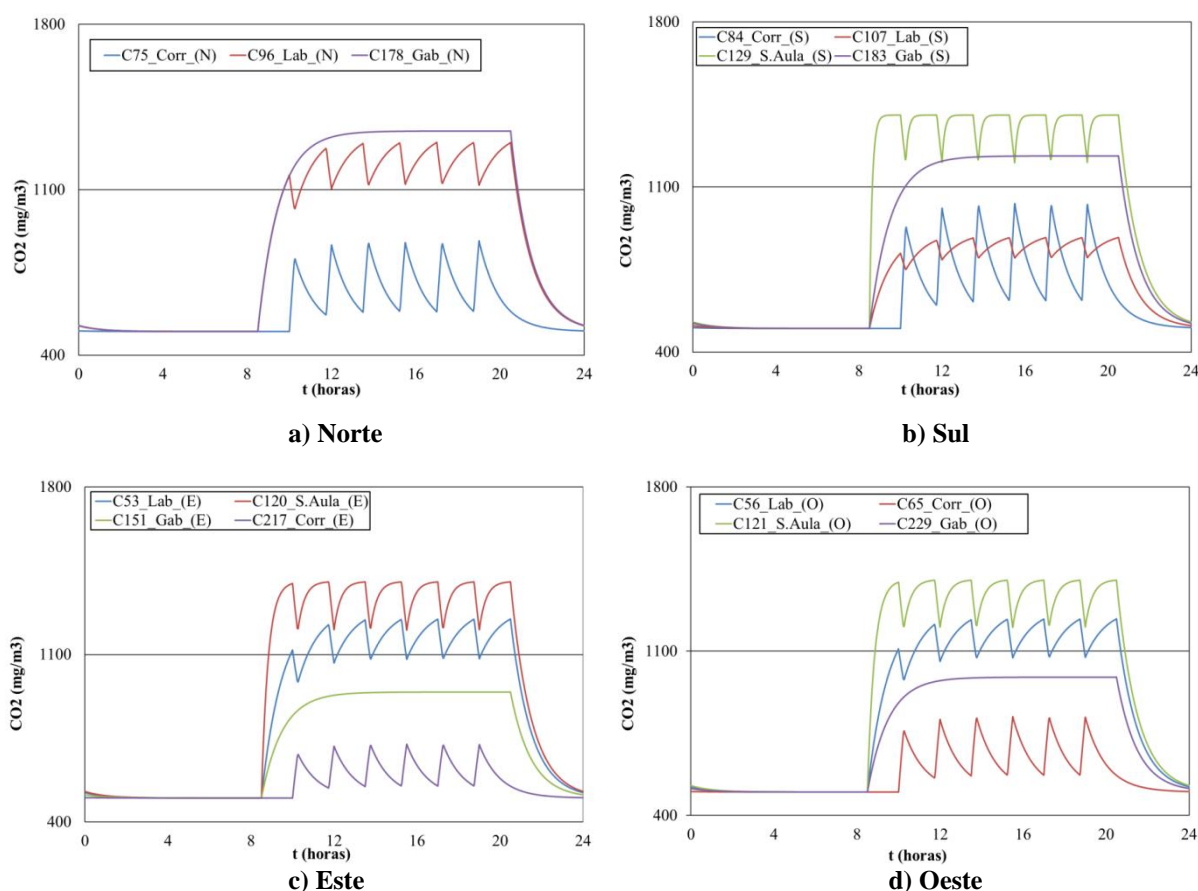


Figura 6.23 – Evolução, ao longo do dia, da concentração de dióxido de carbono (CO₂) nas salas do edifício 8 com janelas voltadas a: **a)** Norte (N), **b)** Sul (S), **c)** Este (E) e **d)** Oeste (O).

Tal como nos dois edifícios já apresentados, a concentração do CO₂ apresenta o mesmo valor para os quatro cenários, porque se manteve inalterada a taxa de renovação.

Com a observação dos gráficos da figura 6.23 constata-se que a qualidade do ar é favorável aos ocupantes dos compartimentos escolhidos. Isto porque o valor de concentração do dióxido de carbono nunca ultrapassa os 1800 mg/m³. No entanto, ao analisar o número de horas de desconforto de qualidade do ar (HDQA) verifica-se que existem 4,9 h em que os ocupantes se sentem desconfortáveis, o que prova que algum compartimento deste edifício possa ter valores de concentração de dióxido de carbono superiores a 1800 mg/m³. Este valor pode dever-se a algum erro aquando da elaboração do ciclo de ocupação.

6.3.1 Inverno

O Inverno no Algarve não é muito rigoroso. Por esse motivo, as temperaturas do ar exterior, são mais amenas do que noutras regiões do país. Assim, para este estudo é importante esta informação, pois vai influenciar nos resultados obtidos.

Na figura 6.24 é apresentada a evolução dos níveis de radiação solar, no Inverno, para as diferentes janelas correspondentes aos compartimentos escolhidos para análise.

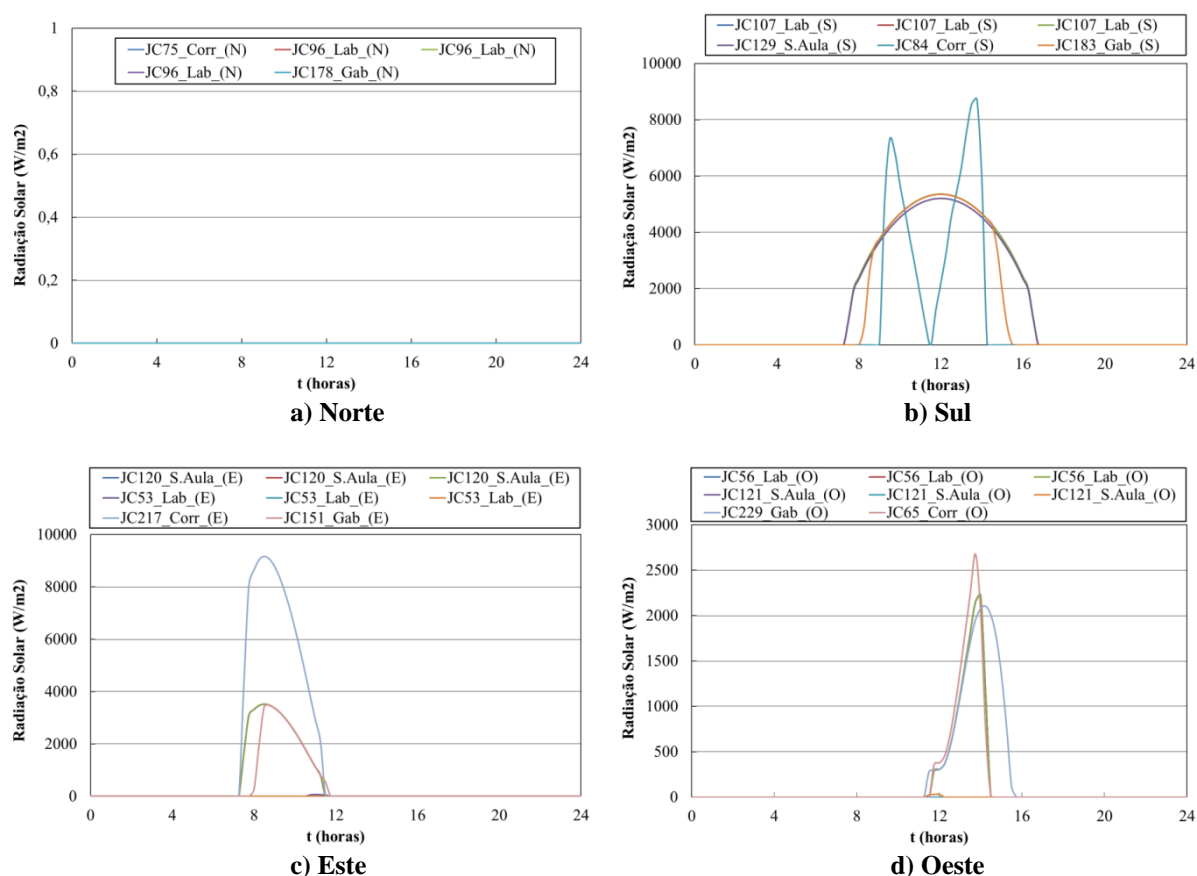


Figura 6.24 – Evolução, ao longo de um dia de Inverno, do nível de radiação solar nas salas do edifício 8 com janelas voltadas a: **a)** Norte (N), **b)** Sul (S), **c)** Este (E) e **d)** Oeste (O).

