



Universidade do Algarve  
Faculdade de Ciências e Tecnologia

# Estudo de novos sistemas de ventilação mais ecológicos: personalizada e condutas verticais

Cláudia Margarida Manique Nunes

Dissertação em Engenharia do Ambiente

Elaborado no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente

Trabalho efetuado sob a orientação de: Prof. Dr. Eusébio Conceição

2015

Universidade do Algarve  
Faculdade de Ciências e Tecnologia

# Estudo de novos sistemas de ventilação mais ecológicos: personalizada e condutas verticais

Cláudia Margarida Manique Nunes

Dissertação em Engenharia do Ambiente

Elaborado no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente

Trabalho efetuado sob a orientação de: Prof. Dr. Eusébio Conceição

Faro, 2015



# Estudo de novos sistemas de ventilação mais ecológicos: personalizada e condutas verticais

## Declaração de autoria de trabalho

Declaro ser a autora deste trabalho, que é original e inédito.

Autores e trabalhos consultados estão devidamente citados no texto e constam da listagem de referências incluída.

---

Cláudia Margarida Manique Nunes

## *Copyright*

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

Nesta pequena fração da minha dissertação gostaria de manifestar o meu sincero agradecimento a todas as pessoas que me apoiaram, instruíram, incentivaram e que sempre acreditaram em mim durante este período da minha vida.

Em primeiro lugar, o meu sincero obrigado ao Professor Doutor Eusébio Conceição, pela sua preciosa ajuda, dedicação, tempo disponibilizado e conhecimentos transmitidos. A sua orientação foi fundamental na realização da dissertação.

Aos meus amigos e colegas de curso, particularmente, Maria Silva, Melanie Sousa, Cristina Santiago, Gil Grencho e Laura Bento agradeço a amizade construída durante este percurso académico, todos os momentos que passámos juntos e todo o apoio e incentivo que me transmitiram ao longo dos anos e, principalmente, no fim desta etapa académica. À Cristina Santiago e ao Gil Grencho apresento um agradecimento extra pela transmissão de conhecimentos de desenho assistido por computador, os quais foram fulcrais para o desenvolvimento dos meus projetos.

À minha família, especialmente aos meus pais, irmã, sobrinho e avós maternos agradeço o apoio incondicional, a dedicação, a presença (mesmo a quilómetros de distância) nos momentos que precisei e todo o esforço feito para que eu pudesse frequentar o ensino universitário.

Ao amor da minha vida, Filipe Nunes, agradeço todo o apoio e companheirismo, sobretudo nos momentos mais difíceis, todas as palavras de incentivo e todo o carinho, amor, alegria e força que me transmitiu desde o dia que o conheci e principalmente ao longo desta etapa.

## Resumo

Nesta dissertação foram estudados sistemas de ventilação personalizada e sistemas de condutas verticais com e sem sistemas de superfícies radiantes que permitem melhorar a qualidade do ar interior, o conforto térmico e o desconforto térmico local de indivíduos em espaços interiores, aplicando energias renováveis. Os sistemas de ventilação personalizada são baseados num conjunto de condutas localizadas numa secretária próximo dos indivíduos; os sistemas de condutas verticais são baseados em condutas verticais colocadas nos cantos de um compartimento, que injetam ar próximo das paredes, numa conduta de exaustão localizada acima da cabeça dos ocupantes, e os sistemas de superfícies radiantes são constituídos através de tubos no seu interior, onde circula água quente ou fria, consoante a estação do ano.

Com o sistema de ventilação personalizada foi realizado o estudo de apenas um caso, com quatro indivíduos ao redor de uma mesa. Com o sistema de condutas verticais, a disposição dos indivíduos é a mesma e foram estudados três casos: no primeiro caso a exaustão é colocada no teto do compartimento; no segundo caso é introduzida a exaustão personalizada e uma superfície radiante no chão enquanto no terceiro caso as superfícies radiantes são introduzidas nas paredes.

A energia utilizada nestes sistemas baseia-se nas energias renováveis como a geotermia, a energia solar e a biomassa.

Para determinar as condições ótimas de conforto térmico e qualidade do ar interior recorreu-se ao acoplamento do modelo numérico diferencial de simulação de escoamentos, do modelo numérico integral de simulação da resposta térmica humana e do modelo numérico integral de simulação da resposta térmica dos edifícios, nos quais foram simulados vários casos e calculados campos de temperatura e velocidade do ar, distribuição da temperatura média radiante e temperatura da pele, concentração de dióxido de carbono e nível de conforto térmico, desconforto térmico local e qualidade do ar interior.

Palavras-chave: ventilação personalizada, condutas verticais, superfícies radiantes, conforto térmico, desconforto térmico local e qualidade do ar interior.

## Abstract

In this thesis personalized ventilation system and vertical conducts system with or without radiant surfaces were studied to improve indoor air quality, thermal comfort and local thermal discomfort of people indoors, using renewable energy. Personalized ventilation systems are based on a set of ducts located in a desk, near of the people; the vertical conducts systems are based on vertical ducts placed in the corners of a room, which inject air near the walls, an exhaustion duct located above the heads of the occupants; and the radiant surfaces systems are constituted by tubes in its interior, where circulates hot or cold water, depending on the season.

With the personalized ventilation system, the study was about only one case, with four people around a table. With the vertical conducts system, the arrangement of people is the same and three cases were studied: in the first case the exhaustion is placed on the roof of the compartment; in the second case it's introduced a personalized exhaustion and a radiant surface on the floor while in the third case the radiant surfaces are introduced on the walls.

The energy used in these systems is based on renewable energy such as geothermal energy, solar energy and biomass.

In order to determine the optimal conditions of thermal comfort and indoor air quality it was used a coupling of the numerical differential model of flow simulation, the numerical integral model of human thermal response and the numerical integral model of buildings thermal response, which in some cases have been simulated and calculated the air temperature and velocity fields, the distribution of mean radiant temperature and body skin temperature, the carbon dioxide concentration, the level of thermal comfort, local thermal discomfort and the indoor air quality.

Keywords: personalized ventilation, vertical conducts, radiant surfaces, thermal comfort, local thermal discomfort and indoor air quality.

# Índice

1.	Estrutura do trabalho .....	1
2.	Enquadramento geral .....	2
3.	Objetivos.....	4
4.	Revisão Bibliográfica .....	5
4.1	Sistema de ventilação personalizada.....	5
4.2	Sistema de jatos confluentes .....	6
4.3	Sistema de superfícies radiantes .....	7
4.4	Produção de energia renovável .....	8
4.4.1	Geotermia .....	8
4.4.2	Energia solar .....	9
4.4.2.1	Coletores solares .....	9
4.4.2.2	Ar-condicionado solar .....	10
4.4.3	Biomassa.....	11
4.5	Conforto térmico e desconforto térmico local .....	12
4.6	Qualidade do ar interior .....	13
4.7	Índice de distribuição de ar (ADI) .....	14
5.	Modelos e métodos numéricos .....	15
5.1	Modelo numérico diferencial de simulação de escoamentos.....	15
5.2	Modelo numérico integral de simulação da resposta térmica humana .....	15
5.3	Modelo numérico integral de simulação da resposta térmica em edifícios .....	17
5.4	Acoplamento dos modelos numéricos .....	18
5.5	Cálculo do PMV e PPD .....	18
5.6	Cálculo do DR .....	19
5.7	Cálculo do ADI.....	20
6.	Metodologia numérica.....	22
6.1	Ventilação personalizada .....	22
6.1.1	Parâmetros ambientais e pessoais.....	22
6.1.2	Esquema real da câmara .....	23
6.1.3	Discretização da malha da simulação numérica de escoamentos.....	24
6.1.4	Discretização da malha da resposta térmica humana .....	25
6.2	Condutas verticais com e sem superfícies radiantes .....	25
6.2.1	Parâmetros ambientais e pessoais.....	26
6.2.2	Esquema real da câmara .....	27
6.2.3	Discretização da malha da simulação numérica de escoamentos.....	27
6.2.4	Discretização da malha da resposta térmica humana .....	28

7.	Resultados e discussão .....	29
7.1	Ventilação personalizada .....	29
7.1.1	Temperaturas das superfícies da câmara virtual .....	29
7.1.2	Escoamento em torno dos ocupantes .....	29
7.1.3	Nível de conforto térmico .....	33
7.1.4	Desconforto térmico local .....	36
7.1.5	Qualidade do ar .....	38
7.1.6	ADI e energia .....	39
7.2	Conduitas verticais com e sem superfícies radiantes .....	43
7.2.1	Caso I .....	43
7.2.1.1	Temperaturas das superfícies da câmara virtual .....	43
7.2.1.2	Escoamento em torno dos ocupantes .....	44
7.2.1.3	Nível de conforto térmico .....	46
7.2.1.4	Desconforto térmico local .....	49
7.2.1.5	Qualidade do ar interior .....	50
7.2.1.6	ADI e energia .....	52
7.2.2	Caso II .....	54
7.2.2.1	Temperaturas das superfícies da câmara virtual .....	54
7.2.2.2	Escoamento em torno dos ocupantes .....	55
7.2.2.3	Nível de conforto térmico .....	60
7.2.2.4	Desconforto térmico local .....	68
7.2.2.5	Qualidade do ar interior .....	71
7.2.2.6	ADI e energia .....	73
7.2.3	Caso III .....	75
7.2.3.1	Temperaturas das superfícies da câmara virtual .....	76
7.2.3.2	Escoamento em torno dos ocupantes .....	76
7.2.3.3	Nível de conforto térmico .....	77
7.2.3.4	Desconforto térmico local .....	81
7.2.3.5	Qualidade do ar interior .....	83
7.2.3.6	ADI e energia .....	83
8.	Uso das energias renováveis nos sistemas de ventilação e nos sistemas de superfícies radiantes estudados .....	86
9.	Conclusão .....	89
10.	Aplicações futuras .....	92
11.	Bibliografia .....	93

## Índice de Figuras

Figura 4.1- Entradas de ar da ventilação personalizada estudadas em Melikov et al., 2002.	6
Figura 4.2- Jatos confluentes colocados nos cantos das paredes. (Fonte: Karimipناه et al., 2005).	7
Figura 4.3- Esquema de um sistema de aquecimento e arrefecimento através de geotermia (não se encontra à escala). (Fonte: Johnston et al., 2011).	9
Figura 4.4- Esquema do método de absorção de calor para refrigeração. (Fonte: Hassan & Mohamad, 2012).	10
Figura 5.1- Esquema do corpo humano, dividido em 25 elementos numerados.	17
Figura 5.2- Valores percentuais de PPD em função dos valores de PMV, segundo a ISO 7730.	19
Figura 6.1- Projeto da câmara virtual equipada com ventilação personalizada, a) caso preliminar e b) caso estudado.	23
Figura 6.2- Geração de malha não uniforme com planos, através do modelo de simulação numérica de escoamentos, com o sistema de ventilação personalizada.	24
Figura 6.3- Geração de malha não uniforme através do modelo de simulação numérica de escoamentos. Representação do caso de ventilação personalizada em a) planos no eixo do X, b) planos no eixo do Y e c) planos no eixo do Z.	24
Figura 6.4- Representação dos obstáculos gerados através do modelo de simulação numérica de escoamentos, a) ocupantes, b) mesa e ventilação personalizada e c) ventilação personalizada.	24
Figura 6.5- a) Geração de malha através do modelo numérico de resposta térmica humana e b) Representação dos ocupantes.	25
Figura 6.6- Projeto da câmara virtual equipada com condutas verticais e a) exaustão no teto (caso I) e b) exaustão personalizada (caso II e III).	27
Figura 6.7- Geração de malha não uniforme, com planos, através do modelo de simulação numérica de escoamentos a) no caso I e b) no caso II e III.	27
Figura 6.8- Geração de malha não uniforme através do modelo de simulação numérica de escoamentos. Representação do caso I em a) planos no eixo do X, b) planos no eixo do Y, c) plano no eixo do Z e representação do caso II e III em d) planos no eixo do X, e) planos no eixo do Y e f) plano no eixo do Z.	28
Figura 6.9- Geração de malha através do modelo de simulação numérica de escoamentos a) caso I, b) caso II e III, c) representação e identificação dos ocupantes.	28
Figura 6.10- a) Geração de malha através do modelo numérico integral que simula a resposta térmica humana (caso I, II e III). b) Representação dos ocupantes.	28

Figura 7.1- Representação do campo da velocidade do ar em torno dos ocupantes no plano vertical YZ a) X= 1,00 m, b) X= 1,25 m e c) X= 1,40 m. Caso de inverno: $T_{ext}= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 4\text{ m/s}$ .	30
Figura 7.2- Representação do campo da velocidade do ar em torno dos ocupantes no plano vertical XZ a) Y= 1,20 m, b) Y= 1,45 m e c) Y=1,60 m. Caso de inverno: $T_{ext}= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 4\text{ m/s}$ .	30
Figura 7.3- Representação do campo da velocidade do ar em torno dos ocupantes no plano horizontal XY a) Z= 0,50 m e b) Z= 0,95 m. Caso de inverno: $T_{ext}= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 4\text{ m/s}$ .	30
Figura 7.4- Representação do campo da temperatura do ar em torno dos ocupantes nos planos verticais XZ e YZ a) X= 1,25 m e b) Y= 1,45 m. Caso de inverno: $T_{ext}= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 4\text{ m/s}$ .	30
Figura 7.5- Representação do campo da velocidade do ar em torno dos ocupantes no plano vertical YZ a) X= 1,00 m, b) X= 1,25 m e c) X= 1,40 m. Caso de primavera/outono: $T_{ext}= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 22\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 5\text{ m/s}$ .	31
Figura 7.6- Representação do campo da velocidade do ar em torno dos ocupantes no plano vertical XZ a) Y= 1,20 m, b) Y= 1,45 m e c) Y= 1,60 m. Caso de primavera/outono: $T_{ext}= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 22\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 5\text{ m/s}$ .	31
Figura 7.7- Representação do campo da velocidade do ar em torno dos ocupantes no plano horizontal XY a) Z= 0,50 m e b) Z= 0,95 m. Caso de primavera/outono: $T_{ext}= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 22\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 5\text{ m/s}$ .	31
Figura 7.8- Representação do campo da temperatura do ar em torno dos ocupantes nos planos verticais XZ e YZ a) X= 1,25 m e b) Y= 1,45 m. Caso de primavera/outono: $T_{ext}= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 22\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 5\text{ m/s}$ .	31
Figura 7.9- Representação do campo da velocidade do ar em torno dos ocupantes no plano vertical YZ a) X= 1,00 m, b) X= 1,25 m e c) X= 1,40 m. Caso de verão: $T_{ext}= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 26\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 5\text{ m/s}$ .	32
Figura 7.10- Representação do campo da velocidade do ar em torno dos ocupantes no plano vertical XZ a) Y= 1,20 m, b) Y= 1,45 m e c) Y= 1,60 m. Caso de verão: $T_{ext}= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 26\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 5\text{ m/s}$ .	32
Figura 7.11- Representação do campo da velocidade do ar em torno dos ocupantes no plano horizontal XY a) Z= 0,50 m e b) Z= 0,95 m. Caso de verão: $T_{ext}= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 26\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 5\text{ m/s}$ .	32
Figura 7.12- Representação do campo da temperatura do ar em torno dos ocupantes nos planos verticais XZ e YZ a) X= 1,25 m e b) Y= 1,45 m. Caso de verão: $T_{ext}= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 26\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 5\text{ m/s}$ .	32
Figura 7.13- Distribuição a) da velocidade do ar e b) da temperatura do ar em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. Caso de inverno: $T_{ext}= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 4\text{ m/s}$ .	33

Figura 7.14- Distribuição da a) temperatura média radiante e b) da temperatura da pele em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. Caso de inverno: $T_{ext}= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 4\text{ m/s}$ .	34
Figura 7.15- Distribuição a) da velocidade do ar e b) da temperatura do ar em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. Caso de primavera/outono: $T_{ext}= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 22\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 5\text{ m/s}$ .	34
Figura 7.16- Distribuição a) da temperatura média radiante e b) da temperatura da pele em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. Caso de primavera/outono: $T_{ext}= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 22\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 5\text{ m/s}$ .	34
Figura 7.17- Distribuição a) da velocidade do ar e b) da temperatura do ar em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. Caso de verão: $T_{ext}= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 26\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 5\text{ m/s}$ .	34
Figura 7.18- Distribuição a) da temperatura média radiante e b) da temperatura da pele em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. Caso de verão: $T_{ext}= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 26\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 5\text{ m/s}$ .	35
Figura 7.19- Risco de resfriamento, em %, em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. Caso de inverno: $T_{ext}= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 4\text{ m/s}$ .	36
Figura 7.20- Risco de resfriamento, em %, em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. Caso de primavera/outono: $T_{ext}= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 22\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 5\text{ m/s}$ .	36
Figura 7.21- Risco de resfriamento, em %, em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. Caso de verão: $T_{ext}= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 26\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 5\text{ m/s}$ .	37
Figura 7.22- Representação do campo de concentração de dióxido de carbono na zona de respiração dos ocupantes nos planos verticais XZ e YZ a) $X= 1,25\text{ m}$ e b) $Y= 1,45\text{ m}$ . Caso de inverno: $T_{ext}= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 4\text{ m/s}$ .	38
Figura 7.23- Representação do campo de concentração de dióxido de carbono na zona de respiração dos ocupantes nos planos verticais XZ e YZ a) $X= 1,25\text{ m}$ e b) $Y= 1,45\text{ m}$ . Caso de primavera/outono: $T_{ext}= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 22\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 5\text{ m/s}$ .	38
Figura 7.24- Representação do campo de concentração de dióxido de carbono na zona de respiração dos ocupantes nos planos verticais XZ e YZ a) $X= 1,25\text{ m}$ e b) $Y= 1,45\text{ m}$ . Caso de verão: $T_{ext}= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 26\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 5\text{ m/s}$ .	38
Figura 7.25- Representação de a) ADI, b) energia consumida (kW) e c) energia/ADI, de acordo com a variação da velocidade e da temperatura do ar. Caso de inverno: $T_{ext}= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 4\text{ m/s}$ .	40
Figura 7.26- Representação de a) ADI, b) energia consumida (kW) e c) energia/ADI, de acordo com a variação da velocidade e da temperatura do ar. Caso de primavera/outono: $T_{ext}= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 22\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 5\text{ m/s}$ .	40
Figura 7.27- Representação de a) ADI, b) energia consumida (kW) e c) energia/ADI, de acordo com a variação da velocidade e da temperatura do ar. Caso de verão: $T_{ext}= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 26\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 5\text{ m/s}$ .	40

