



Universidade do Algarve
Instituto Superior de Engenharia

Análise das Condições de Conforto e Consumo de Energia de um Campus Universitário

André Filipe Ribeiro Caravela – 41623

Mestrado em Engenharia Elétrica e Eletrónica

Dissertação para obtenção do grau de mestre em Engenharia Elétrica e Eletrónica - Sistemas de Energia e Controlo

Faro, 2017



Universidade do Algarve
Instituto Superior de Engenharia

Análise das Condições de Conforto e Consumo de Energia de um Campus Universitário

André Filipe Ribeiro Caravela – 41623

Mestrado em Engenharia Elétrica e Eletrónica

Dissertação para obtenção do grau de mestre em Engenharia Elétrica e Eletrónica – Sistemas de Energia e Controlo

Dissertação efetuada sob orientação de:

Prof. Eusébio Z. E. Conceição

Prof. António F. M. Sousa

Faro, 2017

Análise das Condições de Conforto e Consumo de Energia de um Campus Universitário

Declaração de autoria de trabalho

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

Copyright de André Caravela

A Universidade do Algarve tem o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicitar este trabalho através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, de o divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

Esta foi uma caminhada decorrida de Outubro de 2014 a Setembro de 2015 sendo sem dúvida, das experiências mais enriquecedora que tive no âmbito da formação académica, não desprezando contudo todo o trabalho desenvolvido anteriormente. De forma geral este foi um percurso de muita dedicação e motivação que no final recompensou todo o trabalho. Por estas razões venho aqui demonstrar todo o meu agradecimento e apoio.

Agradeço ao Professor Eusébio Conceição, por ter-me aceite como Orientador dando oportunidade de integrar numa área de grande interesse e de necessidade global.

Ao Professor António Sousa e ao Professor João Gomes, pelo apoio prestado durante a dissertação, quer na análise de dados, material informativo e experiência no laboratório.

Ao Sr. Camilo Portela por todo o apoio prestado no laboratório, tanto a nível de material como experimental.

Aos meus colegas de curso pelo apoio prestado durante o decorrer de tese;

Por fim uns dos agradecimentos mais importantes são aos meus pais, irmã e à minha namorada, pela compreensão e cooperação no meu trabalho.

Resumo

Neste trabalho foi efetuado um estudo referente à avaliação de conforto em espaços interiores realizadas em laboratório com o uso de um termo manequim à escala real.

Foi utilizado um modelo numérico que simula a resposta térmica humana onde foram feitas simulações para diferentes valores de vestuário nos ocupantes de um ambiente fechado.

Foram efetuados ensaios de validação, usando um manequim virtual e um manequim real. Pretende-se com estes ensaios validar a avaliação de conforto térmico efetuada através do software que simula a resposta térmica de edifícios.

Foi realizado um estudo referente à análise das condições de conforto e consumo de energia de um Campus Universitário. Os resultados foram obtidos com base num modelo numérico que simula a resposta térmica de edifícios com tipologia complexa.

O modelo numérico apresentado é usado no desenvolvimento de sistemas de ar condicionado com controlo sustentado na temperatura do ar. Esta metodologia será aplicada a diversos edifícios do Campus da Penha, considerando as situação de verão e de inverno, nomeadamente, aos edifícios da Escola Superior de Educação e Comunicação, da Escola de Gestão, Hotelaria e Turismo, do edifício 1 e 2 do Instituto Superior de Engenharia, do Complexo Pedagógico e da Reitoria.

Foram verificados que os níveis de conforto térmico dos índices de Votação Média Previsível (PMV) e a Percentagem de Pessoas Termicamente Insatisfeitas (PPD) estão inseridos na categoria C da norma ISO 7730 (2005), estando os níveis de PMV compreendidos entre -0.7 e 0.7, ou seja, PPD inferior a 15%.

O nível de qualidade do ar através da concentração de dióxido de carbono também foi um parâmetro examinado, verificando se os níveis de concentração estão abaixo do estipulado pela ASHRAE, ou seja, têm de estar abaixo dos 1800mg/m³.

Abstract

In this paper a study was performed on the evaluation of comfort indoors performed in the laboratory with the use of a dummy word to full scale.

A numerical model which simulates the human thermal response which simulations were made for different values of clothing of occupants in a closed environment was used.

Validation tests were conducted using a virtual mannequin and a real dummy. The aim of these tests validates the evaluation of thermal comfort made by software that simulates the thermal response of buildings.

A study was conducted regarding the analysis of the conditions of comfort and energy consumption of a university campus. The results were obtained from a numerical model which simulates the thermal response of buildings with complex type.

The numerical model presented is used in the development of air conditioning systems for sustained control the air temperature. This methodology will be applied to several buildings of the Penha Campus, considering the summer and winter situation, in particular, the buildings of the Escola Superior de Educação e Comunicação, Escola de Gestão, Hotelaria e Turismo, the buildings 1 e 2 do Instituto Superior de Engenharia, Complexo Pedagógico and Reitoria.

It was found that levels of thermal comfort of Grade Average predictable rates (PMV) and the Percentage of People Thermally Dissatisfied (PPD) are placed in category C of the standard ISO 7730 (2005), with the PMV levels of between -0.7 and 0.7, or less than 15% PPD.

The level of air quality through the carbon dioxide concentration was also a parameter examined, verifying that the concentration levels are below stipulated by ASHRAE, it must be below 1800mg / m³.

Siglas e abreviaturas:

AVAC - Aquecimento, Ventilação e ar condicionado

PMV – Votação Média Previsível

PPD – Percentagem de pessoas termicamente insatisfeitas

Tar – Temperatura média do ar

TMR – Temperatura média radiante

HR – Humidade relativa

Var – Velocidade do ar

CO₂ – Dióxido de carbono

HF – Horas de Desconforto por Frio

HC – Horas de Desconforto por Quente

ASHRAE – American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.

RCCTE - Regulamento das Características do Comportamento Térmico de Edifícios

ISO - International Organization for Standardization

ESEC – Escola Superior de Educação e Comunicação

ISE – Instituto Superior de Engenharia

ESGHT – Escola Superior de Gestão, Hotelaria e Turismo

REI – Reitoria

PED – Pedagógico

NE - Nordeste

SE - Sudeste

SW - Sudoeste

NW - Noroeste

NI – National Instruments

ADC – Conversor Analógico-Digital

f.e.m – Força Eletromotriz

USB – Universal Serial Bus

Índice

1. Introdução.....	5
2. Objetivo.....	7
3. Conforto térmico	7
3.1. Influências no conforto térmico	8
3.2. Índices de conforto térmico.....	10
3.3. Conforto térmico em ambientes interiores.....	13
4. Estado atual dos Edifícios	14
4.1. O sector dos edifícios	14
4.2. Resposta térmica dos edifícios	16
5. Software utilizado.....	17
5.1. Modelo numérico que simula a resposta térmica do corpo humano	17
5.2. Modelo numérico que simula a resposta térmica dos edifícios.....	18
6. Montagem experimental.....	20
6.1. Módulo de aquisição de dados	20
6.2. Equipamento utilizado.....	23
6.3. Localização das medições efetuadas	24
7. Estudo do Campus da Penha	26
8. Análise de Resultados.....	32
8.1. Análise do conforto em ambientes interiores.....	32
8.1.1. Ensaios experimentais.....	32
8.1.2. Simulação do modelo numérico.....	37
8.1.3. Comparação das medidas numéricas e experimentais.....	40
8.2. Avaliação de Conforto nos Edifícios.....	41
8.2.1. Temperatura média do ar.....	42
8.2.2. Índice de Votação Média Previsível.....	48
8.2.3. Índice de Percentagem de Pessoas Termicamente Insatisfeitas	54
8.2.4. Concentração de Dióxido de Carbono.....	60
8.2.5. Conforto e Energia	63
9. Conclusões.....	65
10. Bibliografia	67
11. Web grafia.....	70
12. Apêndices.....	71
13. Anexo	78

Índice de Figuras

Figura 1 – Relação entre os índices PMV e PDD.....	12
Figura 2 – Termo-Manequim Júlia	14
Figura 3 – Secções do termo-manequim virtual	18
Figura 4 - NI cdaq-9174	20
Figura 5 – Modulo NI 9213.....	21
Figura 6 – Esquema de um termopar.....	21
Figura 7 – Circuito de entrada para um canal do modulo NI 9213	22
Figura 8 – Termómetro digital a laser	23
Figura 9 – Medidor de temperatura e humidade	23
Figura 10 – Alicates pressão/tesoura/terminais/fio de termopar.....	24
Figura 11 – Montagem dos termopares no módulo de aquisição de dados	25
Figura 12 – Planta geográfica do Campus da Penha	26
Figura 13 – Vista nordeste da ESEC.....	27
Figura 14 – Vista sudeste da ESEC.....	27
Figura 15 – Vista nordeste/noroeste da ESGHT.....	28
Figura 16 - Vista sudeste da ESGHT.....	28
Figura 17 – Vista sudoeste do ISE 1.....	28
Figura 18 – Vista noroeste do ISE 1.....	29
Figura 19 – Vista sudoeste do ISE 2.....	29
Figura 20 – Vista nordeste do ISE 2.....	30
Figura 21 – Vista este do Complexo Pedagógico	30
Figura 22 – Vista oeste/sudoeste do Complexo Pedagógico	31
Figura 23 – Vista nordeste/noroeste da Reitoria.....	31
Figura 24 – Vista noroeste/sudoeste da Reitoria.....	32
Figura 25 – Temperatura do ar em torno do manequim para temperatura do ar a 26°C.....	33
Figura 26 – Temperatura da pele no manequim para temperatura do ar a 26°C	33
Figura 27 - Temperatura do ar em torno do manequim para temperatura do ar a 24°C.....	34
Figura 28 - Temperatura da pele no manequim para temperatura do ar a 24°C	34
Figura 29 – Temperatura do ar em torno do manequim para temperatura do ar a 22°C.....	35
Figura 30 - Temperatura da pele no manequim para temperatura do ar a 22°C	35
Figura 31 – Temperatura média do campo de ar em torno das secções distintas.....	36
Figura 32– Distribuição da temperatura da pele sem vestuário.....	37
Figura 33 – Distribuição da temperatura da pele com vestuário de verão	38

Figura 34 – Distribuição da temperatura da pele com vestuário de inverno	38
Figura 35 – Validação entre manequim real e o modelo numérico.....	40
Figura 36 - Temperatura do ar num dia de verão para os edifícios da ESEC, ESGHT e ISE1 considerando controlo de temperatura	43
Figura 37 - Temperatura do ar num dia de verão para os edifícios da ISE2, PED e REI considerando controlo de temperatura	44
Figura 38 - Temperatura do ar num dia de inverno para os edifícios da ESEC, ESGHT e ISE1 considerando controlo de temperatura	46
Figura 39 - Temperatura do ar num dia de verão para os edifícios da ISE2, PED e REI considerando controlo de temperatura	47
Figura 40 – Índice PMV num dia de verão para os edifícios da ESEC, ESGHT e ISE1 considerando controlo de temperatura:.....	49
Figura 41 – Índice PMV num dia de verão para os edifícios da ISE2, PED e REI considerando controlo de temperatura:.....	50
Figura 42 – Índice PMV num dia de inverno para os edifícios da ESEC, ESGHT e ISE1 considerando controlo de temperatura:.....	52
Figura 43 – Índice PMV num dia de inverno para os edifícios da ISE2, PED e REI considerando controlo de temperatura:.....	53
Figura 44 – Índice PPD num dia de verão para os edifícios da ESEC, ESGHT e ISE1 considerando controlo de temperatura:.....	55
Figura 45 – Índice PPD num dia de verão para os edifícios da ISE2, PED e REI considerando controlo de temperatura:.....	56
Figura 46 – Índice PPD num dia de inverno para os edifícios da ESEC, ESGHT e ISE1 considerando controlo de temperatura:.....	58
Figura 47 – Índice PPD num dia de inverno para os edifícios da ISE2, PED e REI considerando controlo de temperatura:.....	59
Figura 48 – Concentração de CO ₂ para os edifícios da ESEC, ESGHT e ISE1 com controlo de temperatura.....	61
Figura 49 - Concentração de CO ₂ para os edifícios da ISE2, PED e REI com controlo de temperatura	62

Índice de Tabelas

Tabela 1– Índice de conforto para diferentes vestuários	39
Tabela 2– Horas de desconforto nos diversos edifícios do campus da Penha	63
Tabela 3 - Gráfico consumo energético por compartimento nos edifícios do campus da Penha	64

1. Introdução

Nas últimas décadas deu-se o maior crescimento relativo da história da humanidade, ocorrendo um elevado desenvolvimento tecnológico e científico, traduzindo no crescimento da industrialização, assim como a urbanização e conseqüentemente, consumos de energia para proporcionar melhorias no que respeita a condições de vida. Este crescimento teve grandes impactos a nível das matérias-primas obtidas pelos combustíveis fósseis, levando a indústria a depender de elevados valores do petróleo e seus derivados, tornando imprescindível a necessidade de redução do consumo deste combustível assim como o consumo energético (Silva, 2006).

No ramo da construção, com a implementação de soluções tecnológicas, houve um aumento da quantidade e tipologia na iluminação assim como da climatização, recorrendo cada vez mais a soluções artificiais por razões estéticas e económicas. Estes hábitos levam elevados aumentos de consumos energéticos nos edifícios, sobretudo na parte elétrica. Esta problemática ganhou maior importância devido à maior escassez dos combustíveis fósseis e do aquecimento global, provocado pela emissão de gases com elevado efeito de estufa (Lanham et al., 2004).

Os edifícios, áreas onde os ocupantes gastam mais de 80% do tempo de vida, têm de abonar condições de conforto térmico e de qualidade do ar interior. Nesta conjunção, o consumo energético do nosso país, agregando a parte comercial/residencial e de serviços, corresponde a 22% do valor global de energia, sendo a sua taxa de crescimento anual a rondar valores significativos e com tendências a aumentar (Gonçalves et al., 2005).

Na zona do Algarve, situado na região mais a Sul de Portugal Continental, o clima apresenta altos índices de radiação solar, tanto no inverno como no verão, sendo este particularmente alto. Por este motivo, durante a estação do inverno a temperatura do ar interior nos edifícios não verifica valores muito reduzidos, podendo existir desconforto térmico por calor.

O desempenho energético é determinado pela capacidade de armazenamento térmico (Conceição et al., 2006b), sendo fundamental na eficiência energética dos edifícios, porém, a sua análise requer um processo de grande complexidade, pois um edifício divide-se em sub parcelas como paredes exteriores e interiores, coberturas e envidraçados (Conceição et al., 2003), tornando-se variáveis dependentes no desempenho energético global do sistema. Através da simulação do comportamento térmico e do consumo energético por meio de programas de simulação de elevado rigor e complexidade é possível prever o comportamento do edifício.

Em projetos de investigação desta magnitude, este tipo de programas de simulação são imprescindíveis, como a previsão do comportamento do edifício e o conforto dos ocupantes. Estes programas, baseados em fenómenos térmicos e mássicos, são sujeitos a vários testes de validação, quer em condições de Verão e de Inverno. É de igual importância dispor de informação, não só referente ao edifício, como também ao clima exterior, particularmente, às variáveis ambientais ao longo do ano na região onde o edifício se situa.

Foram feitas avaliações de conforto, realizando simulações num termo-manequim real sem roupa, verificando o comportamento térmico e o escoamento do ar num ambiente fechado, expostos a diferentes temperaturas. Os resultados das medições foram validados com um modelo numérico que simula a resposta térmica de um manequim para as mesmas condições de entrada.

2. Objetivo

Com o avanço tecnológico a progredir a larga escala, existe a iminente necessidade de criar e tornar edifícios energeticamente mais eficientes. O modelo apresentado opera de forma a aumentar a eficiência energética e simultaneamente manter o nível de conforto térmico.

Um dos sistemas com maior gasto energético num edifício é o sistema de AVAC, sendo este o ponto crucial para reduzir o consumo elétrico. Um dos pontos deste trabalho passa por avaliar a utilização deste sistema com o compromisso de garantir qualidade térmica considerada confortável para seus utilizadores.

Desta foram são realizados os seguintes procedimentos:

- Avaliar as condições de conforto em ambientes interiores usando um manequim.
- Avaliar o nível de conforto térmico de salas de aula, assim como de gabinetes, com ocupação e com o sistema de controlo de temperatura, de edifícios no Campus da Penha da Universidade do Algarve;
- Avaliar o consumo de energia de edifícios com a utilização do sistema de controlo de temperatura;
- Demonstrar a importância do recurso a sistemas de controlo na definição de uma solução que promove o uso mais eficiente da energia em edifícios.

3. Conforto térmico

Segundo a ASHRAE (2004), a sensação de conforto térmico pode ser definida como “o estado de espírito que expressa satisfação com o ambiente térmico”. Esta definição indica que um indivíduo está termicamente confortável quando não sente calor nem frio, estando desta forma termicamente neutra. O conforto térmico é influenciado pelo equilíbrio térmico, pelo que quando um indivíduo atinge este equilíbrio com o meio exterior, a energia produzida no interior do organismo, metabolismo, é similar à dissipada para o exterior.

O Regulamento das Características do Comportamento Térmico de Edifícios (RCCTE, 2006) determina como temperaturas de referência em 20°C e de 25°C para as estações de inverno e de verão respetivamente. Ao considerar apenas a temperatura do ar, simplifica-se o modo de especificar condições ambientes satisfatórias. Desta forma conclui-se que a RCCTE não faz referências de níveis de conforto, mas sim temperaturas. Entretanto, segundo as mais recentes regulamentações internacionais baseadas nos modelos de Fanger (1970) são referidos níveis de conforto e qualidade do ar.

A noção de conforto térmico tem carácter subjetivo, dependendo de individuo para individuo, variando inclusivamente ao longo do dia, da noite. Uma pessoa pode sentir-se satisfeita termicamente, enquanto outra pode sentir ligeiramente calor por exemplo, não sendo uma variável direta e constante no tempo. As condições de conforto podem ocorrer de forma natural ou com recurso a sistemas de climatização, como ventoinhas, ventiladores e ar-condicionado para ambiente quentes ou aquecedores, lareiras, salamandras e ar-condicionado para ambientes frios. O corpo humano tem mecanismos de variação de temperatura interna quando o exterior apresenta valores fora dos parâmetros comuns, arrepios quando está frio e transpiração quando está calor.

Uma configuração mais simplificada considera unicamente a temperatura média do ar como variável. No Regulamento das Características do Comportamento Térmico de Edifícios (RCCTE, 2006), são estabelecidas como temperaturas de referência para inverno e verão, de 20°C e de 25°C respetivamente.

3.1. Influências no conforto térmico

O conforto térmico é dependente de dois parâmetros individuais e quatro ambientais. Os parâmetros individuais são o nível de vestuário e o seu metabolismo, que é influenciado pelo nível de atividade física. Como parâmetros ambientais estão englobadas características do ambiente envolvente ao indivíduo, sendo estas a temperatura média do ar, a temperatura média radiante, a velocidade média do ar e da humidade relativa.

● **Vestuário (I_{cl})**

O nível de vestuário funciona como uma resistência de calor sensível, I_{cl}. A unidade de medida é definida por clo, que deriva da palavra inglesa "clothing", sendo $1 \text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2\text{C}/\text{W}$. Na estação de verão o nível de vestuário é cerca de 0,5 *clo* e no inverno varia entre 1 a 3 *clo*.

O valor da resistência sensível pode ser determinado pela combinação das diversas peças de roupa, ou seja, a partir do somatório das respectivas resistências térmicas.

● **Atividade (M)**

O nível de atividade representa uma medida da produção interna de calor por parte do organismo de um ser humano. Este nível de atividade é definido por met, que deriva da palavra inglesa "metabolism". Um met corresponde a uma potência de $58,15 \text{ W}/\text{m}^2$ de área de superfície do corpo humano. Uma pessoa típica tem uma superfície aproximada de $1,8 \text{ m}^2$, que corresponde, quando está em repouso, a uma potência aproximada de 100 W.

● **Temperatura média do ar (T_a)**

A temperatura do ar circundante na periferia do corpo de um indivíduo tem influência nos processos de transmissão de calor por convecção natural, ou mista, assim como na evaporação. Durante a medição de temperatura, o sensor não pode ser afetado por fenômenos radiantes, com o risco de ocorrerem erros de medição.

● **Temperatura média radiante (TMR)**

A temperatura média radiante tem influência nos processos de transmissão por radiação, nomeadamente na troca de calor sob entre um indivíduo e as superfícies que se encontram em seu redor. A radiação depende da quarta potência da temperatura absoluta, da geometria do habitáculo e da localização do indivíduo no compartimento. Este parâmetro ambiental pode ser determinado de duas formas: medindo a temperatura das superfícies circundantes e na localização destas em relação ao indivíduo ou utilizar um transdutor que simule o corpo humano e integre a radiação das superfícies circundantes. Se a temperatura média radiante do corpo for superior à das superfícies circundantes, existirá um processo de perda de calor por radiação por parte do organismo, caso contrário, haverá um ganho.

● **Velocidade média do ar (U)**

A velocidade média do ar tem influência nos processos de perda de calor por parte do organismo, particularmente, no processo de transmissão de calor por convecção forçada, ou mista, assim como na evaporação. A medição deverá ser numa zona típica de ocupação por parte dum ser humano. Este sensor deverá ser omnidirecional, com o objetivo de não ser influenciada pelo escoamento de ar, já que o corpo reage de igual modo.

● **Humidade relativa do ar (HR)**

A humidade relativa tem influência nos processos de perda de calor por evaporação. No caso de ambientes térmicos moderados este parâmetro pouco influência.

3.2. Índices de conforto térmico

O nível de conforto térmico em ambientes considerados como moderados, ou seja, em que as variações de temperatura do corpo humano não sejam consideráveis, é avaliado pelos índices de votação média previsível, PMV, e pela percentagem de pessoas termicamente insatisfeitas, PPD (Fanger, 1970).

O índice PMV é apresentado pela norma ISO 7730 (2005) no que respeita as condições de conforto de um determinado ambiente térmico moderado, com base no equilíbrio térmico do corpo, onde a geração de calor interna é equivalente à perda de calor para o meio envolvente. O índice é determinado através dos parâmetros individuais e ambientais, tendo consideração à termofisiologia humana.

A partir de uma análise estatística de mais de 1300 respostas dos inquiridos, Fanger desenvolveu a expressão que permite calcular o índice PMV, em função de diversas grandezas, sendo esta dada por:

$$PMV = (0,303e^{-0,036M} + 0,028) \times [(M - W) - 3,05 \cdot 10^{-3} \cdot (5733 - 6,99(M - W) - p_a) - 0,42((M - W) - 58,15) - 1,7 \cdot 10^{-5}M \cdot (5867 - p_a) - 0,0014M \times (34 - T_a) - 3,96 \cdot 10^{-8}f_{cl}((T_{cl} + 273)^4 - (TMR + 273)^4) - f_{cl}h_c \times (T_{cl} - T_a)] \quad (1)$$

As variáveis resultantes da equação (1) são descritas por:

PMV – Votação Média Previsível;
M – Nível Metabólico;
W – Trabalho exterior;
 I_{cl} – Resistência térmica do vestuário;
 f_{cl} – Relação entre a área do corpo vestida e a área despida;
 T_a – Temperatura média do Ar;
TMR – Temperatura Média Radiante;
U – Velocidade média do ar;
 P_a – Pressão parcial do vapor;
 h_c – Coeficiente de transmissão de calor por convecção;
 T_{cl} – Temperatura média da superfície do vestuário.

Segundo a Norma ISO 7730, o índice de PMV só deve ser aplicado quando os seguintes parâmetros estiverem compreendidos entre:

M – 46 a 232 W/m² ou 0.8 a 4 met;
 I_{cl} – 0 a 0.31 m² °C/W ou 0 a 2 clo;
 T_a – 10 a 30 °C;
 T_r – 10 a 40 °C;
U – 0 a 1 m/s;
 P_a – 0 a 2700 Pa.

O índice PPD exprime a percentagem previsível de pessoas insatisfeitas num dado determinado ambiente térmico. A relação entre os dois índices de conforto, PMV e PPD, é dada através da curva gaussiana apresentada na figura 1, obtida através da equação (2):

$$PPD = 100 - 95e^{-(0,03353PMV^4 + 0,2179PMV^2)} \quad (2)$$

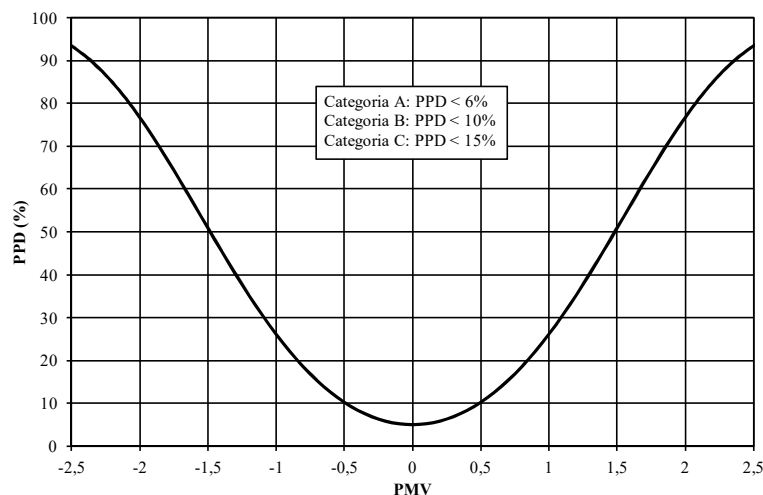


Figura 1 – Relação entre os índices PMV e PDD

A neutralidade térmica de um indivíduo define-se quando o calor gerado pelo metabolismo é equivalente ao calor perdido, tendo o índice PMV valor nulo. Através da equação (2), para uma $PMV=0$, obtêm-se um índice PDD de 5, ou seja, haverá sempre uma percentagem mínima de cinco por cento de pessoas termicamente insatisfeitas. Este fator deve-se à dificuldade de obtenção de condições de neutralidade térmica para todos os inquiridos que partilham o mesmo espaço no mesmo intervalo de tempo (Conceição et al., 2006c).

De acordo com a ISO 7730 (2005) e ASHRAE (2004a) os ambientes térmicos encontram-se classificados segundo três categorias, A, B e C, descritas na figura 1. A categoria A é a mais exigente e de maior dificuldade de alcance, devido à estreita gama de valores de PMV, compreendido entre os -0.2 e 0.2, correspondendo a um valor de índice de PPD menor que 6 por cento. A categoria B tem uma variação mais ampla que a categoria anterior, com valores de PMV entre -0.5 e 0.5 com o índice de PPD inferior a 10 por cento. A última categoria é classificada como C, sendo esta onde se encontra os limites máximos de conforto térmico, estando os valores do índice de votação média previsível estão compreendidos entre os -0.7 e os 0.7, correspondendo à percentagem de pessoas termicamente insatisfeitas máxima de 15 por cento. (Olesen, 2004; Conceição et al., 2006a; 2006b; 2006c). O índice de PMV da categoria C serve de base para os resultados das simulações, em que os valores obtidos ao ultrapassarem estes valores indicam a ausência de conforto térmico.

Conclui-se desta forma, que o conforto térmico não depende somente da temperatura do ar ambiente, mas sim de fatores quantificáveis como os parâmetros individuais e ambientais, e de fatores não quantificáveis, como o estado mental, hábitos térmico-sociais, educação, entre outros. Desta forma, torna-se bastante complicado determinar as preferências térmicas dos indivíduos.

3.3. Conforto térmico em ambientes interiores

Para avaliar o conforto térmico em ambientes interiores utilizou-se um termo-manequim, denominado Júlia (Figura 2), desenvolvido à escala real, com o objetivo de simular a postura humana e a influência de ambientes na resposta térmica do corpo, assim como avalia o nível de conforto térmico, desconforto local e qualidade do ar, estando acoplado um software para a sua validação, que um indivíduo está sujeito em ambientes interiores, como uma sala de aula. No entanto para este estudo o termo-manequim foi usado unicamente na avaliação do campo de temperaturas a que um indivíduo está sujeito.

A Júlia está distribuída por 6 secções distintas, as pernas, o tronco, os braços e a cabeça, tendo uma estrutura base de casca de fibra de poliéster, tendo uma espessura inferior a 3 milímetros. A sua altura é de aproximadamente 1,70m, simulando um indivíduo do género feminino, estando equipada com:

- Sistemas de aquecimento e controlo (constituído por um sistema de aquecimento, de medição e de controlo);
- Sistema de circulação (constituído por uma bomba e um conjunto de condutas);
- Sistema de transpiração (constituído por uma rede de micro condutas, 17 micro válvulas e 3454 micro orifícios);
- Sistema de respiração (constituído por um motor, um sistema de desmultiplicação de velocidades por correias, um fole de borracha e uma zona de aquecimento e mistura);
- Sistema de medição do campo das temperaturas na superfície do manequim e do caudal no interior das condutas;
- Sistema de medição das variáveis ambientais.



Figura 2 – Termo-Manequim Júlia

Antes de iniciar a simulação, o manequim tem de ser cheio com água destilada (para garantir que água ao ser mais pura, as medições seja mais precisas e o manequim não criar calcário) até ao cimo da cabeça, em seguida liga-se o sistema de aquecimento. Este passo tem de ser rigorosamente cumprido, pois a resistência será queimada na ausência de água. O calor gerado é mais intenso na zona do tronco e na cabeça, registando temperaturas mais baixas nas zonas dos braços e pernas. Para que o calor flua de igual forma nestas áreas, é necessária introduzir uma bomba de circulação de água no sistema exterior.

4. Estado atual dos Edifícios

4.1. O sector dos edifícios

Um dos sectores onde se verifica maiores consumos energéticos e de matérias-primas é o dos edifícios, onde se estima que a nível mundial sejam emitidos valores na ordem 37,5 por cento dos 6 biliões de toneladas de dióxido de carbono devido à atividade humana. No caso do continente Europeu, um terço das matérias-primas e energia são utilizadas neste sector. Estima-se que com a construção de edifícios energeticamente mais eficientes, será possível minorar em 60 por cento as emissões de dióxido de carbono, correspondente a 1,35 biliões de toneladas (Tzikopoulos et al., 2005).

Esta necessidade tem maior importância devido há maior procura de comodidade pelos utilizadores, seja a nível de necessidades básicas como do conforto térmico, incluindo também as novas tecnologias no que toca a eletrodomésticos e a entretenimento. Com os novos equipamentos, recursos e evoluções tecnológicas a chegarem aos mercados cada vez mais breve, traduz-se num crescente consumo energético, tendo a distribuição a seguinte tipologia (Gomes J., 2013):

- Cozinhas e Águas Sanitárias: 50%;
- Iluminação e Equipamentos: 25%;
- Aquecimento e Arrefecimento: 25%

Existe uma grande diversidade de edifícios de serviço, como lojas de comércio, unidades hoteleiras, restaurantes, centros hospitalares, escolas, ou grandes superfícies comerciais. A análise do consumo energético do conjunto de edifícios referidos tem de ser realizada de forma distinta, em função da sua tipologia, podendo oscilar entre os 50 e 600000 Wh por metro quadrado por ano (Gomes J., 2013). O consumo elétrico representa aproximadamente 45 por cento do consumo energético total, a climatização ambiente corresponde entre os 30-35 por cento, as águas sanitárias entre os 10-18 por cento e as zonas das cozinhas e lavandarias varia entre 16-18 por cento (Gomes J., 2013).

Nas grandes superfícies comerciais, onde estão inseridos os supermercados e hipermercados, verificam-se maiores gastos em energia elétrica a rondar os 98 e 99 por cento. Nos centros comerciais a climatização conta com cerca de 70 por cento e a iluminação 20 por cento dos gastos energéticos. Nos hipermercados, o frio industrial consome 35 por cento e o sistema de AVAC e iluminação encontram-se equiparados (Gomes J., 2013). Os edifícios de serviço encontram-se em potencial crescimento, sendo de grande importância encontrar soluções a níveis de eficiência energética.

4.2. Resposta térmica dos edifícios

A capacidade térmica é determinada pela capacidade de absorver calor em períodos mais quentes e dissipar calor em períodos mais frescos (Geros et al., 1999; Yang et al., 2008; Yam et al., 2003; Zhou *et al.*, 2008). No caso do calor interno ser dissipado para o exterior em alturas de maiores temperaturas, é devido à existência de perdas térmicas. Estas perdas são o principal factor para a descida de temperatura interior num edifício, sendo uma característica de especial atenção.