Após a análise da figura 6.24 pode-se constatar que os valores da radiação para todos os compartimentos correspondem ao que era esperado. A Norte não existe radiação. A Sul verifica-se a existência de dois picos, o que mais uma vez pode corresponder ao facto de existir algum sombreamento para esta divisão (84), visto que o mesmo se encontra no rés-do-chão e na parte interior do edifício.

Condições de Inverno com sistema de aquecimento desligado

A partir da observação dos resultados da radiação pode-se prever o comportamento das curvas de temperatura e consequentemente do índice de PMV.

Na figura 6.25, são apresentados os resultados para a temperatura do ar no interior das salas selecionadas.

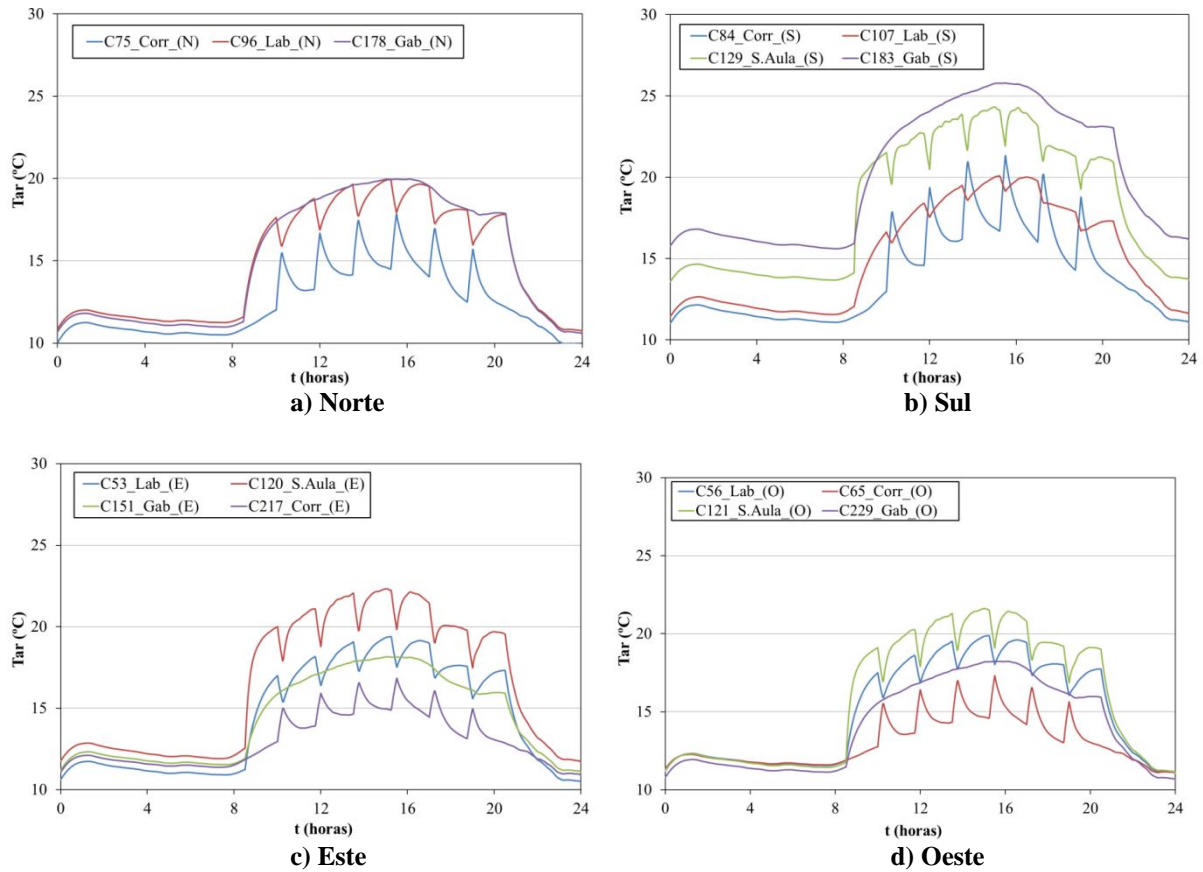


Figura 6.25 – Evolução, ao longo de um dia de Inverno, do nível de temperatura do ar (Tar) nas salas do edifício 8, com o ar condicionado desligado e com janelas voltadas a: **a)** Norte (N), **b)** Sul (S), **c)** Este (E) e **d)** Oeste (O).

Com a observação da figura 6.25, tal como acontece nos edifícios estudados anteriormente, o valor da temperatura do ar não é constante ao longo do dia. A Norte e em alguns compartimentos orientados nas outras direções os valores não ultrapassam os 20 °C, o que deve provocar um grande desconforto térmico. A Sul existem duas divisões (129 e 183) que apresentam uma temperatura anormal para a época fria, que ronda os 25 °C. Nestes casos, os ocupantes devem sentir algum calor. Os compartimentos 120 a Este e 121 a Oeste contêm uma temperatura satisfatória, aproximadamente 23 °C, o que provocará conforto térmico.

Estes factos serão comprovados de seguida, pela figura 6.26 na apresentação dos valores de PMV.

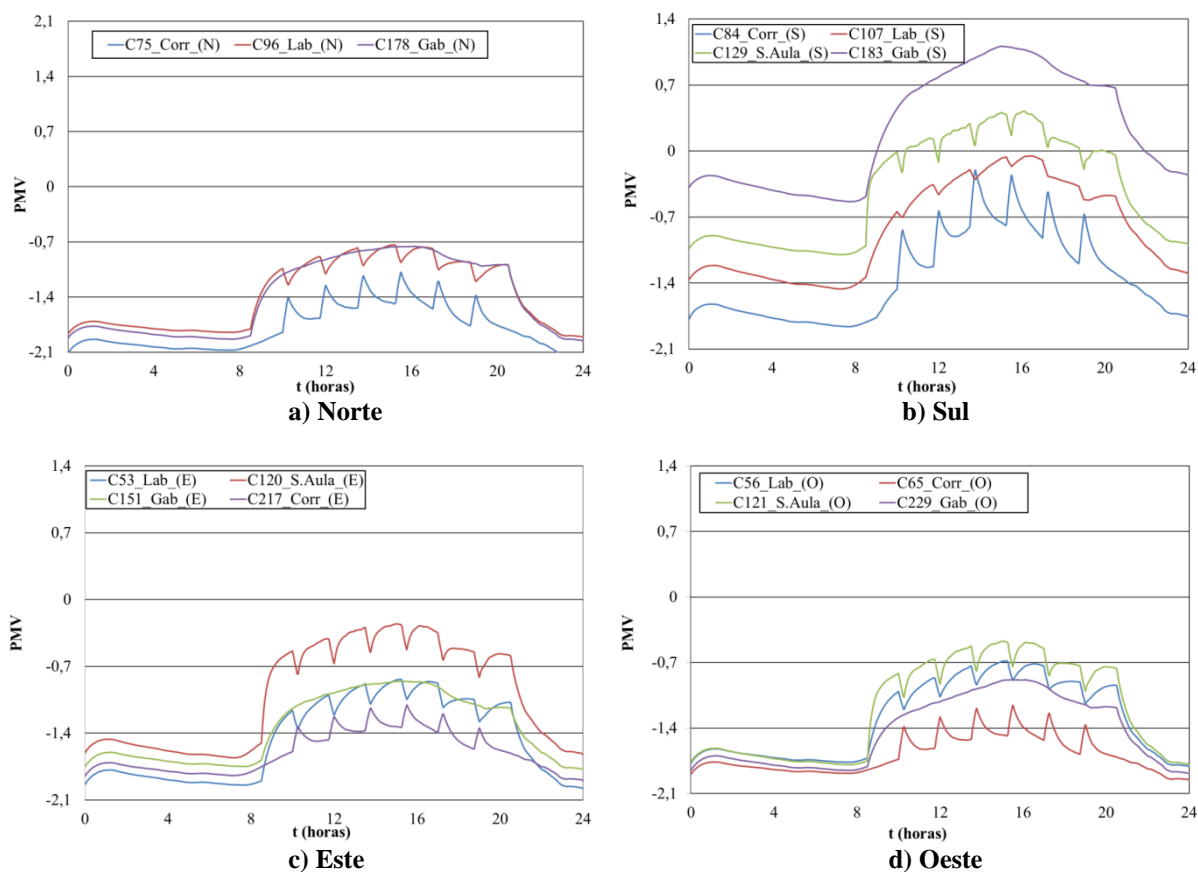


Figura 6.26 – Evolução, ao longo de um dia de Inverno, do nível de conforto térmico (PMV) nas salas do edifício 8, com o ar condicionado desligado e janelas voltadas a: **a)** Norte (N), **b)** Sul (S), **c)** Este (E) e **d)** Oeste (O).