Figura 7.28- Representação do campo da velocidade do ar em torno dos ocupantes nos planos a) X= 1,17 m, b) Y= 1,38 m e c) Z= 1,12 m. Caso I de inverno: $T_{ext}= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 2\text{ m/s}$ . .....	44
Figura 7.29- Representação do campo da temperatura do ar em torno dos ocupantes nos planos a) X= 1,17 m e b) Y= 1,38 m. Caso I de inverno: $T_{ext}= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 2\text{ m/s}$ .44	
Figura 7.30- Representação do campo da velocidade do ar em torno dos ocupantes nos planos a) X= 1,17 m, b) Y= 1,38 m e c) Z= 1,12 m. Caso I de primavera/outono: $T_{ext}= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 2\text{ m/s}$ . .....	44
Figura 7.31- Representação do campo da temperatura do ar em torno dos ocupantes nos planos a) X= 1,17 m e b) Y= 1,38 m. Caso I de primavera/outono: $T_{ext}= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 2\text{ m/s}$ . .....	45
Figura 7.32- Representação do campo da velocidade do ar em torno dos ocupantes nos planos a) X= 1,17 m, b) Y= 1,38 m e c) Z= 1,12 m. Caso I de verão: $T_{ext}= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 2\text{ m/s}$ . .....	45
Figura 7.33- Representação do campo da temperatura do ar em torno dos ocupantes nos planos a) X= 1,17 m e b) Y= 1,38 m. Caso I de verão: $T_{ext}= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 2\text{ m/s}$ . .....	45
Figura 7.34- Distribuição a) da velocidade do ar e b) da temperatura do ar em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. Caso I de inverno: $T_{ext}= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 2\text{ m/s}$ . .....	46
Figura 7.35- Distribuição a) da temperatura média radiante e b) da temperatura da pele em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. Caso I de inverno: $T_{ext}= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 2\text{ m/s}$ . .....	46
Figura 7.36- Distribuição a) da velocidade do ar e b) da temperatura do ar em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. Caso I de primavera/outono: $T_{ext}= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 2\text{ m/s}$ . .....	47
Figura 7.37- Distribuição a) da temperatura média radiante e b) da temperatura da pele em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. Caso I de primavera/outono: $T_{ext}= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 2\text{ m/s}$ . .....	47
Figura 7.38- Distribuição a) da velocidade do ar e b) da temperatura do ar em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. Caso I de verão: $T_{ext}= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 2\text{ m/s}$ . .....	47
Figura 7.39- Distribuição a) da temperatura média radiante e b) da temperatura da pele em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. Caso I de verão: $T_{ext}= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 2\text{ m/s}$ . .....	47
Figura 7.40- Risco de resfriamento, em %, em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. Caso I de inverno: $T_{ext}= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 2\text{ m/s}$ . .....	49
Figura 7.41- Risco de resfriamento, em %, em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. Caso I de primavera/outono: $T_{ext}= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 2\text{ m/s}$ . .....	49

Figura 7.42- Risco de resfriamento, em %, em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. Caso I de verão: $T_{ext}= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 2\text{ m/s}$ .....	50
Figura 7.43- Representação do campo da concentração de dióxido de carbono na zona de respiração dos ocupantes nos planos a) $X= 1,17\text{ m}$ e b) $Y= 1,38\text{ m}$ . Caso I de inverno: $T_{ext}= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 2\text{ m/s}$ .....	50
Figura 7.44- Representação do campo da concentração de dióxido de carbono na zona de respiração dos ocupantes nos planos a) $X= 1,17\text{ m}$ e b) $Y= 1,38\text{ m}$ . Caso I de primavera/outono: $T_{ext}= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 2\text{ m/s}$ .....	51
Figura 7.45- Representação do campo da concentração de dióxido de carbono na zona de respiração dos ocupantes nos planos a) $X= 1,17\text{ m}$ e b) $Y= 1,38\text{ m}$ . Caso I de verão: $T_{ext}= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 2\text{ m/s}$ .....	51
Figura 7.46- Representação do campo da velocidade do ar (sem chão radiante) em torno dos ocupantes nos planos a) $X= 1,17\text{ m}$ , b) $Y= 1,38\text{ m}$ e c) $Z= 1,12\text{ m}$ . Caso II-A de inverno: $T_{ext}= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 1\text{ m/s}$ .....	55
Figura 7.47- Representação do campo da temperatura do ar em torno dos ocupantes nos planos a) $X= 1,17\text{ m}$ sem chão radiante, b) $X= 1,17\text{ m}$ com chão radiante, c) $Y= 1,38\text{ m}$ sem chão radiante e d) $Y= 1,38\text{ m}$ com chão radiante. Caso II-A e II-B de inverno: $T_{ext}= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_{ch}= 29\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 1\text{ m/s}$ .....	56
Figura 7.48- Representação do campo da velocidade do ar (sem chão radiante) em torno dos ocupantes nos planos a) $X= 1,17\text{ m}$ , b) $Y= 1,38\text{ m}$ e c) $Z= 1,12\text{ m}$ . Caso II-A de inverno: $T_{ext}= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 2\text{ m/s}$ .....	56
Figura 7.49- Representação do campo da temperatura do ar em torno dos ocupantes nos planos a) $X= 1,17\text{ m}$ sem chão radiante, b) $X= 1,17\text{ m}$ com chão radiante, c) $Y= 1,38\text{ m}$ sem chão radiante e d) $Y= 1,38\text{ m}$ com chão radiante. Caso II-A e II-B de inverno: $T_{ext}= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_{ch}= 29\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 2\text{ m/s}$ .....	56
Figura 7.50- Representação do campo da velocidade do ar (sem chão radiante) em torno dos ocupantes nos planos a) $X= 1,17\text{ m}$ , b) $Y= 1,38\text{ m}$ e c) $Z= 1,12\text{ m}$ . Caso II-A de primavera/outono: $T_{ext}= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 1\text{ m/s}$ .....	57
Figura 7.51- Representação do campo da temperatura do ar em torno dos ocupantes nos planos a) $X= 1,17\text{ m}$ sem chão radiante, b) $X= 1,17\text{ m}$ com chão radiante, c) $Y= 1,38\text{ m}$ sem chão radiante e d) $Y= 1,38\text{ m}$ com chão radiante. Caso II-A e II-B de primavera/outono: $T_{ext}= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_{ch}= 29\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 1\text{ m/s}$ .....	57
Figura 7.52- Representação do campo da velocidade do ar (sem chão radiante) em torno dos ocupantes nos planos a) $X= 1,17\text{ m}$ , b) $Y= 1,38\text{ m}$ e c) $Z= 1,12\text{ m}$ . Caso II-A de primavera/outono: $T_{ext}= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 2\text{ m/s}$ .....	57
Figura 7.53- Representação do campo da temperatura do ar em torno dos ocupantes nos planos a) $X= 1,17\text{ m}$ sem chão radiante, b) $X= 1,17\text{ m}$ com chão radiante, c) $Y= 1,38\text{ m}$ sem chão radiante e d) $Y= 1,38\text{ m}$ com chão radiante. Caso II-A e II-B de primavera/outono: $T_{ext}= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_{ch}= 29\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 2\text{ m/s}$ .....	58

Figura 7.54- Representação do campo da velocidade do ar em torno dos ocupantes nos planos a) X= 1,17 m, b) Y= 1,38 m e c) Z= 1,12 m. Caso II-A de verão: $T_{ext}= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 1\text{ m/s}$ . .....	58
Figura 7.55- Representação do campo da temperatura do ar em torno dos ocupantes nos planos a) X= 1,17 m sem chão radiante, b) X= 1,17 m com chão radiante, c) Y= 1,38 m sem chão radiante e d) Y= 1,38 m com chão radiante. Caso II-A e II-B de verão: $T_{ext}= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_{ch}= 19\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 1\text{ m/s}$ . .....	59
Figura 7.56- Representação do campo da velocidade do ar em torno dos ocupantes nos planos a) X= 1,17 m, b) Y= 1,38 m e c) Z= 1,12 m. Caso II-A de verão: $T_{ext}= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 2\text{ m/s}$ . .....	59
Figura 7.57- Representação do campo da temperatura do ar em torno dos ocupantes nos planos a) X= 1,17 m sem chão radiante, b) X= 1,17 m com chão radiante, c) Y= 1,38 m sem chão radiante e d) Y= 1,38 m com chão radiante. Caso II-A e II-B de verão: $T_{ext}= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_{ch}= 19\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 2\text{ m/s}$ . .....	59
Figura 7.58- Distribuição da velocidade do ar em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. a) sem chão radiante e b) com chão radiante. Caso II-A e II-B de inverno: $T_{ext}= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_{ch}= 29\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 1\text{ m/s}$ . .....	61
Figura 7.59- Distribuição da temperatura do ar em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. a) sem chão radiante e b) com chão radiante. Caso II-A e II-B de inverno: $T_{ext}= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_{ch}= 29\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 1\text{ m/s}$ . .....	61
Figura 7.60- Distribuição da temperatura média radiante em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. a) sem chão radiante e b) com chão radiante. Caso II-A e II-B de inverno: $T_{ext}= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_{ch}= 29\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 1\text{ m/s}$ . .....	61
Figura 7.61- Distribuição da temperatura da pele em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. a) sem chão radiante e b) com chão radiante. Caso II-A e II-B de inverno: $T_{ext}= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_{ch}= 29\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 1\text{ m/s}$ . .....	61
Figura 7.62- Distribuição da velocidade do ar em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. a) sem chão radiante e b) com chão radiante. Caso II-A e II-B de inverno: $T_{ext}= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_{ch}= 29\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 2\text{ m/s}$ . .....	62
Figura 7.63- Distribuição da temperatura do ar em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. a) sem chão radiante e b) com chão radiante. Caso II-A e II-B de inverno: $T_{ext}= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_{ch}= 29\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 2\text{ m/s}$ . .....	62
Figura 7.64- Distribuição da temperatura média radiante em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. a) sem chão radiante e b) com chão radiante. Caso II-A e II-B de inverno: $T_{ext}= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_{ch}= 29\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 2\text{ m/s}$ . .....	62
Figura 7.65- Distribuição da temperatura da pele em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. a) sem chão radiante e b) com chão radiante. Caso II-A e II-B de inverno: $T_{ext}= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_{ch}= 29\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 2\text{ m/s}$ . .....	62



Figura 7.79- Distribuição da temperatura do ar em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. a) sem chão radiante e b) com chão radiante. Caso II-A e II-B de verão: $T_{ext}= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_{ch}= 19\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 2\text{ m/s}$ .....	66
Figura 7.80- Distribuição da temperatura média radiante em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. a) sem chão radiante e b) com chão radiante. Caso II-A e II-B de verão: $T_{ext}= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_{ch}= 19\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 2\text{ m/s}$ .....	66
Figura 7.81- Distribuição da temperatura da pele em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. a) sem chão radiante e b) com chão radiante. Caso II-A e II-B de verão: $T_{ext}= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_{ch}= 19\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 2\text{ m/s}$ .....	66
Figura 7.82- Risco de resfriamento em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. a) sem chão radiante e b) com chão radiante. Caso II-A e II-B de inverno: $T_{ext}= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_{ch}= 29\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 1\text{ m/s}$ .....	69
Figura 7.83- Risco de resfriamento em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. a) sem chão radiante e b) com chão radiante. Caso II-A e II-B de inverno: $T_{ext}= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_{ch}= 29\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 2\text{ m/s}$ .....	69
Figura 7.84- Risco de resfriamento em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. a) sem chão radiante e b) com chão radiante. Caso II-A e II-B de primavera/outono: $T_{ext}= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_{ch}= 29\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 1\text{ m/s}$ .....	69
Figura 7.85- Risco de resfriamento em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. a) sem chão radiante e b) com chão radiante. Caso II-A e II-B de primavera/outono: $T_{ext}= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_{ch}= 29\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 2\text{ m/s}$ .....	69
Figura 7.86- Risco de resfriamento em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. a) sem chão radiante e b) com chão radiante. Caso II-A e II-B de verão: $T_{ext}= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_{ch}= 19\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 1\text{ m/s}$ .....	70
Figura 7.87- Risco de resfriamento em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. a) sem chão radiante e b) com chão radiante. Caso II-A e II-B de verão: $T_{ext}= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_{ch}= 19\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 2\text{ m/s}$ .....	70
Figura 7.88- Representação do campo da concentração de dióxido de carbono na zona de respiração dos ocupantes nos planos a) $X= 1,17\text{ m}$ e b) $Y= 1,38\text{ m}$ . Caso II-A de inverno: $T_{ext}= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_{ch}= 29\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 1\text{ m/s}$ .....	71
Figura 7.89- Representação do campo da concentração de dióxido de carbono na zona de respiração dos ocupantes nos planos a) $X= 1,17\text{ m}$ e b) $Y= 1,38\text{ m}$ . Caso II-A de inverno: $T_{ext}= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_{ch}= 29\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 2\text{ m/s}$ .....	71
Figura 7.90- Representação do campo da concentração de dióxido de carbono na zona de respiração dos ocupantes nos planos a) $X= 1,17\text{ m}$ e b) $Y= 1,38\text{ m}$ . Caso II-A de primavera/outono: $T_{ext}= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_{ch}= 29\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 1\text{ m/s}$ .....	72
Figura 7.91- Representação do campo da concentração de dióxido de carbono na zona de respiração dos ocupantes nos planos a) $X= 1,17\text{ m}$ e b) $Y= 1,38\text{ m}$ . Caso II-A de primavera/outono: $T_{ext}= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_{ch}= 29\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 2\text{ m/s}$ .....	72

Figura 7.92- Representação do campo da concentração de dióxido de carbono na zona de respiração dos ocupantes nos planos a) X= 1,17 m e b) Y= 1,38 m. Caso II-A de verão: $T_{ext}= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_{ch}= 19\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 1\text{ m/s}$ .....	72
Figura 7.93- Representação do campo da concentração de dióxido de carbono na zona de respiração dos ocupantes nos planos a) X= 1,17 m e b) Y= 1,38 m. Caso II-A de verão: $T_{ext}= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_{ch}= 19\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 2\text{ m/s}$ .....	72
Figura 7.94- Distribuição a) da velocidade do ar e b) da temperatura do ar em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. Caso III de inverno: $T_{ext}= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_{par}= 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 1\text{ m/s}$ .....	77
Figura 7.95- Distribuição a) da temperatura média radiante e b) da temperatura da pele em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. Caso III de inverno: $T_{ext}= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_{par}= 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 1\text{ m/s}$ .....	77
Figura 7.96- Distribuição a) da velocidade do ar e b) da temperatura do ar em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. Caso III de inverno: $T_{ext}= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_{par}= 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 2\text{ m/s}$ .....	78
Figura 7.97- Distribuição a) da temperatura média radiante e b) da temperatura da pele em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. Caso III de inverno: $T_{ext}= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_{par}= 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 2\text{ m/s}$ .....	78
Figura 7.98- Distribuição a) da velocidade do ar e b) da temperatura do ar em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. Caso III de verão: $T_{ext}= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_{par}= 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 1\text{ m/s}$ .....	78
Figura 7.99- Distribuição a) da temperatura média radiante e b) da temperatura da pele em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. Caso III de verão: $T_{ext}= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_{par}= 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 1\text{ m/s}$ .....	78
Figura 7.100- Distribuição a) da velocidade do ar e b) da temperatura do ar em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. Caso III de verão: $T_{ext}= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_{par}= 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 2\text{ m/s}$ .....	79
Figura 7.101- Distribuição a) da temperatura média radiante e b) da temperatura da pele em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. Caso III de verão: $T_{ext}= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_{par}= 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 2\text{ m/s}$ .....	79
Figura 7.102- Risco de resfriamento, em %, em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. Caso III de inverno: $T_{ext}= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_{par}= 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 1\text{ m/s}$ .....	81
Figura 7.103- Risco de resfriamento, em %, em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. Caso III de inverno: $T_{ext}= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_{par}= 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 2\text{ m/s}$ .....	82
Figura 7.104- Risco de resfriamento, em %, em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. Caso III de verão: $T_{ext}= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_{par}= 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 1\text{ m/s}$ .....	82
Figura 7.105- Risco de resfriamento, em %, em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. Caso III de verão: $T_{ext}= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_{par}= 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 2\text{ m/s}$ .....	82