A transferência energética nos edifícios é influenciada pelas variáveis climáticas, nomeadamente a temperatura e velocidade do ar exterior e a radiação solar incidente. A temperatura do ar é a variável indutora das trocas de calor, sendo que na estação do inverno é promovida da ocorrência de perdas térmicas, enquanto que durante o verão ocorre o processo inverso, havendo ganhos térmicos. (Gonçalves *et al.*, 2004).

A redução destas perdas, contribuem para melhorar as condições de conforto e qualidade do ar, sendo que uma das propostas mais adotadas são os isolamentos térmicos em espaços opacos, como o pavimento, parede, cobertura e inclusive a introdução de vidros duplos nos vãos envidraçados (Silva, 2006). Desta forma é possível reduzir o pico de calor, a carga de aquecimento, e por ventura, verifica-se redução no consumo energético (Olesen, 2002). Se os espaços interiores forem vastos é necessária a introdução de um ar condicionado, de forma a garantir temperatura, humidade relativa e qualidade do ar, assim como um caudal de ar normalizados (Conceição *et al.*, 2007b; 2007c).

Para além da capacidade térmica do edifício, considera-se também a sua inércia térmica, caracterizando pela capacidade de oposição das variações de temperatura interior graças à sua capacidade de acumulação de calor nos elementos de construção. A inércia é determinada por 2 características, a velocidade de absorção e a quantidade de calor absorvido. A inércia térmica tem influência nos edifícios de verão e de inverno. No inverno ao determinar a capacidade de utilização dos ganhos solares e de verão a influenciar a capacidade de absorção de picos de temperatura.

Os ganhos solares são a energia solar que é absorvida pelos envidraçados. A sua intensidade varia com a radiação solar incidente nas superfícies de vidros, da sua área e do fator solar dos envidraçados. Durante o inverno, a energia solar contribui para aquecimento das zonas, reduzindo as necessidades de aquecimento, nos períodos de verão este aquecimento contribui para o aumento da necessidade de arrefecimento.

Para além da tipologia do edifício, é muito importante dispor de informação acerca do clima exterior, nomeadamente, variáveis ambientais previstas ao longo do ano na região onde o edifício se situa. (Conceição, 2003; Conceição *et al.*, 2006a; 2006c; 2007a, 2008a; 2008b).

5. Software utilizado

Neste trabalho serão apresentados 2 softwares distintos, um que simula a resposta térmica do corpo humano e outro que simula a resposta térmica dos edifícios

5.1. Modelo numérico que simula a resposta térmica do corpo humano

O modelo numérico que simula a resposta térmica humana é usado na avaliação da temperatura corporal, temperatura do vestuário, vapor de água na pele e vestuário e o nível de conforto térmico sujeito pelos ocupantes. Este modelo calcula em condições transitórias, sendo baseado nas equações de balanço de energia e de massa (Conceição *et al.*, 2006, Conceição *et al.*, 2010a e Conceição *et al.*, 2010b). É utilizado o método de Runge-Kutta-Fehlberg com controlo de erro na resolução dos sistemas de equações, no modelo do sistema termo regulatório é utilizado o método de Stolwijk's (1970). Na avaliação das condições de conforto em ambientes não uniformes são usados os índices de votação média previsível (PMV) e da percentagem de pessoas termicamente insatisfeitas (PPD) desenvolvido por Fanger (1970)

O manequim virtual conta com 25 secções como é demonstrada na figura 3. No modelo numérico introduzem-se os dados de entrada relativos à temperatura do ar, temperatura média radiante, velocidade do ar e humidade relativa. O programa permite a introdução da altura do manequim, o género e a área corporal, desta forma a validação de resultados é bastante precisa.

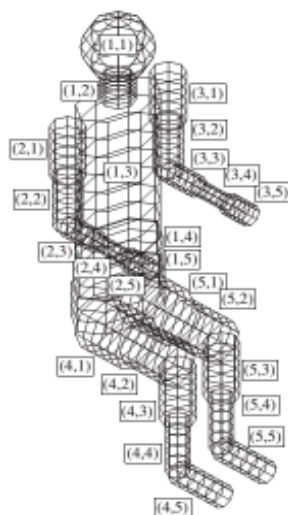


Figura 3 – Secções do termo-manequim virtual

5.2. Modelo numérico que simula a resposta térmica dos edifícios

O programa simula a resposta térmica dos edifícios de topologia complexa, avaliando as condições de conforto dos ocupantes, a qualidade do ar nos espaços interiores e o consumo energético dos edifícios. O software, foi utilizado na condição de inverno em Conceição et al. (2004) e de verão em Conceição e Lúcio (2006e), tendo os dois cenários distintos, que calcula os valores de temperatura do ar no interior dos compartimentos, da temperatura dos corpos transparentes, vidros das janelas, da temperatura dos corpos opacos (portas, chão, telhados, paredes, entre outros), da temperatura média radiante, da massa de vapor de água e outros tipos de gases no interior dos compartimentos, do vapor de água à superfície dos corpos, do vapor de água e de outros gases na matriz sólida dos corpos opacos e interiores, da humidade relativa interior e da velocidade do ar.

O programa calcula também a radiação solar incidente nas superfícies exteriores, a radiação que atravessa as janelas e que incide nas superfícies interiores, calcula as trocas radiativas no interior dos diferentes compartimentos, as propriedades radiativas dos vidros, os fatores de forma no interior de cada um dos compartimentos, os coeficientes de transmissão de calor e massa, as trocas de calor por radiação entre superfícies exteriores do edifício e o ambiente exterior ou nas superfícies envolventes, o nível de conforto térmico médio em cada espaço, a potência de aquecimento ou arrefecimento do sistema de climatização, entre outros parâmetros (Conceição (2003) e Conceição *et al.* (2004, 2005, 2006e)).

Os dados de entrada inerente às condições meteorológicas exteriores utilizados são:

- A temperatura do ar;
- A humidade relativa do ar;
- A velocidade vento medida experimentalmente;
- A direção do vento.

Os parâmetros são obtidos através de uma estação meteorológica instalada no próprio edifício. A determinação da radiação solar direta e difusa foi calculada numericamente, a partir de um conjunto de equações empíricas apresentadas em Iqbal (1983).

Os dados de entrada do programa são:

- A geometria do edifício, introduzida pelo utilizador;
- As propriedades térmicas do edifício;
- As condições geográficas e ambientais exteriores;
- As condições iniciais;
- O ciclo de ocupação;
- Os níveis de vestuário;
- A atividade dos ocupantes;
- As topologias de ventilação.

O modelo multinodal do comportamento térmico dos edifícios, em condições transitórias, é baseado nas equações de balanço térmico (Conceição 2003; 2004; 2006e):

$$mC_p \frac{dT}{dt} = \sum_i \dot{Q}_i \quad (3)$$

Na equação (3), m , C_p , T , t e \dot{Q}_i representam, respetivamente, a massa, o calor específico a uma pressão constante, a temperatura, o tempo e o fluxo calorífico. Os termos do primeiro membro da equação representam a acumulação de calor sensível, enquanto os termos do segundo membro representam o fluxo calorífico devido à condução, convecção, radiação,

evaporações e outros.

$$\frac{dm}{dt} = \sum_i \dot{m}_i \quad (4)$$

Na equação (4), m , t e \dot{m}_i representam, respetivamente, a massa, o tempo e o fluxo mássico. O termo do primeiro membro da equação representa a acumulação de massa e o termo do segundo membro da equação representa o fluxo mássico devido à convecção, difusão e outros.

No cálculo do sistema de equações é utilizado o método de Runge-Kutta-Fehlberg com controlo do erro. O modelo considera os fenómenos de condução, convecção, radiação e transferência de massa, que se procede à validação da avaliação do nível de conforto térmico.

6. Montagem experimental

O estudo experimental do manequim foi implementado numa sala de laboratório, com sistema de climatização ligado, para as temperaturas de 26, 24 e 22 graus.

6.1. Módulo de aquisição de dados

Para aquisição de dados nas medições através do termo-manequim, foi utilizada uma placa da *National Instruments* (Figura 4), que permite conectar até quatro módulos NI independentes. Esta placa tem a vantagem de ser um equipamento portátil, sendo uma mais-valia para a medição de resultados.



Figura 4 - NI cdaq-9174

O NI 9213 é um módulo de aquisição de dados utilizado para a medição de temperaturas através de termopares. O módulo caracteriza-se por permitir a medição de até 16 termopares em simultâneo. A figura 5 mostra a forma do módulo, revelando onde serão conectados os terminais dos termopares e o seu circuito de entrada.



Figura 5 – Módulo NI 9213

Um termopar caracteriza-se por ser um sensor de temperatura formado pela junção de 2 materiais, podendo ser condutores ou semicondutores. Este sensor é considerado ativo, ou seja, cria uma f.e.m (força eletromotriz), não havendo necessidade de ser alimentado. A medição da temperatura T provoca uma tensão entre os 2 materiais e através de um conversor é possível determinar o valor da temperatura.

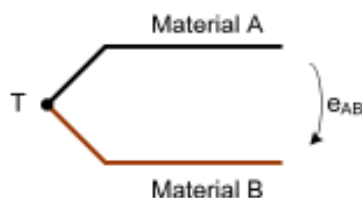


Figura 6 – Esquema de um termopar

Para o ensaio utilizaram-se termopares do tipo T, compostos por Cobre/Constantan. São dos termopares mais indicados para medições na gama dos $-270\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $400\text{ }^{\circ}\text{C}$. Fisicamente, o termopar é composto por um fio branco e outro castanho, através das cores é possível distinguir diferentes termopares, assim como o seu material para determinar o elemento positivo e negativo, pois os termopares têm polaridade. O mercado tem diversos tipos de termopares que se prevê o seu comportamento quando atingem determinadas temperaturas.

Características do termopar T:

- Termo elemento positivo (TP): Cu100%
- Termo elemento negativo (TN): Cu55%Ni45% (Constantan)
- Faixa de utilização: -270 °C a 370 °C
- Força eletromotriz produzida: -6,258 mV a 20,872 mV

Como pode-se verificar pelos valores da f.e.m produzida, os valores estão compreendidos entre uma baixa voltagem, razão pelo qual o módulo NI 9213 tem um filtro diferencial amplificador, para poder ser convertido com sucesso pelo ADC (Conversor Analógico-Digital) (figura 7). Graças ao circuito complexo do módulo, a aquisição é dada em valores de temperatura, simplificando a simulação.

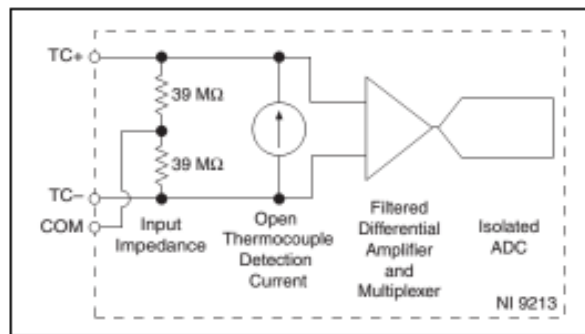


Figura 7 – Circuito de entrada para um canal do módulo NI 9213

O manual de operação do NI-9213 (Anexo 1) deve ser sempre consultado pelo utilizador antes de iniciar as montagens e simulações. Existem perigos de utilização que devem ser evitados, respeitando as indicações do fabricante. O manual informa o tipo de terminais e como colocar no módulo, informa também os valores máximos aceites pelo equipamento assim como o consumo energético.

6.2. Equipamento utilizado

Para realizar a simulação são necessários os seguintes materiais e equipamentos:

- Termómetro digital a laser, para medir a temperatura interna dos diferentes membros do manequim (figura 8);
- Medidor de temperatura e humidade, imprescindíveis para medir as condições do laboratório, para as simulações serem as mais rigorosas possíveis (figura 9);
- 16 partes de fio termopar tipo T com cerca de 3m cada para ligação do manequim ao módulo;
- Terminais com ponteiros em forma de tubo para serem encaixados os fios do termopar no módulo (figura 10);
- Alicates de corte ou tesoura, para fazer o descarte dos termopares (figura 10);
- Alicates de pressão, para fixar os terminais aos termopares de modo a ficarem seguros (figura 10).



Figura 8 – Termómetro digital a laser



Figura 9 – Medidor de temperatura e humidade



Figura 10 – Alicates pressão/tesoura/terminais/fio de termopar

6.3. Localização das medições efetuadas

As medições de temperatura são apresentadas de 2 formas, 6 medições na temperatura da pele, e 10 medições com os termopares afastados do campo de temperatura do ar em torno das seções cerca de 2 centímetros da camada da pele, considerando para os ensaios o nível de vestuário nulo, ou seja, o sem roupa. Como visto anteriormente, o módulo NI permite medir até 16 temperaturas em simultâneo, como o modelo virtual apresenta 25 secções é necessário fazer correspondência com os termopares, sendo classificadas no sistema da seguinte forma:

Medições Exteriores:

- (4.4) – Perna direita;
- (5.4) – Perna esquerda;
- (4.2) – Coxa direita;
- (5.2) – Coxa esquerda;
- (1.3) – Tronco;
- (2.4) – Braço direito;
- (3.4) – Braço esquerdo;
- (2.2) – Antebraço direito;
- (3.2) – Antebraço esquerdo;
- (1.1) - Cabeça;

Medições na pele:

- (4.4) – Perna direita;
- (5.4) – Perna esquerda;
- (1.4) – Tronco;
- (2.3) – Braço direito;
- (3.3) – Braço esquerdo;
- (1.1) – Cabeça.

Após montagem dos termopares na placa de aquisição de dados (figura 11) é necessário identifica-los no módulo e no local de medição, desta forma a identificação dos termopares é facilitada.



Figura 11 – Montagem dos termopares no módulo de aquisição de dados

Foram realizadas 3 simulações, para cada uma foram utilizadas as temperaturas ambientes de 26, 24 e 22 graus respectivamente. Esta gama de temperaturas identificadas esteve associada à gama de temperatura referida como aceitável na nova regulamentação, entre 22 e 25 graus. O período de cada simulação foi de 660 segundos, pois o termopar tinha o tempo de resposta de 1.1 por segundo, obtendo desta forma 600 pontos de temperatura ao longo da simulação.

O tutorial de utilização deste módulo para futuras simulações, encontra-se em apêndice 1, este tutorial é da minha autoria, sendo criado para auxiliar futuras simulações.

Os resultados das simulações são apresentados da seguinte forma, primeiro são registadas as temperaturas do campo de ar em torno do manequim e de seguida as temperaturas da pele do manequim para as temperaturas de 26, 24 e 22 graus respectivamente.

7. Estudo do Campus da Penha

A Universidade do Algarve, criada em 1979, compreende três campus (Penha, Gambelas e Saúde), na cidade de Faro e um campus na cidade de Portimão.

O Campus em estudo é o da Penha, sendo o mais antigo e o de maior importância para o estudo. Segundo a planta geográfica do Campus da Penha (figura 12), verifica-se que os edifícios estão distanciados entre si, tendo comportamentos distintos. Têm ainda a particularidade de não ter os edifícios voltados na orientação convencional (Norte, Oeste, Sul, Este), mas sim Nordeste (NE), Sudeste (SE), Sudoeste (SW) e Noroeste (NW), à exceção do Complexo Pedagógico que está orientado para Este.

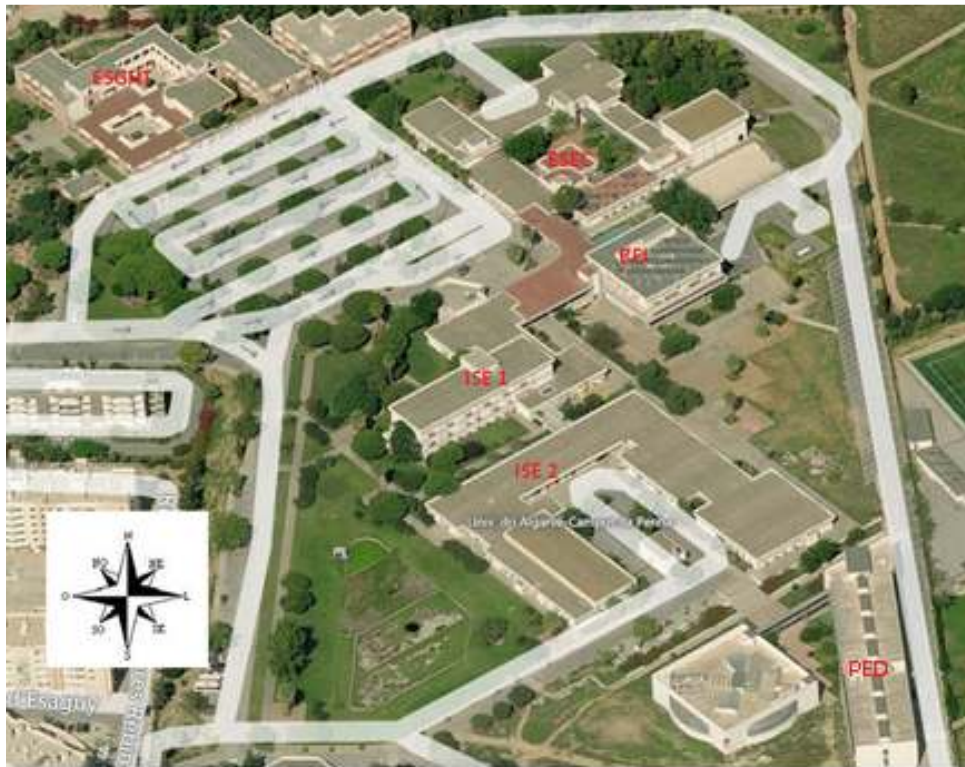


Figura 12 – Planta geográfica do Campus da Penha

Os edifícios em estudo são a ESEC (Escola Superior de Educação e Comunicação) a ESGHT (Escola Superior de Gestão, Hotelaria e Turismo), o ISE (Instituto Superior de Engenharia) 1 e 2, correspondendo à zona onde estão inseridos o bar e os laboratórios, respetivamente, a Reitoria, zona da cantina, restaurante e serviços de ação social, e o Complexo Pedagógico.

Os edifícios, ainda que arquitetonicamente semelhantes, possuem tipologia diferenciada e complexa, associadas às diferentes vocações. O número de compartimentos também é distinto, tendo as seguintes características. A ESEC conta com 105 zonas, dos quais 40 são gabinetes e 16 são salas de aula. Conta ainda com 3 laboratórios. Este edifício foi construído com orientação de Nordeste.



Figura 13 – Vista nordeste da ESEC



Figura 14 – Vista sudeste da ESEC

A ESGHT contém 124 espaços, sendo que há 57 gabinetes e 18 salas de aula, não existindo nenhum laboratório, o edifício tem orientação de Noroeste;



Figura 15 – Vista nordeste/noroeste da ESGHT



Figura 16 - Vista sudeste da ESGHT

O edifício 1 do ISE possui 98 áreas, contando com 31 gabinetes e 16 salas de aula, não conta nenhum laboratório. O edifício tem orientação de Sudeste;



Figura 17 – Vista sudoeste do ISE 1



Figura 18 – Vista noroeste do ISE 1

O edifício 2 do ISE tem 95 espaços, existindo 31 gabinetes, 8 salas de aula e 32 laboratórios, sendo o edifício com maior número do campus. O edifício conta com orientação Sudeste;



Figura 19 – Vista sudoeste do ISE 2



Figura 20 – Vista nordeste do ISE 2

O Pedagógico com 88 lugares, contendo apenas 2 gabinetes sendo o menor número enquanto é o edifício com maior número de salas de aulas contando com 28. O edifício tem orientação Este, sendo o único edifício com orientação convencional;



Figura 21 – Vista este do Complexo Pedagógico



Figura 22 – Vista oeste/sudoeste do Complexo Pedagógico

A Reitoria conta 81 áreas, o edifício caracteriza-se por não conter salas de aulas, no entanto é o edifício onde está inserido a cantina e respectiva cozinha. Possui cerca de 15 gabinetes. O edifício tem orientação Noroeste.



Figura 23 – Vista nordeste/noroeste da Reitoria



Figura 24 – Vista noroeste/sudoeste da Reitoria

8. Análise de Resultados

Esta seção encontra-se dividida em 2 partes, uma de conforto térmico em ambientes interiores e outra da resposta térmica dos edifícios do Campus da Penha

8.1. Análise do conforto em ambientes interiores

Para determinar a análise do conforto em ambientes interiores foram efetuados ensaios experimentais, simulação do modelo numérico e comparação das medidas numéricas com as medidas experimentais

8.1.1. Ensaios experimentais

Os resultados das simulações são apresentados da seguinte forma, primeiro são registadas as temperaturas do ar em torno do manequim (ver figura 25, 27 e 29) e de seguida as temperaturas da pele do manequim (figura 26, 28, e 30), para as temperaturas de 26, 24 e 22 graus respetivamente.