Em condições de Inverno e com o ar condicionado desligado é possível verificar que todas as salas a Norte são desconfortáveis por valores negativos do índice PMV. Também a Este e Oeste a maioria das salas apresentam essa situação, com exceção das divisões 120 e 121 onde se verifica existir conforto térmico por valores negativos de acordo com a categoria C da ISO 7730 (2005). Relativamente aos compartimentos orientados a Sul, os valores são bastante distintos. O compartimento 84 (área de passagem) é desconfortável por valores negativos de índice PMV. O 107, que é um laboratório, é confortável por valores negativo consoante a categoria B, enquanto o compartimento 129 (sala de aula) é confortável de acordo com a mesma categoria mas por valores positivos. A divisão 183 (um gabinete) encontra-se desconfortável por valores positivos.

Ao examinar os resultados obtidos para as HDF comprova-se que existem muitos compartimentos nos quais os ocupantes se encontram desconfortáveis, pois o total de horas para este edifício sem o sistema de aquecimento ligado é de 2373,6 horas.

Condições de Inverno com sistema de aquecimento desligado

Seguidamente serão apresentados os resultados que se obtiveram com o sistema de ar condicionado ligado.

A figura 6. 27 apresenta a evolução da temperatura do ar.

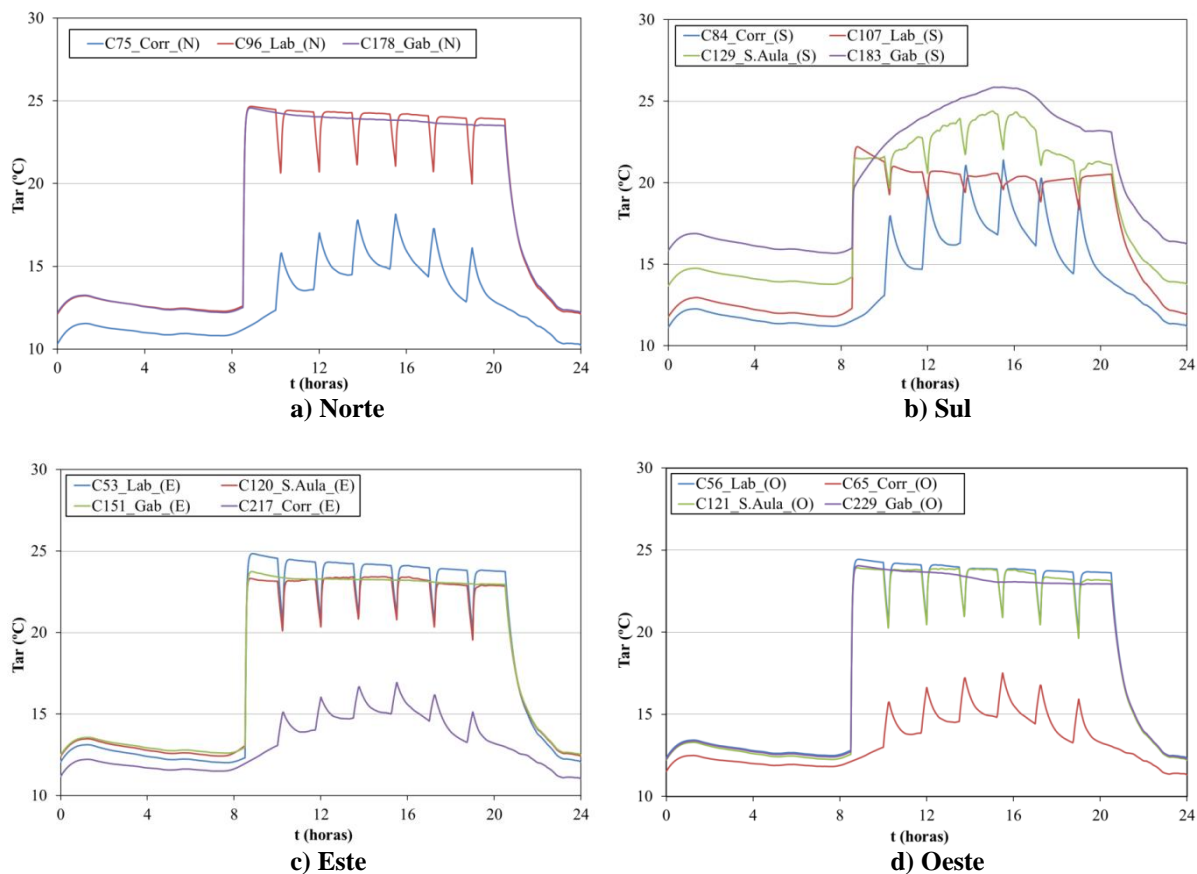


Figura 6.27 – Evolução, ao longo de um dia de Inverno, do nível de temperatura do ar (Tar) nas salas do edifício 8, com o ar condicionado ligado e com janelas voltadas a: **a)** Norte (N), **b)** Sul (S), **c)** Este (E) e **d)** Oeste (O).

Na figura 6.27 está representada a temperatura do ar quando se liga o sistema de aquecimento. Verifica-se que para Norte, Este e Oeste, a temperatura média ronda os 24° C, sendo esta mais constante ao longo do dia do que se verificava quando o ar condicionado estava desligado. As áreas de passagem não apresentam melhorias, porque o sistema de aquecimento não é ligado. Mais uma vez os resultados que são apresentados a Sul são irregulares, sendo que se pode comprovar que o sistema de aquecimento não é eficiente nas salas 129 e 183, já que apresentam o mesmo comportamento que as linhas dos gráficos elaborados par o ar condicionado desligado.

Na figura seguinte (figura 6.28) são reproduzidos os resultados do índice de PMV aquando da aplicação de sistema de aquecimento. É de referir que todas as divisões escolhidas para este estudo, com a exceção já referida das áreas de passagem e dos compartimentos 129 e 183 a Sul, são confortáveis por valores negativos de PMV de acordo com a categoria A da ISO 7730 (2005). Mais uma vez se confirma que o ar condicionado não foi eficiente naquelas divisões. Isto deve-se ao facto destes compartimentos já terem uma temperatura mais elevada, assim ao ligar o sistema de aquecimento este já não vai surtir efeito.