## Índice de tabelas

Tabela 4.1- Categorias de ambiente térmico, segundo a ISO 7730.....	13
Tabela 6.1- Definição dos parâmetros ambientais e pessoais utilizados nas simulações efetuadas com ventilação personalizada.....	23
Tabela 6.2- Definição dos parâmetros ambientais utilizados nas simulações efetuadas com condutas verticais e superfícies radiantes.....	26
Tabela 7.1- Temperaturas das superfícies da câmara virtual.....	29
Tabela 7.2- ADI no caso de inverno, para quatro ocupantes, com temperatura exterior de 8 °C e 18 °C interior e velocidade do ar de insuflação de 4 m/s.....	41
Tabela 7.3- ADI no caso de primavera/outono, para quatro ocupantes, com temperatura exterior de 18 °C e 22 °C interior e velocidade do ar de insuflação de 5 m/s.....	42
Tabela 7.4- ADI no caso de verão, para quatro ocupantes, com temperatura exterior de 28 °C e 26 °C interior e velocidade do ar de insuflação de 5 m/s.....	42
Tabela 7.5- Temperaturas das superfícies da câmara virtual.....	43
Tabela 7.6- Nível de conforto térmico dos ocupantes, no caso I de inverno, com temperatura exterior e interior de 8 °C e velocidade do ar de insuflação de 2 e 3 m/s.....	48
Tabela 7.7- Nível de conforto térmico dos ocupantes, no caso I de primavera/outono, com temperatura exterior e interior de 18 °C e velocidade do ar de insuflação de 2 e 3 m/s.....	48
Tabela 7.8- Nível de conforto térmico dos ocupantes, no caso I de verão, com temperatura exterior e interior de 28 °C e velocidade do ar de insuflação de 2 e 3 m/s.....	48
Tabela 7.9- Concentração de dióxido de carbono na zona de respiração dos ocupantes, no caso I de inverno, com temperatura exterior e interior de 8 °C e velocidade do ar de insuflação de 2 e 3 m/s.....	51
Tabela 7.10- Concentração de dióxido de carbono na zona de respiração dos ocupantes, no caso I de primavera/outono, com temperatura exterior e interior de 18 °C e velocidade do ar de insuflação de 2 e 3 m/s.....	52
Tabela 7.11- Concentração de dióxido de carbono na zona de respiração dos ocupantes, no caso I de verão, com temperatura exterior e interior de 28 °C e velocidade do ar de insuflação de 2 e 3 m/s.....	52
Tabela 7.12- ADI no caso I de inverno, com temperatura do ar exterior e interior de 8 °C e velocidade de insuflação de 2 m/s.....	52
Tabela 7.13- ADI no caso I de primavera/outono, com temperatura do ar exterior e interior de 18 °C e velocidade de insuflação de 2 m/s.....	53
Tabela 7.14- ADI no caso I de verão, com temperatura do ar exterior e interior de 28 °C e velocidade de insuflação de 2 m/s.....	53

Tabela 7.15- Temperaturas das superfícies da câmara virtual.....	54
Tabela 7.16- Nível de conforto térmico. Caso II-A e II-B de inverno, com temperatura do ar exterior e interior de 8 °C e velocidade de entrada do ar exterior de 1 e 2 m/s. ....	67
Tabela 7.17- Nível de conforto térmico. Caso II-A e II-B de primavera/outono, com temperatura do ar exterior e interior de 18 °C e velocidade de entrada do ar exterior de 1 e 2 m/s. ....	67
Tabela 7.18- Nível de conforto térmico. Caso II-A e II-B de verão, com temperatura do ar exterior e interior de 28 °C e velocidade de entrada do ar exterior de 1 e 2 m/s. ....	68
Tabela 7.19- Concentração de dióxido de carbono na zona de respiração dos ocupantes. Caso II-A de inverno, com temperatura do ar exterior e interior de 8 °C e velocidade de entrada do ar de 1 e 2 m/s.....	73
Tabela 7.20- Concentração de dióxido de carbono na zona de respiração dos ocupantes. Caso II-A de primavera/outono, com temperatura do ar exterior e interior de 18 °C e velocidade de entrada do ar de 1 e 2 m/s. ....	73
Tabela 7.21- Concentração de dióxido de carbono na zona de respiração dos ocupantes. Caso II-A de verão, com temperatura do ar exterior e interior de 28 °C e velocidade de entrada do ar de 1 e 2 m/s.....	73
Tabela 7.22- ADI caso II de inverno, com temperatura do ar exterior e interior de 8 °C, temperatura do chão radiante de 29 °C e velocidade de entrada do ar de 1 e 2 m/s.....	74
Tabela 7.23- ADI no caso II de primavera/outono, temperatura do ar exterior e interior de 8 °C, temperatura do chão radiante de 29 °C e velocidade de entrada do ar de 1 e 2 m/s.....	74
Tabela 7.24- ADI no caso II de verão, temperatura do ar exterior e interior de 8 °C, com temperatura do chão radiante de 19 °C e velocidade de entrada do ar de 1 e 2 m/s.....	75
Tabela 7.25- Temperaturas das superfícies da câmara virtual.....	76
Tabela 7.26- Nível de conforto térmico. Caso III de inverno, com temperatura do ar exterior e interior de 8 °C e velocidade de entrada do ar exterior de 1 e 2 m/s. ....	80
Tabela 7.27- Nível de conforto térmico. Caso III de verão, com temperatura do ar exterior e interior de 28 °C e velocidade de entrada do ar de 1 e 2 m/s.....	81
Tabela 7.28- ADI no caso III de inverno, com temperatura do ar exterior e interior de 8 °C, temperatura das paredes de 50 °C e velocidade de insuflação do ar de 1 e 2 m/s. ....	84
Tabela 7.29- ADI no caso III de verão, com temperatura do ar exterior e interior de 28 °C, temperatura das paredes de 15 °C e velocidade do ar de 1 e 2 m/s. ....	84
Tabela 8.1- Energia nos sistemas de ventilação e superfícies radiantes, no verão.....	87
Tabela 8.2- Energia nos sistemas de ventilação e superfícies radiantes, no inverno e na primavera/outono.....	88



# 1. Estrutura do trabalho

O presente trabalho encontra-se estruturado em 11 capítulos, sendo que neste capítulo (capítulo 1) é definida a estrutura do mesmo. O capítulo 2 intitula-se de enquadramento geral e pretende fazer uma breve introdução sobre a necessidade de utilizar sistemas AVAC mais ecológicos e eficientes em espaços fechados e contextualizar o propósito da execução desta dissertação.

No capítulo 3 são descritos os objetivos desta dissertação. No capítulo 4 é feita uma abordagem à revisão bibliográfica, apresentando os sistemas de ventilação com e sem o sistema de aquecimento/arrefecimento que foram estudados ao longo deste trabalho, alguns dos processos de produção de energia renovável, o conforto térmico e o desconforto térmico local, a qualidade do ar interior e os índices que foram utilizados.

No capítulo 5 são descritos os modelos numéricos utilizados nesta dissertação e o acoplamento feito com esses modelos e os métodos numéricos, nomeadamente, o cálculo dos vários índices descritos no capítulo anterior (capítulo 4).

No capítulo 6 encontra-se uma demonstração da metodologia numérica utilizada com a aplicação dos modelos numéricos e a apresentação do caso de estudo, incluindo todos os casos de estudo com os diferentes sistemas de ventilação. No capítulo 7 os resultados obtidos dos casos de estudo são apresentados e é, também, feita a discussão dos mesmos.

O capítulo 8 elucida como utilizar as energias renováveis apresentadas no capítulo da revisão bibliográfica nos sistemas estudados de forma a economizar energia, isto é, nos sistemas de ventilação e no sistema radiante em que existe um consumo de energia para aquecer/arrefecer o espaço fechado.

No capítulo 9 são apresentadas as conclusões obtidas com a realização deste estudo de novos sistemas de ventilação com e sem sistemas de superfícies radiantes. No capítulo 10 segue-se um pequeno texto de sugestão para aplicações futuras.

E, por fim, no capítulo 11 é exposta a bibliografia consultada e utilizada na elaboração desta dissertação.

Seguidamente, são apresentados alguns anexos com informações complementares deste estudo.

## 2. Enquadramento geral

Existem várias fontes de poluição que tornam incómodo o ar existente dentro de espaços fechados. Algumas dessas fontes são os materiais de construção, os aparelhos eletrónicos bem como os próprios ocupantes e o ar que estes exalam que libertam inúmeros contaminantes para o ar. Devido à existência destes poluentes a qualidade de ar dos edifícios é reduzida causando sintomas do Síndrome do Edifício Doente (*Sick Building Syndrome*), como por exemplo o aumento de dores de cabeça, a diminuição da capacidade de pensar claramente e o desempenho dos ocupantes que estejam a trabalhar (Wargocki *et al.*, 1999).

Hoje em dia, para melhorar a qualidade do ar em edifícios e evitar os sintomas associados ao Síndrome do Edifício Doente nos indivíduos, são utilizados os sistemas AVAC (aquecimento, ventilação e ar condicionado), com o propósito de fornecer ar descontaminado e remover contaminantes gerados no interior dos edifícios (Awbi, 1998). Estes sistemas são empregues dado que a ventilação natural não é, por si só, suficiente para providenciar um conforto térmico aceitável, especialmente em climas mais quentes ou regiões húmidas, apesar de poder ser aproveitada juntamente com o funcionamento dos sistemas AVAC (Homod *et al.*, 2014).

Contudo, a utilização dos sistemas AVAC é responsável por um elevado consumo de energia, tornando-os dispendiosos, pelo que, cada vez mais são desenvolvidos estudos que exploram, por exemplo, reguladores inteligentes/óticos dos sistemas AVAC que permitem que o consumo de energia seja reduzido o máximo possível, sem prejudicar o conforto térmico dos ocupantes (Chinnakani *et al.*, 2011). Por outro lado, são realizados estudos que investigam o uso de novos tipos de sistemas AVAC que sejam mais eficientes energeticamente, isto é, que consumam menos energia e que, também, sejam mais eficientes do ponto de vista da qualidade do ar dos edifícios e do conforto térmico dos indivíduos (Melikov, 2004).

Destes estudos são exemplos o estudo de edifícios escolares em condições de inverno em que são avaliados a qualidade do ar e o conforto térmico dos ocupantes em diversas zonas dos edifícios e propostas soluções para o seu melhoramento (Conceição & Lúcio, 2008), o estudo de sistemas radiantes e cortinas expostas à radiação solar (Conceição & Lúcio, 2010a), o estudo de modelos com aplicação na gestão da energia dos edifícios (Ruano *et al.*, 2006; Ferreira *et al.*, 2012) e o estudo de sistemas como os jatos confluentes (Karimipannah *et al.*, 2005) e a ventilação personalizada (Melikov, 2004; Melikov *et al.*, 2007).

Para além dos problemas até então referidos, derivados da má qualidade do ar em espaços fechados, surge também, uma problemática em termos de conforto térmico e qualidade do ar interior para idosos. Isto acontece porque os indivíduos que se encontram na faixa etária igual ou superior a 60 anos tornam-se mais suscetíveis a complicações de saúde associadas à poluição do ar interior como problemas respiratórios (Mendes, 2014). No entanto, os sistemas AVAC podem ser prejudiciais para esses indivíduos visto que os seus sistemas imunológicos são mais fracos e os elevados caudais de ar renovado podem gerar correntes de ar, aumentando o risco de resfriamento dos mesmos. Dessa forma, será estudado um sistema de ventilação que permita melhorar a qualidade do ar interior sem que prejudique o conforto térmico de indivíduos séniores.

Assim sendo, neste trabalho serão estudados vários casos com novos sistemas de ventilação com e sem aquecimento/arrefecimento, de forma a verificar a sua eficiência em termos de conforto térmico e desconforto térmico local e qualidade do ar interior e utilizando, como fonte de energia, as energias renováveis (geotermia, energia solar, biomassa) de maneira a tornar estes sistemas energeticamente eficientes.

O conforto térmico e o desconforto térmico local serão definidos através de índices como o PMV (*Predicted Mean Vote*), o PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied People*) e o DR (*Draught Risk*) segundo a ISO 7730 e serão apresentados no decurso deste trabalho; e a qualidade do ar interior será avaliada pela concentração de dióxido de carbono presente na zona de respiração dos ocupantes. Para além destes índices também será apresentado o índice de distribuição do ar (ADI) que baseia-se nos níveis de conforto térmico, qualidade do ar interior e também na eficiência do sistema de ventilação. Estes índices serão determinados através de modelos numéricos como o modelo integral que simula a resposta térmica humana e o modelo diferencial que simula escoamentos internos com transmissão de calor e massa em regime turbulento, os quais também serão apresentados seguidamente neste trabalho. Em termos de aquecimento/arrefecimento dos espaços fechados o modelo numérico utilizado será o modelo integral que simula a resposta térmica dos edifícios.

### 3. Objetivos

Esta dissertação tem como objetivo o estudo de novos sistemas AVAC que sejam mais ecológicos e eficientes, em casos como uma sala de trabalho e/ou sala de convívio para indivíduos séniores. Esses sistemas denominam-se por sistemas de ventilação personalizada e condutas verticais, com e sem superfícies radiantes, em que será produzida energia para os sistemas de ventilação e para as superfícies radiantes através de energias renováveis como a geotermia, a biomassa e a energia solar. Estes sistemas serão utilizados em ensaios numéricos, através de modelos como o modelo integral que simula a resposta térmica humana, o modelo diferencial que simula escoamentos e o modelo integral que simula a resposta térmica em edifícios.

Este estudo tem, também, como intuito determinar quais os parâmetros ambientais, como por exemplo a velocidade do ar e a temperatura do ar, que promovem as condições ideais de conforto térmico e qualidade do ar interior para os indivíduos.

## 4. Revisão Bibliográfica

### 4.1 Sistema de ventilação personalizada

O conceito de ventilação personalizada tem sido introduzido nos últimos anos, sendo associado à introdução de fluxos de ar limpo na zona de respiração de cada indivíduo, a uma velocidade e turbulência baixas (Yang *et al.*, 2010). Este sistema de ventilação permite para poupar energia e proporcionar uma melhor qualidade do ar interior comparativamente com o conceito tradicional de ventilação não localizada (Conceição *et al.*, 2010a).

A temperatura do ar personalizado é, normalmente, inferior à temperatura do ar existente no interior de uma sala, de modo a melhorar a qualidade do ar, o que pode afetar o conforto térmico dos ocupantes. No entanto, uma parte integrante da ventilação personalizada é a possibilidade de ajuste individual, controlando a temperatura, a direção e a intensidade do fluxo de ar, o que permite abranger as grandes diferenças que existem entre os indivíduos no que diz respeito ao ambiente interior e as preferências de cada um (Kaczmarczyk *et al.*, 2006).

Dessa forma, a ventilação personalizada permite melhorar o conforto térmico dos ocupantes, a qualidade do ar interior, diminuir os sintomas do Síndrome do Edifício Doente e, conseqüentemente aumentar a produtividade dos indivíduos (Chen *et al.*, 2012).

Para comprovar as afirmações anteriores foram feitos estudos que avaliam a resposta humana à ventilação personalizada como é o caso de Melikov *et al.* (2013), Kaczmarczyk *et al.* (2006) e Chen *et al.* (2012) e outros estudos tendo por comparação diferentes tipos de ventilação, como o caso da ventilação de mistura, em que foi concluído que o sistema de ventilação personalizada melhorou a qualidade do ar interior e diminuiu os sintomas do Síndrome do Edifício Doente relativamente ao sistema de ventilação de mistura (Melikov, 2004). Por exemplo, num estudo de Kaczmarczyk *et al.* (2004) os resultados obtidos comprovaram que a percentagem de insatisfação dos indivíduos sofreu uma queda de 22% na ventilação de mistura para 7% na ventilação personalizada, para um espaço interior à temperatura de 23°C e de 49% para 20% a uma temperatura de 26°C.

Relativamente às entradas de ar deste sistema de ventilação, estas desempenham um papel muito importante na distribuição do ar em torno do corpo humano influenciando o conforto térmico dos ocupantes e a qualidade do ar interior. E, por estes motivos foram realizados vários estudos sobre a performance de diferentes entradas de ar (Melikov *et al.*, 2002).