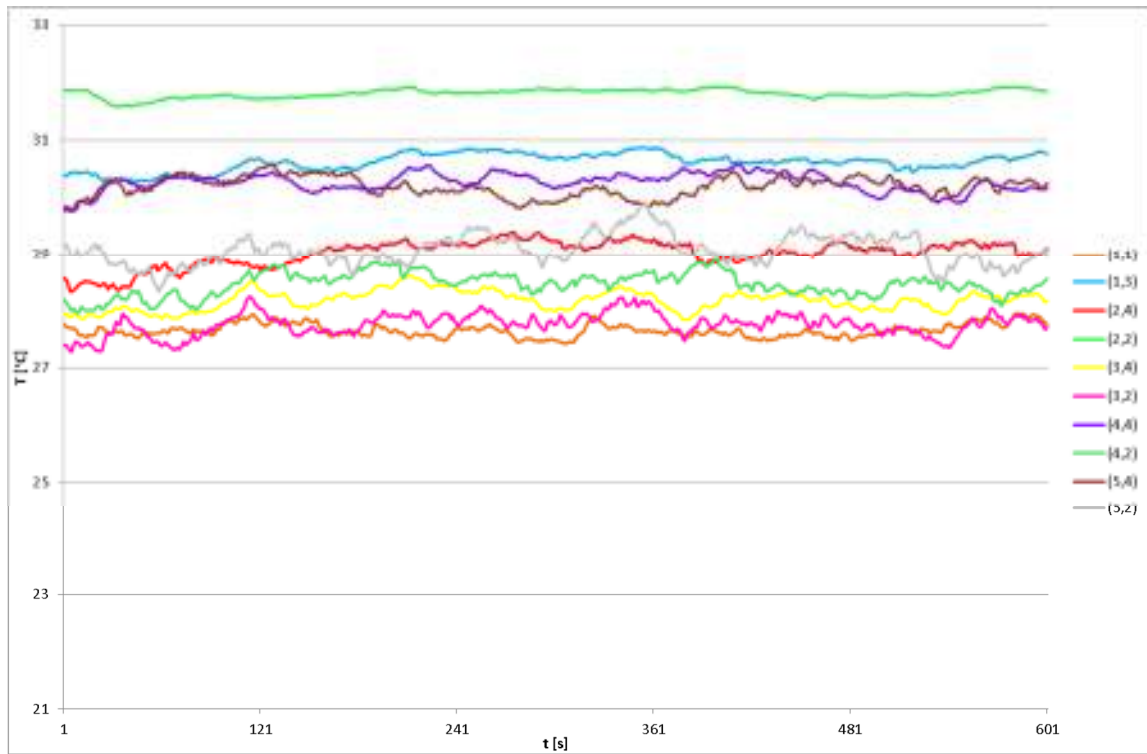


Figura 25 – Temperatura do ar em torno do manequim para temperatura do ar a 26°C

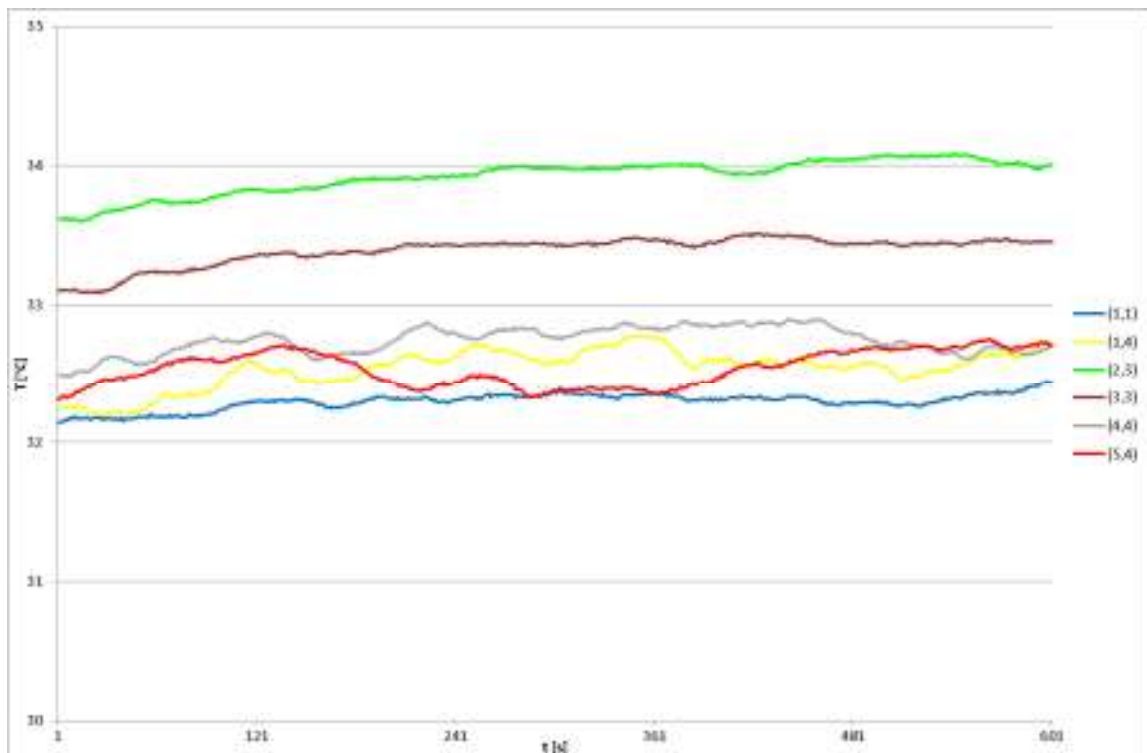


Figura 26 – Temperatura da pele no manequim para temperatura do ar a 26°C

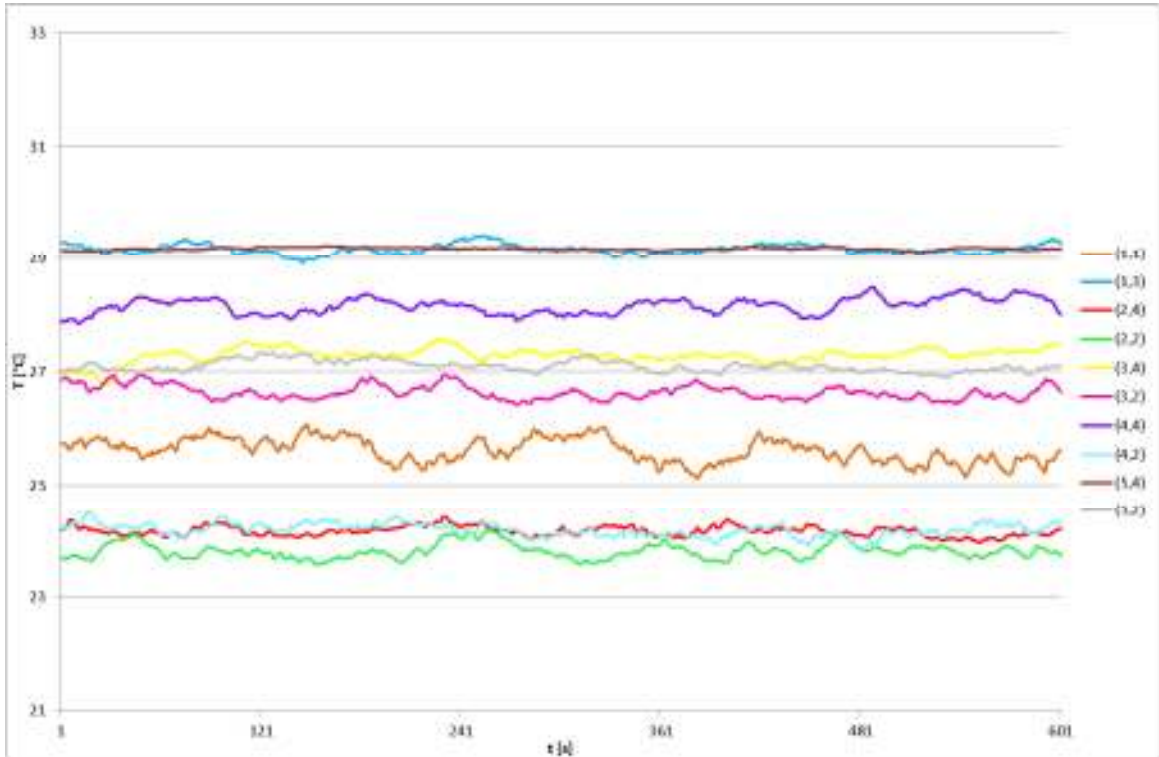


Figura 27 - Temperatura do ar em torno do manequim para temperatura do ar a 24°C

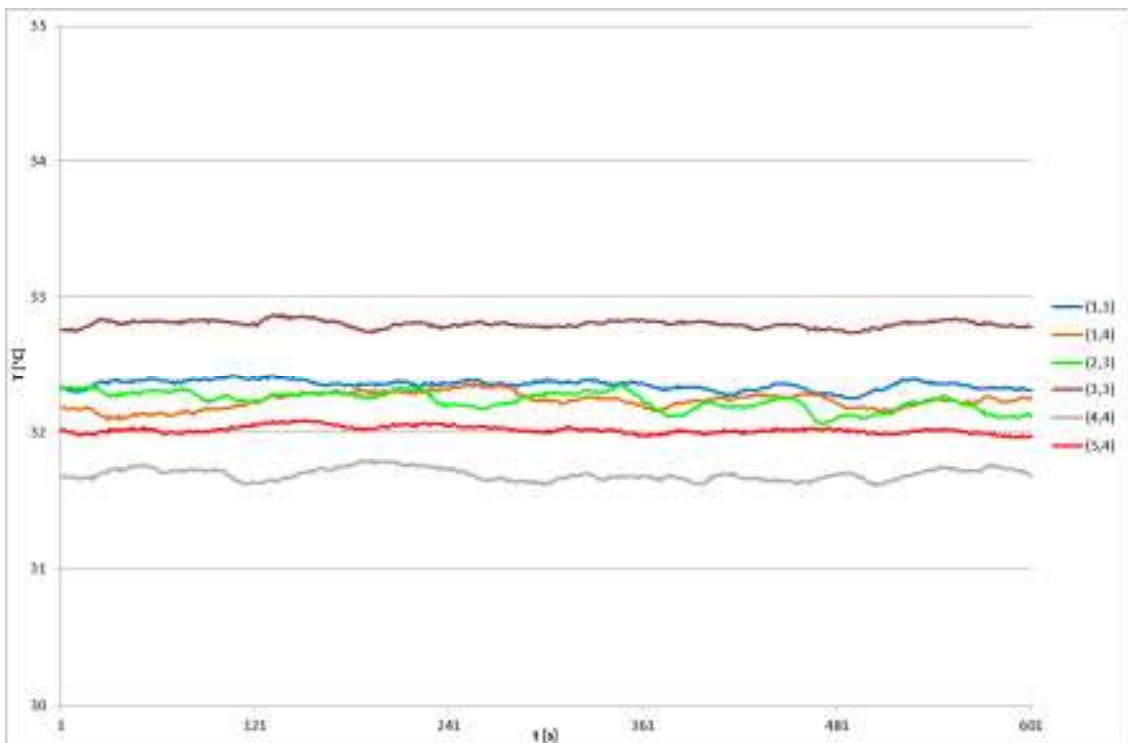


Figura 28 - Temperatura da pele no manequim para temperatura do ar a 24°C

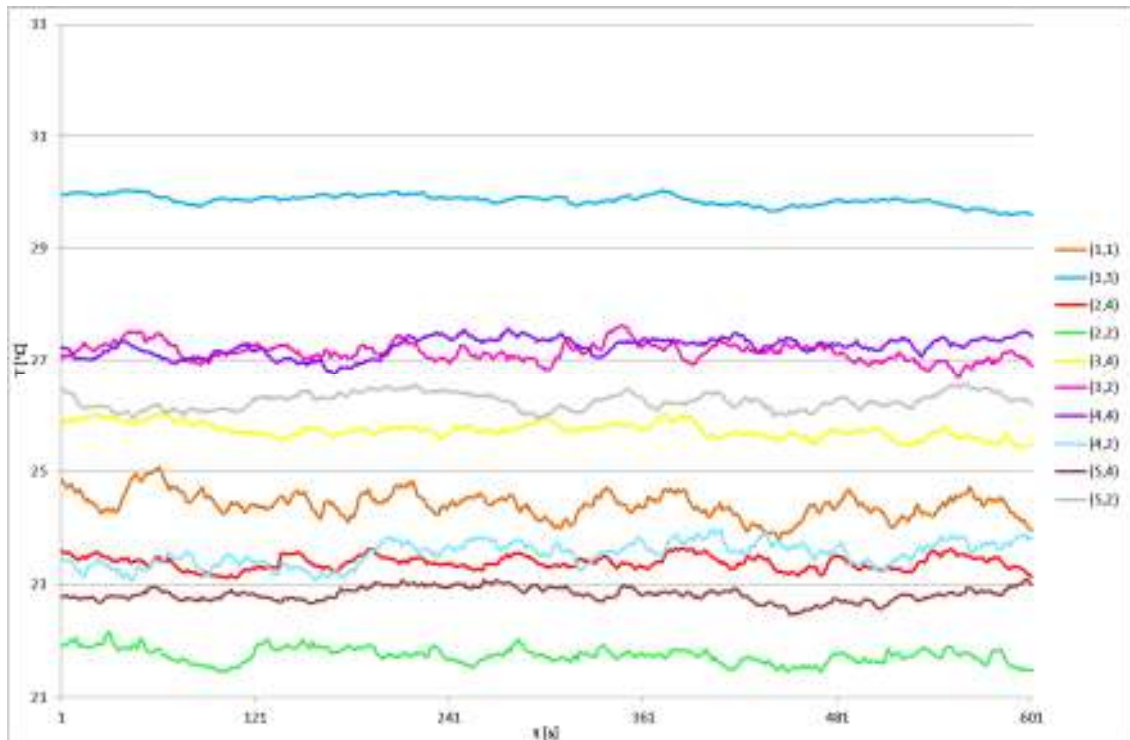


Figura 29 – Temperatura do ar em torno do manequim para temperatura do ar a 22°C

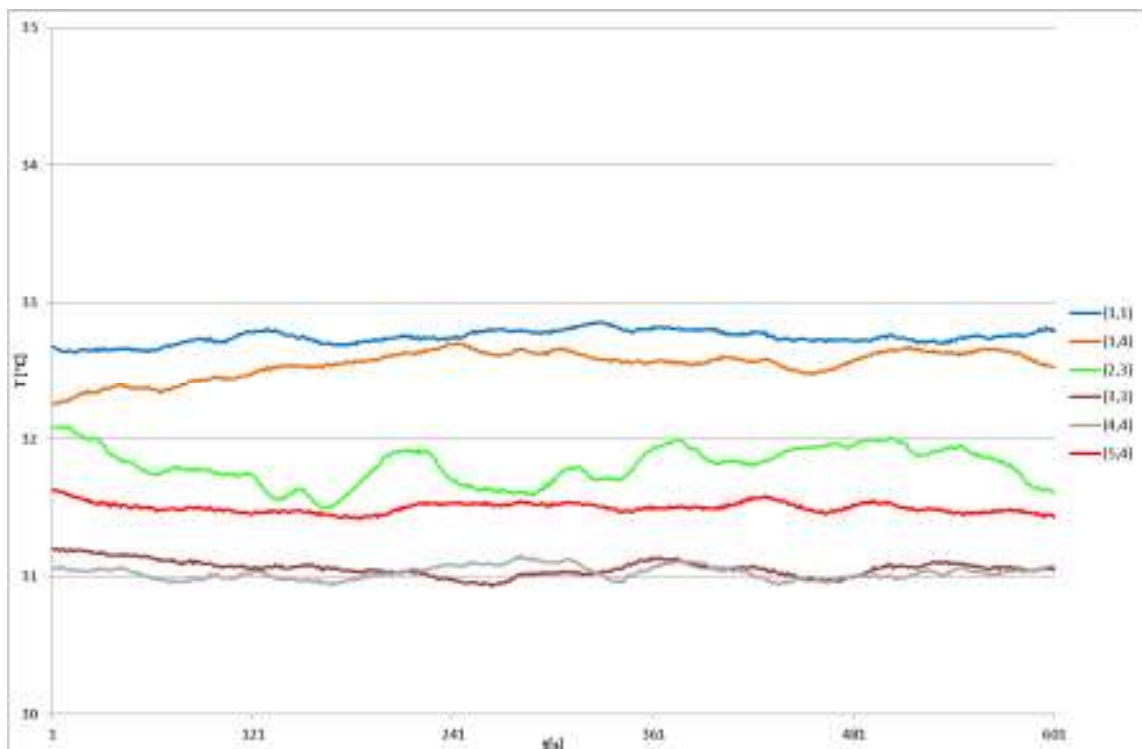


Figura 30 - Temperatura da pele no manequim para temperatura do ar a 22°C

Observando os resultados anteriores, nas medições das temperaturas na pele registaram-se temperaturas superiores comparando com as de em torno do ar, pois as medições pelos termopares encontravam-se mais perto da fonte de calor, interior do manequim. Verifica-se que as temperaturas medidas na pele entre as seções são uniformes, não existindo zonas onde a variação de temperatura fosse mais acentuada.

Com a diminuição da temperatura ambiente, a temperatura da pele desce assim como a temperatura no seu campo de ar. A redução da temperatura na pele traduz-se numa sensação de desconforto por frio. As oscilações de temperaturas verificadas ao longo do período de simulação são devidas à flutuação do ar ambiente, criado pelo sistema de climatização por SPLIT, contribuindo para o aumento da velocidade do ar e baixa de temperatura. Deste modo foi criado os valores médios da simulação de modo a facilitar a leitura, onde está representado pela figura 31.

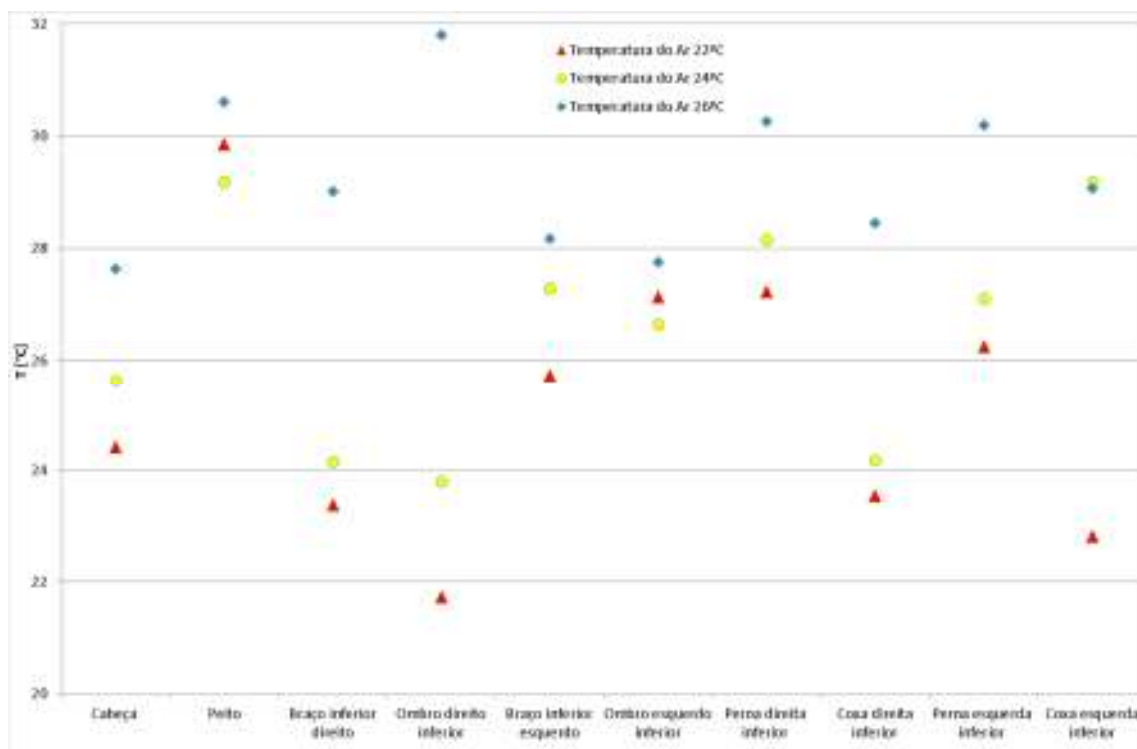


Figura 31 – Temperatura média do campo de ar em torno das seções distintas

Através do gráfico verifica-se que existem seções com diferenças significativas nas medições, como o ombro direito inferior ou a coxa esquerda inferior. Estas diferenças podem ser explicadas através de erros de medições dos termopares ou algum erro na conversão para o programa. A maioria dos resultados revelam-se aproximados às temperaturas de referência.

8.1.2. Simulação do modelo numérico

Através do modelo numérico, foram realizadas simulações para as 25 secções do manequim para as mesmas condições de temperatura, mas considerando os vestuários nulos, inverno e de verão de modo a analisar a sua influência nas condições de conforto térmico. Introduziram-se os dados de entrada de forma a ter os mesmos parâmetros do termo-manequim Júlia, ser do género feminino e altura de 1,7 metros, de forma à simulação ser mais precisa.

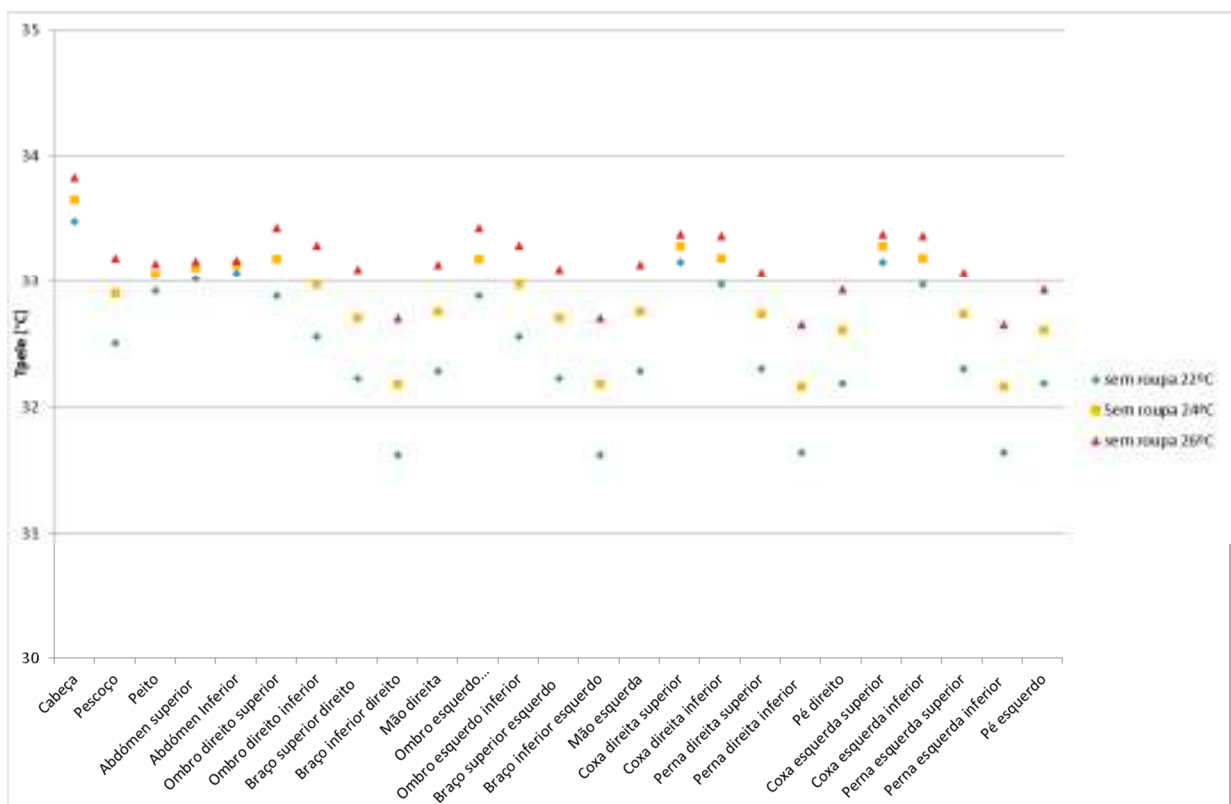


Figura 32– Distribuição da temperatura da pele sem vestuário

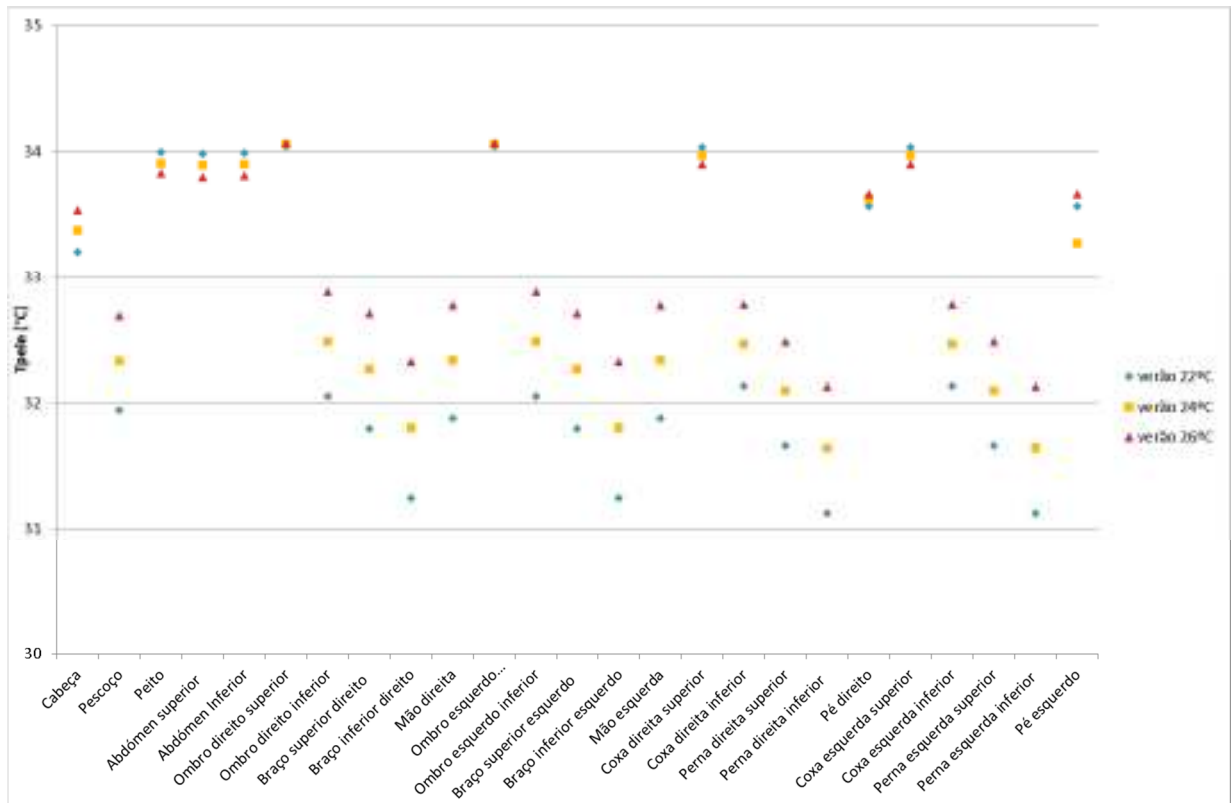


Figura 33 – Distribuição da temperatura da pele com vestuário de verão

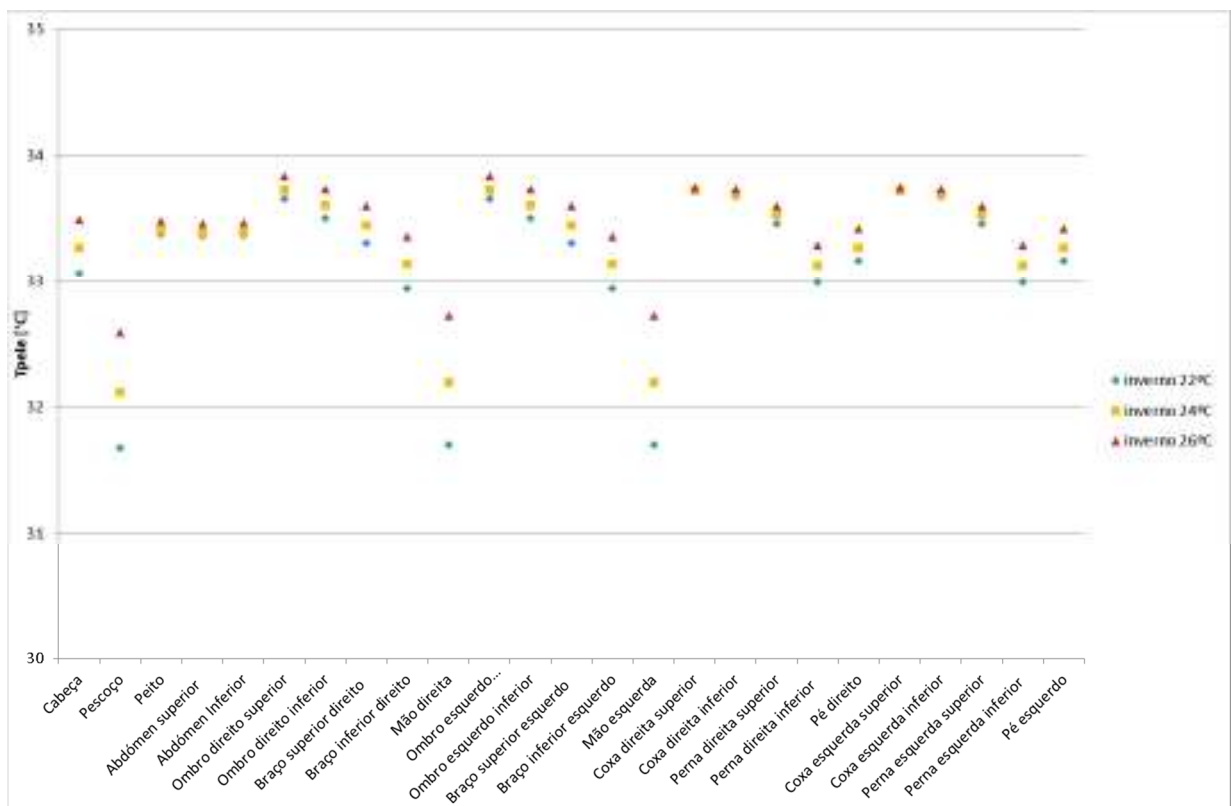


Figura 34 – Distribuição da temperatura da pele com vestuário de inverno

Através das simulações, verifica-se para o vestuário nulo que a temperatura é mais reduzida nas zonas inferiores dos braços e das pernas, sendo que a zona a cabeça e tronco são as mais quentes. No vestuário de verão, a temperatura mais baixa é verificada nas zonas descobertas, pescoço e zona inferior dos braços e pernas. Por fim, no vestuário de inverno, a temperatura também é mais reduzida nas zonas descobertas, pescoço e mãos. Nesta estação a variação de temperatura é mais significativa, pois com um maior nível de vestuário a zona coberta armazena mais calor quando comparado com um nível inferior de vestuário. Desta forma conclui-se que o vestuário influencia a temperatura da pele para diferentes temperaturas sujeitas.

A tabela 1 apresenta os índices de conforto de votação média previsível e da percentagem de pessoas termicamente satisfeitas para as três temperaturas de simulação para as situações de vestuário nulo, vestuário de verão e vestuário de inverno. O conforto térmico é verificado para os valores de $-0,7 < PMV < 0,7$ e PDD inferior a 15 por cento, estando na categoria C de acordo com a norma ISO 7730 (2005).

Vestuário	Temperatura	PMV	PPD
Sem roupa	22°C	-2,03261	78,21353
	24°C	-1,21636	36,05085
	26°C	-0,43221	8,89591
Com roupa verao	22°C	-0,54097	11,12438
	24°C	0,03135	5,02035
	26°C	0,60801	12,75301
Com roupa inverno	22°C	0,16767	5,58268
	24°C	0,59258	12,36094
	26°C	0,98318	25,41701

Tabela 1– Índice de conforto para diferentes vestuários

Da tabela 1 conclui-se que, para o vestuário nulo, o conforto térmico é verificado para a temperatura de 26°C, sendo que para 24 e 22 graus encontra-se em desconforto térmico por frio. Para vestuário de verão, o conforto térmico é verificado para as 3 temperaturas simuladas. Por fim, para o vestuário de inverno, o conforto só não é verificado para a temperatura de 26°C, estando em desconforto térmico por calor. Os melhores índices de conforto foram verificados para o vestuário de verão com 24°C e com vestuário de inverno para 22°C, encontrando-se inseridos na categoria A da norma ISO 7730 (2005). Desta forma conclui-se que o vestuário influencia as condições de conforto a que os indivíduos estão sujeitos.

8.1.3. Comparação das medidas numéricas e experimentais

Foi realizada uma validação entre a temperatura do corpo do termo-manequim real, medidas experimentalmente com a temperatura do corpo de um manequim virtual, calculada numericamente. Os valores obtidos pelo modelo numérico são denominados por valores teóricos estando representados por simbologia com marcador sem preenchimento, enquanto os valores obtidos experimentalmente designam-se por valores medidos e estão representados por simbologia com marcador com preenchimento, desta a forma simplifica a sua análise.

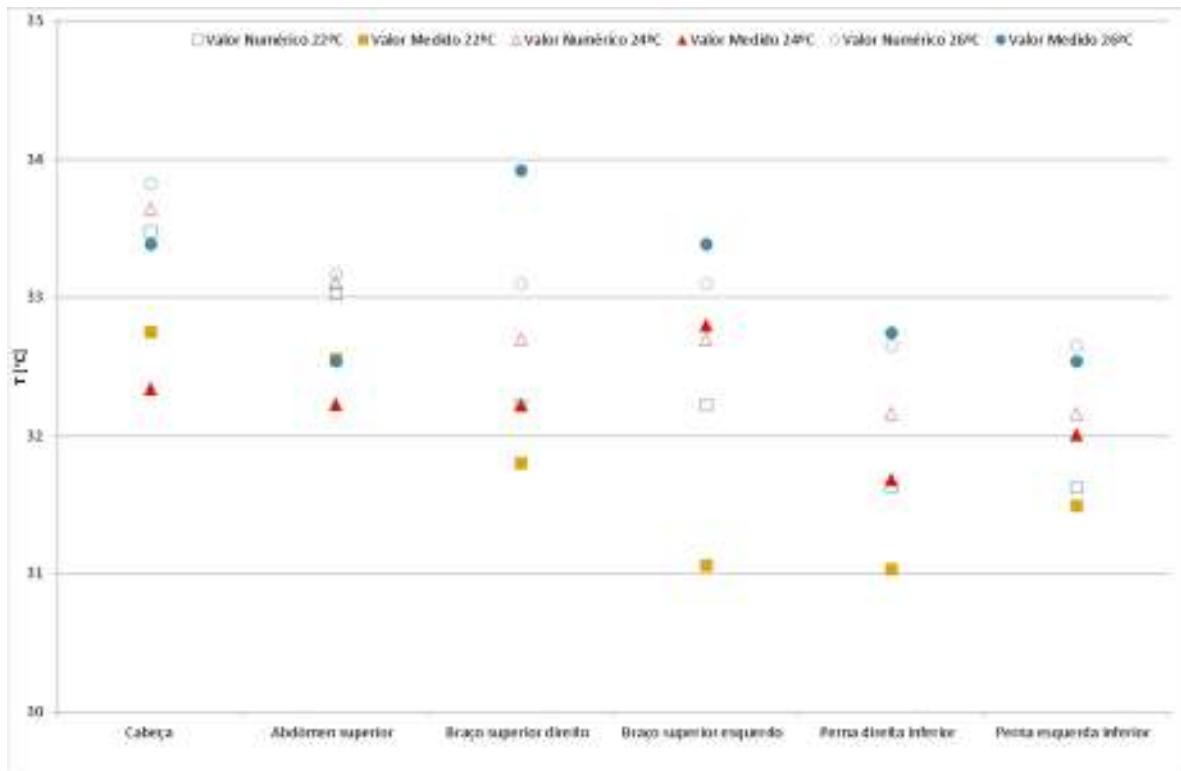


Figura 35 – Validação entre manequim real e o modelo numérico

A validação dos dados indica-nos que os valores são aproximados, com existência de diferenças máximas de 1,2 graus a existirem na zona da cabeça para a temperatura de 24°C e na zona do braço superior direito para a temperatura de 22°C. Verifica-se que a temperatura com valores mais aproximados é da 26°C e mais afastada é de 22°C. A temperatura é um fator influente neste tipo de medições.

O modelo numérico revelou ser um modelo fiável de simulações virtuais de manequins térmicos para as temperaturas apresentadas, podendo ser utilizado para futuras simulações sem o recurso a manequins, podendo simular para diferentes géneros, alturas e áreas corporais.

8.2. Avaliação de Conforto nos Edifícios

O modelo numérico simula, em condições transitórias, o comportamento térmico do edifício obtido em condições de Verão e Inverno em salas e gabinetes com ocupação com o sistema AVAC ligado no período de aulas, sendo que no período de intervalos, almoço/jantar e noite este fica desligado.

Os resultados obtidos para a temperatura do ar, Votação Média Previsível, Percentagem de Pessoas Termicamente Insatisfeitas e a quantidade de dióxido de carbono, servem para ilustrar o método utilizado. Os gráficos têm a informação das salas de aula e dos gabinetes dos docentes, pois estes dois ambientes têm características diferentes, como o espaço do compartimento e a capacidade de usuários. O edifício da Reitoria como não dispõem de salas de aula fez-se a simulação para duas orientações distintas, já no complexo pedagógico realizou-se o mesmo procedimento, mas para as salas de aula, pois não dispõem de gabinetes.

Os edifícios avaliados serão:

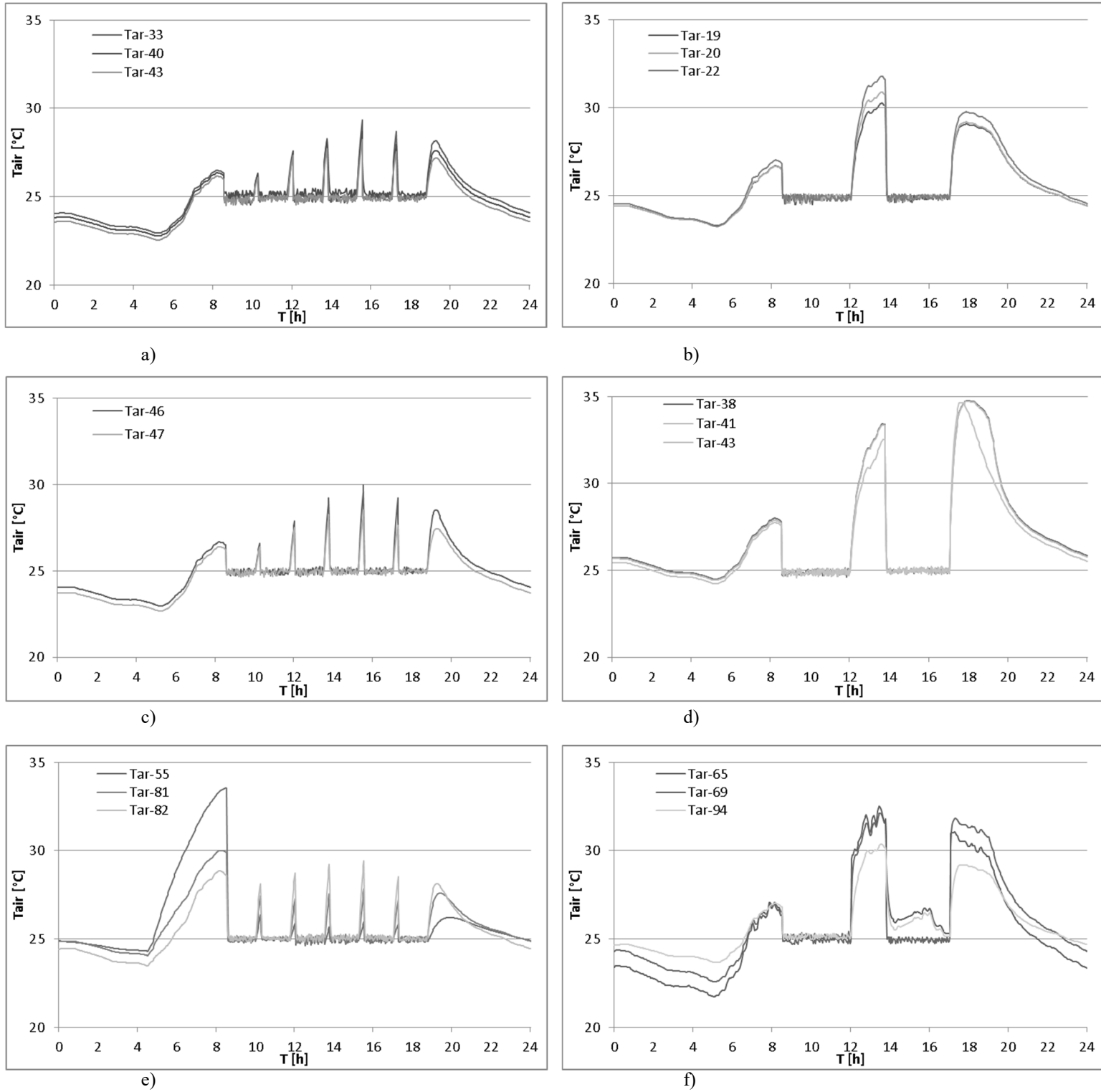
- ESEC – Escola Superior de Educação e Comunicação;
- ESGHT – Escola Superior de Gestão, Hotelaria e Turismo;
- ISE1 – Instituto Superior de Engenharia, edifício 1;
- ISE2 - Instituto Superior de Engenharia, edifício 2;
- Complexo Pedagógico
- Reitoria;

Nesta seção serão apresentados os resultados das simulações às variáveis de temperatura, conforto e qualidade do ar, selecionando algumas salas e gabinetes típicos. Cada simulação é dividida para um período de verão e outro de inverno com controle de temperatura, dentro destes períodos divide-se os seis edifícios em duas páginas, desta forma a leitura é mais precisa e perceptível. As do lado esquerdo referem-se a salas de aula, enquanto as da direita referem-se a gabinetes. As simulações têm período de 24 horas, onde o controle é efetuado quando há ocupação nos espaços, sendo desligado após interrupções, como intervalos, mudanças de aulas, horas de almoço e jantar e término de aulas. A atuação do ar-condicionado verifica-se através das variações abruptas num curto espaço de tempo, que se mantém durante períodos entre uma hora a três aproximadamente.

8.2.1. Temperatura média do ar

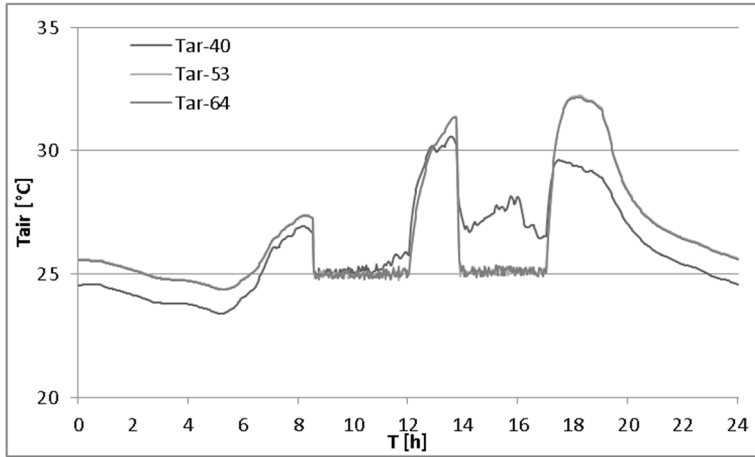
Para as situações de verão, quando os espaços não têm ocupantes, a temperatura do ar tende a apresentar valores altos durante o dia e mais baixos durante a noite e no período da manhã. Quando os ocupantes entram no espaço, é ligada a climatização (8h30) para operar na temperatura de 25°C, sendo a temperatura de referência para a estação de arrefecimento segundo o Decreto-lei nº 80 (2006). Estes valores mantêm-se durante o período de ocupação, os picos seguintes são referentes aos intervalos, hora de almoço até terminar o período diurno (pelas 19h).