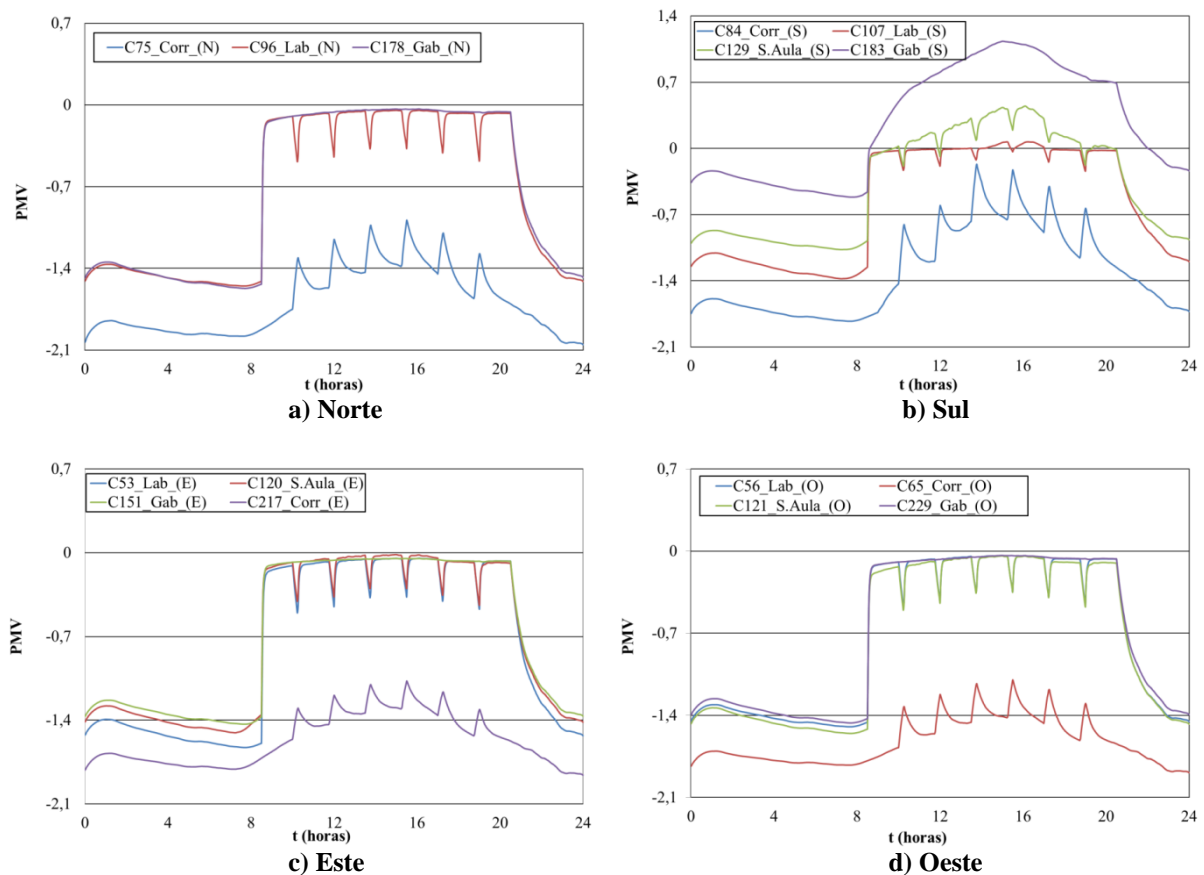


Figura 6.28 – Evolução, ao longo de um dia de Inverno, do nível de conforto térmico (PMV) nas salas do edifício 8, com o ar condicionado ligado e janelas voltadas a: **a)** Norte (N), **b)** Sul (S), **c)** Este (E) e **d)** Oeste (O).

As horas de desconforto com o sistema de aquecimento ligado foram de 123,3h, o que demonstra que a aplicação deste é vantajosa no que diz respeito ao conforto térmico, pois com o ar condicionado desligado o valor de HDF é muito superior. No entanto, é de referir que o consumo de energia devido à utilização deste sistema, é demasiado alto, sendo para este edifício um valor de 48794,4 kW.

6.3.2 Verão

Através da figura 6.29 é possível analisar os resultados relativos aos níveis de radiação solar que incidem nas janelas correspondentes aos compartimentos selecionados.

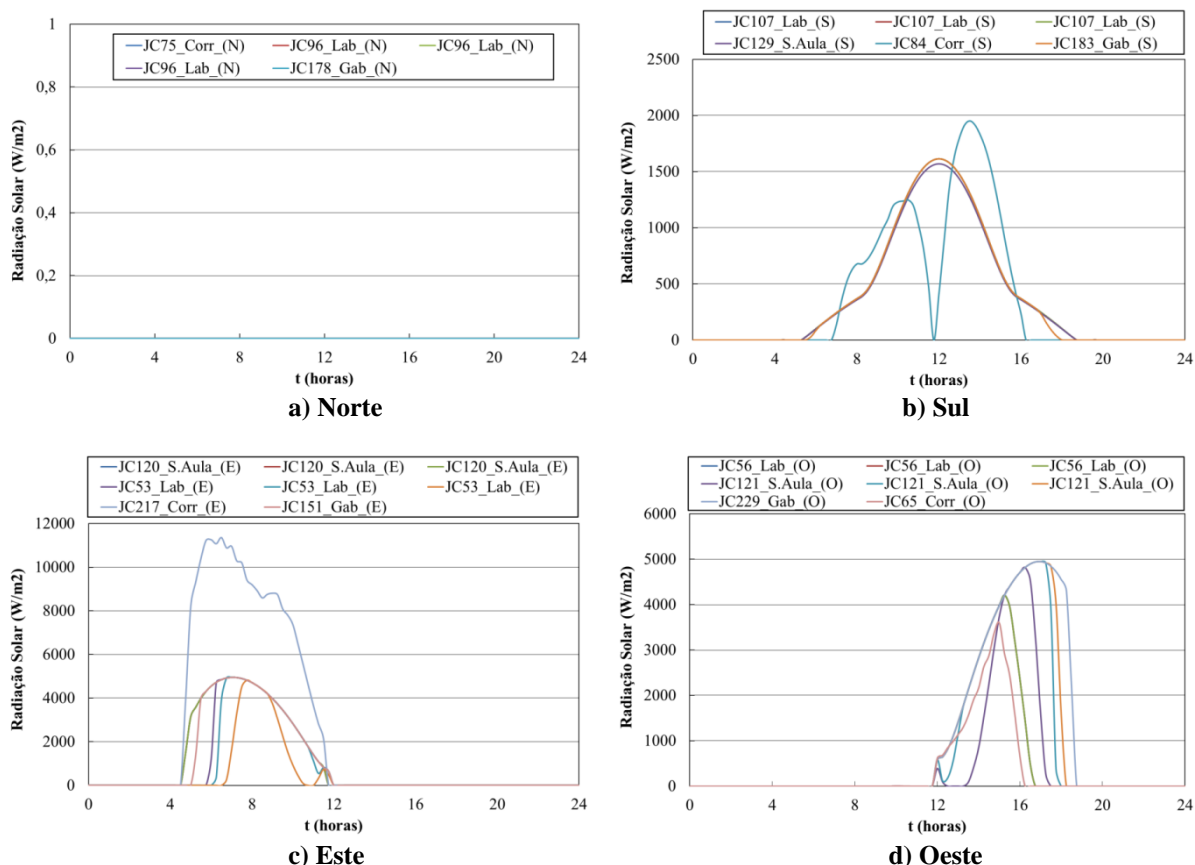


Figura 6.29 – Evolução, ao longo de um dia de Verão, do nível de radiação solar nas salas do edifício 8 com janelas voltadas a: **a)** Norte (N), **b)** Sul (S), **c)** Este (E) e **d)** Oeste (O).

Após a observação da figura 6.29, pode ser referido que na maioria das curvas se obteve um comportamento de acordo com o que era esperado. A Norte sem valores de radiação, a Sul com os valores mais acentuados ao meio dia, a Este e Oeste, da arte da manhã e tarde respetivamente. No entanto, é de assinalar que alguns compartimentos apresentam dois picos. O compartimento 84 a Sul, o 53 a Este e o 121 a Oeste, são compartimentos que se encontram no piso inferior (rés-do-chão), todos eles são localizados na parte interior do edifício. Desta, forma todos eles recebem sombreamento proveniente do próprio edifício.

Condições de Verão com sistema de ar condicionado desligado

Os resultados apresentados de seguida reportam os valores obtidos em condições de Verão com o ar condicionado desligado.

A figura 6.30 representa os diversos gráficos com os valores de temperatura do ar interior nas salas escolhidas nas diferentes orientações.