Melikov *et al.* (2002) estudou cinco diferentes tipos de entradas de ar, designadamente o painel móvel (MP) que permite alterar a distância entre a entrada e o ocupante e a direção do fluxo de ar numa gama muito ampla, sendo este direcionado particularmente para a face do ocupante; o painel do monitor do computador (CMP) que se situa acima do monitor em frente do ocupante; a grelha de mesa vertical (VDG) e a grelha de mesa horizontal (HDG) que são posicionadas no limite de uma secretária e proporcionam, respetivamente, um fluxo vertical e horizontal de ar personalizado diretamente à zona de respiração do ocupante ou em direção ao corpo do mesmo; e, por fim, o modelo de ambientes pessoais (PEM), que consiste em duas aberturas colocadas nos limites de trás de uma secretária, originando dois jatos simétricos, que permitem também a alteração da direção do fluxo de ar (figura 4.1).

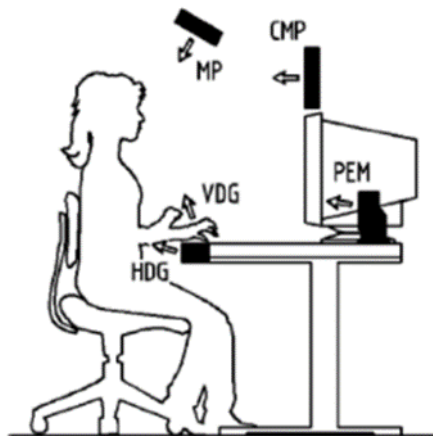


Figura 4.1- Entradas de ar da ventilação personalizada estudadas em Melikov *et al.*, 2002.

A performance ótima da maioria das entradas de ar não excedem os 50-60% de ar limpo em cada inalação. No entanto, estão a ser desenvolvidas entradas de ar que consigam proporcionar 100% de ar limpo e fresco em cada inalação (Melikov, 2004).

#### 4.2 Sistema de jatos confluentes

Os jatos confluentes têm sido usados em diferentes indústrias (meteorologia, engenharia industrial), mas só recentemente têm sido utilizados em sistemas de ventilação (Cho *et al.*, 2007).

Os jatos confluentes são jatos de ar que são projetados a uma velocidade elevada, comparativamente com os jatos provenientes de outros tipos de dispositivos de ventilação, sendo esta velocidade superior a 12 m/s (Karimipannah *et al.*, 2005). Estes jatos confluentes são projetados a partir de uma conduta onde existem aberturas circulares em uma ou, no

máximo, seis filas, as quais terminam a uma certa distância acima do chão (Karimipناه *et al.*, 2007).

Este método de distribuição de ar proporciona uma zona limpa na parte inferior da zona ocupada por indivíduos (figura 4.2) e apresenta uma maior eficiência na troca de ar, relativamente a outros sistemas de ventilação, como o sistema de mistura e o sistema de deslocamento. Para além disso, os jatos confluentes têm a vantagem de poder fornecer ar quente para a estação de inverno ou ar frio para o verão (Karimipناه *et al.*, 2005).

Contudo, no que diz respeito a espaços interiores de pequenas dimensões, as velocidades elevadas destes jatos confluentes podem causar desconforto térmico dos indivíduos devido à ocorrência de correntes de ar afetando, principalmente, indivíduos de uma faixa etária superior aos 60 anos.

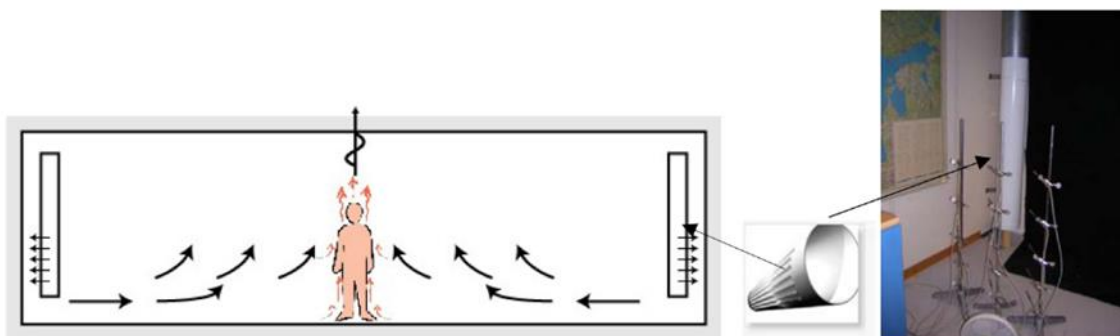


Figura 4.2- Jatos confluentes colocados nos cantos das paredes. (Fonte: Karimipناه *et al.*, 2005).

### 4.3 Sistema de superfícies radiantes

As superfícies radiantes consistem em pequenos tubos incorporados no interior das paredes, teto e/ou chão de um espaço fechado e um sistema de regulação térmica, onde flui água que pode ser quente ou fria, consoante a necessidade de aquecer ou arrefecer o espaço (Fontana, 2011).

Inicialmente, este sistema era apenas de aquecimento de superfícies, no entanto, a partir dos anos 80 surgiu, na Europa, um interesse especial por sistemas de arrefecimento radiante, pelo que uma solução óbvia seria a reconversão dos sistemas radiantes de aquecimento de forma a incluir o arrefecimento de espaços (Roríz, 2000).

O aquecimento/arrefecimento dessa água pode ser feito através de vários processos de produção de energia renovável que diminuem o consumo de energia do sistema. Estes processos serão descritos no subcapítulo seguinte.

O sistema de superfícies radiantes tem a vantagem de não ser necessário a presença de um aquecedor/ar-condicionado no compartimento que se deseja aquecer/arrefecer, evitando assim o movimento de partículas e a redução da qualidade do ar interior (Fontana, 2011).

Visto que tem crescido um grande interesse nestas soluções de aquecimento, têm sido feitos muitos estudos teóricos e experimentais, sendo estes concentrados, principalmente, na modelação e simulação destes sistemas, nas suas trocas de calor e no conforto térmico.

No entanto, estes estudos têm sido desenvolvidos, normalmente, em espaços vazios, sem mobília nem acessórios. Mas, na verdade, a presença de mobília pode ter influência, devido às trocas de calor no interior do espaço, convectivas e radiantes, alterando assim a efetividade do sistema (Fontana, 2011).

#### 4.4 Produção de energia renovável

Existem inúmeras fontes de produção de energia renovável que podem garantir a redução do consumo energético nos edifícios. Dessas fontes destacam-se a geotermia, a energia solar (coletores solares e ar-condicionado solar), a biomassa, entre outras.

##### 4.4.1 Geotermia

A geotermia é, resumidamente, o calor natural do planeta Terra que é gerado e armazenado no interior da Terra.

O calor é transferido a partir do interior na direção da superfície principalmente por condução, e este fluxo de calor por condução faz com que as temperaturas aumentem com o aumento da profundidade na crosta em média de 25-30 °C/km (Fridleifsson, 1996).

A energia geotérmica tem sido produzida comercialmente há 100 anos e há cinco décadas tem sido utilizada para geração de eletricidade e uso direto (Fridleifsson, 2003). No entanto, apenas o uso direto pode usar os recursos geotérmicos de alta e baixa temperatura, o que levou a uma maior propagação em todo mundo, em relação à produção de energia.

O uso direto da energia geotérmica pode ir desde banhos/natação (42%), aquecimento e arrefecimento de espaços (35%), estufas (9%), indústria (6%) e piscicultura (6%). (Fridleifsson, 2001).

A geotermia até muito recentemente tinha potencial económico apenas em áreas em que se encontrava água ou vapor termal a profundidades inferiores a 3 km. Contudo, após o

desenvolvimento de bombas de calor geotérmicas, que usam a Terra como fonte de calor para aquecer ou como dissipador de calor para arrefecer espaços, tornou-se possível para todos os países usufruírem da geotermia visto que estas bombas podem ser instaladas praticamente em todo o lado (Fridleifsson, 2001).

Alguns exemplos da aplicação desta energia podem ser analisados em Johnston *et al.* (2011), Kim *et al.* (2014) e Milenic *et al.* (2010).

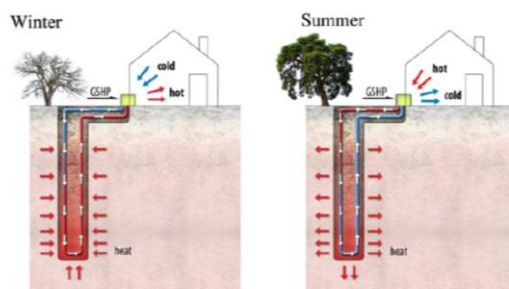


Figura 4.3-Esquema de um sistema de aquecimento e arrefecimento através de geotermia (não se encontra à escala). (Fonte: Johnston *et al.*, 2011).

#### 4.4.2 Energia solar

##### 4.4.2.1 Coletores solares

Os coletores solares são dispositivos que recebem energia proveniente do sol, armazenando-a e transformando-a em energia térmica, a qual aquece o fluido que circula no interior dos coletores através de tubos.

Existem vários tipos de coletores solares, no entanto, o tipo mais utilizado em habitações é o coletor solar plano com cobertura que atinge temperaturas até 60 °C.

O coletor solar plano é constituído por uma ou mais coberturas, por uma superfície absorvedora, fixada numa caixa estanque, que transfere a energia acumulada para o fluido circulante. Para além disso, o coletor também possui um isolamento posterior e lateral de modo a evitar as perdas de calor e um permutador de calor (Lourenço, 2012).

Por outro lado, também existem os coletores de tubos de vácuo e os coletores do tipo CPC:

Os coletores de tubos de vácuo são coletores em que os tubos são de vidro transparentes e que no seu interior contêm superfícies que absorvem a radiação solar incidente. No espaço entre o tubo de vidro e a superfície absorvedora existe vácuo de forma a eliminar as perdas

de calor e aumentando o rendimento do sistema. O funcionamento deste tipo de coletor permite obter temperaturas até 120 °C, e por isso são utilizados em processos industriais (Lourenço, 2012).

Os coletores tipo CPC permitem concentrar a radiação captada devido à presença de refletores, direcionando-a para uma alheta que está em contacto com o tubo onde circula o fluido que se pretende aquecer. Este sistema permite atingir temperaturas superiores a 70 °C e por isso pode ser usado em processos industriais mas também domésticos (Lourenço, 2012).

#### 4.4.2.2 Ar-condicionado solar

O ar-condicionado solar é um sistema de refrigeração que utiliza a energia solar para arrefecimento de espaços.

A refrigeração solar tem-se tornado cada vez mais importante. O arrefecimento pode ser atingido através de dois métodos: o primeiro método baseia-se em painéis fotovoltaicos em que a energia solar é convertida em energia elétrica; o segundo método utiliza um sistema de refrigeração térmica solar em que a água que circula num coletor solar aquece uma mistura de refrigerante, como por exemplo o amoníaco, e água através de tubos (Ullah *et al.*, 2013).

O esquema que se encontra na figura 4.4 representa o método de absorção de calor para refrigeração.

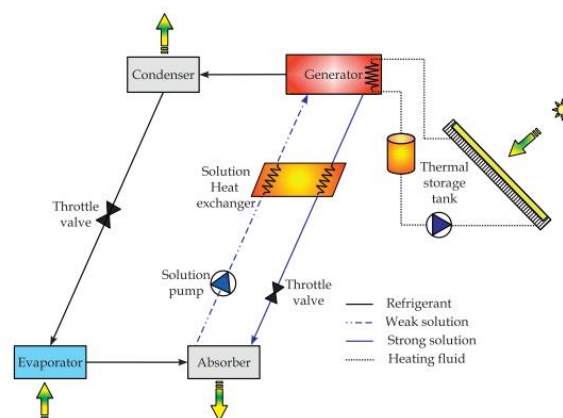


Figura 4.4-Esquema do método de absorção de calor para refrigeração. (Fonte: Hassan & Mohamad, 2012).

Este método ocorre na presença de amoníaco que sai do condensador e entra no evaporador, o qual é evaporado na presença de H<sub>2</sub> (g) a baixa temperatura. Ambos os componentes seguem para o absorvedor onde se misturam com uma solução diluída de água-

amoníaco proveniente do separador. A água absorve o vapor da amónia tornando a solução mais concentrada.

O amoníaco e o H<sub>2</sub>, ambos em estado gasoso, passam para o absorvedor onde se misturam com uma solução diluída de água-amoníaco proveniente do separador. A água absorve o vapor da amónia tornando a solução mais concentrada. O gás H<sub>2</sub> separa-se da solução e volta ao evaporador. A solução concentrada do amoníaco passa para o gerador, onde o calor fornecido a partir do coletor solar é adicionado ao gerador de modo a permitir a separação da amónia a partir do fluido absorvente, sendo depois conduzida até ao separador. A mistura proveniente do vapor e a solução diluída de amoníaco regressa ao absorvedor. O vapor de amoníaco que se encontra no separador entra no condensador, onde é condensado e regressa ao evaporador (Rathore, 2010; Hassan & Mohamad, 2012).

Quando o vapor amoníaco chega ao evaporador, começa a evaporar originando um efeito de arrefecimento para o meio envolvente (Althouse, *et al.*, 2004; Wang, 2000).

#### 4.4.3 Biomassa

A biomassa é uma fonte de energia que representa cerca de 35% da energia fornecida em países em desenvolvimento. Os principais recursos da biomassa são os resíduos de madeira, resíduos de animais, culturas de açúcar, amido, entre outros (Mihalakakou *et al.*, 2002).

Existem três maneiras possíveis de utilizar a biomassa. Primeiro, a biomassa pode ser queimada de forma a produzir calor e eletricidade; segundo, pode ser alterada em gás semelhante aos combustíveis, como o metano, hidrogénio e monóxido de carbono; e terceiro, a biomassa pode ser alterada para um combustível líquido. Estes combustíveis, chamados também de biocombustíveis, incluem principalmente duas formas de álcool, o etanol e o metanol (Demirbas, 2005).

O uso da biomassa como combustível renovável, através de tecnologias de conversão de biomassa modernas, permite diminuir as emissões de gases de efeito de estufa (Cardozo *et al.*, 2014).

Uma das particularidades do uso da biomassa é que pode ser queimada para produzir calor para aquecer espaços interiores.

A combustão direta da biomassa para produção de eletricidade está a tornar-se um método muito promissor, sendo esta responsável por mais de 97% da produção de bioenergia em todo o mundo (Demirbas, 2005).

A bioenergia pode ser uma alternativa muito importante no fornecimento de energia sustentável, sendo que o crescente interesse pela bioenergia deriva de fatores como: a sua contribuição na redução da pobreza nos países em desenvolvimento; fornece energia sem a necessidade de dispositivos de conversão caros; fornece energia de várias maneiras como combustíveis líquidos, gasosos e eletricidade; consome o dióxido de carbono que liberta e pode até mesmo remover carbono da atmosfera; e ajuda a restaurar terras inférteis e degradadas, aumentando a biodiversidade, a fertilidade do solo e a retenção de água (Demirbas *et al.*, 2009).

#### 4.5 Conforto térmico e desconforto térmico local

Segundo a Organização Mundial de Saúde, o conceito de conforto térmico é uma “condição em que as pessoas estão satisfeitas com o ambiente térmico envolvente” e, para além disso declara que “a saúde é um estado completo de bem-estar físico, mental e social, e não meramente a ausência de doença ou enfermidade” (Fabbri, 2013).

O conforto térmico varia de acordo com inúmeros aspetos físicos, psicológicos e fisionómicos, estando relacionado principalmente com o balanço térmico do corpo de um indivíduo, como um todo. Este balanço é influenciado por parâmetros individuais como a atividade física e o vestuário, e por parâmetros ambientais, nomeadamente a temperatura do ar, a temperatura média radiante, a velocidade do ar e a humidade do ar. Após a determinação destes parâmetros torna-se possível prever o conforto térmico de indivíduos calculando o índice PMV (*Predicted Mean Vote*) (Atthajariyakul & Leephakpreeda, 2005).

Por outro lado, o desconforto térmico é determinado através do índice PPD (*Predicted Percentage Dissatisfied*) sendo que este índice prevê a percentagem de pessoas insatisfeitas em relação à temperatura de um certo ambiente e pode ser obtido através do PMV.

O desconforto térmico pode ser provocado, não só pelo facto dos indivíduos se sentirem demasiado quentes ou demasiado frios, mas também por um desconforto local, isto é, numa região específica do corpo. Estes desconfortos térmicos locais podem surgir de fatores como a assimetria da temperatura radiante, o resfriamento devido ao movimento do ar a partir de ventiladores, a intensidade de turbulência, a diferença vertical da temperatura do ar entre a cabeça e os tornozelos, e os pavimentos quentes ou frios, e ocorrem sobretudo em indivíduos com baixa atividade física (Ormandy & Ezratty, 2012). Os indivíduos com elevados níveis

de atividade, por serem menos sensíveis à temperatura, têm um risco de desconforto local menor (ISO 7730, 2005).

O desconforto térmico local pode ser determinado através de um índice de resfriamento, o índice DR (*Draught Risk*). Este índice expressa uma percentagem previsível de pessoas sujeitas ao risco de resfriamento, dependendo dos fatores acima descritos.

Na tabela seguinte são apresentadas as categorias de ambiente térmico e os requisitos necessários para cada uma das categorias.

Tabela 4.1- Categorias de ambiente térmico, segundo a ISO 7730.