As figuras 36 e 37 ilustram a evolução da temperatura média do ar com controle de temperatura num dia típico de verão para os diferentes edifícios.

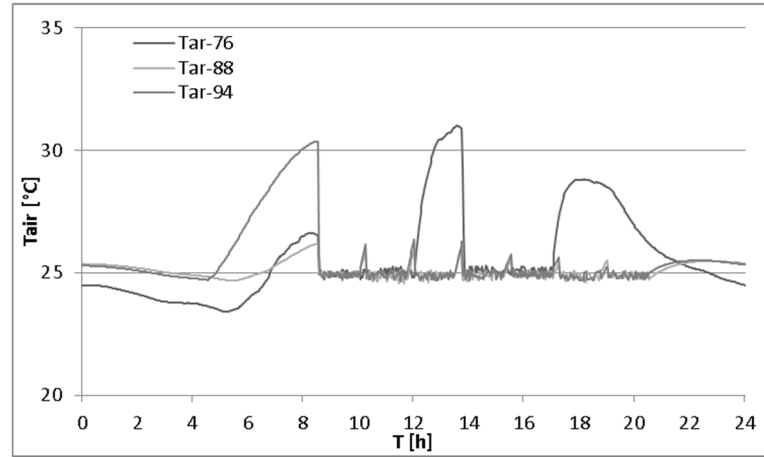


ESEC a) NW Sala de aula; b) SW Gabinete.
 ESGHT c) SW Sala de aula; d) NW Gabinete.
 ISE 1 e) SE Sala de aula; f) NW Gabinete.

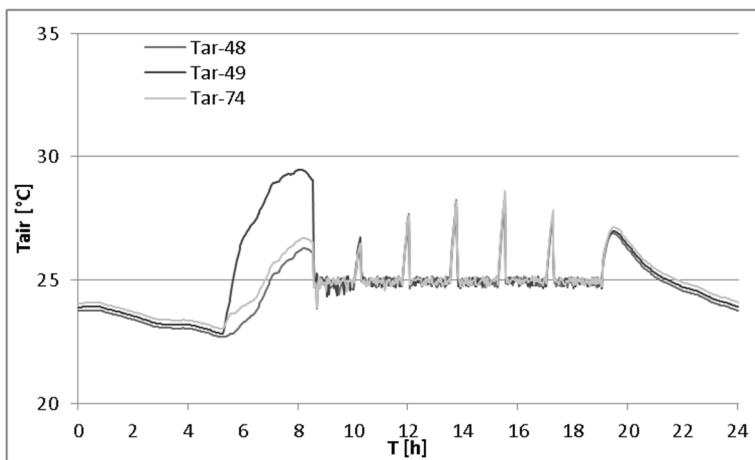
Figura 36 - Temperatura do ar num dia de verão para os edifícios da ESEC, ESGHT e ISE1 considerando controle de temperatura



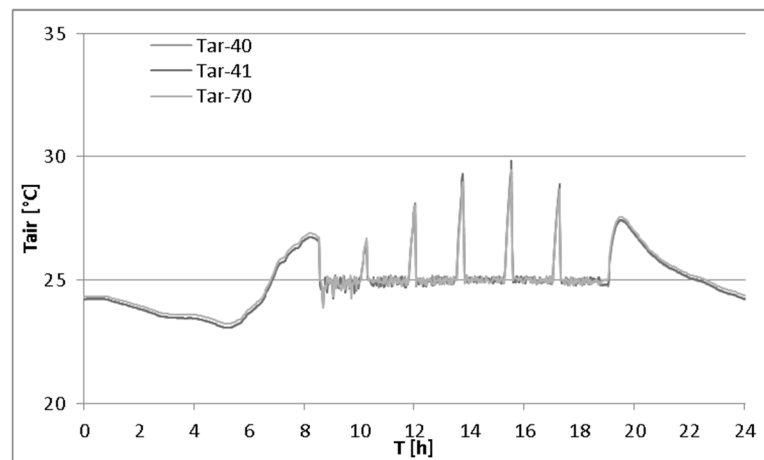
g)



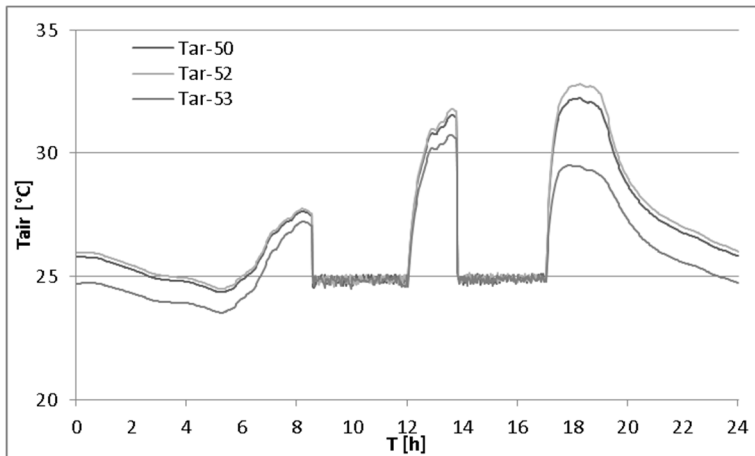
h)



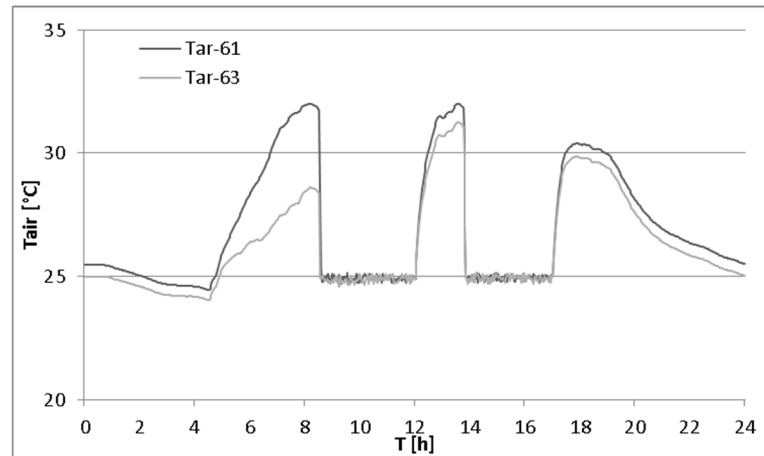
i)



j)



k)



l)

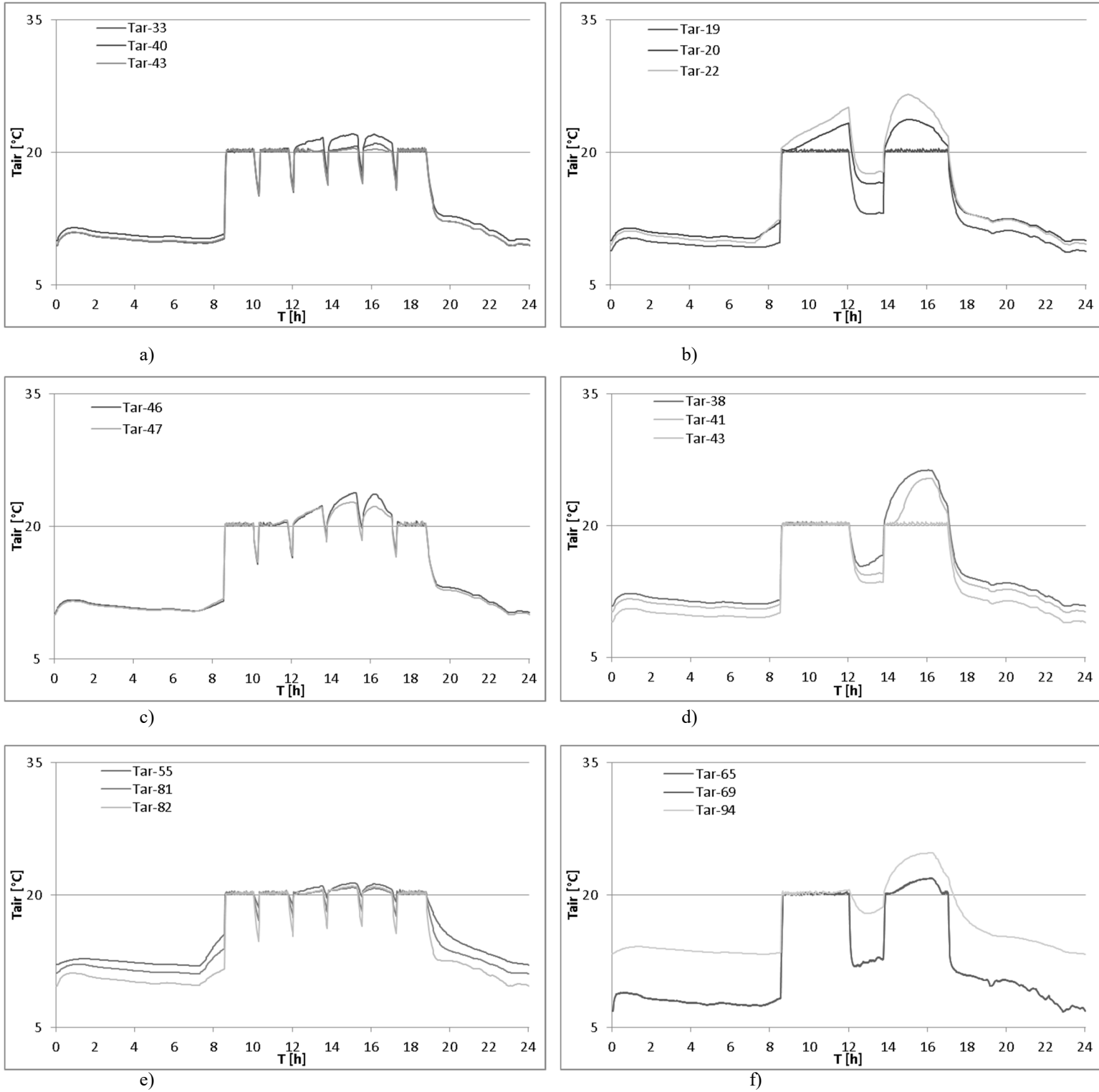
ISE2 g); SW sala de aula; h) NW Gabinete.
 PED i) E Sala de Aula; J) O Sala de Aula.
 REI k) NW Gabinete; l) SE Gabinete.

Figura 37 - Temperatura do ar num dia de verão para os edifícios da ISE2, PED e REI considerando controle de temperatura

Após análise de resultados das Figuras 36 e 37, verifica-se que após a atuação do ar condicionado a temperatura estabilizou nos 25°C, estando no valor estipulado pelo Decreto-lei nº 80 (2006), para as salas de aula e gabinetes à exceção do ISE1 que se verificou que em 2 gabinetes no período da tarde tinham a temperatura acima deste valor. Este resultado deve-se ao facto da radiação solar incidentes nas janelas dos compartimentos aquecer o meio. No ISE2 ocorreu o mesmo sucedido numa das salas de aula no período da tarde. A orientação dos edifícios influencia o seu comportamento

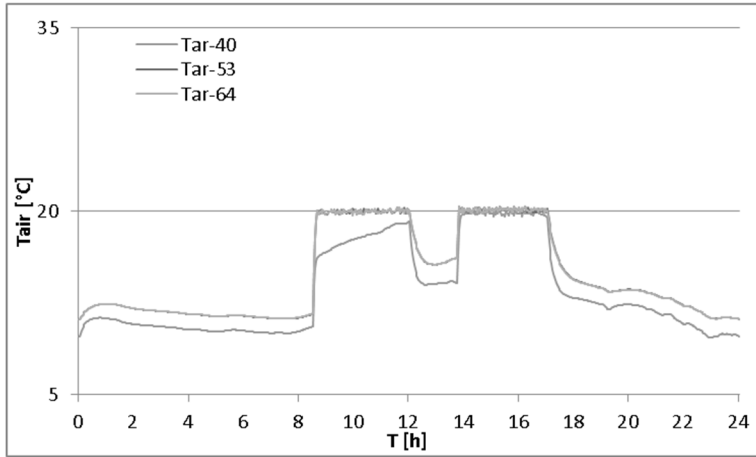
No inverno, a temperatura exterior é bastante reduzida sendo que quando os ocupantes entram nos compartimentos e após atuação da climatização, a temperatura sobe e estabiliza nos 20°C, sendo a temperatura de referência para a estação de aquecimento segundo o Decreto-lei nº 80 (2006). Os picos inversos seguintes referem-se às situações de intervalos, hora de almoço, até ao final do dia onde a temperatura começa a reduzir de forma gradual.

As figuras 38 e 39 ilustram a evolução da temperatura média do ar com controlo de temperatura num dia típico de inverno.

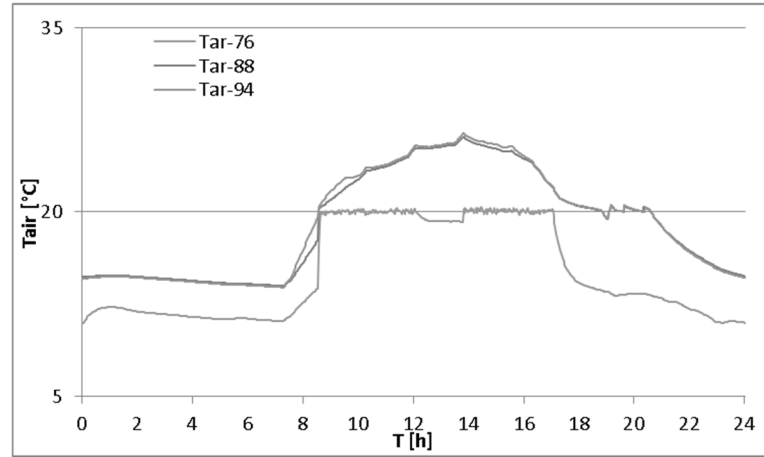


ESEC a) NW Sala de aula; b) SW Gabinete.
 ESGHT c) SW Sala de aula; d) NW Gabinete.
 ISE 1 e) SE Sala de aula; f) NW Gabinete.

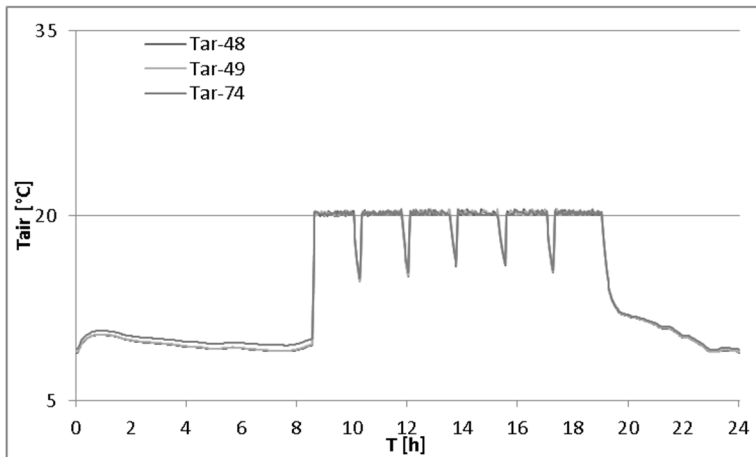
Figura 38 - Temperatura do ar num dia de inverno para os edifícios da ESEC, ESGHT e ISE1 considerando controlo de temperatura



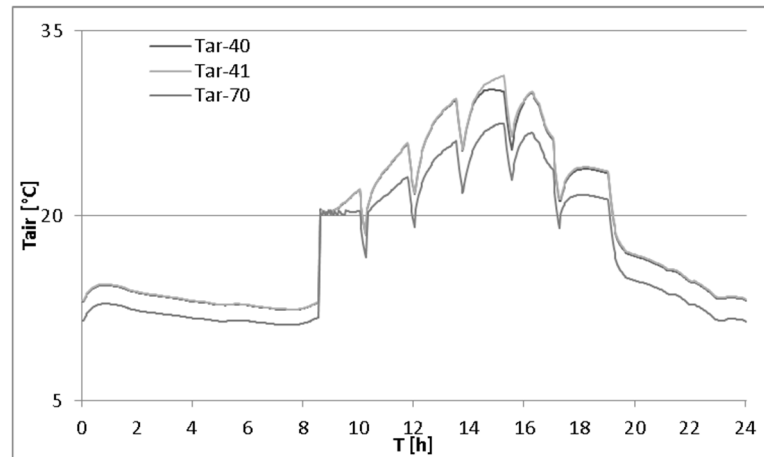
g)



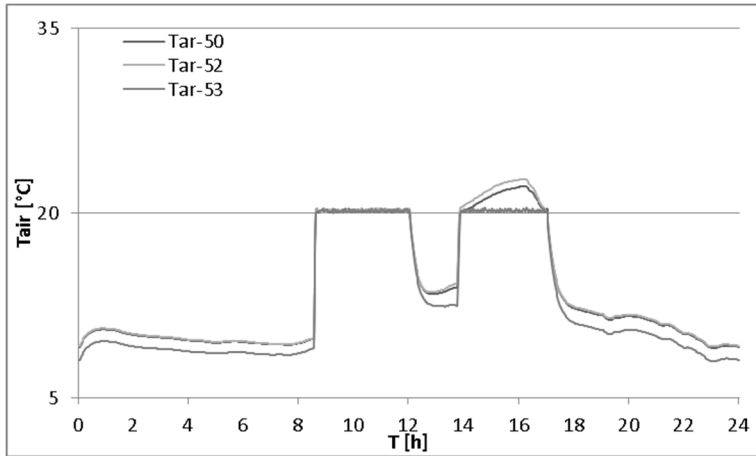
h)



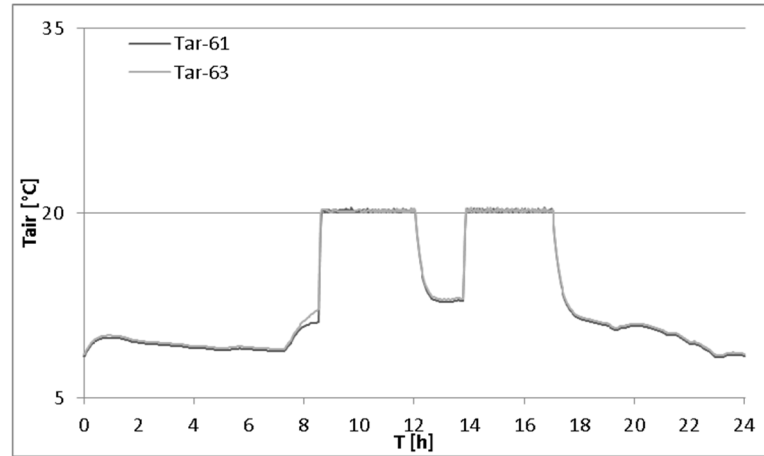
i)



j)



k)



l)

ISE2 g) SW sala de aula; h) NW Gabinete.
 PED i) E Sala de Aula; J) O Sala de Aula.
 REI k) NW Gabinete; l) SE Gabinete.

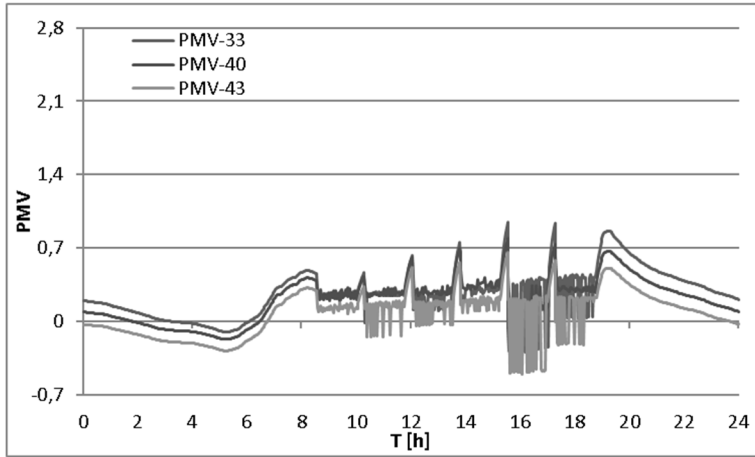
Figura 39 - Temperatura do ar num dia de verão para os edifícios da ISE2, PED e REI considerando controle de temperatura

Após análise de resultados das Figuras 38 e 39, verifica-se que após atuação do ar condicionado este estabiliza a temperatura nos 20°C, sendo a temperatura de referência segundo o Decreto-lei nº 80 (2006). Durante a simulação, apenas as salas de aula i) do Complexo Pedagógico e os gabinetes l) da Reitoria tiveram a temperatura sempre estabilizada nos 25°C. Os restantes compartimentos tiveram comportamentos distintos, sendo que a subida da temperatura acima dos 20°C foi verificada. Ao comparar as temperaturas de verão e inverno verifica-se que os valores mais próximos dos de referência foi na estação mais quente.

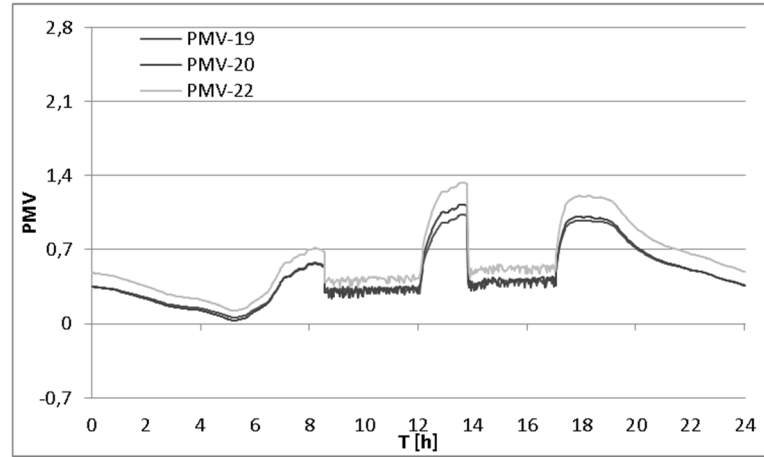
8.2.2. Índice de Votação Média Previsível

O ensaio seguinte avalia o nível de conforto através do índice de votação média previsível (PMV), que será verificado se os edifícios se encontram na categoria C de acordo com a ISO 7730 (2005). As figuras 40 a 43 estão apresentadas com incrementos de 0.7 para melhor perceção na análise e resultados. As simulações iniciam às 8h30 e terminam às 19h. As variações de valores entre estes horários devem-se à interrupção do sistema de climatização.

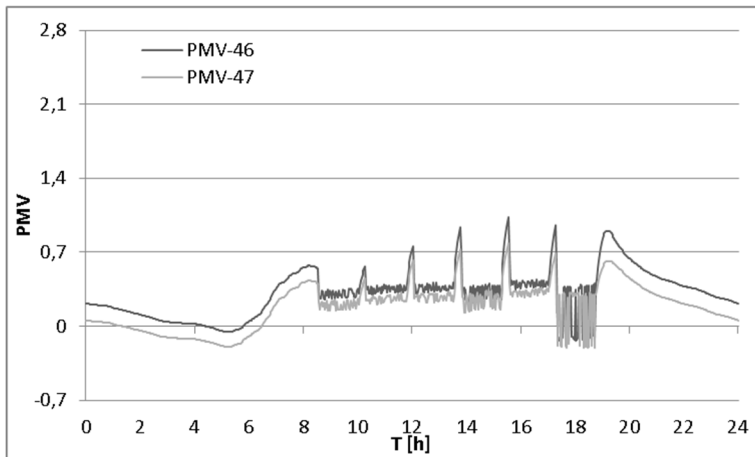
As figuras 40 e 41 ilustram a evolução do índice de votação média previsível com controlo de temperatura num dia típico de verão.



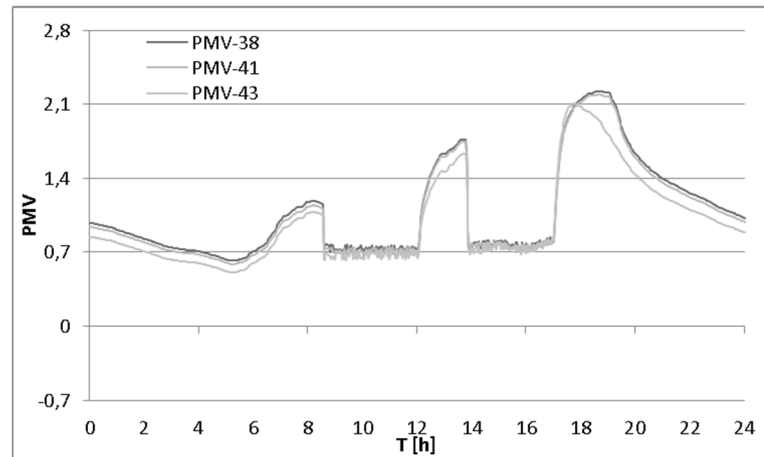
a)



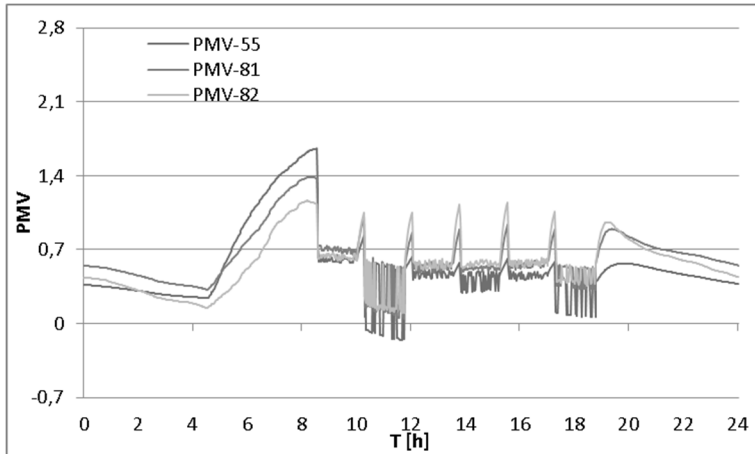
b)



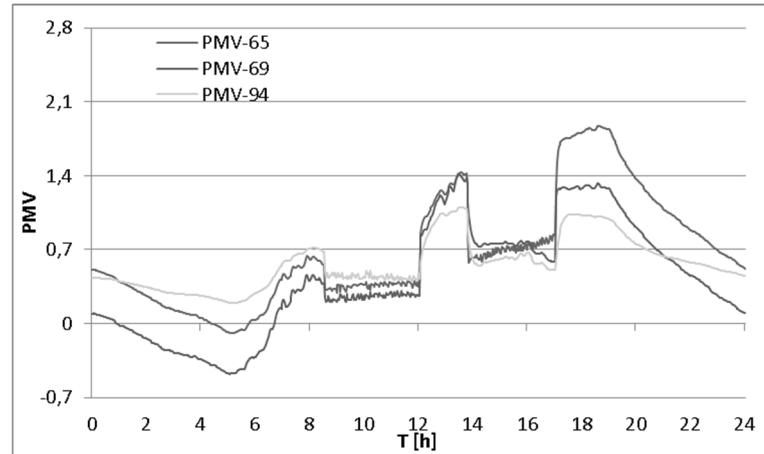
c)



d)



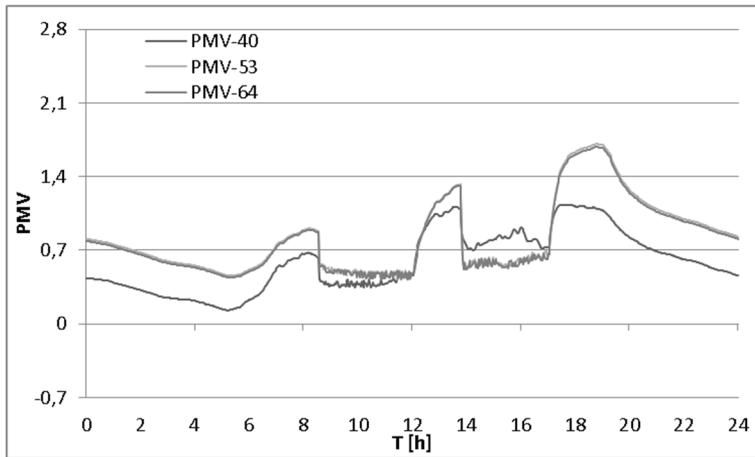
e)



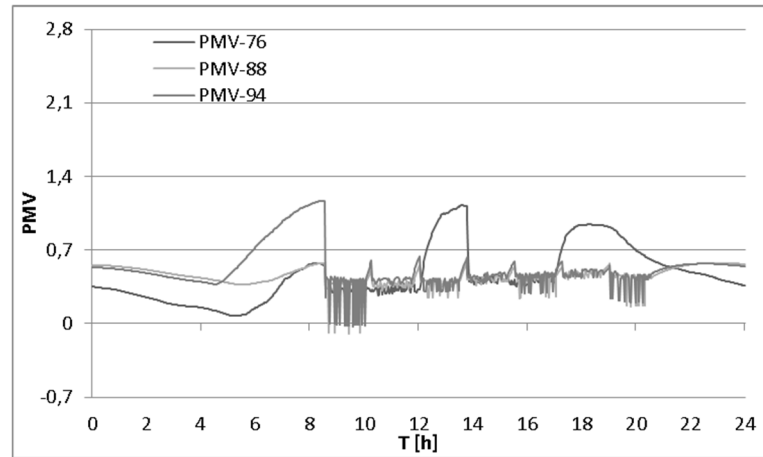
f)

ESEC a) NW Sala de aula; b) SW Gabinete.
 ESGHT c) SW Sala de aula; d) NW Gabinete.
 ISE 1 e) SE Sala de aula; f) NW Gabinete.