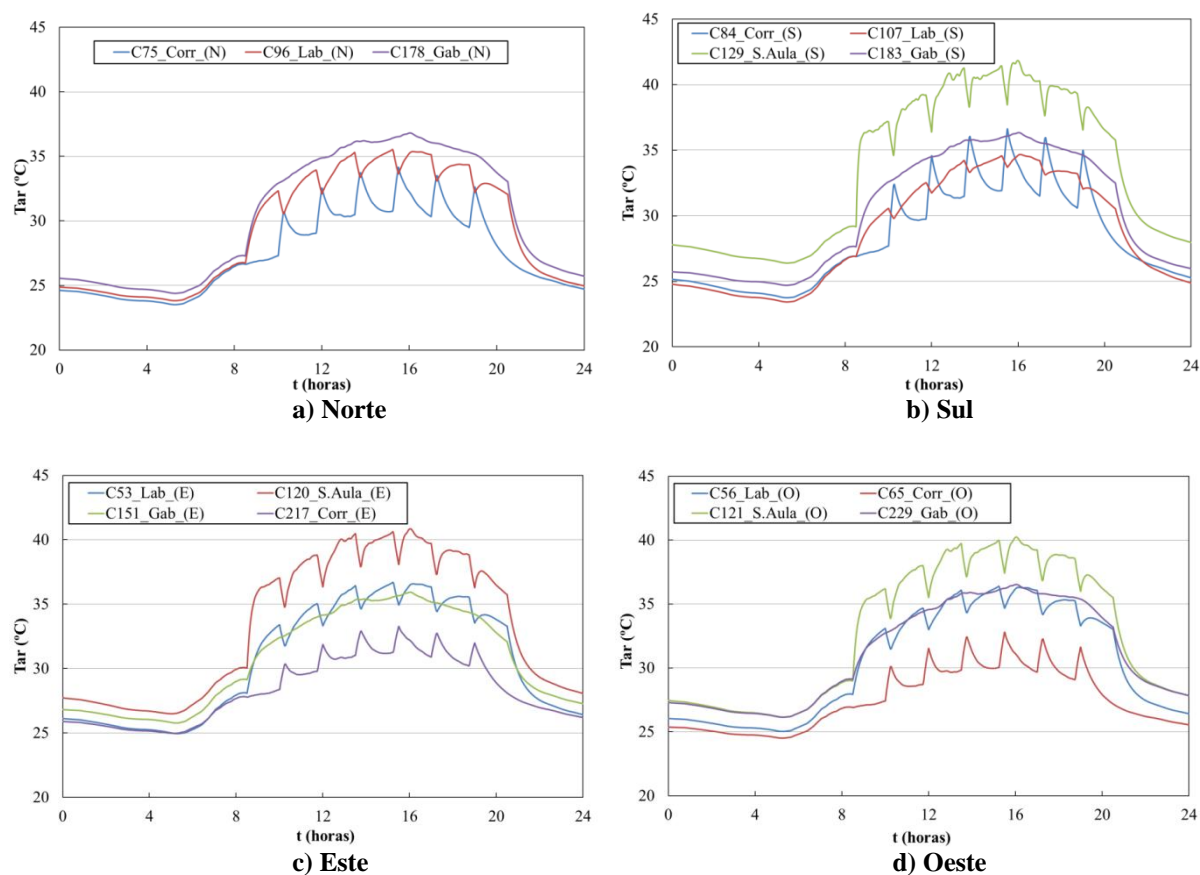


Figura 6.30 – Evolução, ao longo de um dia de Verão, do nível de temperatura do ar (Tar) nas salas do edifício 8, com o ar condicionado desligado e com janelas voltadas a: **a)** Norte (N), **b)** Sul (S), **c)** Este (E) e **d)** Oeste (O).

As temperaturas mais baixas verificam-se nos compartimentos a Norte que rondam os 25 °C, enquanto as mais elevadas se podem observar nos compartimentos a Sul, que numa das salas ultrapassa os 40 °C.

Estes valores elevados de temperatura, tal como já aconteceu anteriormente vão influenciar no nível de conforto térmico.

A figura 6.31 apresenta os níveis de conforto térmico para as salas orientadas a Norte, a Sul, a Este e a Oeste.

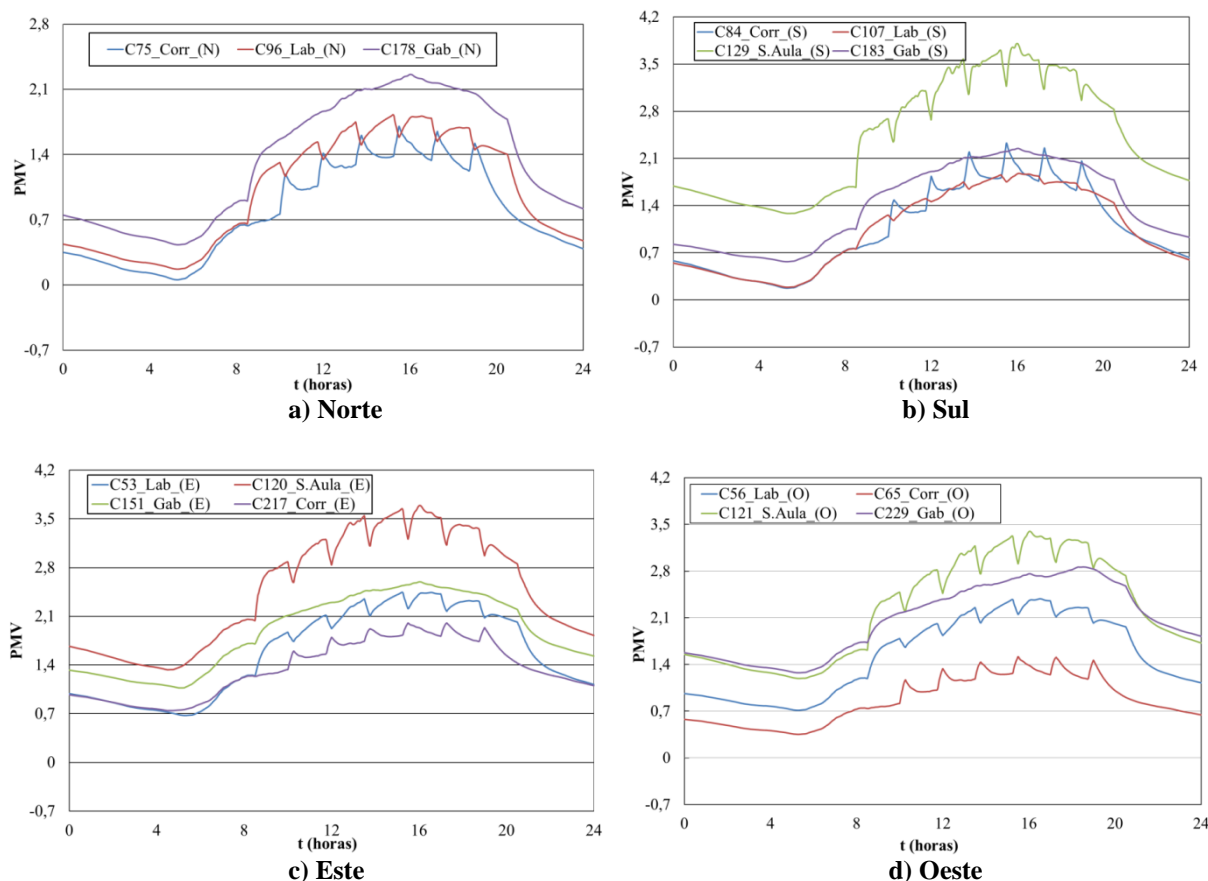


Figura 6.31 – Evolução, ao longo de um dia de Verão, do nível de conforto térmico (PMV) nas salas do edifício 8, com o ar condicionado desligado e janelas voltadas a: **a)** Norte (N), **b)** Sul (S), **c)** Este (E) e **d)** Oeste (O).

Analisando os diferentes gráficos da figura 6.31 constata-se que todas as divisões escolhidas são desconfortáveis por valores positivos de PMV, como era de prever pois as temperaturas nos compartimentos são muito elevadas.

O valor total das horas de desconforto por calor para este edifício foi de 13851,7 h, o que confirma o que foi referido.

Condições de Verão com sistema de ar condicionado ligado

Os resultados relativos ao Verão com o sistema de ar condicionados serão apresentados nas figuras a seguir.

Na figura 6.33, são os valores de temperatura do ar para os diferentes compartimentos, que vão ser expostos.