Categoria	Sensação térmica do corpo como um todo		Desconforto térmico local
	PMV	PPD (%)	DR (%)
A	$-0,2 < PMV < +0,2$	$<6$	$<10$
B	$-0,5 < PMV < +0,5$	$<10$	$<20$
C	$-0,7 < PMV < +0,7$	$<15$	$<30$

No capítulo 5 serão abordados os índices referidos nos parágrafos anteriores, utilizados para o cálculo e avaliação das condições de conforto e desconforto térmico local e será apresentada a forma como estes são determinados.

#### 4.6 Qualidade do ar interior

Para avaliar a qualidade do ar interior utiliza-se o indicador da concentração de dióxido de carbono que é libertada pelos ocupantes e que é medida na zona de respiração dos mesmos.

Segundo o Decreto-Lei nº 79/2006 de 4 de Abril e a ANSI/ASHRAE Standard 62.1, 2004 verifica-se que a concentração máxima de referência do dióxido de carbono no interior dos edifícios é de  $1800 \text{ mg/m}^3$ . Nesses mesmos documentos podem ser consultadas as concentrações máximas de outros parâmetros que são considerados na qualidade do ar no interior dos edifícios como o monóxido de carbono, ozono, compostos orgânicos voláteis totais, entre outros.

Visto que cada vez a população passa mais tempo em espaços fechados, o tema da qualidade do ar interior tem-se revelado de grande importância e têm sido realizados inúmeros estudos.

Em Karimipannah *et al.* (2007) foram efetuadas medições da concentração do gás traçador para diferentes condições térmicas, tendo o objetivo de estudar o ambiente dentro de uma sala de aula através da utilização do sistema de ventilação de jatos confluentes.

Em Melikov *et al.* (2002) foi analisada a qualidade do ar na avaliação de diferentes entradas de ar de ventilação personalizada, utilizando um manequim para simular um indivíduo durante a realização de medições experimentais. O gás traçador foi utilizado para identificar a quantidade de ar personalizado utilizado na respiração pelo manequim, assim como a quantidade de ar expirado que é, novamente, inspirado.

#### 4.7 Índice de distribuição de ar (ADI)

O índice de distribuição de ar (ADI) baseia-se nos níveis de conforto térmico e qualidade do ar interior e também na noção da eficiência da ventilação. Para o nível de conforto térmico é empregado o conceito de percentagem previsível de pessoas insatisfeitas (PPD- *predicted percentage of dissatisfied*) e para o nível de qualidade do ar interior é utilizado o conceito de percentagem de pessoas insatisfeitas (PD- *percentage of dissatisfied*). No que diz respeito à eficiência de ventilação, este conceito é utilizado para a remoção de calor e contaminantes. Este índice permite obter informações importantes sobre o desempenho do sistema de ventilação usado, bem como comparações entre diferentes sistemas, diferentes taxas de fluxo de ar e diferentes características de fluxo de ar (Awbi, 2003; Conceição *et al.*, 2012).

Este conceito do índice de distribuição do ar foi, inicialmente, desenvolvido para ambientes uniformes por Awbi (2003). Contudo, em Conceição *et al.* (2012) este índice foi adaptado para ambientes não uniformes.

## 5. Modelos e métodos numéricos

A medição real é, sem dúvida, o método mais viável para providenciar uma descrição mais exata da qualidade do ar interior, no entanto, este método implica custos muito elevados e é um processo demorado (Yang *et al.*, 2014). Dessa forma, os modelos e os métodos numéricos tornaram-se uma ferramenta essencial, pois através da simulação numérica é possível analisar vários cenários e, posteriormente, realizar-se a escolha do caso ideal a aplicar em prática.

### 5.1 Modelo numérico diferencial de simulação de escoamentos

O modelo numérico *Computational Fluid Dynamics* (CFD) é dos modelos mais utilizados para simular e avaliar a qualidade do ar interior. Este modelo simula escoamentos turbulentos com transmissão de calor e massa tridimensionalmente, em regime estacionário e em condições não isotérmicas, no interior de um espaço ocupado em coordenadas cartesianas, permitindo determinar a velocidade do ar, a temperatura do ar, a energia cinética turbulenta e a taxa de dissipação de energia turbulenta num espaço ocupado (Conceição *et al.*, 2008).

Neste modelo o algoritmo SIMPLE (Semi-Implicit Method for Pressure-Linked Equations) é utilizado para determinar as equações de velocidade e pressão, e na resolução de sistemas de equações é utilizado o método iterativo TDMA (Tri-Diagonal Matrix Algorithm). Na discretização de equações diferenciais parciais é utilizado o método dos volumes finitos. Na geração de malha neste modelo é utilizada uma metodologia não uniforme. Na modelação turbulenta foi usado o modelo de turbulência RNG (Patankar, 1980).

### 5.2 Modelo numérico integral de simulação da resposta térmica humana

O modelo *Human Thermal Comfort* é um modelo numérico que simula a resposta térmica humana e é utilizado para avaliar o nível de conforto térmico a que cada indivíduo está sujeito, a temperatura do corpo humano, a temperatura do vestuário e os campos de vapor de água na pele e no vestuário dos indivíduos (Conceição *et al.*, 2014). Este modelo trabalha em condições de regime transitório e regime permanente e é dividido em quatro partes, as quais designam-se por sistema térmico do corpo humano, sistema térmico do vestuário, sistema termo-regulador e conforto térmico (Conceição *et al.*, 2010b).

A resposta térmica do corpo humano e a resposta térmica do vestuário baseiam-se em equações de balanço de energia e de balanço de massa. A resposta térmica do corpo humano é baseada nas equações integrais de balanço de energia para as camadas de tecido humano e sangue arterial e venoso, e equações integrais de balanço de massa para o sangue e para o vapor de água à superfície da pele. A resposta térmica do vestuário é, também, baseada em equações integrais de balanço de energia para as camadas de vestuário e equações integrais de balanço de massa para o vapor de água no vestuário (Conceição *et al.*, 2006).

Na resolução destes sistemas de equações é utilizado o método Runge-Kutta-Fehlberg. O sistema termo-regulador, usado para controlar a temperatura do corpo humano é baseado no modelo numérico Stolwijk (1970). Relativamente à avaliação do nível de conforto térmico em regime permanente, esta é feita através dos índices PMV e PPD (Conceição *et al.*, 2010b).

Para validar o modelo numérico, foi feita uma comparação entre os dados experimentais e os valores numéricos dos coeficientes convectivos e radioativos, fluxos de calor e massa, campo de temperatura e dos índices de conforto (Conceição *et al.*, 2010b).

Neste modelo o corpo humano é dividido em 25 elementos, compostos por 24 cilindros e 1 uma esfera. Por outro lado, cada um dos 25 elementos é dividido em 4 partes, isto é, centro, músculo, gordura e pele, e subdividido em várias camadas, podendo ainda ser protegido do ambiente exterior devido a camadas de vestuário. Relativamente ao centro, este é dividido numa camada, o músculo é dividido em duas camadas, a gordura em duas camadas, e a pele é dividida em sete camadas.

Os 25 elementos denominam-se por cabeça, pescoço, peito, abdómen superior, abdómen inferior, ombro superior direito, ombro inferior direito, braço superior direito, braço inferior direito, mão direita, ombro superior esquerdo, ombro inferior esquerdo, braço superior esquerdo, braço inferior esquerdo, mão esquerda, coxa superior direita, coxa inferior direita, perna superior direita, perna inferior direita, pé direito, coxa superior esquerda, coxa inferior esquerda, perna superior esquerda, perna inferior esquerda, pé esquerdo (figura 5.1) (Conceição & Lúcio, 2011).

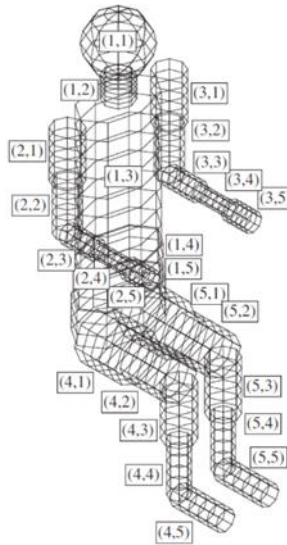


Figura 5.1- Esquema do corpo humano, dividido em 25 elementos numerados.

### 5.3 Modelo numérico integral de simulação da resposta térmica em edifícios

O modelo numérico integral que simula a resposta térmica em edifícios baseia-se em equações integrais de balanço de energia e de balanço de massa e trabalha em estado estacionário e condições transitórias. As equações integrais consideram fenómenos de condução, convecção, radiação e transferência de massa. O sistema é resolvido através do método Runge-Kutta-Fehlberg com controlo de erro (Conceição & Lúcio, 2008).

Este modelo é utilizado para avaliar a temperatura das superfícies dos edifícios (opacas e transparentes), e avaliar também a temperatura média do ar interior, temperaturas de coletores solares e temperatura da água no interior de condutas em edifícios. Esta avaliação tem o intuito de aumentar o conforto térmico dos ocupantes e reduzir o consumo de energia dos edifícios (Ruano *et al.*, 2006).

As equações integrais de balanço de energia são desenvolvidas para o ar interior, para as superfícies opacas e transparentes dos edifícios (paredes e janelas), e para as superfícies existentes dentro dos compartimentos, como por exemplo, mesas.

As equações integrais de balanço de massa são desenvolvidas para o vapor de água e os contaminantes no interior dos compartimentos (Conceição & Lúcio, 2010b).

As equações integrais de balanço de energia desenvolvidas e utilizadas neste trabalho podem ser consultadas no anexo 1, nomeadamente para as superfícies opacas e para o ar interior.

## 5.4 Acoplamento dos modelos numéricos

No presente trabalho efetuou-se um acoplamento dos três modelos numéricos mencionados anteriormente, os quais designam-se por modelo numérico diferencial de simulação de escoamentos, modelo numérico integral de simulação da resposta térmica em edifícios e modelo numérico integral de simulação da resposta térmica humana.

A junção destes modelos envolve a determinação de variáveis como a temperatura do ar, a velocidade do ar, a intensidade de turbulência do ar e o risco de resfriamento através do modelo numérico diferencial de simulação de escoamentos e, por outro lado, de variáveis como a temperatura de superfícies transparentes e opacas, a temperatura média do ar interior, a temperatura de coletores solares e a temperatura da água no interior de condutas através do modelo numérico integral de simulação da resposta térmica em edifícios. Seguidamente, e utilizando os dados obtidos pelos modelos anteriores, torna-se possível avaliar o nível de conforto térmico com o modelo numérico integral de simulação da resposta térmica humana. Para além do conforto térmico, este modelo avalia também parâmetros como a temperatura da pele do corpo dos ocupantes, a temperatura do vestuário dos mesmos e os campos de vapor de água.

Por fim, e com os dados obtidos anteriormente, é feita uma avaliação da qualidade do ar interior com a concentração de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e do índice de distribuição do ar (ADI) através do modelo numérico diferencial de simulação de escoamentos.

## 5.5 Cálculo do PMV e PPD

O conforto térmico é avaliado através de índices como o PMV (*Predicted Mean Vote*) e o PPD (*Predicted Percentage Dissatisfied*). Esta avaliação do conforto térmico é descrita na ISO 7730 (Zhang *et al.*, 2013), sendo que esta ISO é um documento que especifica os métodos utilizados na medição e avaliação de ambientes térmicos aos quais os indivíduos são expostos (ISO 7730, 2005).

O índice PMV prevê um valor médio dos votos de um grupo de indivíduos em relação à temperatura numa escala de sensação térmica com sete níveis (+3= muito quente; +2= quente; +1= ligeiramente quente; 0= neutro; -1= ligeiramente frio; -2= frio; -3= muito frio). Por outro lado, o índice PPD prevê a percentagem de indivíduos insatisfeitos com a temperatura do ar interior. Essa percentagem abrange os indivíduos que se sentem demasiado

quentes e demasiado frios (Olesen, 2002; Yau & Chew, 2014), e é calculada através da equação 5.1 após serem conhecidos os valores de PMV.

$$PPD = 100 - 95 \times e^{(-0.3353 \times PMV^4 - 0,2179 \times PMV^2)} \quad (5.1)$$

Dessa forma, considera-se que os valores do índice PPD variam em função dos valores do índice PMV (figura 5.2) (ISO 7730, 2005).

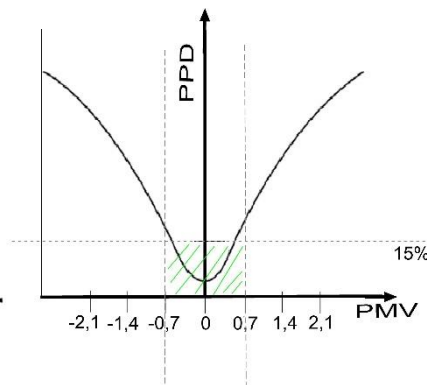


Figura 5.2- Valores percentuais de PPD em função dos valores de PMV, segundo a ISO 7730.

### 5.6 Cálculo do DR

O desconforto térmico local é provocado por vários fatores que já foram mencionados no capítulo anterior, no entanto, o fator principal tem por nome resfriamento. Fator este que pode ser determinado através do índice DR (*Draught Risk*) que representa a percentagem de indivíduos que podem ser incomodados pelo resfriamento. As condições associadas a este índice dependem da temperatura do ar local ( $t_{a,l}$ ), a velocidade do ar local ( $v_{a,l}$ ) e a intensidade de turbulência do ar local ( $Tu$ ) (Conceição *et al.*, 2009). Estes parâmetros integram a equação (5.2) que calcula o DR (ISO 7730, 2005).

$$DR = (34 - t_{a,l})(v_{a,l} - 0,05)^{0,62} (0,37 \times v_{a,l} \times Tu + 3,14) \quad (5.2)$$

Para condições aceitáveis de conforto térmico, a ISO 7730 define três categorias de conforto (A, B e C), e estabelece limites para os índices de PMV e PPD (Conceição *et al.*, 2009). Cada categoria estabelece uma percentagem de insatisfação por parte dos indivíduos, isto é, a categoria A corresponde a 6% de indivíduos insatisfeitos, enquanto a categoria B

corresponde a 10% de indivíduos insatisfeitos e a categoria C corresponde a 15% de indivíduos insatisfeitos, como já foi apresentado no capítulo anterior (ISO 7730, 2005).

### 5.7 Cálculo do ADI

O índice de distribuição do ar é avaliado em função do número de conforto térmico ( $N_{TC}$ ) e do número da qualidade do ar ( $N_{AQ}$ ). Desse modo, o índice ADI é calculado através da equação 5.3 (Awbi, 2003; Conceição *et al.*, 2012).

$$ADI = \sqrt{N_{TC} \times N_{AQ}} \quad (5.3)$$

#### Número de conforto térmico

Por outro lado, o número do conforto térmico é avaliado pela equação 5.4.

$$N_{TC} = \frac{\varepsilon_{TC}}{PPD} \quad (5.4)$$

Em que:

$\varepsilon_{TC}$  é a eficiência de remoção de calor;

PPD é a percentagem previsível de pessoas insatisfeitas.

A percentagem previsível de pessoas insatisfeitas é avaliada através do modelo numérico termofisiológico (modelo numérico de simulação da resposta térmica humana) e a eficiência de remoção de calor é calculada utilizando a equação 5.5.

$$\varepsilon_{TC} = \frac{T_0 - T_i}{T_{body} - T_i} \quad (5.5)$$

Em que:

$T_0$  é a temperatura do ar no difusor de exaustão;

$T_i$  é a temperatura do ar no difusor de alimentação ou temperatura da superfície radiante interna utilizada como referência;

$T_{body}$  é a temperatura média do ar em torno do corpo humano, a qual é obtida através da equação 5.6:

$$T_{body} = \frac{1}{A_{body}} \sum_j T_{body_j} A_{body_j} \quad (5.6)$$

Em que:

$T_{bodyj}$  é a temperatura do ar em torno do corpo humano na secção j;

$A_{body}$  é a área total externa do corpo humano;

$A_{bodyj}$  a área total externa do corpo humano na secção j;

j é a secção do corpo humano.

### Qualidade do ar

O número da qualidade do ar é calculado através da equação 5.7.

$$N_{AQ} = \frac{\varepsilon_{AQ}}{PD} \quad (5.7)$$

Em que:

$\varepsilon_{AQ}$  é a eficiência de remoção de contaminantes;

PD é a percentagem de insatisfação com a qualidade do ar interior;

A percentagem da insatisfação associada à taxa de fluxo de ar é calculada através da equação 5.8:

$$PD = 395e^{(-1,83V^{0,25})} \quad (5.8)$$

Em que:

V é a taxa de ventilação por ocupante.

## 6. Metodologia numérica

Neste trabalho foram estudados vários casos dos quais foram efetuadas simulações numa câmara virtual de dimensão  $2,4 \times 2,7 \times 2,4$  m<sup>3</sup>. O primeiro caso incorpora o sistema de ventilação personalizada utilizado para estudantes e os restantes casos integram o sistema de condutas verticais com e sem superfícies radiantes usados para séniores.