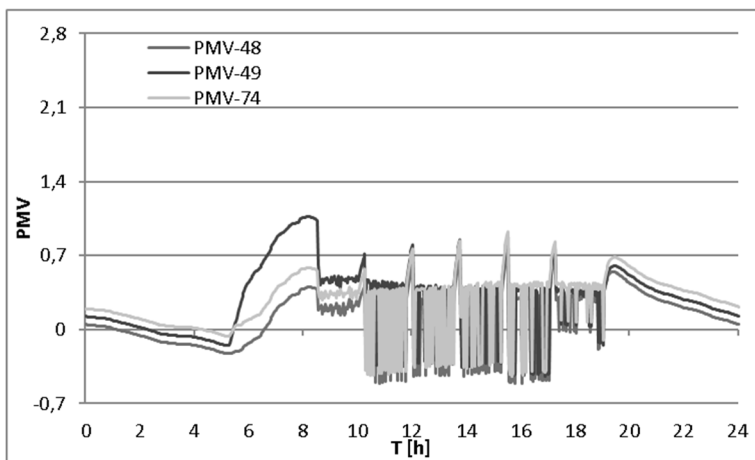
Figura 40 – Índice PMV num dia de verão para os edifícios da ESEC, ESGHT e ISE1 considerando controlo de temperatura



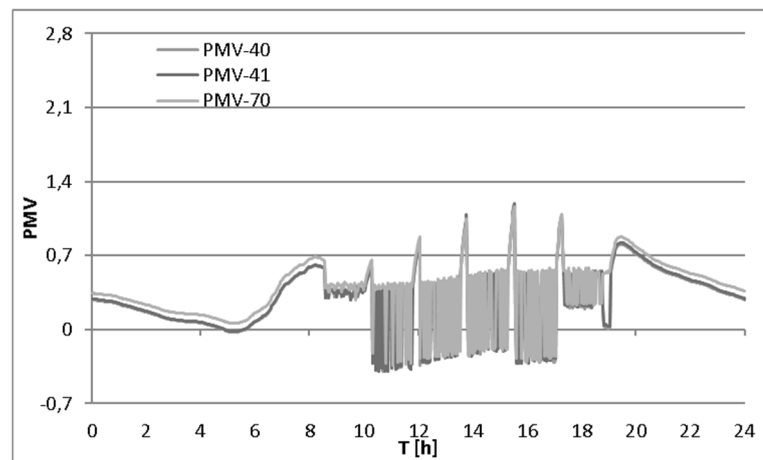
g)



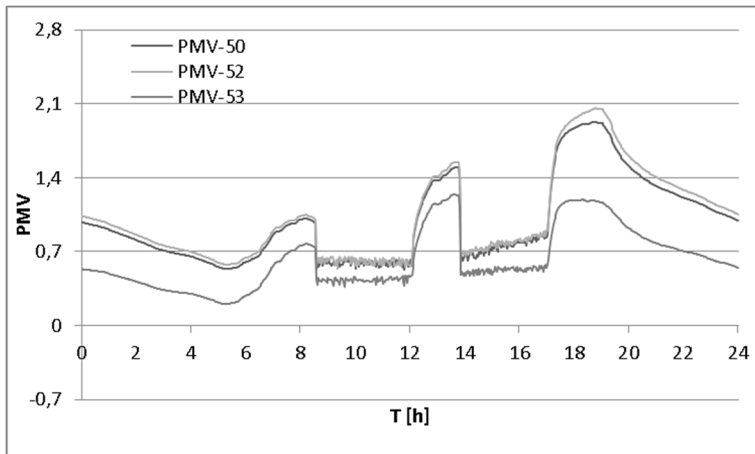
h)



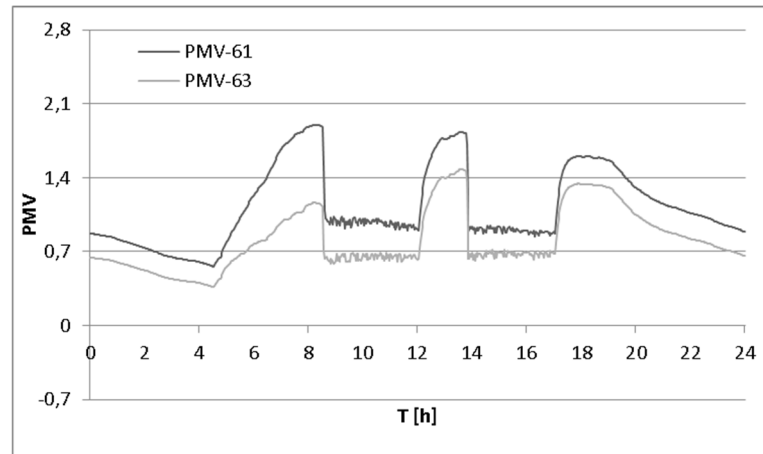
i)



j)



k)



l)

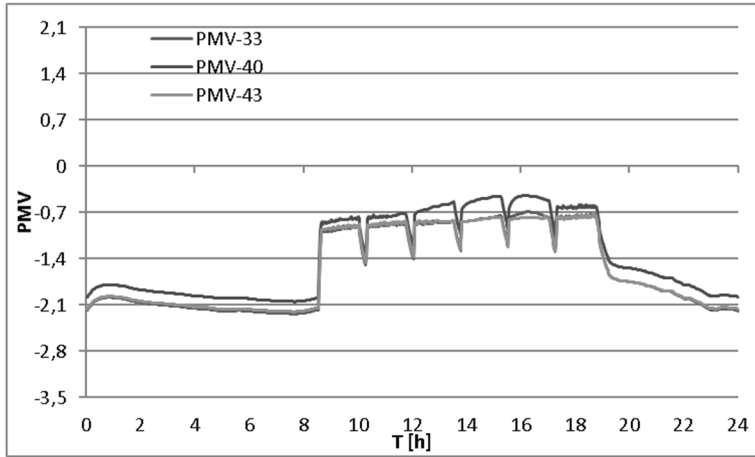
ISE2 g) SW sala de aula; h) NW Gabinete.
 PED i) E Sala de Aula; J) O Sala de Aula.
 REI k) NW Gabinete; l) SE Gabinete.

Figura 41 – Índice PMV num dia de verão para os edifícios da ISE2, PED e REI considerando controle de temperatura

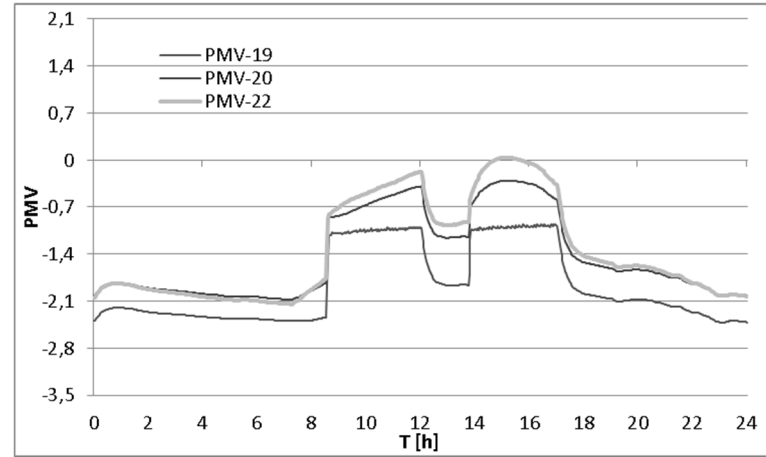
No verão, verifica-se que a maioria das salas de aulas e gabinetes estão com PMV compreendido entre -0.7 e os 0.7, estando inseridas na categoria C segundo ISO 7730 (2005), à exceção do edifício Reitoria, em que apenas uma sala e um gabinete estão na categoria C. O ISE1 tem 2 gabinetes onde no período da tarde houve desconforto por calor devido à radiação solar incidente nas janelas; a ESGHT tem os gabinetes no período da manhã com conforto térmico, mas perto do seu limiar, sendo que à tarde estes se encontram em desconforto por calor. Por fim, o ISE2 tem um gabinete em desconforto térmico por calor no período da tarde.

Para a situação de inverno com espaços sem ocupantes, a temperatura do ar tende a reduzir, reduzindo o índice de conforto PMV. Com a chegada de ocupantes, é ligada a climatização, elevando os valores da temperatura traduzindo-se num aumento de conforto.

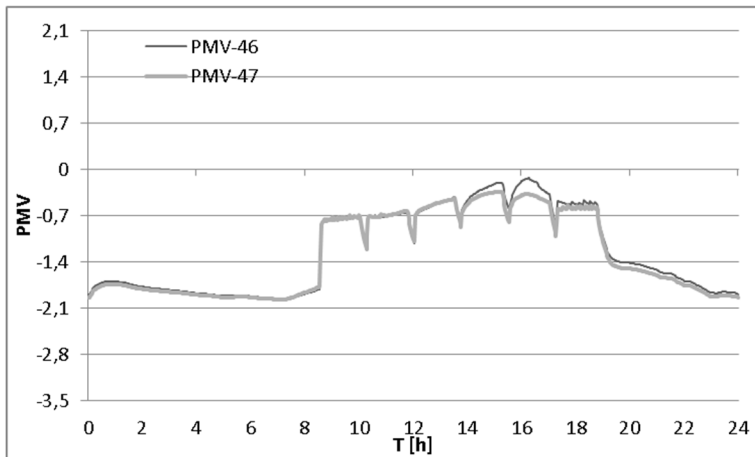
As figuras 42 e 43 ilustram a evolução do índice de votação média previsível com controlo de temperatura num dia típico de inverno.



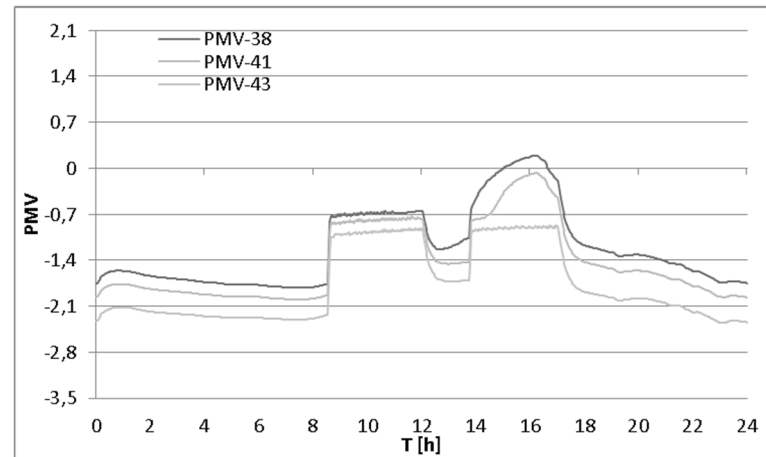
a)



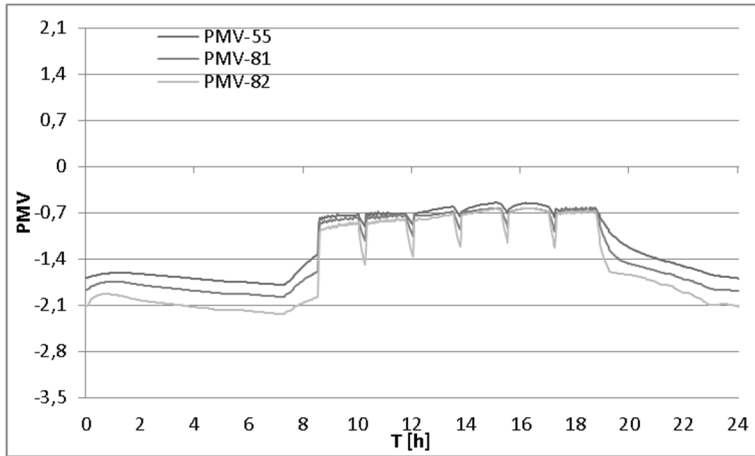
b)



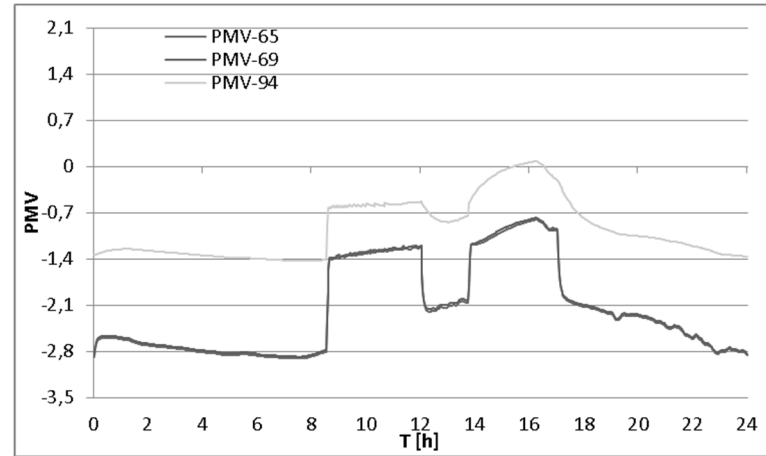
c)



d)



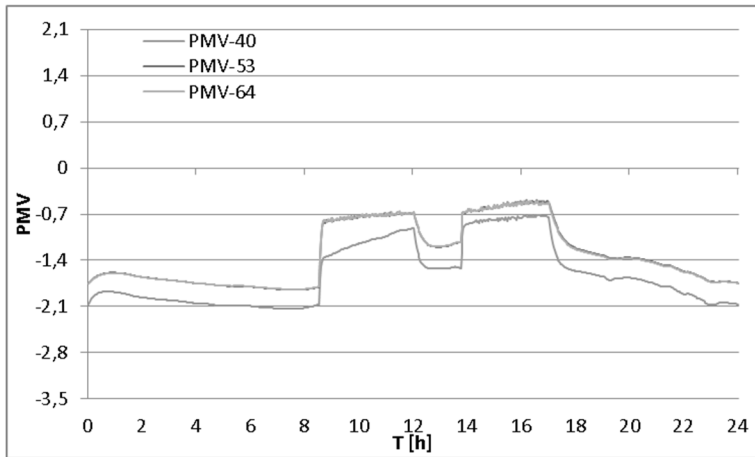
e)



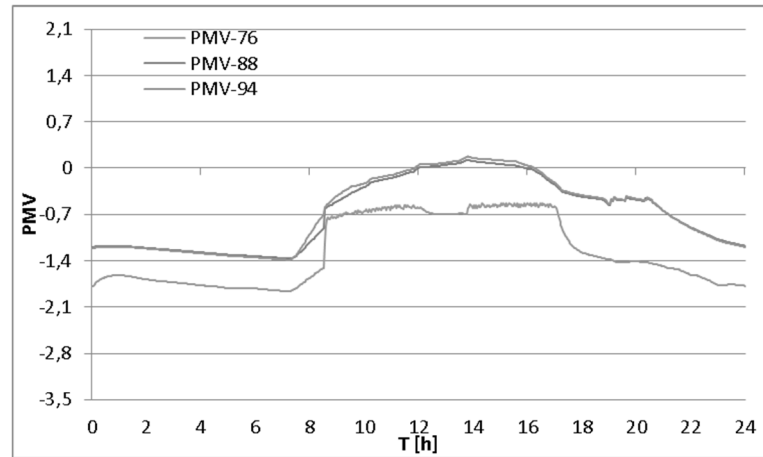
f)

ESEC a) NW Sala de aula; b) SW Gabinete.
 ESGHT c) SW Sala de aula; d) NW Gabinete.
 ISE 1 e) SE Sala de aula; f) NW Gabinete.

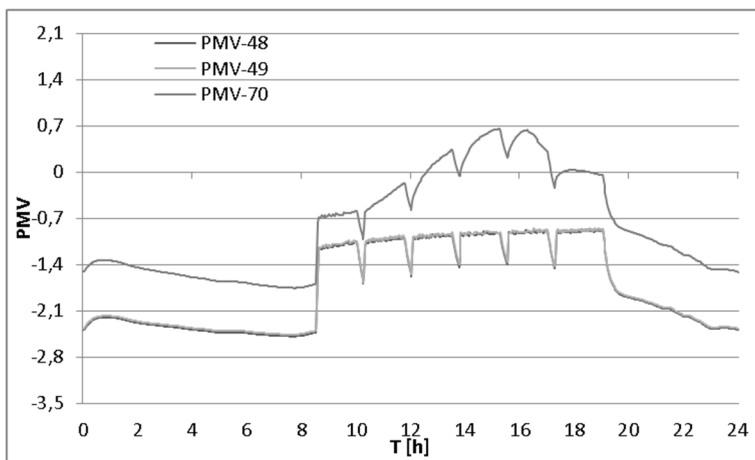
Figura 42 – Índice PMV num dia de inverno para os edifícios da ESEC, ESGHT e ISE1 considerando controlo de temperatura



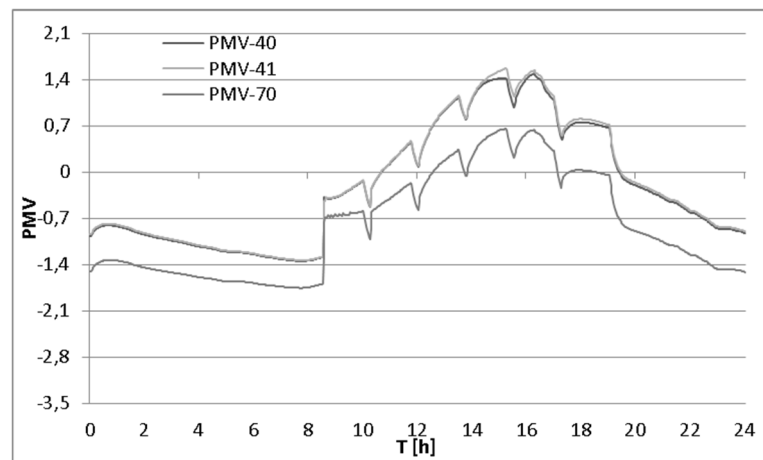
g)



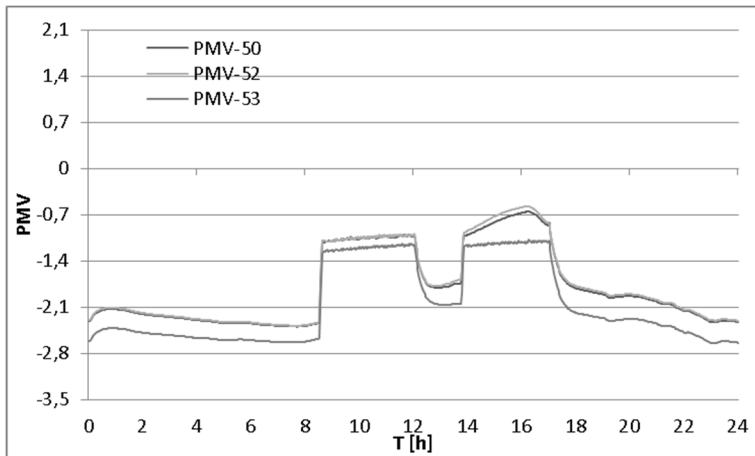
h)



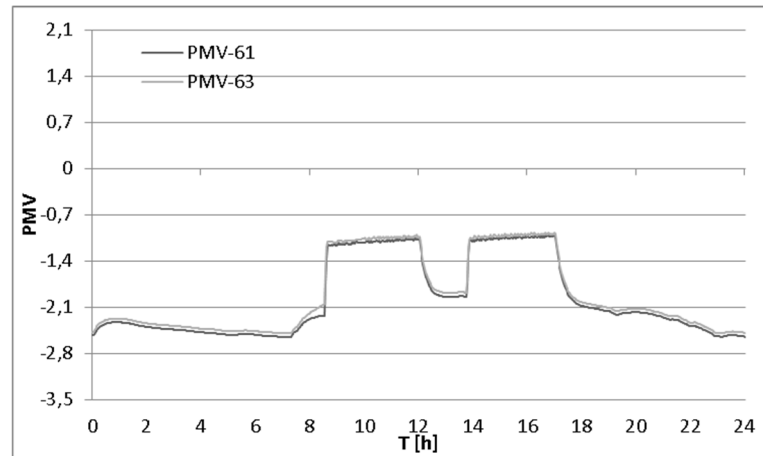
i)



j)



k)



l)

ISE2 g) SW sala de aula; h) NW Gabinete.
 PED i) E Sala de Aula; J) O Sala de Aula.
 REI k) NW Gabinete; l) SE Gabinete.

Figura 43 – Índice PMV num dia de inverno para os edifícios da ISE2, PED e REI considerando controlo de temperatura

No inverno, verifica-se que as únicas salas onde existe pelo menos um compartimento com o PMV compreendido entre -0.7 e os 0.7, estando inseridos na categoria C segundo ISO 7730 (2005), são nos edifícios da ESGHT, do Complexo pedagógico, do ISE1 e do ISE2, as restantes estão todas desconforto térmico por frio. Nos gabinetes tinham pelo menos um compartimento, sendo apenas a Reitoria o único que está em total desconforto térmico por frio.

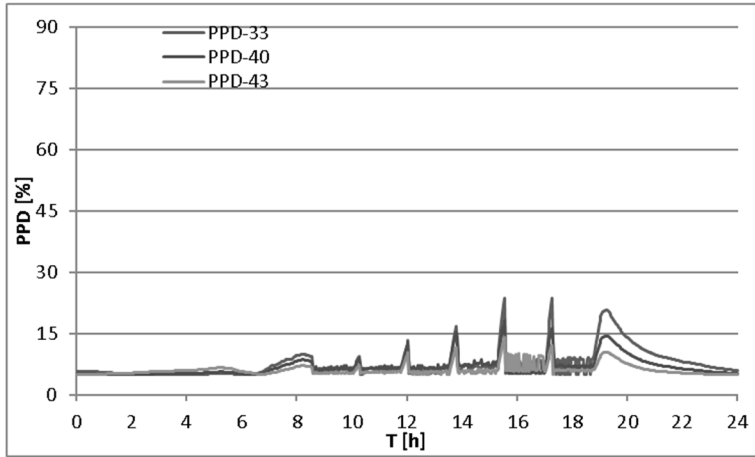
Através destes resultados verifica-se que apenas estabilizar a temperatura em 20°C para esta estação não é suficiente para garantir o conforto térmico.

8.2.3. Índice de Percentagem de Pessoas Termicamente Insatisfeitas

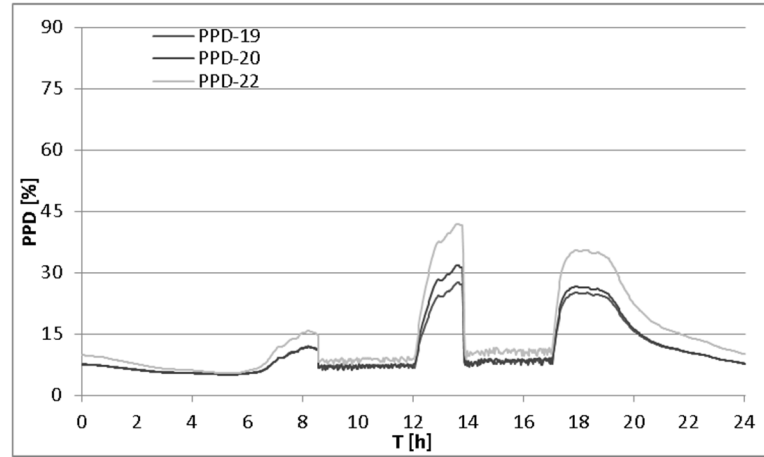
Para finalizar os níveis de conforto, foi simulado o índice de percentagem de pessoas termicamente insatisfeitas (PPD), verificando se os edifícios se encontram na categoria C com percentagem inferior a 15%, de acordo com a norma ISO 7730 (2005). As figuras 44 a 47 estão apresentadas com incrementos de 15% para melhor perceção na análise e resultados. Quando os valores ultrapassarem os 15% os ocupantes encontram-se em desconforto térmico.

Como visto anteriormente, o índice PPD depende do índice PMV, sendo que os valores de conforto apresentados na Votação Média Previsível serão os mesmos para este índice, para as situações de verão e inverno.

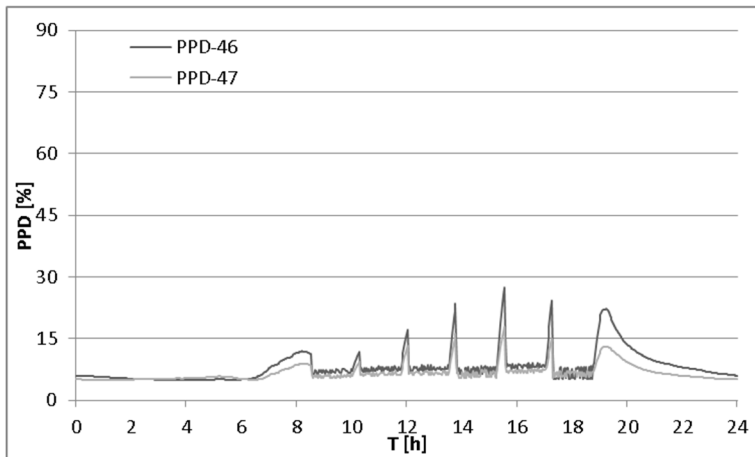
As figuras 44 e 45 ilustram a evolução do índice de percentagem de pessoas termicamente insatisfeitas com controlo de temperatura num dia típico de verão.



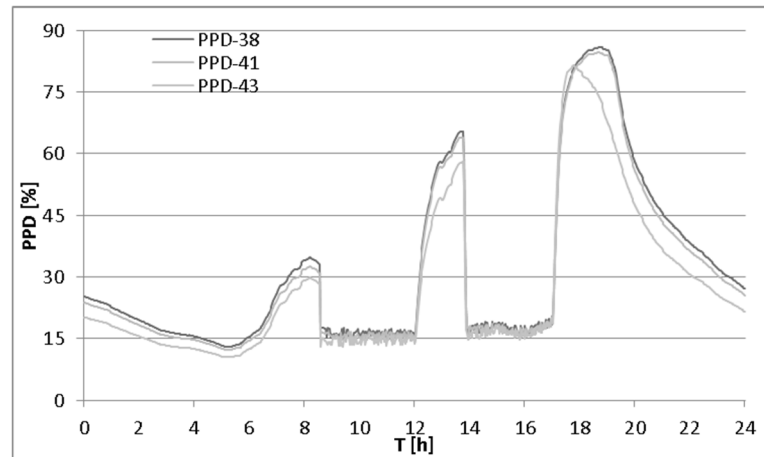
a)



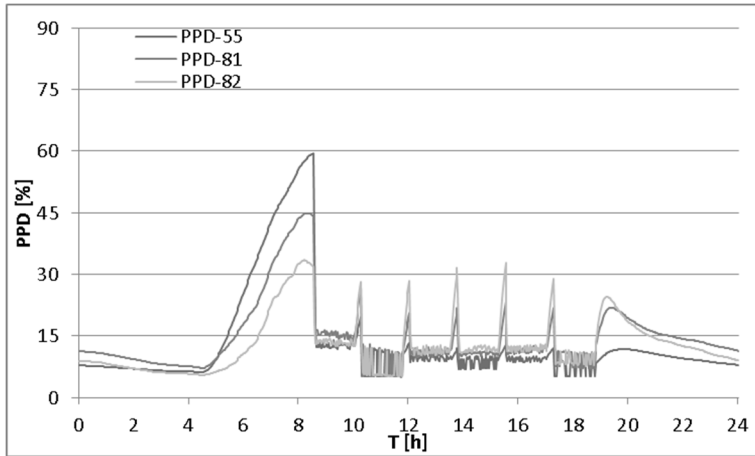
b)



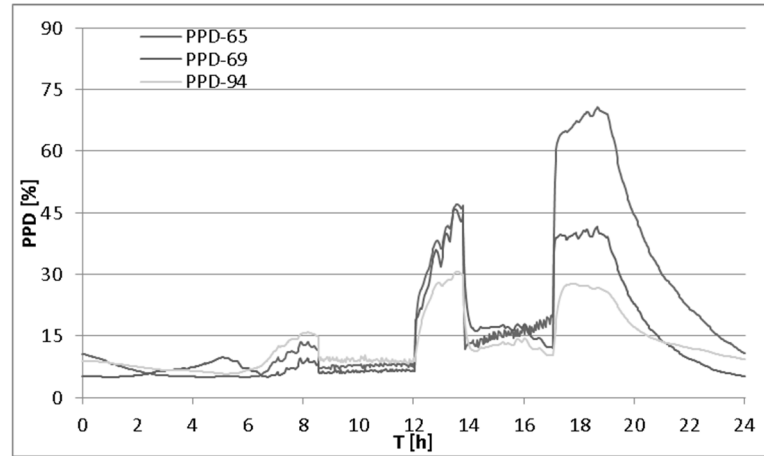
c)



d)



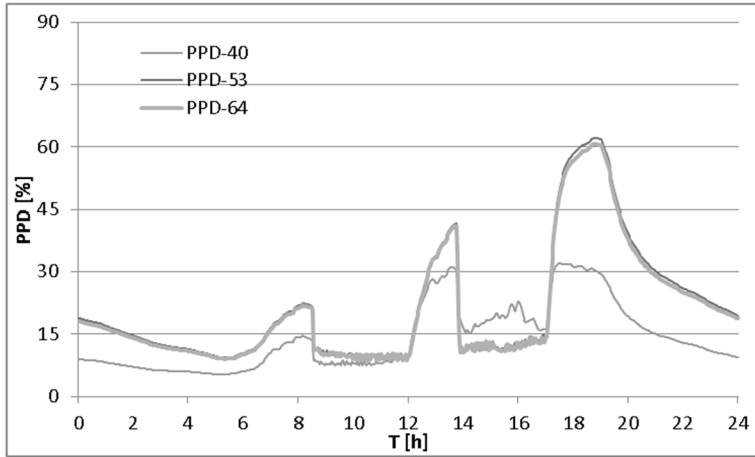
e)



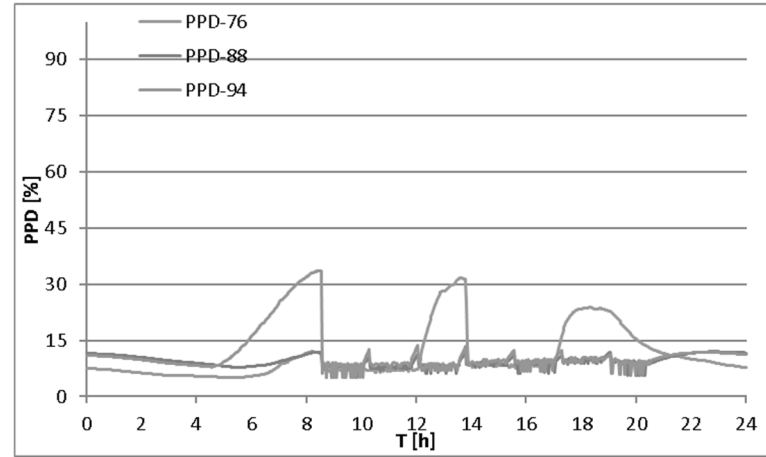
f)

ESEC a) NW Sala de aula; b) SW Gabinete.
 ESGHT c) SW Sala de aula; d) NW Gabinete.
 ISE 1 e) SE Sala de aula; f) NW Gabinete.

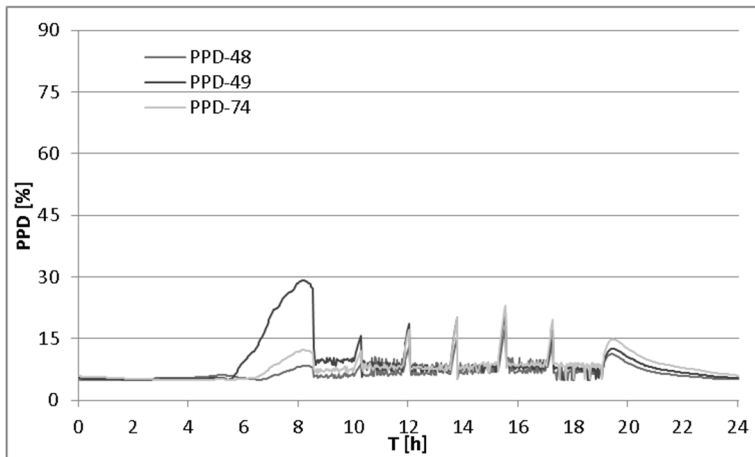
Figura 44 – Índice PPD num dia de verão para os edifícios da ESEC, ESGHT e ISE1 considerando controlo de temperatura



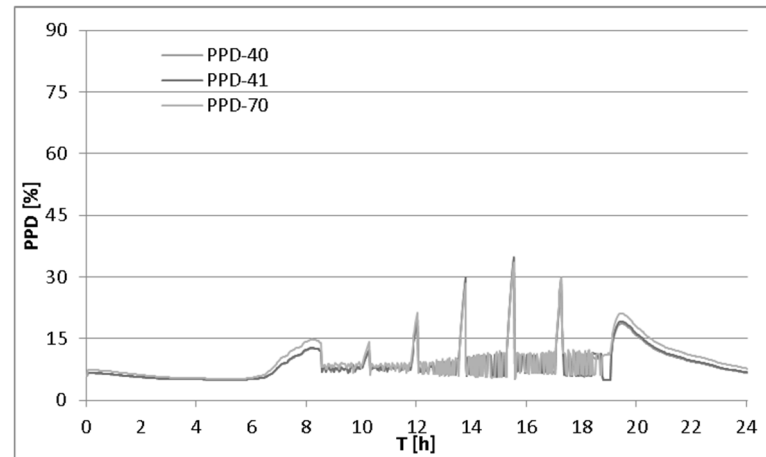
g)



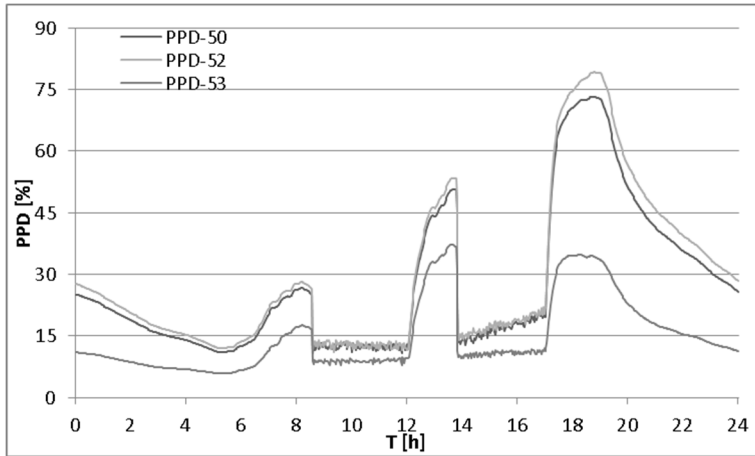
h)



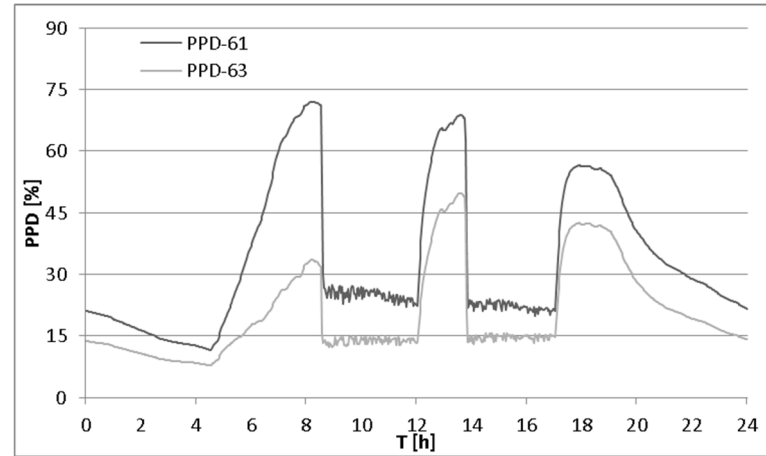
i)



j)



k)



l)

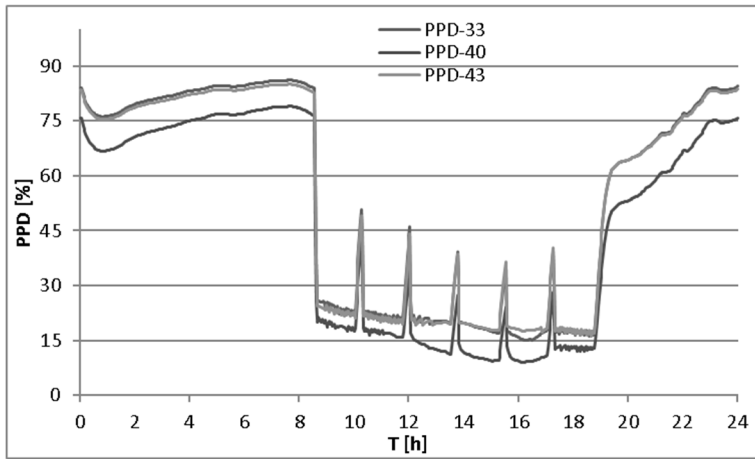
ISE2 g) SW sala de aula; h) NW Gabinete.
 PED i) E Sala de Aula; J) O Sala de Aula.
 REI k) NW Gabinete; l) SE Gabinete.