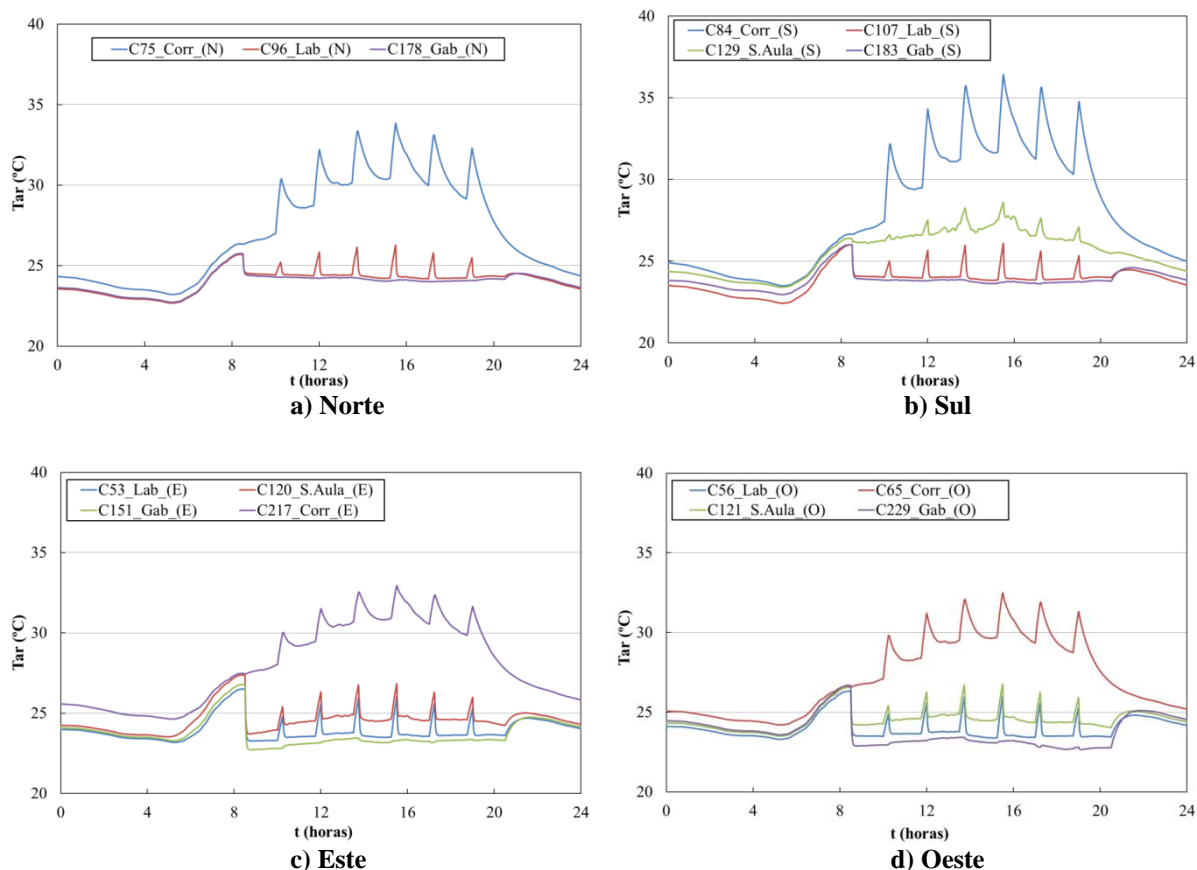


Figura 6.32 – Evolução, ao longo de um dia de Verão, do nível de temperatura do ar (Tar) nas salas do edifício 8, com o ar condicionado ligado e com janelas voltadas a: **a)** Norte (N), **b)** Sul (S), **c)** Este (E) e **d)** Oeste (O).

Assim como em todos os outros edifícios, o nível de temperatura do ar, para o Verão com o ar condicionado ligado é um valor agradável para os seus ocupantes, uma vez que para todas as salas, com exceção das áreas de passagem, este se encontra entre os 22 °C e os 24 °C. Mais uma vez é visível uma anomalia para a sala de aula a Sul (129), uma vez que esta apresenta um valor de médio de temperatura acima dos 25 °C.

Com a apresentação da figura seguinte, poderão ser analisados os níveis de conforto térmico para este cenário.

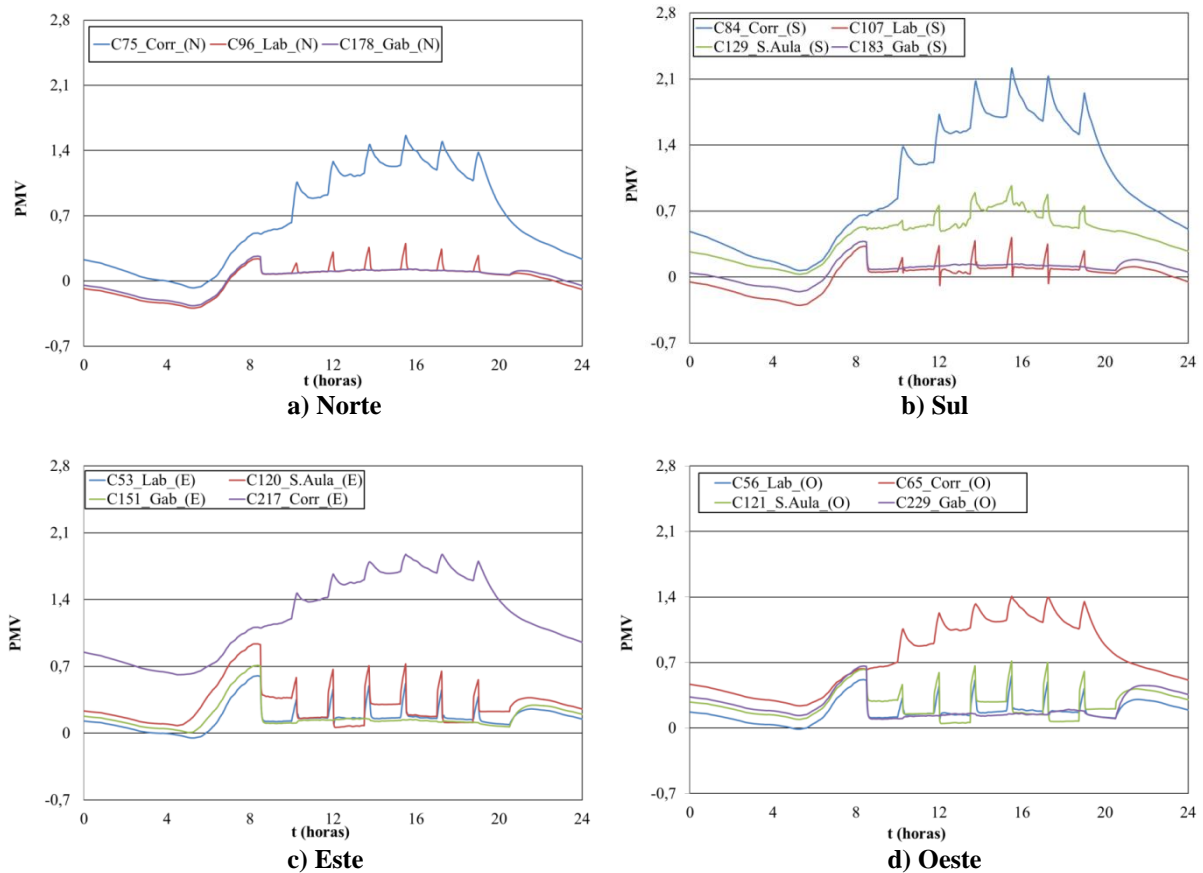


Figura 6.33 – Evolução, ao longo de um dia de Verão, do nível de conforto térmico (PMV) nas salas do edifício 8, com o ar condicionado ligado e janelas voltadas a: **a)** Norte (N), **b)** Sul (S), **c)** Este (E) e **d)** Oeste (O).

No que diz respeito aos níveis de conforto térmico, observa-se pela figura 6.33 que praticamente todas as salas são confortáveis por valores positivos de PMV de acordo com a categoria A da ISO 7730 (2005). As divisões 120 a Este e 121 a Oeste, apesar de estarem inseridas nesta categoria, revelam um comportamento um pouco irregular ao longo do dia. A divisão 129 a Sul apresenta o mesmo problema que em todos os outros cenários, que é o facto do ar condicionado não ter funcionado neste sala, talvez devido a um erro, e assim esta ser desconfortável por valores positivos.

As HDC apresentam um valor de 528,5 h que é bastante inferior do que com o sistema de arrefecimento desligado, mas ainda assim é um valor mais elevado do que nos outros casos já estudados.

Analogamente, analisando o consumo de energia verifica-se um valor elevado tal como em todos os outros edifícios, no entanto um pouco mais elevado, o que demonstra que foi mais custoso provocar a sensação de conforto neste edifício. O valor foi de 177426,4 kW.