Este sistema de condutas verticais surgiu do princípio do sistema de jatos confluentes, no entanto, diferem pela velocidade do ar que é injetado e pelas aberturas existentes nos tubos. Ao contrário dos jatos confluentes, as condutas verticais injetam ar a baixas velocidades e têm uma única abertura retangular ao longo dos tubos de maiores dimensões do que nos jatos confluentes. Esta adaptação dos jatos confluentes para condutas verticais surge devido aos elevados riscos de resfriamento e aos baixos níveis de PMV que as velocidades de ar mais elevadas causam aos indivíduos, especialmente neste caso em que, como a câmara virtual tem pequenas dimensões, os jatos horizontais iriam embater uns nos outros e provocar uma corrente de ar nas costas dos indivíduos.

### 6.1 Ventilação personalizada

O caso referente à utilização do sistema de ventilação personalizada baseia-se na simulação de um trabalho de grupo entre estudantes, dentro da câmara virtual, entre quatro indivíduos virtuais sentados ao redor de uma mesa de trabalho virtual e com sistemas de ventilação personalizada virtuais direcionados para cada um dos indivíduos, na qual a exaustão localiza-se no centro do teto (figura 6.1 e anexo 2).

Este caso surgiu após a realização de um caso preliminar em que foram realizadas simulações numéricas com apenas um indivíduo, para determinar a geometria ideal do sistema de ventilação (figura 6.1) e para, posteriormente, se efetuarem os ensaios numéricos simulando um trabalho de grupo entre estudantes em salas/bibliotecas.

Os tubos da ventilação personalizada têm um diâmetro de 0,10 metros. As entradas inferiores estão a uma distância do chão de 0,40 metros e as entradas superiores estão a uma distância de 0,95 metros; e as entradas têm uma distância de 0,25 metros entre si.

#### 6.1.1 Parâmetros ambientais e pessoais

O caso da ventilação personalizada foi estudado para as estações de inverno, primavera/outono e verão a várias temperaturas do ar e com diferentes velocidades de ar

injetado por este sistema de ventilação. No presente trabalho serão apresentados apenas os casos que oferecem melhores condições de conforto térmico e qualidade do ar interior, de acordo com a temperatura do ar e a velocidade de entrada do ar admitidas. Nos indivíduos, o nível de vestuário, em unidades clo, foi escolhido conforme a estação de inverno, primavera/outono e verão.

Na tabela 6.1 podem ser observados os parâmetros ambientais escolhidos para as simulações efetuadas com a ventilação personalizada, nomeadamente as temperaturas do ar exterior e interior e a velocidade de entrada do ar do sistema de ventilação personalizada; e os parâmetros pessoais, nomeadamente o nível de vestuário dos indivíduos.

Tabela 6.1- Definição dos parâmetros ambientais e pessoais utilizados nas simulações efetuadas com ventilação personalizada.

	Temperatura do ar exterior (°C)	Temperatura do ar interior (°C)	Velocidade do ar na ventilação personalizada (m/s)	Nível de vestuário dos indivíduos (clo)
<b>inverno</b>	8	18	4	1
<b>primavera/outono</b>	18	22	5	0,8
<b>verão</b>	28	26	5	0,3

### 6.1.2 Esquema real da câmara

Neste trabalho foram desenvolvidos, em desenho assistido por computador, os projetos do caso preliminar e do caso estudados com o sistema de ventilação personalizada. Na figura 6.1 a) está representado o caso preliminar, apenas com um indivíduo, o qual foi utilizado apenas para determinar a estrutura deste sistema de ventilação e na figura 6.1 b) está representado o caso que simula um trabalho de grupo entre quatro indivíduos e com os quatro sistemas de ventilação personalizada.

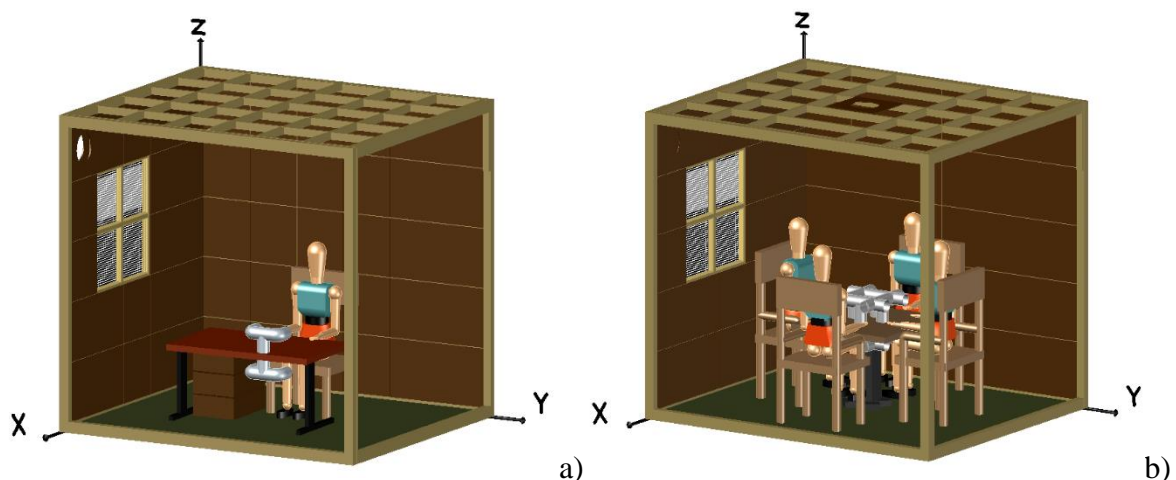


Figura 6.1- Projeto da câmara virtual equipada com ventilação personalizada, a) caso preliminar e b) caso estudado.

### 6.1.3 Discretização da malha da simulação numérica de escoamentos

No que diz respeito ao modelo numérico diferencial que simula escoamentos internos com transmissão de calor e massa em regime turbulento foi considerada uma malha não uniforme com uma dimensão de  $152 \times 158 \times 110$ . Os planos escolhidos para análise do escoamento em torno dos ocupantes podem ser consultados na figura 6.3. Na figura 6.4 encontra-se a representação pormenorizada dos obstáculos.

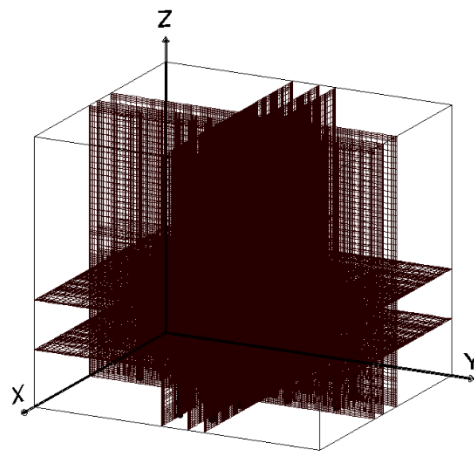


Figura 6.2- Geração de malha não uniforme com planos, através do modelo de simulação numérica de escoamentos, com o sistema de ventilação personalizada.

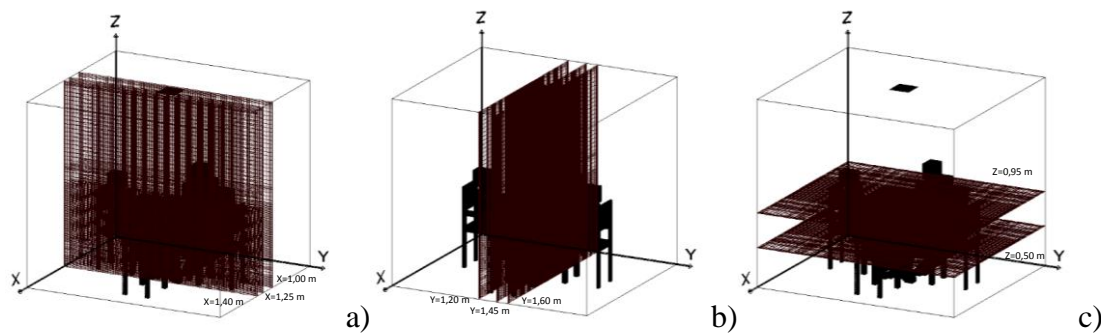


Figura 6.3- Geração de malha não uniforme através do modelo de simulação numérica de escoamentos. Representação do caso de ventilação personalizada em a) planos no eixo do X, b) planos no eixo do Y e c) planos no eixo do Z.

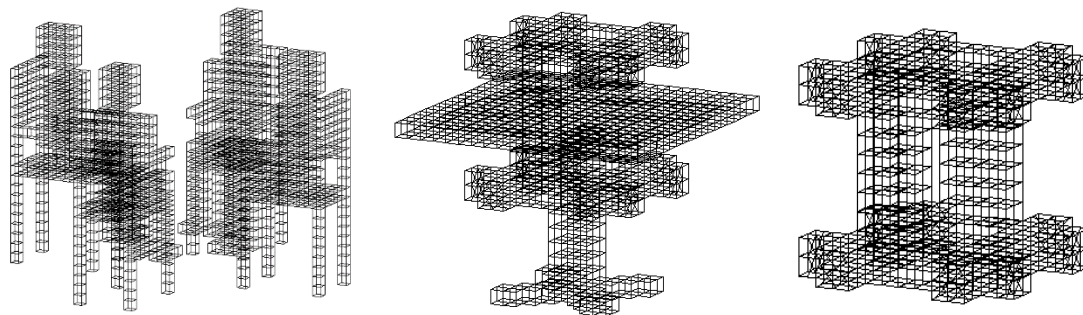


Figura 6.4- Representação dos obstáculos gerados através do modelo de simulação numérica de escoamentos, a) ocupantes, b) mesa e ventilação personalizada e c) ventilação personalizada.

#### 6.1.4 Discretização da malha da resposta térmica humana

No modelo numérico integral que simula a resposta térmica humana os indivíduos virtuais são definidos com 1,70 metros de altura e 70 kg de peso.

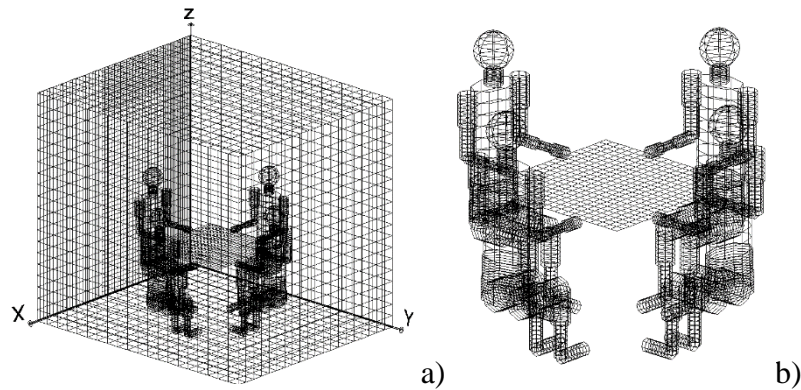


Figura 6.5- a) Geração de malha através do modelo numérico de resposta térmica humana e b) Representação dos ocupantes.

#### 6.2 Condutas verticais com e sem superfícies radiantes

Neste trabalho, para além do estudo de um caso com o sistema de ventilação personalizada, também foram estudados três casos com o sistema de ventilação de condutas verticais, com jatos de ar horizontais, com e sem o sistema de superfícies radiantes, os quais são direcionados para indivíduos de uma faixa etária a partir dos 60 anos (anexo 2).

Estes casos simulam uma sala de convívio para séniores, em que estão presentes quatro indivíduos virtuais sentados em quatro cadeiras virtuais ao redor de uma secretária virtual, e o sistema de ventilação de condutas verticais virtual localizado nos cantos do compartimento com 0,15 metros de diâmetro. As entradas de ar foram colocadas a uma altura de 0,15 metros até 1,70 metros, e com uma largura de 0,05 metros. Os três casos apresentam características diferentes entre si, as quais são:

- Caso I: Exaustão virtual situada no teto do compartimento (figura 6.6 a). Estações de inverno, primavera/outono e verão.
- Caso II: Conduta para exaustão a 1,70 metros de altura, próxima da zona de respiração dos indivíduos (figura 6.6 b). Caso II-A: sem chão radiante; Caso II-B: com chão radiante. Estações de inverno, primavera/outono e verão.
- Caso III: Conduta para exaustão a 1,70 metros de altura, próxima da zona de respiração dos indivíduos e paredes radiantes. Estações de inverno e verão.

No caso II a introdução da exaustão personalizada permite remover, com maior eficiência, os contaminantes da câmara, nomeadamente, o dióxido de carbono expirado pelos ocupantes. As superfícies radiantes foram introduzidas para verificar se o conforto térmico é melhorado, após se efetuar a comparação entre o caso II-A e o caso II-B.

O caso III foi estudado nas estações de inverno e verão, de forma a comparar o conforto térmico obtido através da utilização das paredes que estão próximas da entrada de ar nas condutas verticais, podendo influenciar a temperatura do ar, relativamente ao conforto térmico obtido apenas com a utilização do chão radiante.

As superfícies radiantes são aquecidas no inverno e primavera/outono e são arrefecidas no verão. O aquecimento e arrefecimento é efetuado a partir da circulação de um líquido. Esse mesmo líquido é aquecido através de coletores solares ou através de biomassa para o inverno e para a primavera/outono e é arrefecido através de geotermia ou de um sistema de absorção solar para o verão.

#### 6.2.1 Parâmetros ambientais e pessoais

Os casos realizados estão de acordo com situações de inverno, primavera/outono e verão, pelo que a temperatura do ar exterior utilizada varia em cada uma delas. A utilização de superfícies radiantes também implicará a alteração das temperaturas das superfícies da câmara virtual. A velocidade do ar que sai pelas condutas verticais também varia, sendo que para cada caso são apresentadas duas velocidades diferentes (tabela 6.2).

Relativamente ao nível de vestuário dos indivíduos, foi considerado um vestuário de 1 clo para o inverno, 0,8 clo para a primavera/outono e 0,3 clo para o verão.

Tabela 6.2- Definição dos parâmetros ambientais utilizados nas simulações efetuadas com condutas verticais e com e sem superfícies radiantes.

	Temperatura do ar exterior (°C)	Temperatura do chão radiante (°C)	Temperatura das paredes radiantes (°C)	Velocidade das condutas verticais (m/s)
<b>Caso I de inverno</b>	8	-	-	2 e 3
<b>Caso I de primavera/outono</b>	18	-	-	2 e 3
<b>Caso I de verão</b>	28	-	-	2 e 3
<b>Caso II-A de inverno</b>	8	-	-	1 e 2
<b>Caso II-B de inverno</b>	8	29	-	1 e 2
<b>Caso II-A de primavera/outono</b>	18	-	-	1 e 2
<b>Caso II-B de primavera/outono</b>	18	29	-	1 e 2
<b>Caso II-A de verão</b>	28	-	-	1 e 2
<b>Caso II-B de verão</b>	28	19	-	1 e 2
<b>Caso III de inverno</b>	8	-	50	1 e 2
<b>Caso III de verão</b>	28	-	15	1 e 2

### 6.2.2 Esquema real da câmara

Neste trabalho foram desenvolvidos, em desenho assistido por computador, os projetos dos casos estudados com o sistema de condutas verticais com e sem superfícies radiantes. Na figura 6.6 a) está representado o primeiro caso, e na figura 6.6 b) estão representados o caso II e o caso III. Nestes dois últimos casos as superfícies radiantes não são apresentadas visto que se encontram no interior das superfícies da câmara.

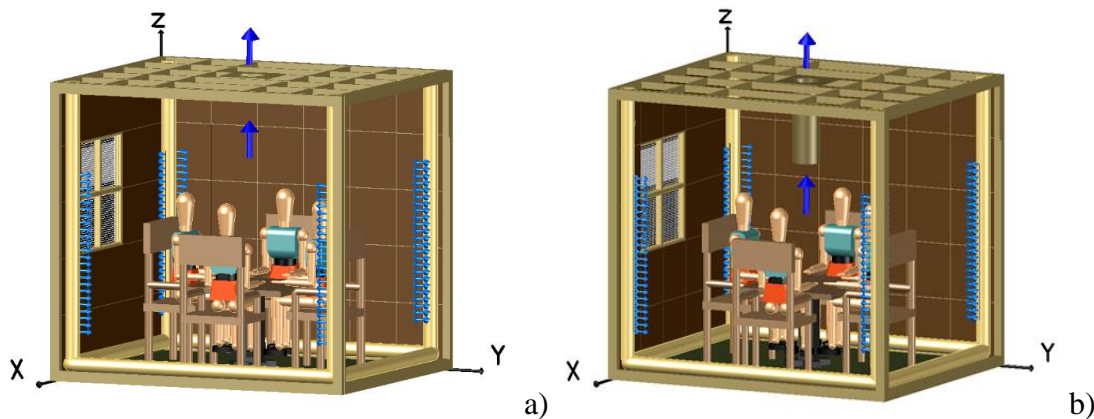


Figura 6.6- Projeto da câmara virtual equipada com condutas verticais e a) exaustão no teto (caso I) e b) exaustão personalizada (caso II e III).

### 6.2.3 Discretização da malha da simulação numérica de escoamentos

No que diz respeito ao modelo numérico diferencial que simula escoamentos internos com transmissão de calor e massa em regime turbulento foi considerada uma malha não uniforme com uma dimensão de  $155 \times 164 \times 146$ . Os planos escolhidos para análise do escoamento em torno dos ocupantes podem ser consultados na figura 6.8.