Figura 45 – Índice PPD num dia de verão para os edifícios da ISE2, PED e REI considerando controlo de temperatura

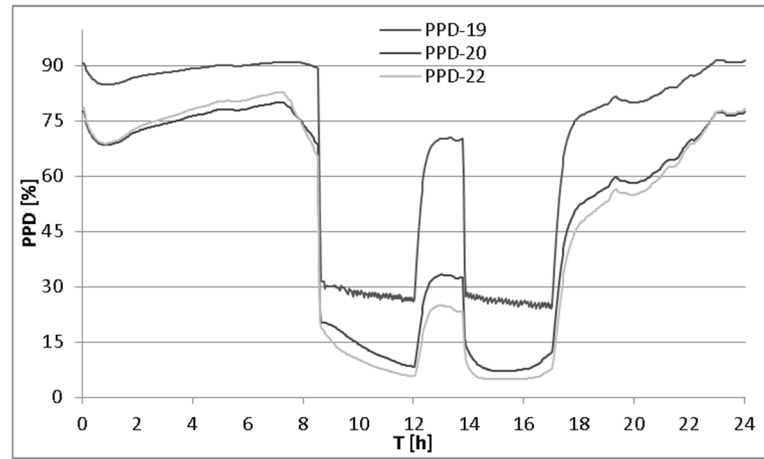
Tal como visto no índice anterior, para a situação de verão verifica-se que a maioria das salas de aulas e gabinetes estão com PMV compreendido entre -0.7 e os 0.7, estando inseridas na categoria C segundo ISO 7730 (2005), à exceção do edifício Reitoria, em que apenas uma sala e um gabinete estão na categoria C, o ISE1 tem 2 gabinetes onde no período da tarde houve desconforto por calor devido à radiação solar incidente na janelas, a ESGHT tem os gabinetes no período da manhã com conforto térmico mas perto do seu limiar, sendo que à tarde estes encontram-se em desconforto por calor, por fim no ISE2 tem um gabinete em desconforto térmico por calor no período da tarde.

Para situações de inverno com espaços sem ocupantes, a temperatura do ar tende a reduzir, reduzindo o índice de conforto PPD. Os ocupantes ao entrarem no espaço, é ligada a climatização, elevando os valores da temperatura traduzindo-se num aumento de conforto.

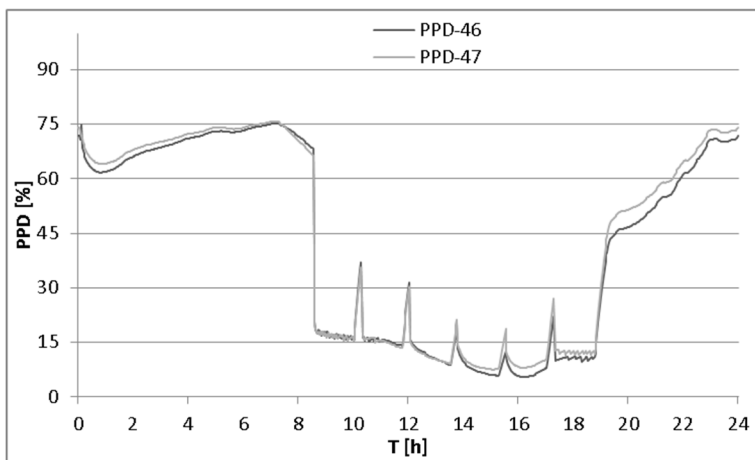
As figuras 46 e 47 ilustram a evolução do índice de percentagem de pessoas termicamente insatisfeitas com controlo de temperatura num dia típico de inverno.



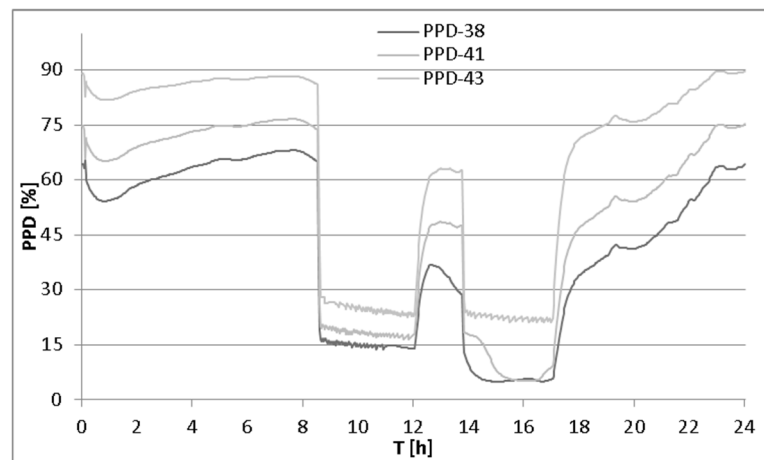
a)



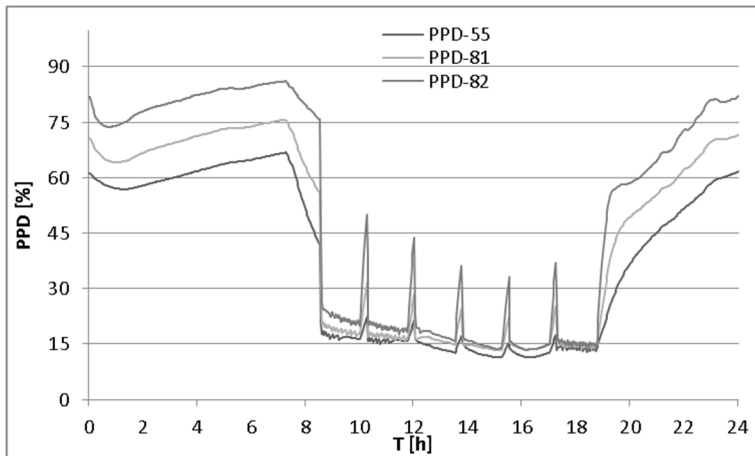
b)



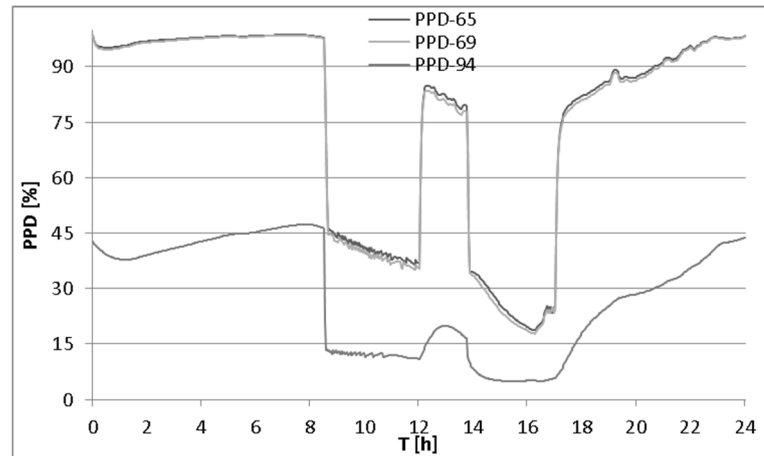
c)



d)



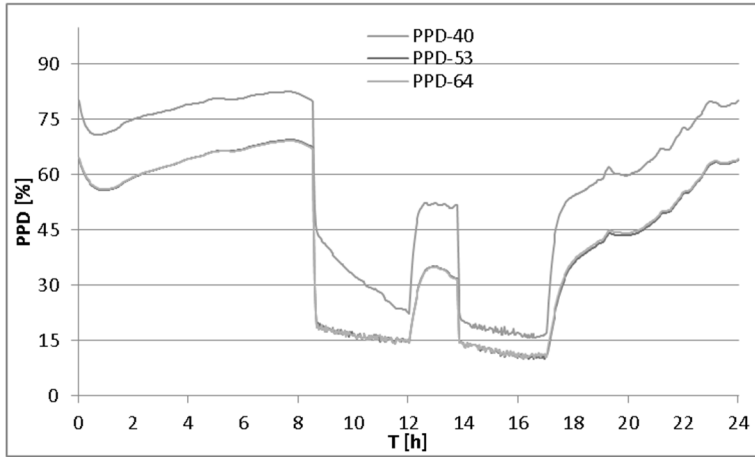
e)



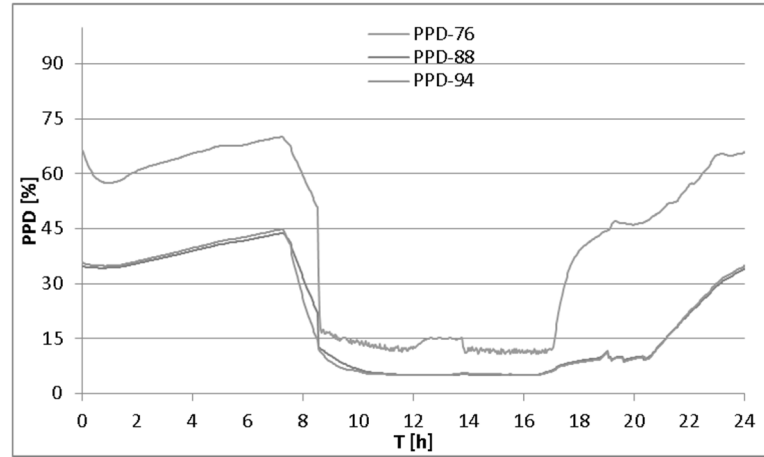
f)

ESEC a) NW Sala de aula; b) SW Gabinete.
 ESGHT c) SW Sala de aula; d) NW Gabinete.
 ISE 1 e) SE Sala de aula; f) NW Gabinete.

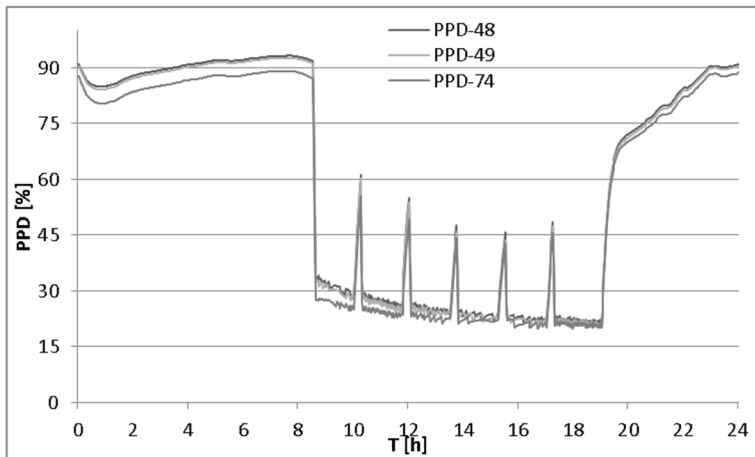
Figura 46 – Índice PPD num dia de inverno para os edifícios da ESEC, ESGHT e ISE1 considerando controlo de temperatura



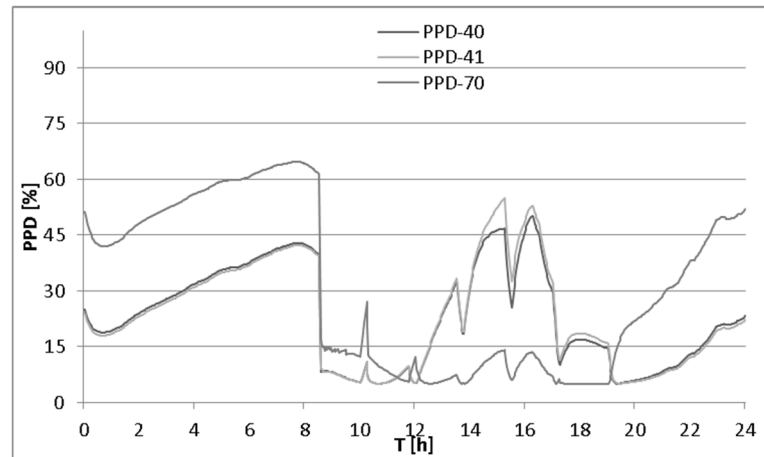
g)



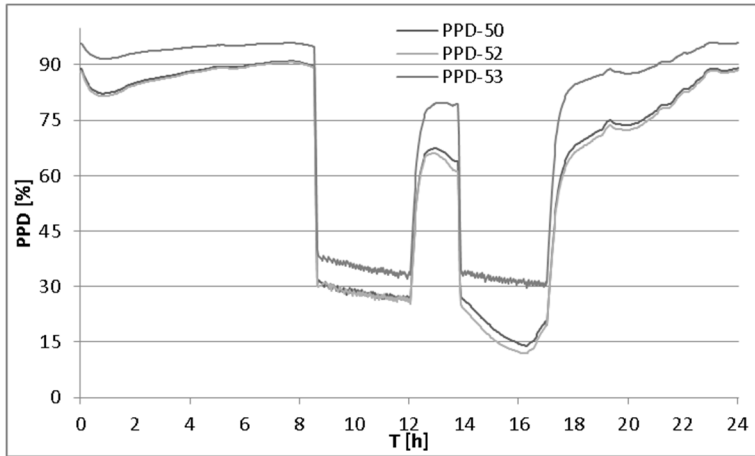
h)



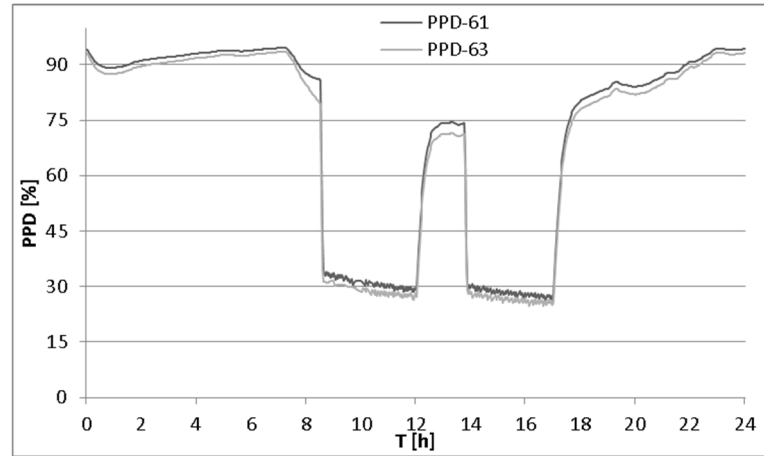
i)



j)



k)



l)

ISE2 g) SW sala de aula; h) NW Gabinete.
 PED i) E Sala de Aula; J) O Sala de Aula.
 REI k) NW Gabinete; l) SE Gabinete.

Figura 47 – Índice PPD num dia de inverno para os edifícios da ISE2, PED e REI considerando controlo de temperatura

No inverno, verifica-se que as únicas salas onde existe pelo menos um compartimento com o PMV compreendido entre -0.7 e os 0.7, estando inseridos na categoria C segundo ISO 7730 (2005), são nos edifícios da ESGHT, do Complexo pedagógico, do ISE1 e do ISE2, as restantes estão todas desconforto térmico por frio.

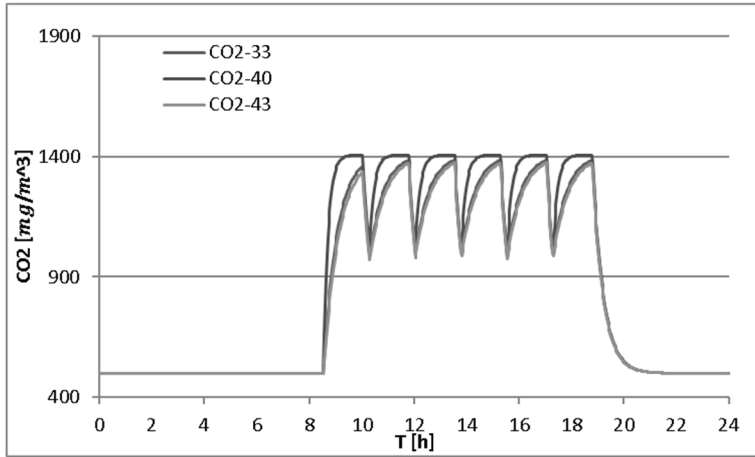
Nos gabinetes tinham pelo menos um compartimento, sendo apenas a Reitoria o único que está em total desconforto térmico por frio.

Através destes resultados verifica-se que apenas estabilizar a temperatura em 20°C para esta estação não é suficiente para garantir o conforto térmico.

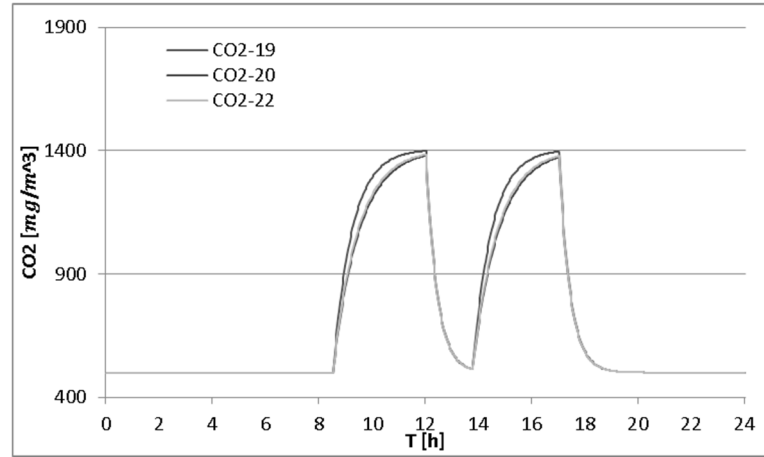
8.2.4. Concentração de Dióxido de Carbono

O último ensaio foi à qualidade do ar, onde se verificou que durante o verão é igual ao inverno, isto porque a renovação do ar interior não depende da temperatura exterior. A importância deste ensaio deve-se porque a qualidade do ar tem influência na saúde das pessoas, ou seja, deve existir de um sistema eficiente de climatização, renovando os gases poluentes por ar novo. Se a quantidade de dióxido de carbono obtida for inferior a 1800 mg/m³ significa que o espaço tem qualidade de ar segundo a ASHRAE.

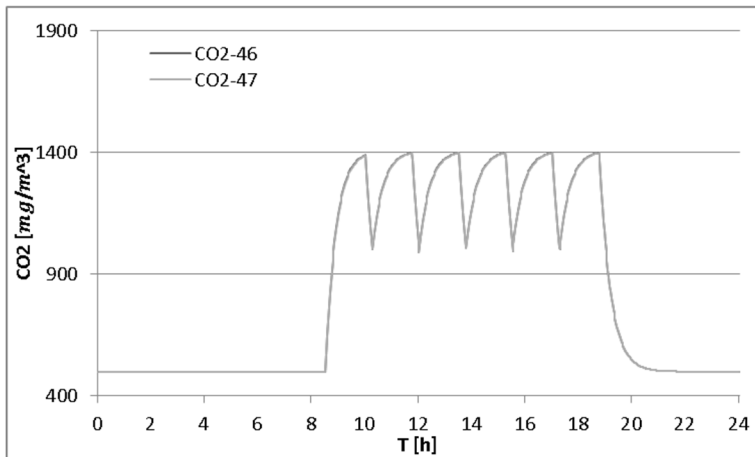
As figuras 48 e 49 ilustram a evolução da concentração de dióxido de carbono com controlo de temperatura.



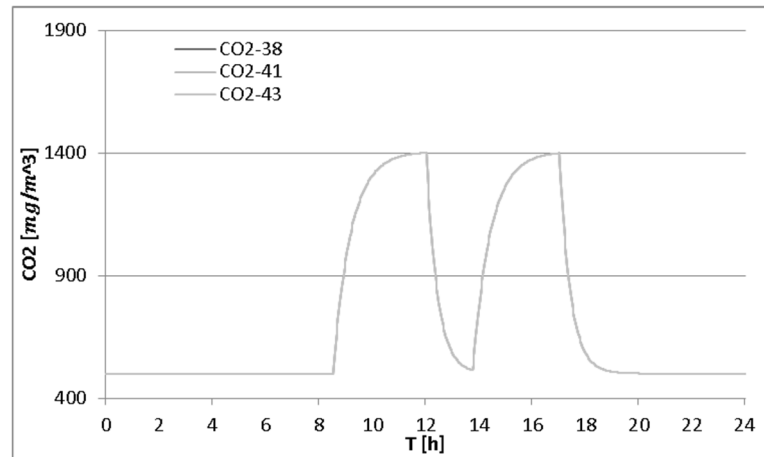
a)



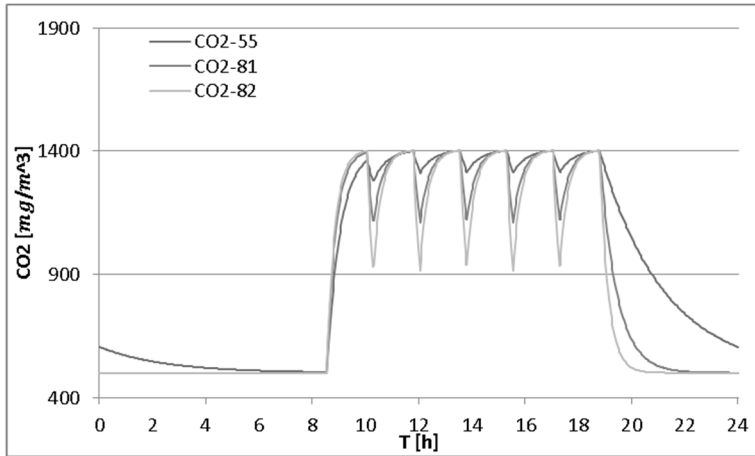
b)



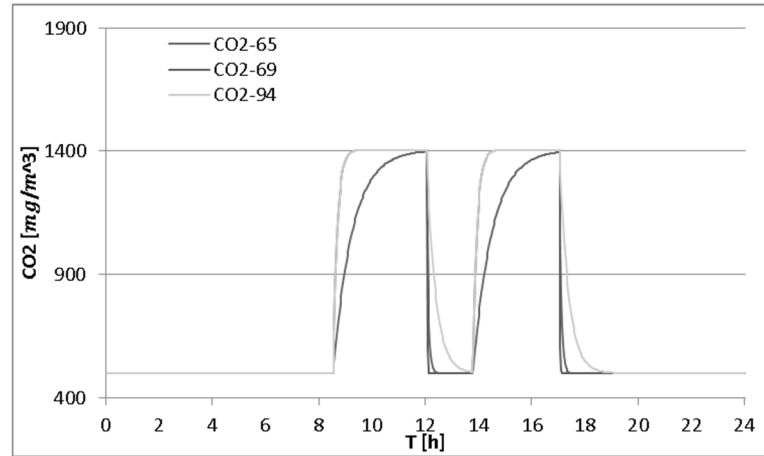
c)



d)



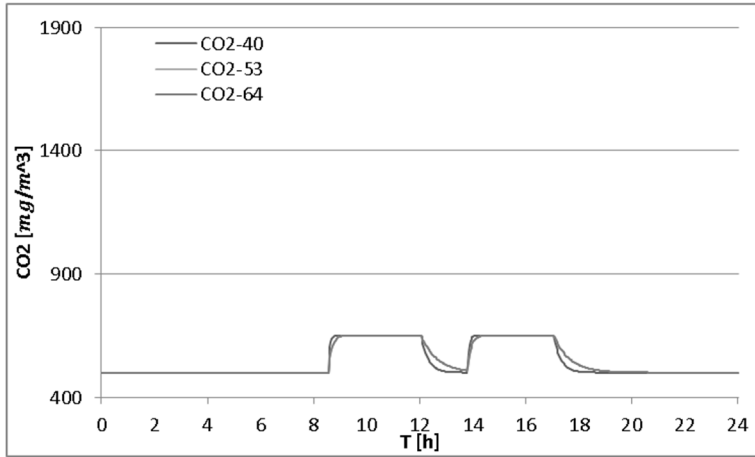
e)



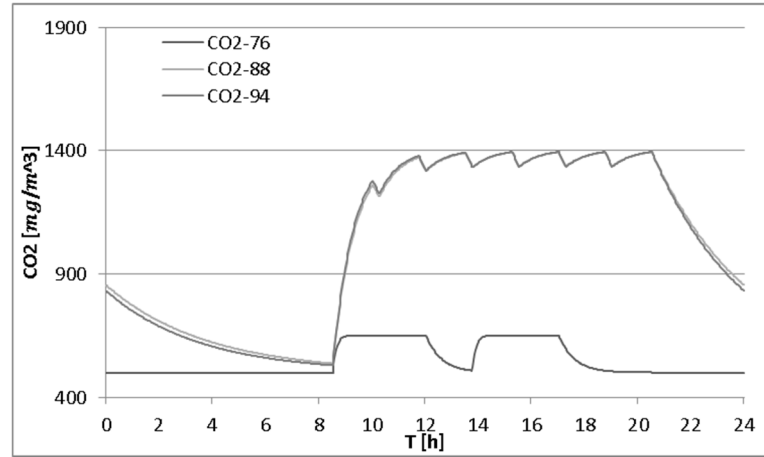
f)

ESEC a) NW Sala de aula; b) SW Gabinete.
 ESGHT c) SW Sala de aula; d) NW Gabinete.
 ISE 1 e) SE Sala de aula; f) NW Gabinete.

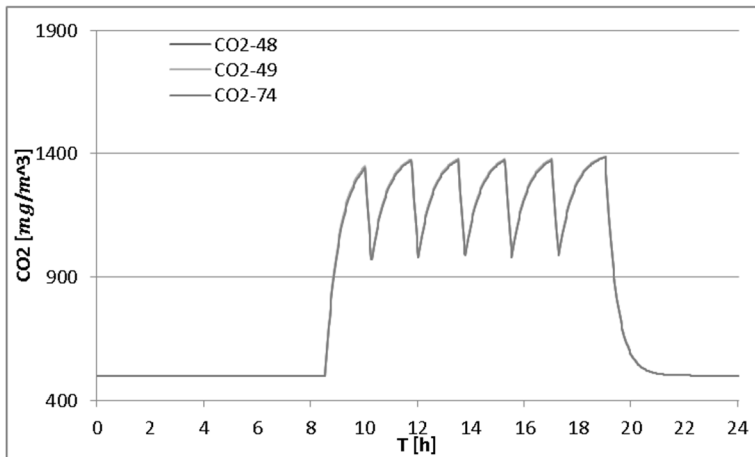
Figura 48 – Concentração de CO₂ para os edifícios da ESEC, ESGHT e ISE1 com controlo de temperatura



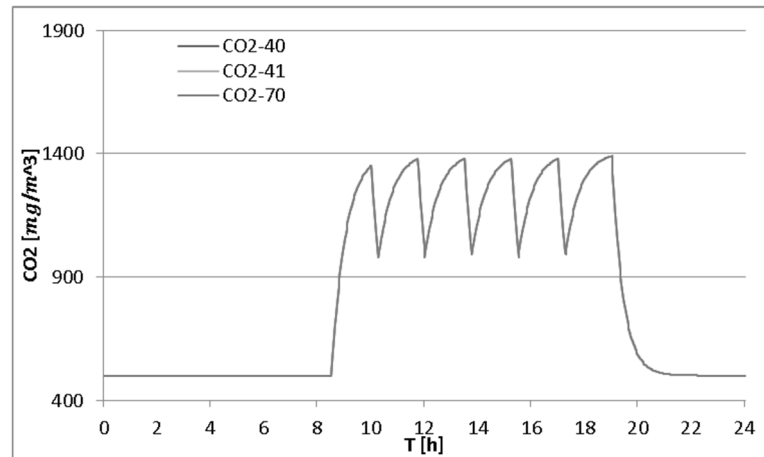
g)



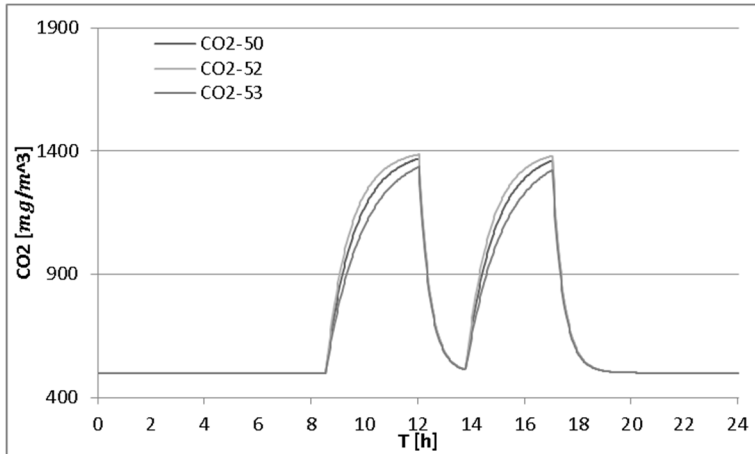
h)



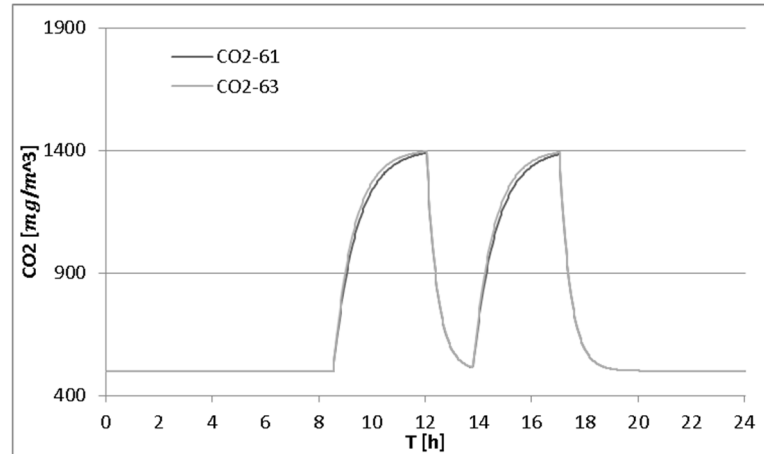
i)



j)



k)



l)

ISE2 g) SW sala de aula; h) NW Gabinete.
 PED i) E Sala de Aula; J) O Sala de Aula.
 REI k) NW Gabinete; l) SE Gabinete.