6.4 Considerações gerais

Para que seja possível uma análise mais pormenorizada dos dados será efetuada uma pequena comparação entre os três edifícios estudados.

No que diz respeito à qualidade do ar, constata-se que todos os edifícios têm uma boa qualidade do ar, pois os valores de concentração de CO₂ não ultrapassam os níveis recomendados para a saúde dos ocupantes (1800 mg/m³).

Relativamente ao conforto térmico, apesar de haver alguns dados divergentes, no geral, os edifícios apresentam resultados semelhantes.

Em condições de Inverno, sem sistema de aquecimento, as salas apresentam-se, na maioria, desconfortáveis por valores negativos de PMV. Por vezes, a Sul podem verificar-se, que algumas salas são confortáveis, ou seja, a temperatura do ar é mais elevada do que seria de esperar no Inverno.

Em condições de Inverno, com sistema de aquecimento, as divisões selecionadas são confortáveis por valores negativos de PMV de acordo com a categoria A ou com valores positivos consoante a categoria B da ISO 7730 (2005). Assim, no edifício 1, todas as salas estão na categoria A enquanto nos edifícios 7 e 8 as salas a Sul encontram-se inseridos na categoria B, por valores positivos.

Em condições de Verão, sem ar condicionado, em todos os edifícios os compartimentos escolhidos são desconfortáveis por valores positivos de PMV.

Em condições de Verão, com ar condicionado, as salas são confortáveis por valores positivos de acordo com as categorias A e B da ISO 7730 (2005).

Em todos os edifícios, as áreas de passagem apresentam valores que demonstram que são desconfortáveis, quer por valores negativos, quer por valores positivos, conforme a estação do ano. Este facto acontece porque o sistema de ar condicionado ou aquecimento só é ligado nos intervalos e assim vai sempre haver horas de desconforto.

Para comprovar estes dados, foram elaboradas tabelas, onde se pode comparar as horas de desconforto para cada edifício, bem como o consumo de energia de cada um.

Tabela 6.13 – Horas de desconforto por frio e consumo de energia, no Inverno, nos três edifícios

	HDF sem AC	HDF com AC	Consumo de energia
Edifício 1	3082,6 h	101,4 h	43663,0 kW
Edifício 7	2640,5 h	234,4 h	32589,1 kW
Edifício 8	2373,6 h	123,3 h	48794,4 kW

Tabela 6.14 – Horas de desconforto por calor e consumo de energia, no Verão, nos três edifícios

	HDC sem AC	HDC com AC	Consumo de energia
Edifício 1	9823,9 h	670,5 h	78537,5 kW
Edifício 7	11962,1 h	269,7 h	75056,0 kW
Edifício 8	13851,7 h	528,5 h	177426,4 kW

Através da análise das tabelas 6.13 e 6.14, pode-se confirmar o que foi referido anteriormente, pois as horas de desconforto quando o sistema de ar condicionado e aquecimento está desligado são muito superiores do que quando o mesmo está ligado. Pode ainda verificar-se que os valores das horas de desconforto por calor são mais elevados do que as horas de desconforto por frio.

Pelas tabelas constata-se, também, que tanto no Verão como no Inverno, o edifício com maior consumo de energia é o edifício 8 e aquele que tem menor consumo é o edifício 7. No Verão os valores de consumo de energia são muito superiores aos de Inverno, o que era de esperar pois nas horas de desconforto também se verifica esse facto.

7. Conclusões finais

Neste trabalho foram avaliados os níveis de conforto térmico e de qualidade do ar a que os ocupantes estão sujeitos, em três edifícios da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade do Algarve. Foram efetuados ensaios em condições de Verão e de Inverno. Os resultados obtidos neste estudo são usados para propor uma redução no nível de consumo de energia, mantendo níveis aceitáveis de conforto para os ocupantes.

Para que os compartimentos destes edifícios sejam confortáveis para os seus ocupantes, é indispensável o uso do sistema de ar condicionado e de aquecimento. Assim, todos os edifícios possuem um elevado consumo de energia.

De modo a aumentar os níveis de conforto térmico dos compartimentos, reduzindo o consumo de energia, é necessário limitar a entrada de luz direta no seu interior durante o Verão e maximizar a mesma no Inverno.

É de referir, que onde se encontram os maiores níveis de desconforto é a Sul, em condições de Verão, assim, era importante a existência de sombreamento nessa direção recorrendo a estruturas externas e envolventes.

Para aumentar os níveis de conforto térmico no Inverno podia-se recorrer à implementação de estufas internas, que faria com que o ar dos compartimentos mais quentes fosse transferido, através de um sistema de ventilação forçada, para as divisões próximas que estivessem mais frias.

Em trabalhos futuros acerca desta temática, deverão ser realizados mais ensaios de carácter experimental onde serão avaliadas soluções de ventilação forçada e natural. Também devem ser feitos mais ensaios numéricos onde serão efetuadas outras simulações tendo em conta as propostas acima referidas.

Segundo Abrantes, (2010) o design sustentável de um edifício deverá ter em conta o futuro estado do ambiente e para obter uma maior eficiência a nível de consumo energético torna-se necessário a aplicação de quatro princípios básicos, nomeadamente, controlar os ganhos térmicos internos através do sombreamento (Lopes, 2008); usar a massa térmica do edifício distribuindo os ganhos de energia pelas várias divisões ou compartimentos de modo a reduzir o pico de temperatura; usar uma estratégia bem definida de arrefecimento (Conceição *et al*, 2007), por exemplo usando a frescura da noite para arrefecer o edifício; apenas fazer uso do ar condicionado se estritamente necessário, por exemplo traves ou telhados arrefecidos conseguem limitar os picos de temperaturas, tornando o processo eficiente e sustentável (Olesen, 2002).

Referências Bibliográficas

- Abrantes P. (2011). *Estudo térmico de um edifício escolar com topologia complexa*. Tese de mestrado em Engenharia do Ambiente, 2011, Universidade do Algarve
- Aluclu I., A. Dalgic (2005). *A Case study on natural ventilation characteristics of the Diyarbakir, Surici (Old City) Municipality Building in Turkey*. Engineering and Architectural Faculty, Dicle University, Diyarbakir, Turkey, Elsevier – Building and Environment, 2005, 40:1441-1449
- ANSI/ASHRAE (2010). Standard 55.2010, *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*, American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, USA 2010.
- ANSI/ASHRAE (2004). Standard 62.1.2004, *ASHRAE Standard – Ventilation for acceptable indoor air quality*, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, USA 2004.
- Conceição E., Lopes M., Lúcio M. (2008a). *Application of an Indoor Greenhouse in the Energy and Thermal Comfort Performance in a Kindergarten School Building in the South of Portugal in Winter Conditions*. WSEAS Transactions on Environment and Development. Agosto de 2008, 4: 644-654,
- Conceição E., Lúcio M. e Brito V. (2006a), *Avaliação das Condições de Conforto Interior em Espaços de Grande Dimensão: Parte I. Condições de Verão*. Revista de Informação Técnica e Científica: Construção Magazine. 2006, 18: 4-8
- Conceição E., Lúcio M. e Brito V. (2007a), *Avaliação das Condições de Conforto Interior em Espaços de Grande Dimensão: Parte II. Condições de Verão*. Revista de Informação Técnica e Científica: Construção Magazine. 2007, 19: 48-51.
- Conceição E., Lúcio M. (2007b). *Conforto em Espaços Climatizados de Edifícios Escolares: Parte I - Conforto Térmico e Desconforto Térmico Local*. Revista O Instalador, Novembro de 2007, 139: 46-53.
- Conceição E., Lúcio M. (2007c). *Conforto em Espaços Climatizados de Edifícios Escolares: Parte II - Conforto Térmico e Desconforto Térmico Local*. Revista O Instalador, Dezembro de 2007, 140: 48-51.
- Conceição E., Lúcio M., T. Capela e A. Brito (2006b). *Evaluation of Thermal Comfort in Slightly Warm Ventilated Spaces in Non-Uniform Environments*. International Journal on Heating Air Conditioning and Refrigerating Research. Julho de 2006, 3: 451-458