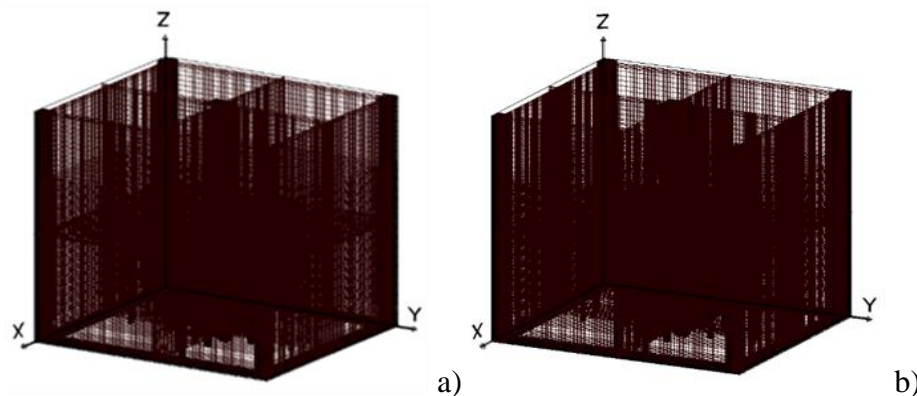


Figura 6.7- Geração de malha não uniforme, com planos, através do modelo de simulação numérica de escoamentos a) no caso I e b) no caso II e III.

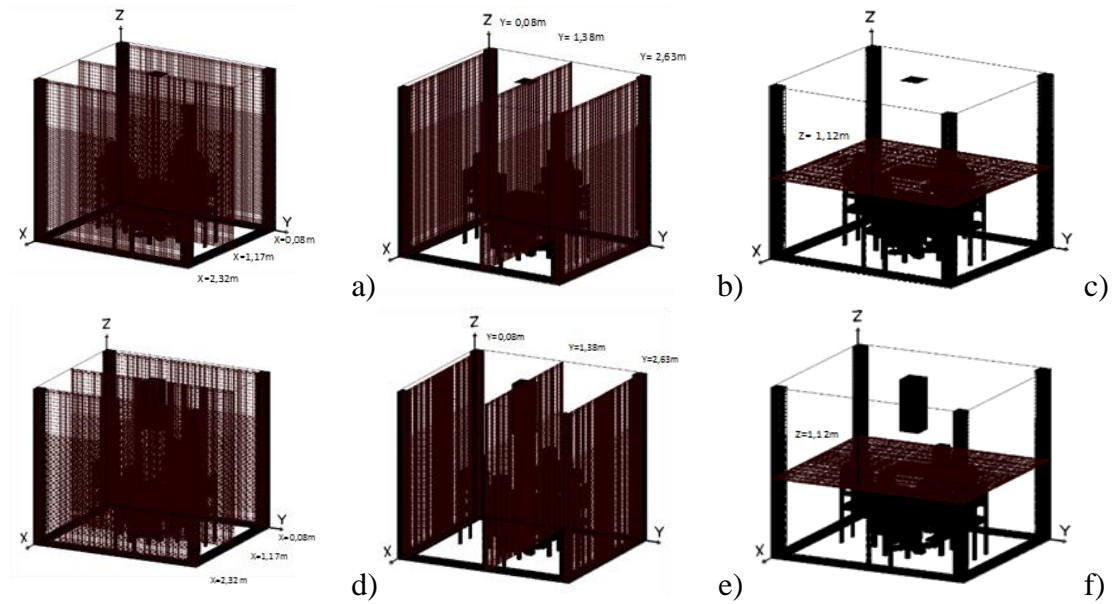


Figura 6.8- Geração de malha não uniforme através do modelo de simulação numérica de escoamentos. Representação do caso I em a) planos no eixo do X, b) planos no eixo do Y, c) plano no eixo do Z e representação do caso II e III em d) planos no eixo do X, e) planos no eixo do Y e f) plano no eixo do Z.

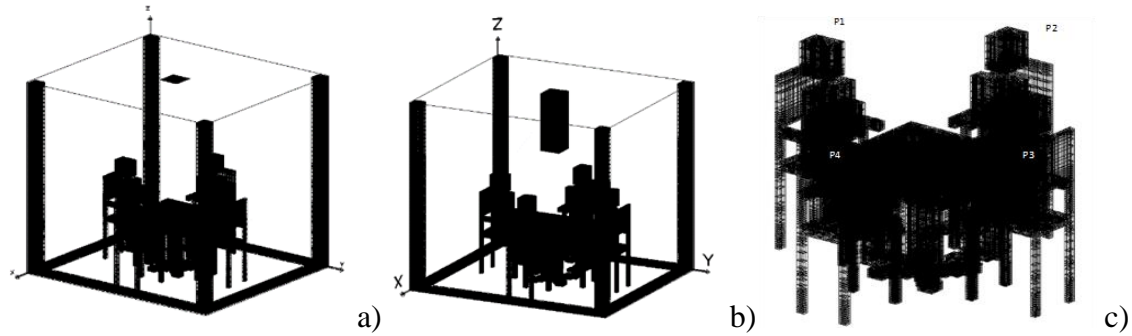


Figura 6.9- Geração de malha através do modelo de simulação numérica de escoamentos a) caso I, b) caso II e III, c) representação e identificação dos ocupantes.

#### 6.2.4 Discretização da malha da resposta térmica humana

No modelo numérico integral que simula a resposta térmica humana os indivíduos virtuais são definidos com 1,70 metros de altura e 70 kg de peso.

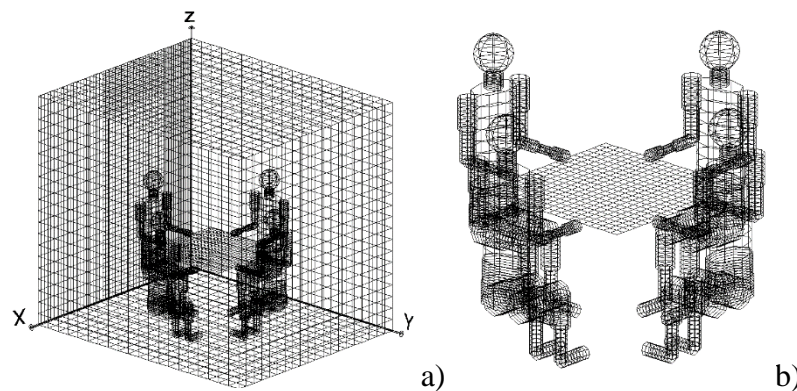


Figura 6.10- a) Geração de malha através do modelo numérico integral que simula a resposta térmica humana (caso I, II e III). b) Representação dos ocupantes.

## 7. Resultados e discussão

### 7.1 Ventilação personalizada

Nesta secção serão analisados e discutidos os resultados obtidos relativos ao sistema de ventilação personalizada, com especial atenção às temperaturas das superfícies da câmara virtual, o escoamento em torno dos ocupantes, o conforto térmico e o desconforto térmico local, a qualidade do ar interior, o índice de distribuição de ar (ADI) e o consumo de energia.

#### 7.1.1 Temperaturas das superfícies da câmara virtual

As temperaturas das superfícies da câmara virtual foram determinadas através do modelo numérico integral que simula a resposta térmica em edifícios, e que avalia a temperatura das superfícies transparentes e opacas. Dessa forma, foi possível obter a temperatura das superfícies da câmara virtual de acordo com a temperatura do ar exterior e do ar interior. Essas temperaturas podem ser consultadas na tabela 7.1, para o inverno, primavera/outono e verão, respetivamente.

Tabela 7.1- Temperaturas das superfícies da câmara virtual.

	inverno $V_{ar}=4$ m/s, $T_i=18$ °C, $T_{ext}=8$ °C	primavera/outono $V_{ar}=5$ m/s, $T_i=22$ °C, $T_{ext}=18$ °C	verão $V_{ar}=5$ m/s, $T_i=26$ °C, $T_{ext}=28$ °C
Tteto	19,68	22,00	27,20
Tchão	20,59	22,40	27,10
Tsul	20,30	22,20	27,10
Tnorte	20,30	22,20	27,10
Teste	20,30	22,20	27,10
Toeste	20,30	22,20	27,10

#### 7.1.2 Escoamento em torno dos ocupantes

Nas figuras 7.1, 7.2 e 7.3 está representado o campo de velocidade de ar em torno dos ocupantes para o caso de inverno com o sistema de ventilação personalizada e na figura 7.4 o campo de temperatura do ar em torno dos ocupantes. As figuras 7.5, 7.6 e 7.7 mostram o campo de velocidade do ar na primavera/outono, e a figura 7.8 o campo da temperatura do ar, também na primavera/outono. As figuras 7.9, 7.10 e 7.11 representam o campo da velocidade do ar no verão e a figura 7.12 representa o campo de temperatura do ar.

As condições de  $T_{ext}$ ,  $T_i$  e  $V_{ar}$  apresentam, respetivamente, a temperatura do ar exterior, a temperatura do interior e a velocidade de insuflação do ar através da ventilação personalizada.

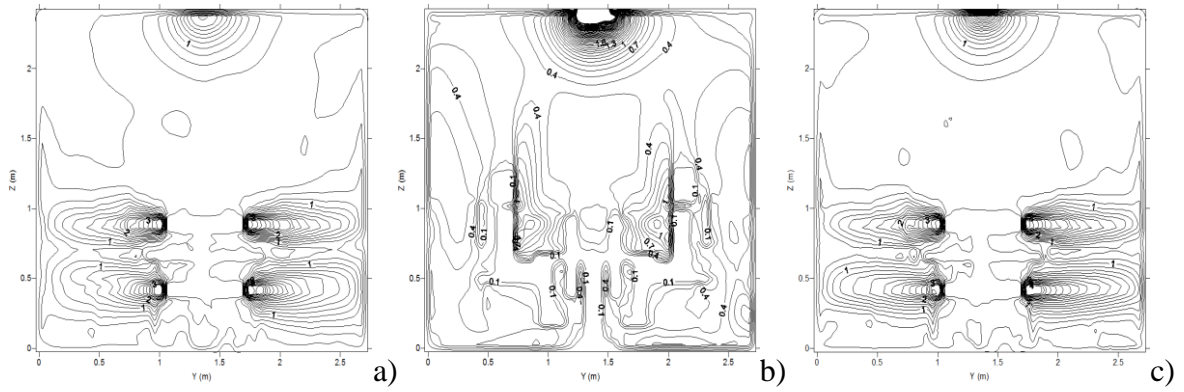


Figura 7.1- Representação do campo da velocidade do ar em torno dos ocupantes no plano vertical YZ a)  $X=1,00$  m, b)  $X=1,25$  m e c)  $X=1,40$  m. Caso de inverno:  $T_{ext}=8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_i=18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{ar}=4\text{ m/s}$ .

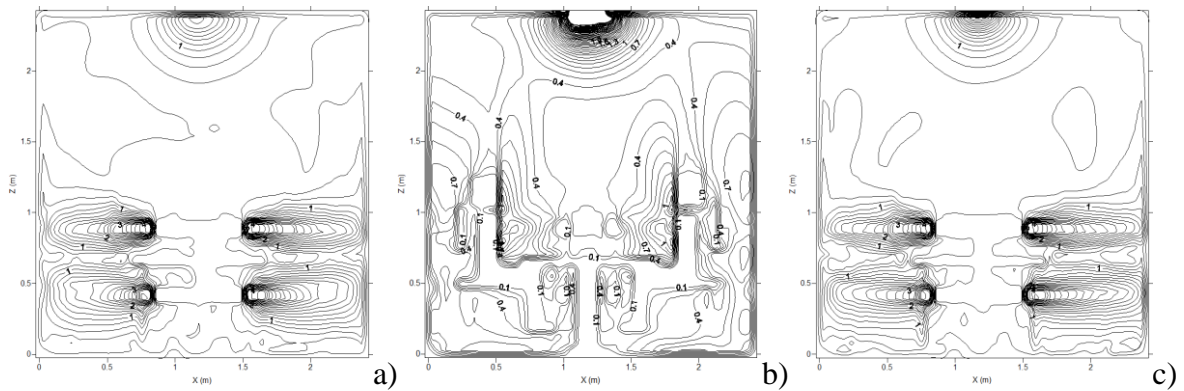


Figura 7.2- Representação do campo da velocidade do ar em torno dos ocupantes no plano vertical XZ a)  $Y=1,20$  m, b)  $Y=1,45$  m e c)  $Y=1,60$  m. Caso de inverno:  $T_{ext}=8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_i=18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{ar}=4\text{ m/s}$ .

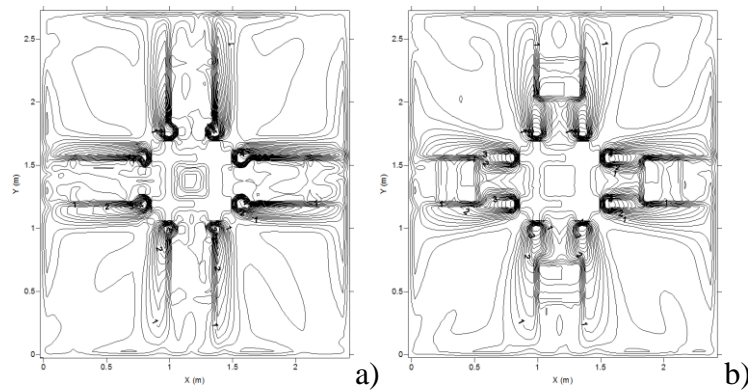


Figura 7.3- Representação do campo da velocidade do ar em torno dos ocupantes no plano horizontal XY a)  $Z=0,50$  m e b)  $Z=0,95$  m. Caso de inverno:  $T_{ext}=8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_i=18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{ar}=4\text{ m/s}$ .

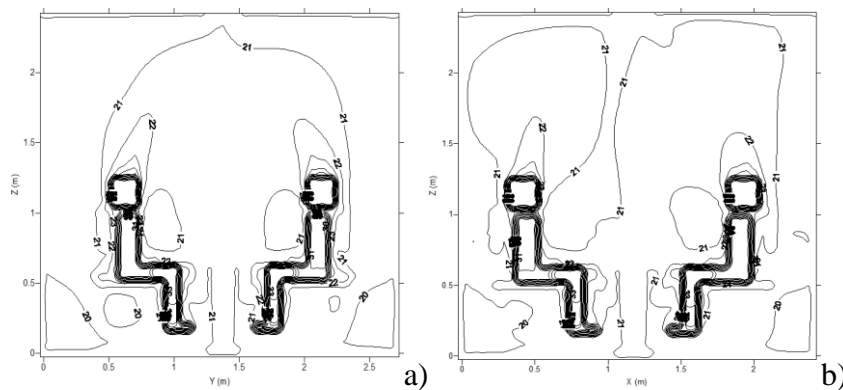


Figura 7.4- Representação do campo da temperatura do ar em torno dos ocupantes nos planos verticais XZ e YZ a)  $X=1,25$  m e b)  $Y=1,45$  m. Caso de inverno:  $T_{ext}=8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_i=18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{ar}=4\text{ m/s}$ .

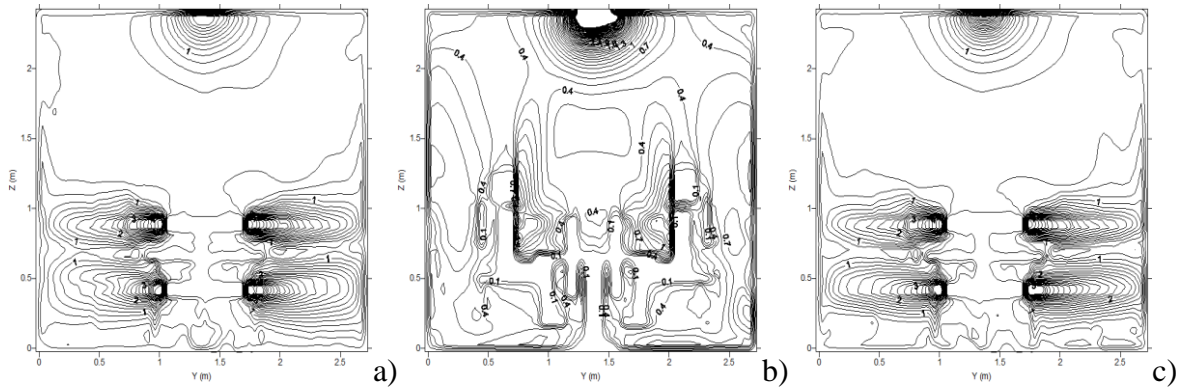


Figura 7.5- Representação do campo da velocidade do ar em torno dos ocupantes no plano vertical YZ a)  $X=1,00$  m, b)  $X=1,25$  m e c)  $X=1,40$  m. Caso de primavera/outono:  $T_{ext}=18$  °C,  $T_i=22$  °C,  $V_{ar}=5$  m/s.