Figura 49 - Concentração de CO2 para os edifícios da ISE2, PED e REI com controlo de temperatura

Conclui-se que todas as salas e gabinetes encontravam-se com uma qualidade do ar, a concentração era inferior a 1800 mg/m^3 . O edifício 2 do ISE é o que apresenta menores valores de concentração de dióxido de carbono.

8.2.5. Conforto e Energia

A tabela 2 representa as horas de desconforto por frio, HF, as horas de desconforto por calor, HC, e as horas de desconforto devido à qualidade do ar (CO_2) para cada edifício do campus, nas estações de verão e de inverno.

As horas de desconforto por frio são referentes às situações em que os utilizadores sentem um ligeiro frio ou muito frio. As horas de desconforto por calor referem às situações de calor ligeiro ou intenso. As horas de desconforto devido à qualidade do ar verificam-se para situações onde a qualidade do ar seja reduzida, ou seja, com valores de dióxido de carbono acima dos 1800 miligramas por metro cúbico de concentração de dióxido de carbono.

Edifícios	Verão		Inverno		Horas de Desconforto devido à qualidade do ar	
	Horas de Desconforto por Frio (HF)	Horas de Desconforto por Calor (HC)	Horas de Desconforto por Frio (HF)	Horas de Desconforto por Calor (HC)	Verão	Inverno
ESGHT	0	364	738	0	0	0
ESEC	4	100	711	0	0	0
REI	2	71	336	0	0	0
PED	24	48	251	130	0	0
ISE1	1	442	510	26	0	0
ISE2	0	569	245	2	0	0

Tabela 2– Horas de desconforto nos diversos edifícios do campus da Penha

Após análise, verifica-se que durante o verão, as horas de desconforto por frio são menores quando comparadas às de calor, enquanto as horas de desconforto por frio são maiores durante o inverno. Os resultados advêm das condições do local antes da chegada dos ocupantes, por exemplo, durante as estações quentes, as temperaturas no interior dos compartimentos são superiores à temperatura de referência para o período de verão, provocando desconforto por calor. Este desconforto será eliminado através da climatização do espaço, porém a redução de

temperatura não se traduz sempre em conforto, pois se a temperatura registada for muito baixa e o tempo de exposição for elevado provoca desconforto por frio nos utilizadores.

O índice de qualidade de ar, CO₂ está dentro dos valores toleráveis para um espaço, não são verificadas horas de desconforto devido à qualidade do ar, seja no verão ou no inverno. Este parâmetro é unicamente influenciável através da concentração de CO₂, e é independente da estação a analisar.

Através da tabela 3, verifica-se que o edifício 2 do Instituto Superior de Engenharia é o mais dispendioso por compartimentos, esta unidade conta com 32 laboratórios, sendo o edifício com mais laboratórios do Campus, enquanto a Reitoria requer menos consumo energético, embora seja um edifício com topologia diferente das várias escolas da Penha. O edifício 1 do Instituto Superior de Engenharia é o mais económico energeticamente por compartimento, em cerca de 61 por cento em comparação com edifício 2 no período de verão e 45 por cento no período de inverno.

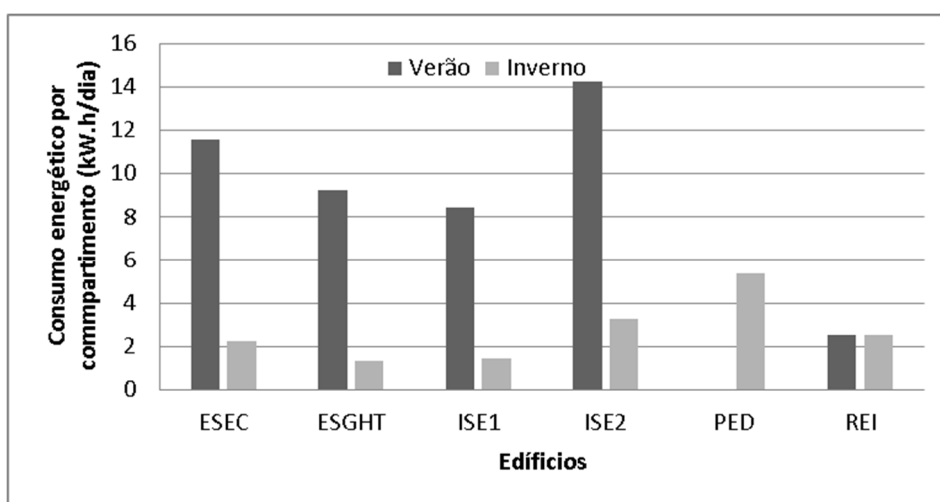


Tabela 3 - Gráfico consumo energético por compartimento nos edifícios do campus da Penha

O consumo energético para todos os edifícios é superior no verão, à exceção da Reitoria que apresenta os mesmos consumos e do Pedagógico não é possível concluir devido à impossibilidade da realização de simulações. Conclui-se que o consumo de verão é superior ao de inverno devido ao maior uso da climatização, pois os ocupantes estão mais limitados a nível do vestuário comparado com o inverno.

9. Conclusões

Este trabalho utiliza um modelo numérico que simula a resposta térmica de edifícios com topologia complexa, a qualidade térmica dos ocupantes e consumos energéticos em ambientes internos, com implementação de sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado, nos períodos de verão e de inverno.

A avaliação das condições de conforto em espaços interiores através de um termo-manequim real sem roupa, serviu para perceber como o corpo humano reage a temperaturas de 26, 24 e 22 graus.

Foi realizada uma validação com um modelo virtual numérico que se comprovou eficaz, podendo realizar-se a simulação para um manequim com roupa de verão e inverno verificar o seu comportamento e níveis de conforto.

A avaliação das condições de conforto em edifícios é executada no campus universitário da Penha da Universidade do Algarve, localizado na região do Algarve, no sul de Portugal. Foram analisados cerca de seis edifícios, a Escola Superior de Educação e Comunicação, a Escola Superior de Gestão, Hotelaria e Turismo, os edifícios 1 e 2 do Instituto Superior de Engenharia, a Reitoria e o Complexo Pedagógico. As simulações foram realizadas no verão e no inverno, obtendo os valores da temperatura média do ar, dos índices de conforto, da qualidade do ar, horas de desconforto por calor, frio e por concentração de dióxido de carbono e o consumo energético por compartimento.

De acordo com os resultados obtidos é possível concluir que, quando o sistema de controlo do sistema AVAC está ligado, os valores da temperatura do ar estabilizam nos 25°C, os quais estão de acordo com a norma portuguesa (Decreto-lei 80, 2006) para temperaturas interiores em condições de verão, e de 20 graus no inverno.

As condições de conforto são cumpridas na maioria dos edifícios, verificando que o índice de Votação Média Previsível variava entre -0,7 e os 0,7, correspondendo a índice de Percentagem de Pessoas Termicamente Insatisfeitas menor que 15 por cento inseridas na categoria C segundo a ISO 7730 (2005), embora melhor no período de verão do que no inverno.

A concentração de dióxido de carbono é independente da estação do ano, pois este valor depende da renovação dos gases poluentes por ar novo, estando dependente da eficiência da climatização do espaço.

Os consumos energéticos foram superiores no verão, devido ao maior uso da climatização. O edifício energeticamente mais eficiente é a Reitoria, para as estações de aquecimento e arrefecimento.

No estudo dos edifícios, verifica-se que o edifício com melhores parâmetros de temperatura, conforto e qualidade do ar é a Escola Superior de Educação e Comunicação, para o período de verão e inverno, pois os seus resultados são os que se aproximam mais dos valores de referência.

Como trabalho futuro a desenvolver, será implementada uma nova filosofia de controlo do sistema AVAC recorrendo a algoritmos de controlo preditivo, baseados num sistema de adaptação, ou seja, com o controlo a ser construído a partir de conceitos de conforto adaptativo. Neste tipo de controlo, o método a utilizar será controlar o funcionamento do ar condicionado a partir do conhecimento prévio da temperatura exterior, ajustando o valor do índice PMV a essa temperatura, deste modo, e impor que o sistema AVAC funcione mantendo o índice PMV dentro de limites previamente definidos, nomeadamente de acordo com a categoria C. Desta forma é possível reduzir o consumo energético nos edifícios pois a climatização não necessita estar sempre ligada enquanto houver ocupantes. Com o novo modelo de controlo a climatização é suspensa quando é atingida as condições de conforto.

10. Bibliografia

- ANSI/ASHRAE (2004). Standard 55, *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers. Atlanta, USA 2004;
- Conceição E. (2003). *Numerical Simulation of Building Thermal Behavior and Human Thermal Comfort Multi-Node Models*. Eighth International IBPSA Conference, Eindhoven, Netherlands, 11 a 14 de Agosto de 2003;
- Conceição, E., Silva, A., Lúcio, M. (2004). *Numerical Study of Thermal Response of School Buildings in Winter Conditions*. RoomVent 2004, Coimbra, Portugal, 5 a 8 de setembro de 2004;
- Conceição, E., Lúcio, M. (2005). *Estudo Térmico de Edifícios Escolares na Região do Algarve em Condições de Inverno*. Quarto Encontro Nacional do Colégio de Engenharia Mecânica, Lisboa, Portugal, 2 a 4 de junho de 2005;
- Conceição E., Lúcio M. (2006c). *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, 9-10 novembro 2006, Lisboa, 9-10 novembro 2006;
- Conceição, E., Lúcio, M. (2006e). *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. (2007b). *Conforto em Espaços Climatizados de Edifícios Escolares: Parte I - Conforto Térmico e Desconforto Térmico Local*. Revista O Instalador, novembro de 2007;
- Conceição E., Lúcio M. (2007c). *Conforto em Espaços Climatizados de Edifícios Escolares: Parte II - Conforto Térmico e Desconforto Térmico Local*. Revista O Instalador;
- Conceição E., Lúcio M. (2008b). *Thermal study of school buildings in winter conditions*. *Building and Environment*;
- 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;
- 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;

- Conceição E., Lúcio M., Rosa S., Custódio A., Andrade R., Meira M. (2010b). Evolution of Comfort level in desks equipped with two personalized ventilation systems in slightly warm environments, *Building and Environment*, Vol 45, Issue 3, March 2010, pp. 601-609;
- 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;
- 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;
- Conceição E., Rosa C., Custódio A., Andrade R., Meira M., Lúcia M. (2010a). Study of airflow Around Occupants Seated in Desks equipped with Upper and Lower Air Terminal Devices for Slightly Warm Environments, *International Journal on Heating Air Conditioning and Refrigerating Research*, ASHRAE, Vol 16, N. 4, July 2010, pp. 401-412;
- Decreto-Lei nº 80/06 (2006). Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE). Diário da República, 4 de abril 2006;
- Fanger, P. O. (1970). *Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering*. McGraw-Hill Book Company, USA, 1970;
- Geros V., M. Santamouris, A. Tsangasoulis, G. e Guarracino (1999). *Experimental evaluation of night ventilation phenomena*. Energy and Buildings;
- 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*. Direção Geral de Geologia e Energia, Ed. IP-3E, Lisboa, 2005, ISBN 972-8268-36-X. Lisboa.
- Gomes J. (2013). Análise das Condições de Conforto e Consumo de Energia de um Edifício Universitário Equipado com um Sistema de Controlo do Ar Condicionado, Aquecimento e Ventilação Baseado no Índice PMV.
- Iqbal, M. (1983). *An Introduction to Solar Radiation*. Academic Press, Canada, 1983;
- 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;

- 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;
- Lanham A., Gama P. e Braz R., (2004), *Arquitetura Bioclimática, Perspetivas de inovação e futuro – Seminários de Inovação*. Instituto Superior Técnico, 2004, Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa.
- Olesen B. (2002). *Radiant Floor Heating In Theory and Practice*. ASHRAE Journal American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc, 2002, pp. 19-24.
- Silva P.C.P (2006). *Análise do Comportamento Térmico de Construções não Convencionais através de Simulação em VIIsualDOE*. Tese de Mestrado em Engenharia Civil – Ramo de Processos, 2006, Universidade do Minho.
- Stolwijk, J. A. J. 1970. Mathematical Model of Thermoregulation. In Hardy, J. D., Gagge, A. P. and Stolwijk, J. A. J. *Physiological and Behavioral Thermoregulation*. Thomas. Springfield. pp. 703-721. 1970.
- Tzikopoulos, A.F., Karatza, M.C., Paravantis, J.A. (2005). *Modeling energy efficiency of bioclimatic buildings*. Energy and Building;
- Yam J., Li Y., Zheng Z. (2003). *Nonlinear coupling between thermal mass and natural ventilation in buildings*. International Journal of Heat and Mass Transfer;
- Yang L., Li Y. (2008). *Cooling Load Reduction by Using Thermal Mass and Night Ventilation*. Energy and Buildings;
- Zhou J., G. Zhang, Y. Lin, Y. Li (2008). *Coupling of thermal mass and natural ventilation in buildings*. Energy and Buildings;

11. Web grafia

- <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/pt/nid/208788>
- <http://www.ni.com/white-paper/7108/pt/>
- <https://pt.wikipedia.org/wiki/Termopar>
- <http://naturlink.sapo.pt/Noticias/Opinioao/content/25-Dicas-para-uma-casa-mais-sustentavel?bl=1&viewall=true>
- <http://www.rccte.com/>
- <http://www.acepe.pt/index.php/construcao/regulamento-termico/caracterizacao-do-comportamento-termico-dos-edificios>
- <http://w3.ualg.pt/~econcei/Julia.htm>

12. Apêndices

Apêndice 1 – Tutorial do módulo NI-9213

Após montagem do NI cDAQ-9174, ligar a ficha do transformado à corrente e o cabo USB no computador, onde aparecerá a seguinte mensagem:

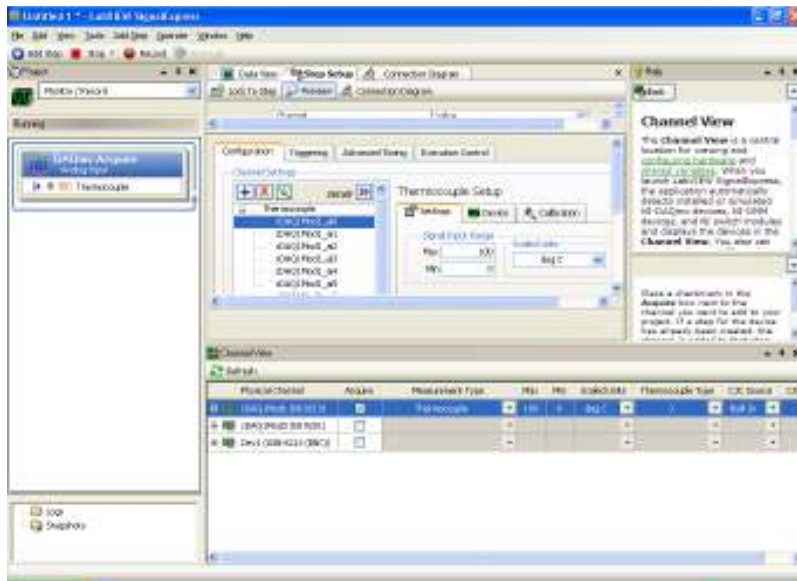


Após abrimos o programa, é questionado o/os módulo/os a utilizar:

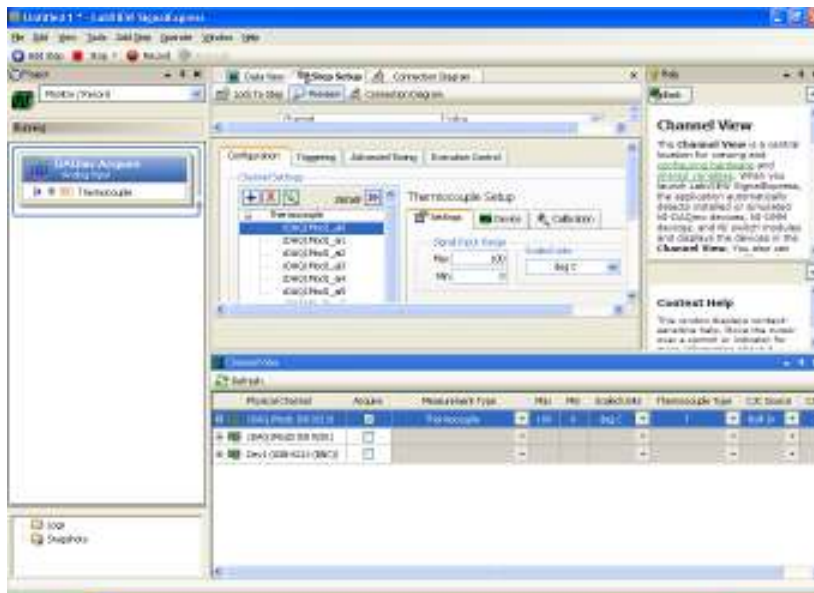


Após escolha de NI 9213, que permite medição de temperaturas através de termopares.

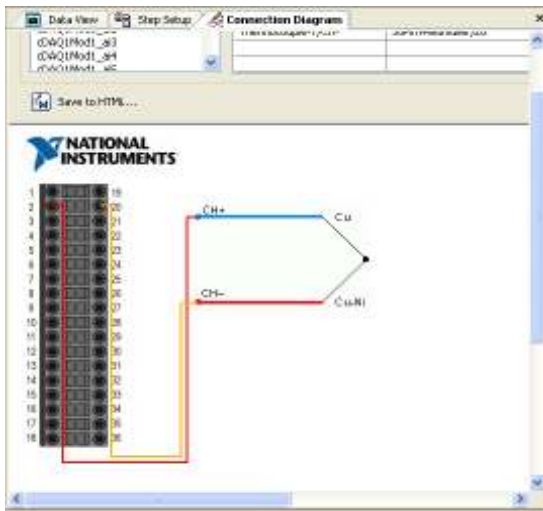
O Programa é iniciado com a seguinte imagem:



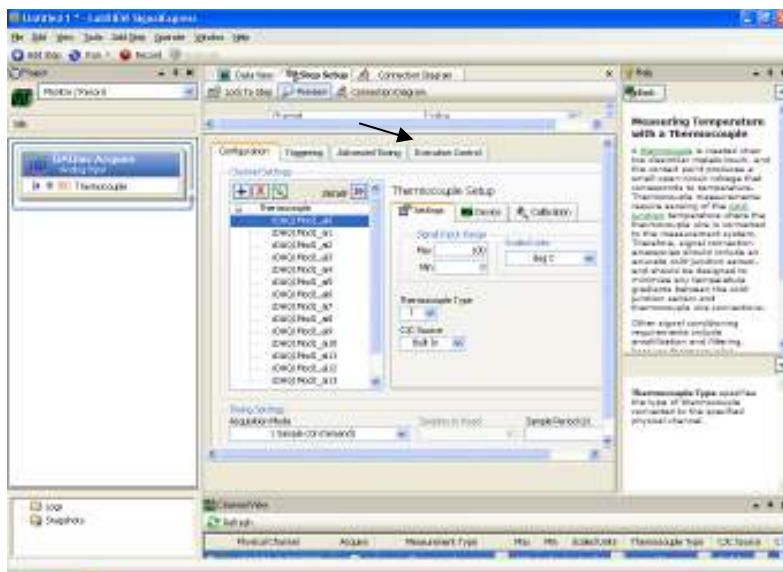
Neste momento escolhe-se o módulo NI que se pretende trabalhar, na seção do *Acquire* após escolha do NI 9213, verificar o tipo de termopar que se pretende utilizar. Por defeito, o programa tem como escolhido o tipo J, mas para a simulação será utilizada do tipo T. Para alterar o tipo de termopar, ir ao parâmetro *Thermocouple type*, e mudar para T.



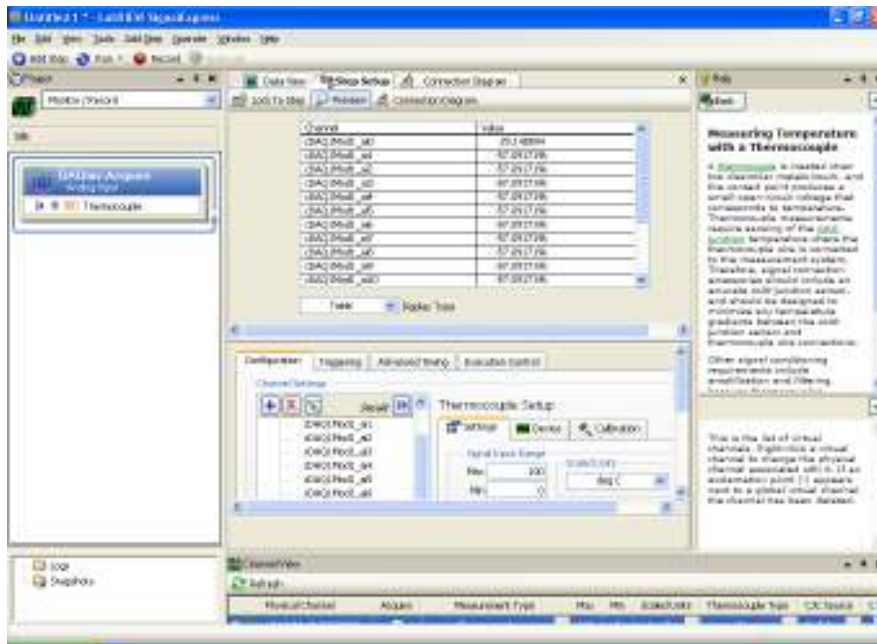
Para verificar quais as conexões do termopar e como conectar premir o parâmetro *Connection Diagram*, em que o esquema é de seguida apresentado como demonstrado na figura seguinte:



Por defeito mostra a ligação no 1º Termopar, mas é possível selecionar as restantes, carregando nos respetivos nºs do lado esquerdo do módulo, mas liga-se sempre da mesma forma. Este termopar tem as cores castanha (Cu) e a cor branca (Cu+Ni), pelo diagrama verificamos que o tem polaridades, sendo que os castanhos são colocados à esquerda e os brancos à direita. Após montado os terminais do termopar, premir *Step Setup* onde aparecerá o seguinte quadro:



Se baixar a barra do *Channel settings* até ao fim, verifica-se que tem 16 entradas disponíveis. Em seguida escolhe-se o a0, pois foi onde instalou-se o termopar de teste (verificar as posições na para lateral do módulo). Ao puxar a barra (↖) aparece o seguinte quadro:

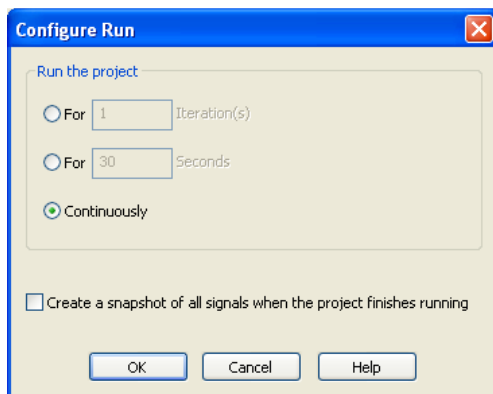


Este é o quadro com os valores da temperatura durante a simulação, com a tecla *run* os dados são adquiridos para o programa:

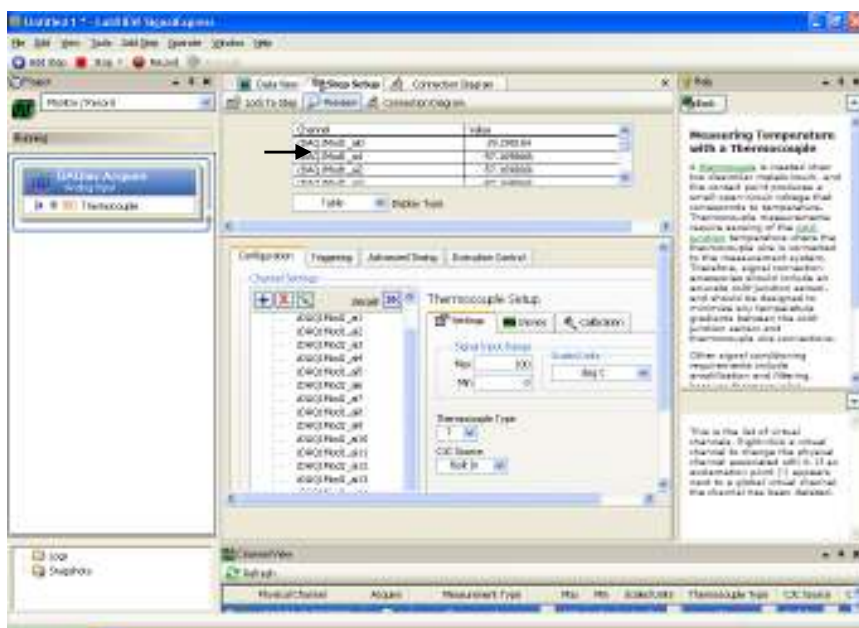


O *run* tem várias opções de funcionamento, no qual é possível escolher o tipo, sendo estar sempre a correr ou apenas ao clique.

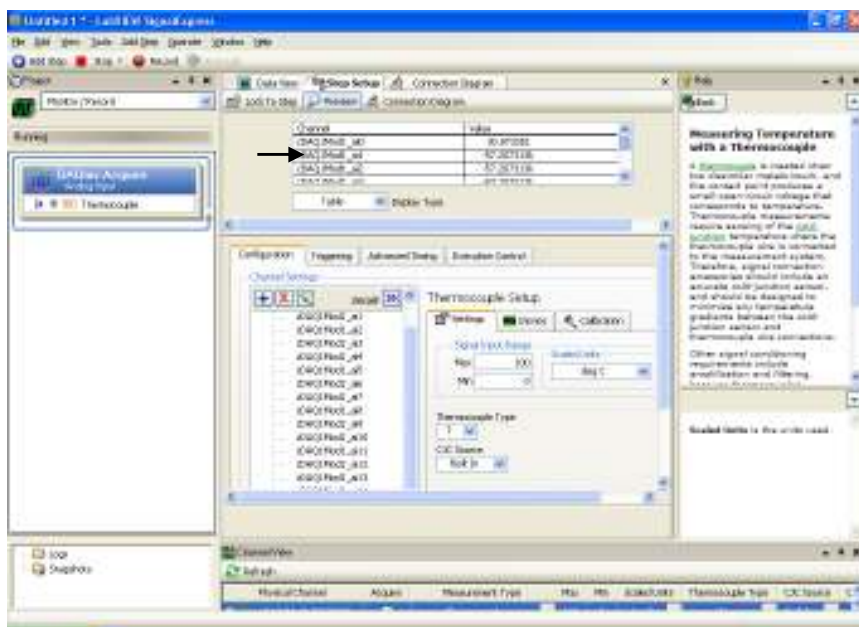
Ao escolher *configure run*:



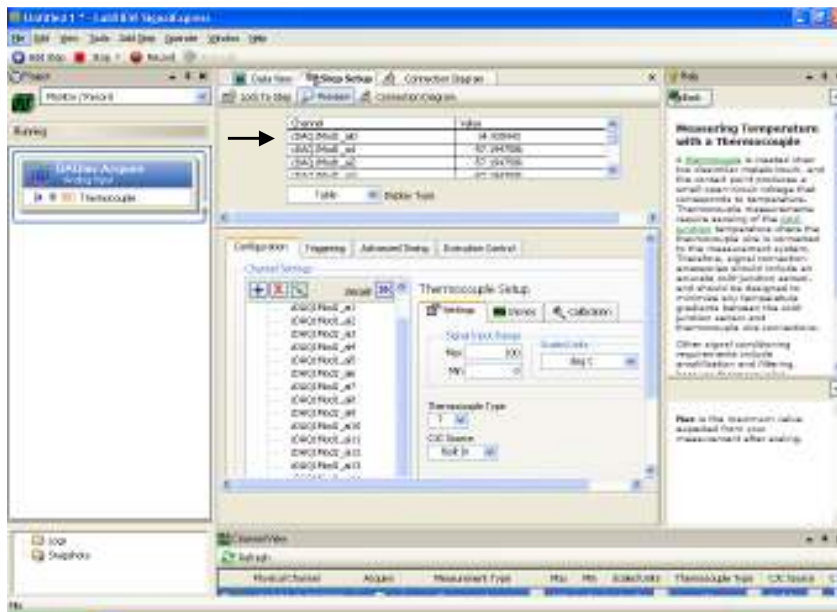
O programa permite escolher *run* pelo nº de iterações, por tempo (s) ou continuamente, só parando quando se prime a tecla *stop*. A temperatura ambiente medida é a indicada em a0, as restantes posições apresentam valores incoerentes, na ordem dos -57,169866k, ou seja – 57169,88. Desta forma percebe-se que na ausência de termopares, esta é a sua resposta. Este valor tem grande utilidade ao utilizar-se mais termopares, pois se algum tiver mal encaixado, ou não consiga medir a temperatura corretamente será acusado neste quadro.



Para verificar se o valor dado pelo termopar está coerente, pressiona-se a junção de medição dos termopares com 2 dedos, desta forma a temperatura aumenta devido ao calor destes, como se verifica no quadro abaixo:

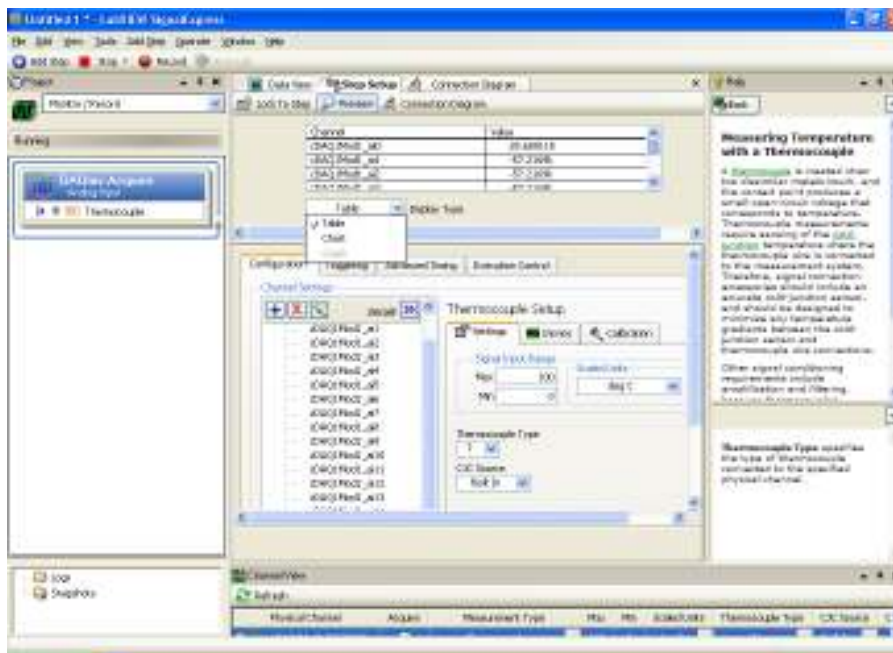


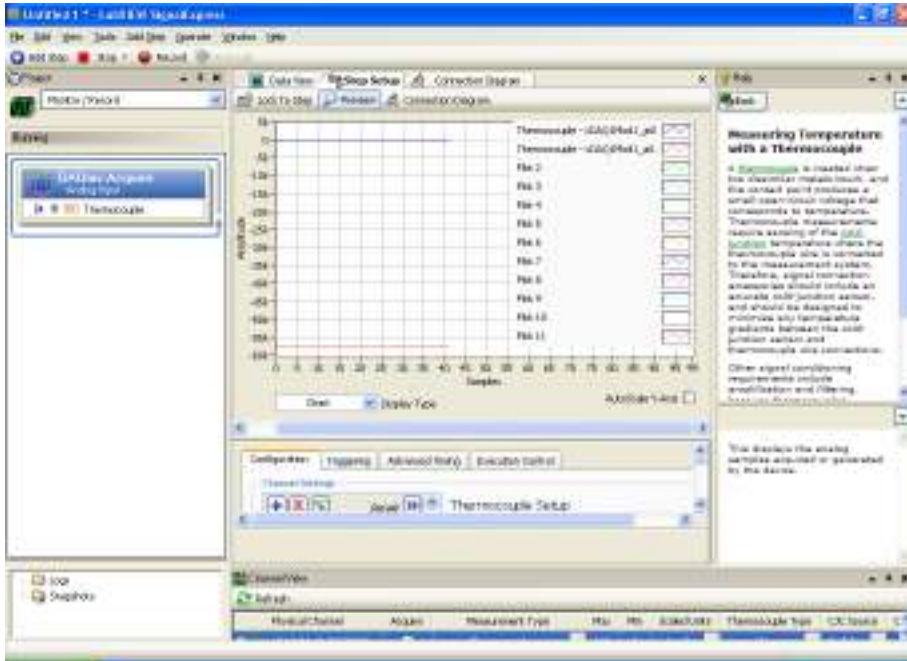
Se esta posição for mantida, verifica-se que o valor registado aumenta, até que começa a estabilizar.