-
- Conceição, E., Lúcio, M. (2006c). *Numerical Study of Thermal Response of School Buildings in Summer Conditions*, Healthy Buildings 2006, Lisboa, Portugal, 4 a 8 de Junho de 2006
 - Conceição E., Lúcio M. (2006d). *Projeto Térmico de Edifícios Escolares com topologia Complexa na Região do Algarve*. CIES 2006 – XIII Congresso Ibérico e VIII Congresso Ibero-Americano de Energia Solar, Lisboa, 9-10 Novembro de 2006
 - Conceição E., Lúcio M. (2008b). *Projeto de um Sistema de Ventilação Eficiente de um Edifício Escolar em Condições de Inverno na Região do Algarve*. Revista INGENIUM, IIª Série, Ordem dos Engenheiros, Setembro/Outubro de 2008, 107: 76-80.
 - Conceição E., Lúcio M. (2006e). *Quality Inside Compartments of a School Building: Air Exchange Monitoring, Evaluation of Carbon Dioxide and Assessment of Ventilation Strategies*, The International Journal of Ventilation. Reino Unido, Vol. 5, Setembro 2006, 2: 259-270
 - Conceição E., Lúcio M. (2008c). *Thermal study of school buildings in winter conditions*. Building and Environment, Maio de 2008, 43: 782-792
 - Conceição E. (2003). *Numerical Simulation of Building Thermal Behavior and Human Thermal Comfort Multi-Node Models*. Faculdade de Ciências do Mar e do Ambiente, Universidade do Algarve, *Eighth International IBPSA Conference*, Eindhoven, Netherlands, 11 a 14 de Agosto de 2003.
 - Conceição, E., Silva, A., Lúcio, M^a. M. (2004). *Numerical Study of Thermal Response of School Buildings in Winter Conditions*. RoomVent 2004, Coimbra, Portugal, 5 a 8 de Setembro de 2004.
 - Decreto-Lei n.º 40/90. *Regulamento das Características do Comportamento Térmico de Edifícios* (RCCTE), Diário da República, 6 de Fevereiro 1990.
 - Decreto-Lei 80/06 (2006) *Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios* (RCCTE) Diário da República, 4 de Abril 2006
 - Decreto-Lei nº 118/98 (1998) *Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização dos Edifícios* (RSECE), Diário da República, de 7 de Maio 1998.
 - Decreto-Lei nº 79/06 (2006) *Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios* (RSECE), Diário da República, 4 de Abril 2006
 - Decreto-Lei n.º 78/06 (2006) *Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios* (SCE), Diário da República, 4 de Abril 2006.

-
- DGGE, (2003) “*Balanços Energéticos Nacionais*”, realizados pela Direção-Geral de Geologia e Energia para o período 1990 a 2003 e CEPI.
 - DGEG, (2012) imagem retirada de Google Earth, disponível em: <http://www.dgge.pt>
 - Fanger, P. O. (1970). *Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering*. McGraw-Hill Book Company, USA, 1970.
 - Fanger, P. O (1972) *Thermal Comfort*, Danish Technical Press
 - Fanger, P. O. (1988). *Introduction of the Olf and the Decipol Units to Quantify Air Pollution Perceived by Humans Indoors and Outdoors*. *Energy and Buildings*, 1988, 12:1-6.
 - Fanger, P. O. (2005). *What is IAQ?*. 10th Indoor Air Conference. Beijing, China, 2005.
 - Geros V., M. Santamouris, A. Tsangasoulis, G. e Guarracino (1999). *Experimental evaluation of night ventilation phenomena*. *Energy and Buildings*, 1999, 29:141-154.
 - Glicksman, L.R.; Norford, L.K.; Greden, L.V. (2001) *Energy Conservation in Chinese Residential Buildings: Progress and Opportunities in Design and Policy, Annual Review*. *Energy Environment*, 2001, 83-115.
 - Gonçalves H., Graça J. M. (2004) *Conceitos Bioclimáticos para os edifícios em Portugal*, Ed. IP-3E, Lisboa, Direção Geral de Geologia e Energia, 2004, ISBN 972-8268-34-3.
 - Gonçalves H., Nascimento C. (2005) *Premio DGE 2003 – Eficiência Energética dos edifícios*, Ed. IP-3E, Lisboa, Direção Geral de Geologia e Energia, 2005, ISBN 972-8268-36-X.
 - Google Earth (2012), imagem retirada de Google Earth, disponível em: <http://maps.google.com>.
 - Kurazumia Y., T. Tsuchikawab, N. Matsubarac e T. Horikoshid (2008). *Effect of posture on the heat transfer areas of the human body*. *Building and Environment*, 2008, 43:1555–1565.
 - IEA, *Energy Balances 2002: IEA Energy Statistics*, International Energy Agency, Publicação On-Line, disponível em: <http://www.iea.org>.
 - ISO 7730, (2005). *Ergonomics of the Thermal Environments – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*. International Standard. Switzerland, 2005.
 - Iqbal, M. (1983). *An Introduction to Solar Radiation*, Academic Press, Canada, 1983.

-
- Lanham A., Gama P. e Braz R., (2004), *Arquitetura Bioclimática, Perspectivas de inovação e futuro – Seminários de Inovação*, Instituto Superior Técnico, 2004, Universidade Técnica de Lisboa.
 - Lemos, E. T. (1997), *Poluição Interior: Abordagem ao Síndrome dos Edifícios doentes*, Millenium Revista do Instituto Politécnico de Viseu Internet, Julho 1997, 7.
 - Liddament, M. (1996), *A Guide to Energy Efficient Ventilation*, 1996, IEA-ECBCS.
 - Mendonça, P. (2005), *Habitar sob uma segunda pele. Estratégias para a Redução do Impacto Ambiental de Construções Solares Passivas em Climas Temperados*, Tese de Doutoramento em Engenharia Civil, 2005, Universidade do Minho.
 - Ministry for Finance and the Public Administration, (2010). *Stability and Growth Programme 2010-2013*, Março 2010, Publicação On-Line, disponível em: <http://www.dgge.pt>
 - Ogilvy e Mather (2002), *Programa E4 - Eficiência Energética nos Edifícios*, Ministério da Economia, Lisboa, Direção Geral de Energia, 2002, ISBN 972-8268-25-4.
 - Olesen B. (2002), *Radiant Floor Heating In Theory and Practice. ASHRAE Journal American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc*, Julho 2002, 19-24
 - Omer A. M. (2008). *Renewable building energy systems and passive human comfort solutions*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2008, ISSN 13640321.12, 3:1562-1587
 - Pinto M., Freitas V., Viegas J. (2007). *Qualidade do ambiente interior em edifícios de habitação*. Engenharia e vida, Setembro 2007, 38:34-43.
 - Silva P.C.P (2006). *Análise do Comportamento Térmico de Construções não Convencionais através de Simulação em VisualDOE*. Tese de Mestrado em Engenharia Civil – Ramo de Processos, 2006, Universidade do Minho
 - Silva, M. C. G. (2010). *Aplicações Computacionais para a Avaliação do Conforto Térmico*. ADAI - Departamento de Engenharia Mecânica. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade de Coimbra. Coimbra, Portugal. 2010
 - Tzikopoulos, A.F., Karatza, M.C., Paravantis, J.A. (2005). *Modeling energy efficiency of bioclimatic buildings*, Energy and Building, 2005, 37:529-544.
 - Viegas, J. (2000). *Contribuição da Ventilação para a Qualidade do Ambiente Interior em Edifícios*, Seminário Ambiente em Edifícios Urbanos, 2000, Lisboa.

- West, S. (2001). *Improving the sustainable development of building stock by the implementation of energy efficient, climate control technologies*. Energy and Environment, 2001, 35: 281-89
- Wilde de, P., Voorden van der, M. (2004). *Providing computational support for the selection of energy saving building components*. Energy and Buildings, 2004, 36:749-758.
- Yam J., Li Y., Zheng Z. (2003). *Nonlinear coupling between thermal mass and natural ventilation in buildings*. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2003, 46: 1251-1264.
- Yang L., Li Y. (2008). *Cooling Load Reduction by Using Thermal Mass and Night Ventilation*. Energy and Buildings, 2008, 1-22.
- Zhou J., G. Zhang, Y. Lin, Y. Li (2008). *Coupling of thermal mass and natural ventilation in buildings*. Energy and Buildings, 2008, 40:979-986.
- Zmeureanu, R.; Fazio, P.; DePani, S.; Calla, R. (1999) *Development of an energy rating system for existing houses*. Energy and Buildings, 1999, 29:107-119.