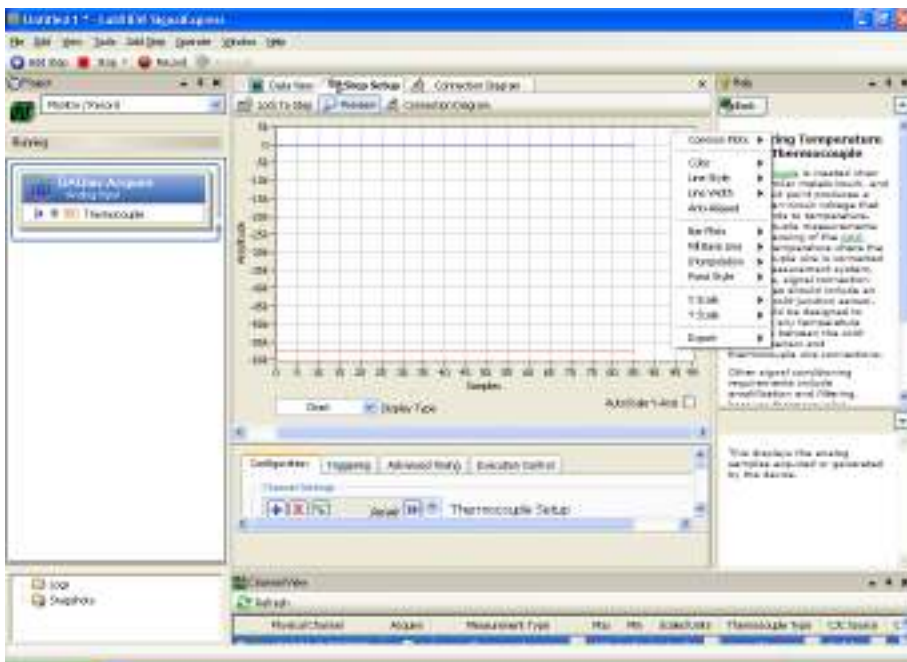
Outra de verificação é utilizar uma fonte de ignição de calor, como um isqueiro, mas tem de se ter atenção às temperaturas limites dos termopares, no caso do tipo T, a máxima admissível é de cerca de 400°C, o isqueiro ronda entre os 500-600°C, havendo erros na medição de temperatura e provável oxidação do cobre.

A simulação pode ser convertida para formato *Excel*, sendo apenas necessário mudar o tipo de display no separador *Display Type*, de *Table* para *Chart*.





Ao escolher por exemplo, o *termocouple a0*, no quadro azul, abrirá um quadro, selecionar *Export* e escolher *Excel*



13. Anexo

Anexo 1 – Manual de instruções para operar e suas especificações

Safety Guidelines for Hazardous Voltages

If hazardous voltages are connected to the module, take the following precautions. A hazardous voltage is a voltage greater than 42.4 V_{pk} or 60 VDC to earth ground.





-  **Caution** Ensure that hazardous voltage wiring is performed only by qualified personnel adhering to local electrical standards.
-  **Caution** Do *not* mix hazardous voltage circuits and human-accessible circuits on the same module.
-  **Caution** Make sure that devices and circuits connected to the module are properly insulated from human contact.
-  **Caution** When module terminals are hazardous voltage LIVE (>42.4 V_{pk}/60 VDC), you must ensure that devices and circuits connected to the module are properly insulated from human contact. You must use the NI 9940 connector backshell kit to ensure that the terminals are *not* accessible.

Figure 1 shows the NI 9940 connector backshell.

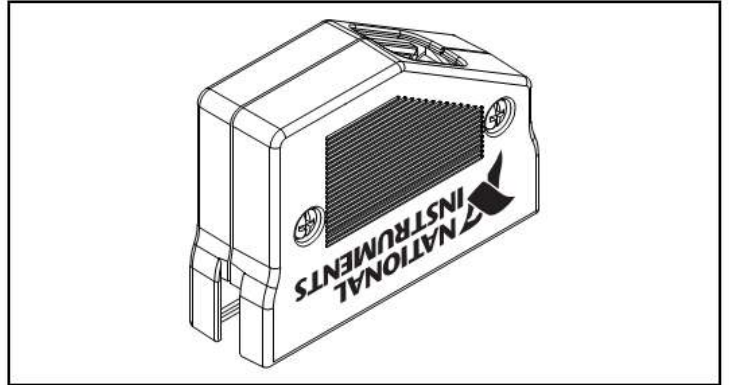


Figure 1. NI 9940 Connector Backshell

Safety Guidelines for Hazardous Locations

The NI 9213 is suitable for use in Class I, Division 2, Groups A, B, C, D, T4 hazardous locations; Class I, Zone 2, AEx nA IIC T4, and Ex nA IIC T4 hazardous locations; and nonhazardous locations only. Follow these guidelines if you are installing the NI 9213 in a potentially explosive environment. Not following these guidelines may result in serious injury or death.

Caution Do not disconnect I/O-side wires or connectors unless power has been switched off or the area is known to be nonhazardous.

Caution Do not remove modules unless power has been switched off or the area is known to be nonhazardous.

Caution Substitution of components may impair suitability for Class I, Division 2.

Caution For Zone 2 applications, install the system in an enclosure rated to at least IP 54 as defined by IEC 60529 and EN 60529.

Caution For Zone 2 applications, connected signals must be within the following limit:

Capacitance 0.2 μ F max

are using the NI 9213 in Gas Group IIC hazardous locations, you must use the device in an NI chassis that has been evaluated as Ex nC IIC T4, EEx nC IIC T4, Ex nA IIC T4, or Ex nL IIC T4 equipment.

Special Conditions for Marine Applications

Some modules are Lloyd's Register (LR) Type Approved for marine applications. To verify Lloyd's Register certification, visit ni.com/certification and search for the LR certificate, or look for the Lloyd's Register mark on the module.

Caution To meet radio frequency emission requirements for marine applications, use shielded cables and install the system in a metal enclosure. Suppression ferrites must be installed on power supply inputs near power entries to modules and controllers. Power supply and module cables must be separated on opposite sides of the enclosure and must enter and exit through opposing enclosure walls.

Special Conditions for Hazardous Locations Use in Europe

Connecting the NI 9213

The NI 9213 has a 36-terminal detachable spring-terminal connector that provides connections for 16 thermocouple channels.

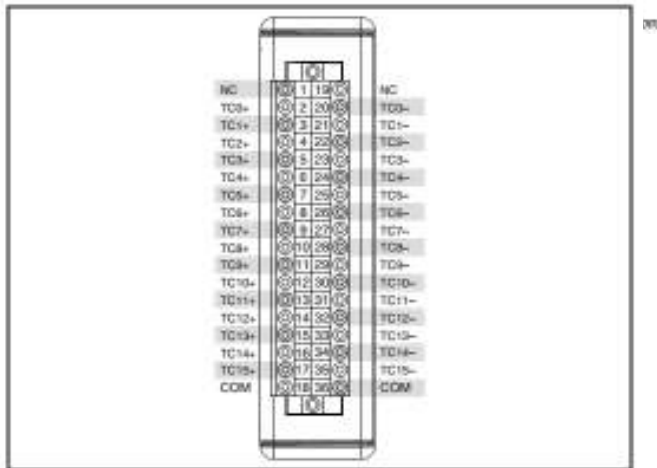


Figure 2. NI 9213 Terminal Assignments

You can connect thermocouple input signals to the NI 9213. Connect the positive lead of the thermocouple to the TC+ terminal and the negative lead of the thermocouple to the TC- terminal. If you are unsure which of the thermocouple leads is positive and which is negative, check the thermocouple documentation or the thermocouple wire spool. The NI 9213 also has two common terminals, COM, that are internally connected to the isolated ground reference of the module.

If you are using a shielded thermocouple, connect COM to the shield and the shield to a common-mode voltage reference of the thermocouple. A common-mode voltage reference is a voltage that is within ± 1.2 V of the common-mode voltage of the thermocouple. If you are using a floating thermocouple or a thermocouple within ± 1.2 V of earth ground, connect COM and the shield to earth ground. The shield grounding methodology can vary depending on the application. Refer to Figure 3 for an illustration of a typical shielding configuration.

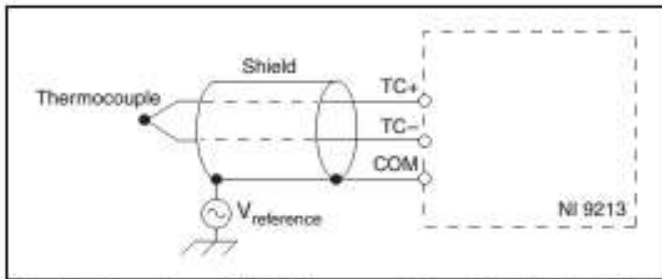


Figure 3. Connecting a Shielded Thermocouple Input Signal to the NI 9213

Connecting Wires to the NI 9213 Connector

Use a flathead screwdriver with a blade smaller than 2.3×1.0 mm (0.09×0.04 in.) to connect wires to the detachable spring-terminal connector. Insert the screwdriver into a spring clamp activation slot and press a wire into the corresponding connector terminal, then remove the screwdriver to clamp the wire into the terminal. Refer to the *Specifications* section for more information about spring-terminal wiring. Refer to Figure 4 for an illustration of connecting wires to the NI 9213.

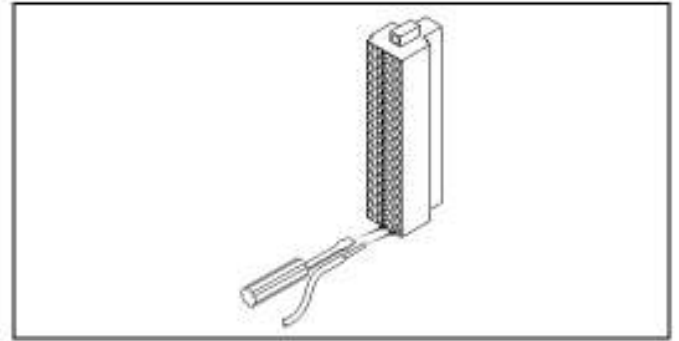


Figure 4. Connecting Wires to the NI 9213 Connector

Wiring for High-Vibration Applications

If an application is subject to high vibration, National Instruments recommends that you use the NI 9940 backshell kit to protect the connections. Refer to Figure 1 for an illustration of the NI 9940 connector backshell.

NI 9213 Circuitry

Each channel of the NI 9213 passes through a differential filter and then is multiplexed and sampled by a 24-bit analog-to-digital converter (ADC). Each channel also has an open thermocouple detection (OTD) circuit, which consists of a current source between the TC+ and TC- terminals. If an open thermocouple is connected to the channel, the current source forces a full-scale voltage across the terminals. Refer to Figure 5 for an illustration of the input circuitry for one channel of the NI 9213.

The NI 9213 multiplexes 16 thermocouple input channels, 1 cold-junction compensation (CJC) channel, and 1 autozero channel to a single ADC. Each channel has a resistor that produces an input impedance between the TC+ and COM terminals and between the TC- and COM terminals. The gain and offset errors resulting from the source impedance of connected thermocouples are negligible for most applications. Thermocouples with a higher

lead resistance can introduce more significant errors. Refer to the *Specifications* section for more information about errors resulting from source impedance.

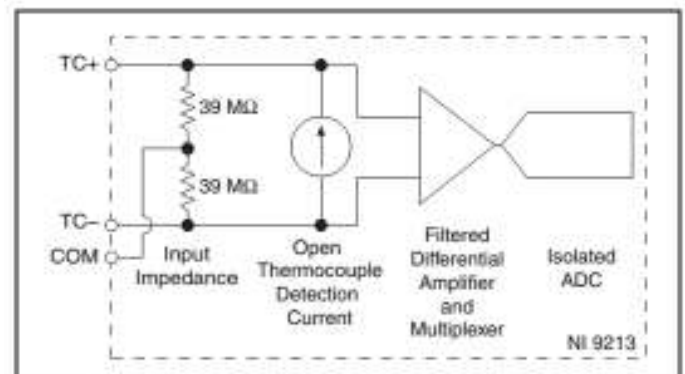


Figure 5. Input Circuitry for One Channel of the NI 9213

The channels share a common ground, COM, that is isolated from other modules in the system. The NI 9213 common-mode range is the maximum voltage between any channel and COM. If COM is not connected, then the common-mode voltage range is the

maximum voltage between any two channels. The NI 9213 measures the common-mode voltage level of each channel and returns a warning in the software if the signal is outside the common-mode voltage range. Refer to the *Specifications* section for more information about the common-mode voltage range.

The NI 9213 supports high-resolution and high-speed timing modes. High-resolution timing mode optimizes accuracy and noise and rejects power line frequencies. High-speed timing mode optimizes sample rate and signal bandwidth. Refer to the *Specifications* section for more information about the high-speed and high-resolution timing modes. Refer to the software help for information about setting the timing mode, or conversion time, in software. Visit ni.com/info and enter *cseriesdoc* for information about C Series documentation.

Temperature Measurement Accuracy Considerations

Temperature measurement errors depend partly on the thermocouple type, the accuracy of the thermocouple, the temperature being measured, and the cold-junction temperature. Refer to the *Temperature Measurement Accuracy* section in the *Specifications* for the errors for each thermocouple type when

connected to the NI 9213. The errors do not account for the accuracy of the thermocouple itself.

For the best accuracy results, keep temperature gradients across NI 9213 terminals to a minimum and enable the autozero channel. Refer to the *Minimizing Thermal Gradients* and *Using the Autozero Channel* sections for more information.

Cold-Junction Temperature Measurement Accuracy

Heat dissipated by adjacent modules or other nearby heat sources can cause errors in thermocouple measurements by heating up the NI 9213 terminals to a different temperature than the cold-junction compensation sensor. The thermal gradient across the terminals can cause the terminals of different channels to be at different temperatures, in which case the resulting measurement creates errors not only in absolute accuracy but also in the relative accuracy between channels. Refer to the *Specifications* section for the cold-junction compensation accuracy specifications. If the NI 9213 terminals are facing forward or upward, the thermocouple accuracy specifications include the errors caused by the thermal gradient across the module terminals. Refer to the *Temperature Measurement Accuracy* section in the *Specifications* for the thermocouple accuracy specifications.

Minimizing Thermal Gradients

Thermal gradients can be caused by changes in the ambient air temperature near the front connector or by the thermocouple wire if it conducts heat or cold directly to the terminal junctions. For the best accuracy results, follow these guidelines for minimizing thermal gradients:

- Use the NI 9940 connector backshell shown in Figure 1.
- Use small-gauge thermocouple wire. Smaller wire transfers less heat to or from the terminal junction.
- Run thermocouple wiring together near the spring-terminal connector to keep the wires at the same temperature.
- Avoid running thermocouple wires near hot or cold objects.
- If you connect any extension wires to thermocouple wires, use wires made of the same conductive material as the thermocouple wires.
- Minimize adjacent heat sources and air flow across the terminals.
- Keep the ambient temperature as stable as possible.
- Make sure the module terminals are facing forward or upward. Keep the module in a stable and consistent orientation.

- Allow the thermal gradients to settle after a change in system power or in ambient temperature. A change in system power can happen when the system powers on, the system comes out of sleep mode, or you insert/remove modules. Refer to the warm-up time in the *Specifications* section for more information.

Using the Autozero Channel

The NI 9213 has an internal autozero channel to compensate for the offset error. The NI 9213 specifications all assume the autozero channel is on for every sample, however, you can choose not to use the autozero channel in software. When the autozero channel is on, the NI 9213 measures the autozero channel and subtracts that measurement from the measurement of each thermocouple channel. Refer to the software help for information about using the autozero channel. Visit ni.com/info and enter *cseriesdoc* for information about C Series documentation.

Sleep Mode

This module supports a low-power sleep mode. Support for sleep mode at the system level depends on the chassis that the module is plugged into. Refer to the chassis manual for information about support for sleep mode. If the chassis supports sleep mode, refer to the software help for information about enabling sleep mode. Visit ni.com/info and enter *cseriesdoc* for information about C Series documentation.

Typically, when a system is in sleep mode, you cannot communicate with the modules. In sleep mode, the system consumes minimal power and may dissipate less heat than it does in normal mode. Refer to the *Specifications* section for more information about power consumption and thermal dissipation.

Specifications

The following specifications are typical for the range -40 to 70 °C unless otherwise noted.

Warm-up time¹..... 15 minutes

Input Characteristics

Number of channels.....	16 thermocouple channels, 1 internal autozero channel, 1 internal cold-junction compensation channel
ADC resolution.....	24 bits
Type of ADC.....	Delta-Sigma
Sampling mode.....	Scanned
Voltage measurement range.....	±78.125 mV

¹ The warm-up time assumes the module is not in sleep mode, is facing forward or upward, and is in a constant ambient temperature. National Instruments recommends allowing the full warm-up time.

Temperature measurement ranges Works over temperature ranges defined by NIST (J, K, T, E, N, B, R, S thermocouple types)

Timing modes

Timing Mode	Conversion Time (Per Channel)	Sample Rate* (All Channels [†])
High-resolution	55 ms	1 S/s
High-speed	740 μs	75 S/s

* If you are using fewer than all channels, the sample rate might be faster. The maximum sample rate = $1 / (\text{Conversion Time} \times \text{Number of Channels})$, or 100 S/s, whichever is smaller. Sampling faster than the maximum sample rate may result in the degradation of accuracy.

[†] Including the autozero and cold-junction channels.

Common-mode voltage range

Channel-to-COM..... ±1.2 V min
 COM-to-earth ground..... ±250 V

Common-mode rejection ratio

High-resolution mode (at DC and 50–60 Hz)
 Channel-to-COM 100 dB
 COM-to-earth ground >170 dB
 High-speed mode (at 0–60 Hz)
 Channel-to-COM 70 dB
 COM-to-earth ground >150 dB

Input bandwidth

High-resolution mode..... 14.4 Hz
 High-speed mode..... 78 Hz

High-resolution noise rejection

(at 50 and 60 Hz) 60 dB

Overvoltage protection ±30 V between any two inputs

Differential input impedance 78 MΩ

Input current..... 50 nA

Input noise

High-resolution mode..... 200 nV_{rms}
 High-speed mode..... 7 μV_{rms}

Gain error

High-resolution mode.....	0.03% typ at 25 °C, 0.07% typ at -40 to 70 °C, 0.15% max at -40 to 70 °C
High-speed mode.....	0.04% typ at 25 °C, 0.08% typ at -40 to 70 °C, 0.16% max at -40 to 70 °C

Offset error


High-resolution mode.....	4 μV typ, 6 μV max
High-speed mode.....	14 μV typ, 17 μV max

Offset error from source impedance..... Add 0.05 μV per Ω, when source impedance >50 Ω

Cold-junction compensation accuracy

0 to 70 °C	0.8 °C typ, 1.7 °C max
-40 to 70 °C	1.1 °C typ, 2.1 °C max

MTBF 852,407 hours at 25 °C;
Bellcore Issue 2, Method 1,
Case 3, Limited Part Stress
Method

 **Note** Contact NI for Bellcore MTBF specifications at other temperatures or for MIL-HDBK-217F specifications.

Temperature Measurement Accuracy

Measurement sensitivity¹

High-resolution mode

Types J, K, T, E, N	<0.02 °C
Types B, R, S	<0.15 °C

¹ Measurement sensitivity represents the smallest change in temperature that a sensor can detect. It is a function of noise. The values assume the full measurement range of the standard thermocouple sensor according to ASTM E230-87.

High-speed mode

Types J, K, T, E.....	<0.25 °C
Type N.....	<0.35 °C
Type B.....	<1.2 °C
Types R, S.....	<2.8 °C

Figures 6, 7, 8, 9, and 10 show the errors for each thermocouple type when connected to the NI 9213 with the autozero channel on. The figures display the maximum errors over a full temperature range and typical errors at room temperature. The figures account for gain errors, offset errors, differential and integral nonlinearity, quantization errors, noise errors, 50 Ω lead wire resistance, and cold-junction compensation errors. The figures do not account for the accuracy of the thermocouple itself.

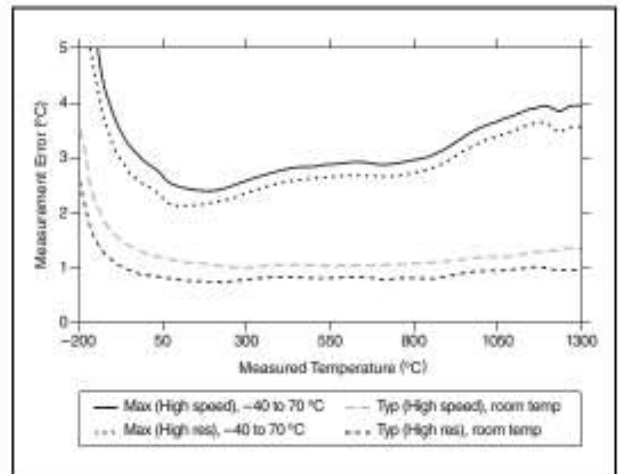


Figure 6. Thermocouple Types J and N Errors

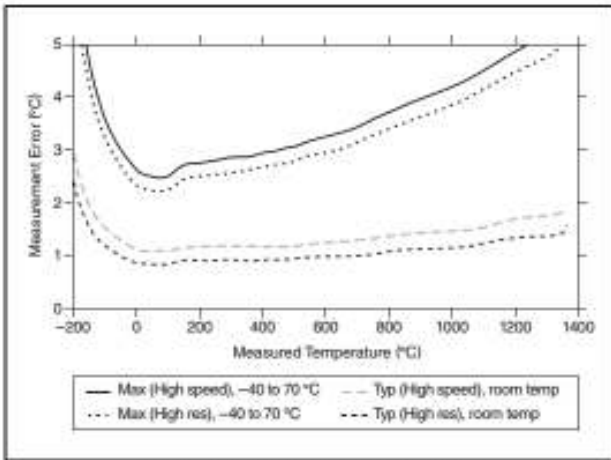


Figure 7. Thermocouple Type K Errors

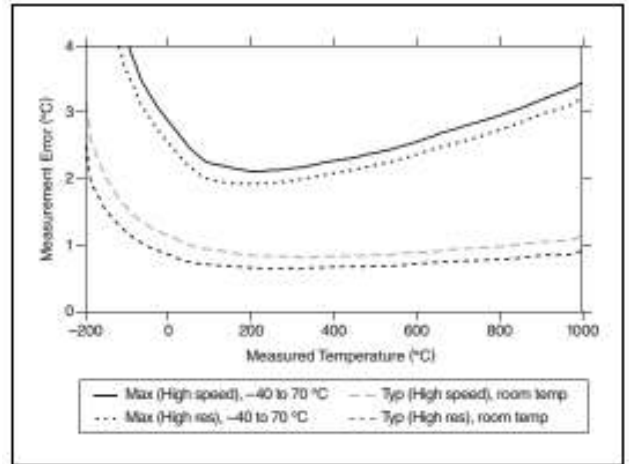


Figure 8. Thermocouple Types T and E Errors

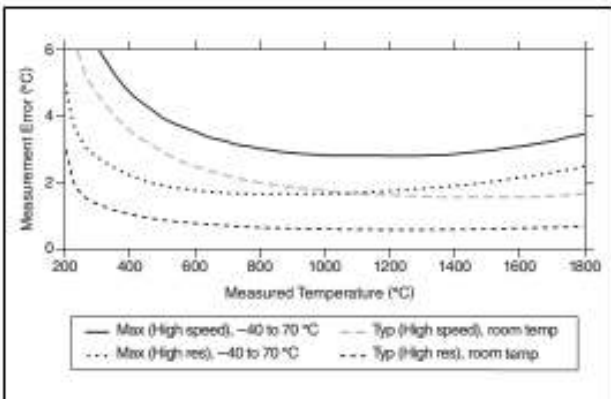


Figure 9. Thermocouple Type B Errors

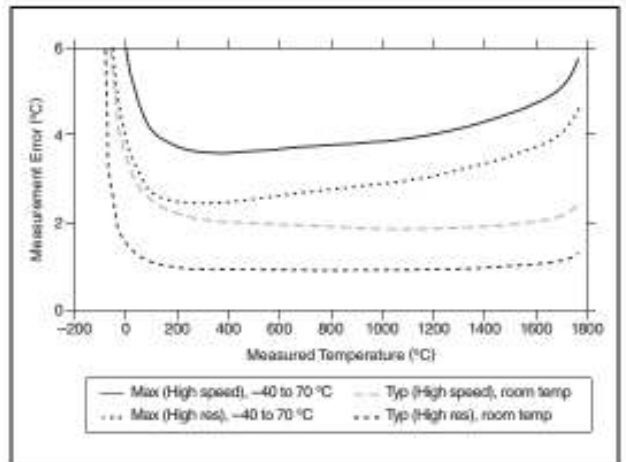


Figure 10. Thermocouple Types R and S Errors

Power Requirements

Power consumption from chassis


Active mode	490 mW max
Sleep mode	25 μ W max

Thermal dissipation (at 70 °C)

Active mode	840 mW max
Sleep mode	710 mW max

Physical Characteristics

If you need to clean the module, wipe it with a dry towel.

 **Note** For two-dimensional drawings and three-dimensional models of the C Series module and connectors, visit ni.com/dimensions and search by module number.

Spring-terminal wiring.....	18 to 28 AWG copper conductor wire with 7 mm (0.28 in.) of insulation stripped from the end
Weight.....	159 g (5.6 oz)

Safety

Safety Voltages

Connect only voltages that are within the following limits.
Between any two terminals..... ± 30 V max

Isolation

Channel-to-channel	None
Channel-to-earth ground	
Continuous	250 V _{rms}
	Measurement Category II
Withstand	2,300 V _{rms} , verified by a 5 s dielectric withstand test

Measurement Category II is for measurements performed on circuits directly connected to the electrical distribution system. This category refers to local-level electrical distribution, such as that provided by a standard wall outlet, for example, 115 V for U.S. or 230 V for Europe.



Caution Do not connect the NI 9213 to signals or use for measurements within Measurement Categories III or IV.

Hazardous Locations

U.S. (UL)	Class I, Division 2, Groups A, B, C, D, T4; Class I, Zone 2, AEx nA IIC T4
Canada (C-UL)	Class I, Division 2, Groups A, B, C, D, T4; Class I, Zone 2, Ex nA IIC T4
Europe (DEMKO).....	Ex nA IIC T4

Safety Standards

This product meets the requirements of the following standards of safety for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:

- IEC 61010-1, EN 61010-1
- UL 61010-1, CSA 61010-1

 **Note** For UL and other safety certifications, refer to the product label or the [Online Product Certification](#) section.

Electromagnetic Compatibility

This product meets the requirements of the following EMC standards for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:

- EN 61326 (IEC 61326): Class A emissions; Industrial immunity
- EN 55011 (CISPR 11): Group 1, Class A emissions
- AS/NZS CISPR 11: Group 1, Class A emissions
- FCC 47 CFR Part 15B: Class A emissions
- ICES-001: Class A emissions



Note For the standards applied to assess the EMC of this product, refer to the [Online Product Certification](#) section.



Note For EMC compliance, operate this device with double-shielded cables.

CE Compliance

This product meets the essential requirements of applicable European Directives as follows:

- 2006/95/EC; Low-Voltage Directive (safety)
- 2004/108/EC; Electromagnetic Compatibility Directive (EMC)

Online Product Certification

Refer to the product Declaration of Conformity (DoC) for additional regulatory compliance information. To obtain product certifications and the DoC for this product, visit ni.com/certification, search by module number or product line, and click the appropriate link in the Certification column.

Shock and Vibration

To meet these specifications, you must panel mount the system and use the NI 9940 backshell kit to protect the connections.

Operating vibration

- Random (IEC 60068-2-64)..... 5 g_{rms} , 10 to 500 Hz
- Sinusoidal (IEC 60068-2-6)..... 5 g, 10 to 500 Hz

Operating shock
(IEC 60068-2-27)..... 30 g, 11 ms half sine,
50 g, 3 ms half sine,
18 shocks at 6 orientations

Environmental

National Instruments C Series modules are intended for indoor use only but may be used outdoors if installed in a suitable enclosure. Refer to the manual for the chassis you are using for more information about meeting these specifications.

Operating temperature
(IEC 60068-2-1, IEC 60068-2-2) -40 to 70 °C

Storage temperature
(IEC 60068-2-1, IEC 60068-2-2) -40 to 85 °C

Ingress protection..... IP 40

Operating humidity
(IEC 60068-2-56)..... 10 to 90% RH,
noncondensing

Storage humidity
(IEC 60068-2-56)..... 5 to 95% RH,
noncondensing

Maximum altitude..... 2,000 m
Pollution degree 2

Environmental Management

National Instruments is committed to designing and manufacturing products in an environmentally responsible manner. NI recognizes that eliminating certain hazardous substances from our products is beneficial to the environment and to NI customers.

For additional environmental information, refer to the *NI and the Environment* Web page at ni.com/environment. This page contains the environmental regulations and directives with which NI complies, as well as other environmental information not included in this document.

Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)



EU Customers At the end of the life cycle, all products *must* be sent to a WEEE recycling center. For more information about WEEE recycling centers and National Instruments WEEE initiatives, visit ni.com/environment/weee.

电子信息产品污染控制管理办法 (中国 RoHS)

  **中国客户** National Instruments 符合中国电子信息产品中限制使用某些有害物质指令 (RoHS)。关于 National Instruments 中国 RoHS 合规性信息, 请登录 ni.com/environment/rohs_china。(For information about China RoHS compliance, go to ni.com/environment/rohs_china.)

Calibration

You can obtain the calibration certificate and information about calibration services for the NI 9213 at ni.com/calibration.
Calibration interval 1 year

Where to Go for Support

The National Instruments Web site is your complete resource for technical support. At ni.com/support you have access to everything from troubleshooting and application development self-help resources to email and phone assistance from NI Application Engineers.

National Instruments corporate headquarters is located at 11500 North Mopac Expressway, Austin, Texas, 78759-3504.

National Instruments also has offices located around the world to help address your support needs. For telephone support in the United States, create your service request at ni.com/support and follow the calling instructions or dial 512 795 8248. For telephone support outside the United States, contact your local branch office:

Australia 1800 300 800, Austria 43 662 457990-0,
Belgium 32 (0) 2 757 0020, Brazil 55 11 3262 3599,
Canada 800 433 3488, China 86 21 5050 9800,
Czech Republic 420 224 235 774, Denmark 45 45 76 26 00,
Finland 358 (0) 9 725 72511, France 01 57 66 24 24,
Germany 49 89 7413130, India 91 80 41190000,
Israel 972 3 6393737, Italy 39 02 41309277, Japan 0120-527196,
Korea 82 02 3451 3400, Lebanon 961 (0) 1 33 28 28,
Malaysia 1800 887710, Mexico 01 800 010 0793,
Netherlands 31 (0) 348 433 466, New Zealand 0800 553 322,
Norway 47 (0) 66 90 76 60, Poland 48 22 328 90 10,
Portugal 351 210 311 210, Russia 7 495 783 6851,
Singapore 1800 226 5886, Slovenia 386 3 425 42 00,
South Africa 27 0 11 805 8197, Spain 34 91 640 0085,
Sweden 46 (0) 8 587 895 00, Switzerland 41 56 2005151,
Taiwan 886 02 2377 2222, Thailand 662 278 6777,
Turkey 90 212 279 3031, United Kingdom 44 (0) 1635 523545

National Instruments, NI, ni.com, and LabVIEW are trademarks of National Instruments Corporation. Refer to the *Terms of Use* section on ni.com/legal for more information about National Instruments trademarks. Other product and company names mentioned herein are trademarks or trade names of their respective companies. For patents covering National Instruments products/technology, refer to the appropriate location: **Help>Patents** in your software, the `patents.txt` file on your media, or the *National Instruments Patent Notice* at ni.com/patents.

© 2009 National Instruments Corp. All rights reserved.