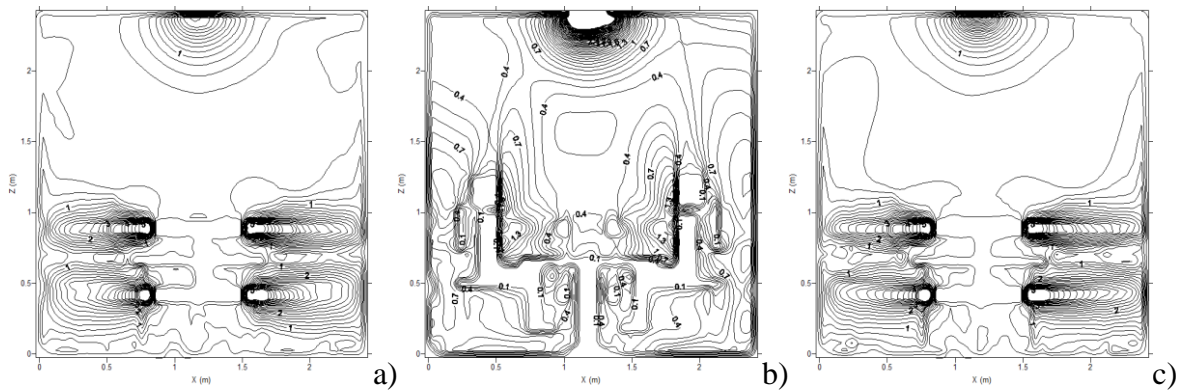


Figura 7.6- Representação do campo da velocidade do ar em torno dos ocupantes no plano vertical XZ a)  $Y=1,20$  m, b)  $Y=1,45$  m e c)  $Y=1,60$  m. Caso de primavera/outono:  $T_{ext}=18$  °C,  $T_i=22$  °C,  $V_{ar}=5$  m/s.

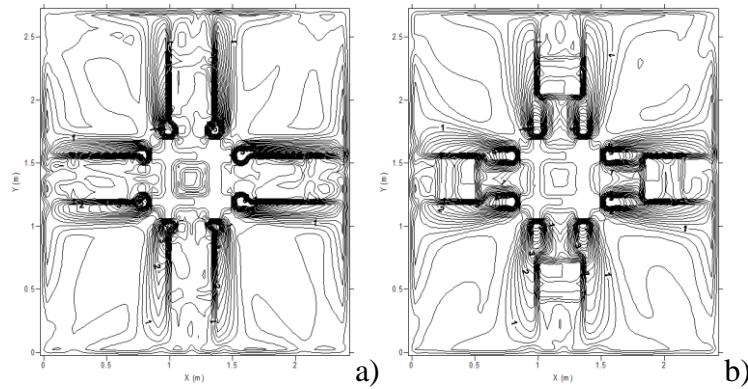


Figura 7.7- Representação do campo da velocidade do ar em torno dos ocupantes no plano horizontal XY a)  $Z=0,50$  m e b)  $Z=0,95$  m. Caso de primavera/outono:  $T_{ext}=18$  °C,  $T_i=22$  °C,  $V_{ar}=5$  m/s.

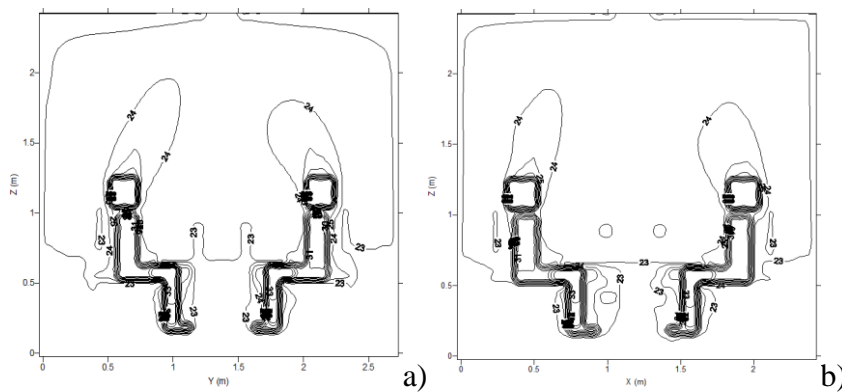


Figura 7.8- Representação do campo da temperatura do ar em torno dos ocupantes nos planos verticais XZ e YZ a)  $X=1,25$  m e b)  $Y=1,45$  m. Caso de primavera/outono:  $T_{ext}=18$  °C,  $T_i=22$  °C,  $V_{ar}=5$  m/s.

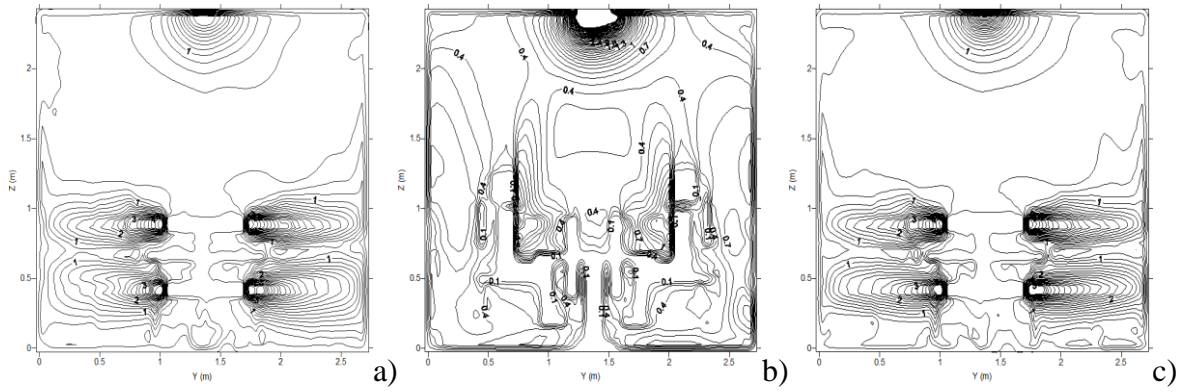


Figura 7.9- Representação do campo da velocidade do ar em torno dos ocupantes no plano vertical YZ a)  $X=1,00$  m, b)  $X=1,25$  m e c)  $X=1,40$  m. Caso de verão:  $T_{ext}=28$  °C,  $T_i=26$  °C,  $V_{ar}=5$  m/s.

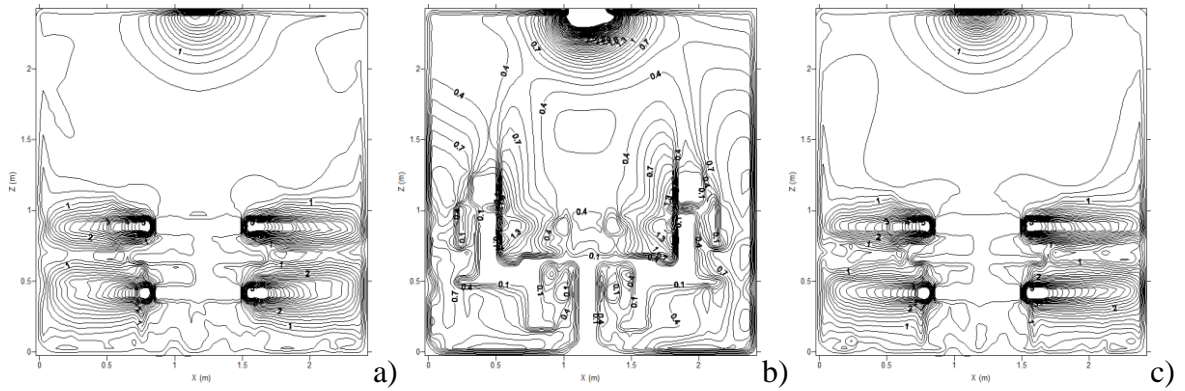


Figura 7.10- Representação do campo da velocidade do ar em torno dos ocupantes no plano vertical XZ a)  $Y=1,20$  m, b)  $Y=1,45$  m e c)  $Y=1,60$  m. Caso de verão:  $T_{ext}=28$  °C,  $T_i=26$  °C,  $V_{ar}=5$  m/s.

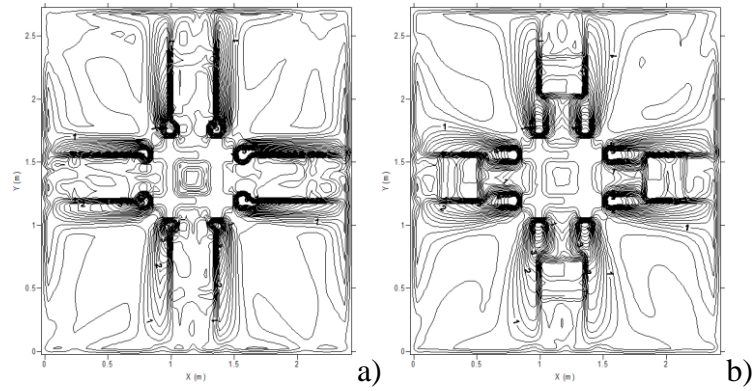


Figura 7.11- Representação do campo da velocidade do ar em torno dos ocupantes no plano horizontal XY a)  $Z=0,50$  m e b)  $Z=0,95$  m. Caso de verão:  $T_{ext}=28$  °C,  $T_i=26$  °C,  $V_{ar}=5$  m/s.

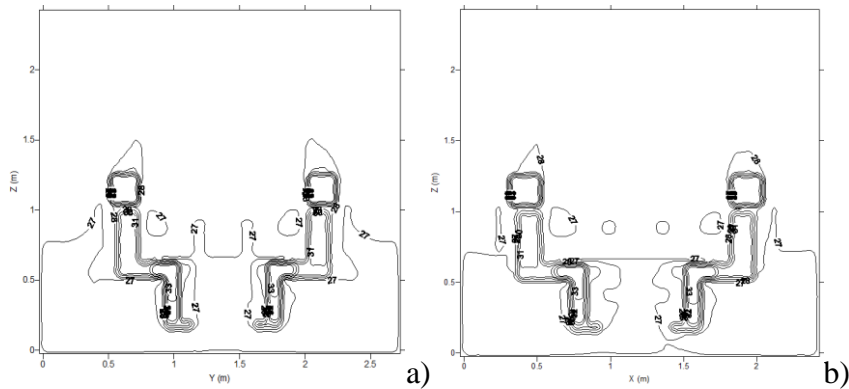


Figura 7.12- Representação do campo da temperatura do ar em torno dos ocupantes nos planos verticais XZ e YZ a)  $X=1,25$  m e b)  $Y=1,45$  m. Caso de verão:  $T_{ext}=28$  °C,  $T_i=26$  °C,  $V_{ar}=5$  m/s.

De acordo com os resultados obtidos do escoamento em torno dos ocupantes pode-se verificar que a velocidade do ar em torno dos ocupantes não ultrapassa os 0,4 m/s, à exceção da zona peitoral dos indivíduos que tem velocidades ligeiramente mais elevadas. Como se pode verificar, as diferentes temperaturas das estações do ano não influenciam a velocidade do ar, visto que esta é similar no inverno, na primavera/outono e no verão. Relativamente à velocidade do ar junto à saída da ventilação personalizada, esta é mais elevada junto deste sistema de ventilação, e diminui à medida que se afasta do sistema dissipando-se na envolvente e, por isso, não é tão elevada quando chega perto dos indivíduos.

Em termos de temperatura do ar em torno dos ocupantes, esta aumenta consoante a estação do ano, sendo que é mais elevada no verão e mais baixa no inverno. No inverno, a temperatura do ar ronda os 23 °C em torno dos ocupantes e no ambiente envolvente a temperatura é de 21 °C; na primavera/outono, a temperatura em torno dos ocupantes é de 26 °C e no ambiente envolvente é de 24 °C; e no verão a temperatura do ar é de 33 °C em torno dos ocupantes, e de 27 °C no ambiente envolvente.

### 7.1.3 Nível de conforto térmico

O nível de conforto térmico dos ocupantes é avaliado através de parâmetros como a temperatura do ar, a velocidade do ar, a temperatura média radiante, a temperatura da pele, a atividade física e o nível de vestuário. As figuras seguintes irão apresentar os resultados obtidos dos primeiros quatro parâmetros referidos. As figuras 7.13, 7.14 representam os resultados de inverno, as figuras 7.15 e 7.16 representam os resultados da primavera/outono e as figuras 7.17 e 7.18 representam os resultados de verão. As condições de  $T_{ext}$ ,  $T_i$  e  $V_{ar}$  apresentam, respetivamente, a temperatura do ar exterior, a temperatura do interior e a velocidade de insuflação do ar através da ventilação personalizada.

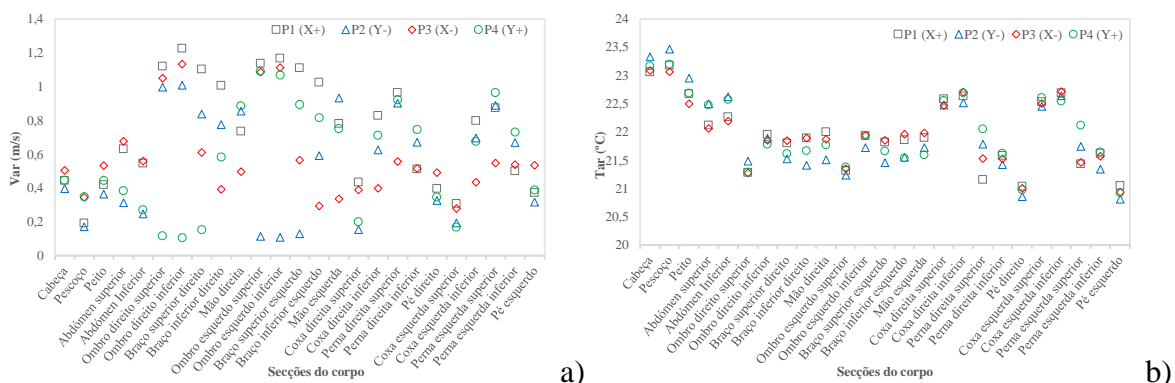


Figura 7.13- Distribuição a) da velocidade do ar e b) da temperatura do ar em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. Caso de inverno:  $T_{ext}= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_i= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{ar}= 4\text{ m/s}$ .

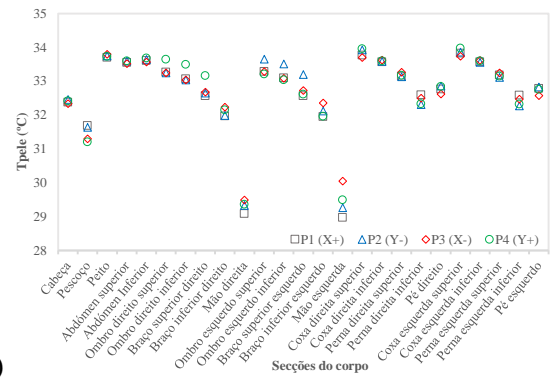
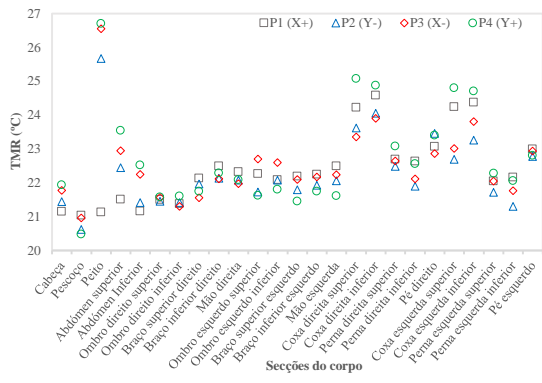


Figura 7.14- Distribuição da a) temperatura média radiante e b) da temperatura da pele em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. Caso de inverno:  $T_{ext}= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_i= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{ar}= 4\text{ m/s}$ .

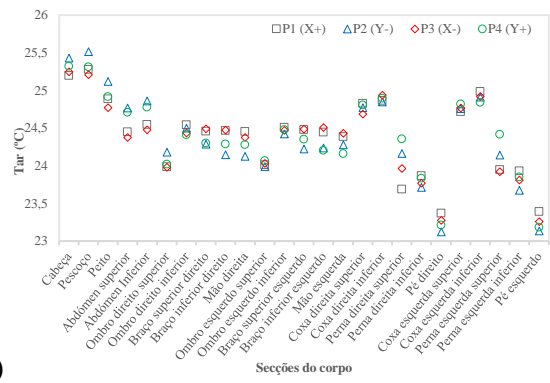
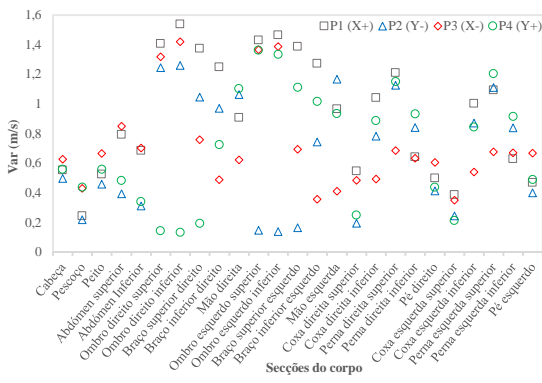


Figura 7.15- Distribuição a) da velocidade do ar e b) da temperatura do ar em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. Caso de primavera/outono:  $T_{ext}= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_i= 22\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{ar}= 5\text{ m/s}$ .

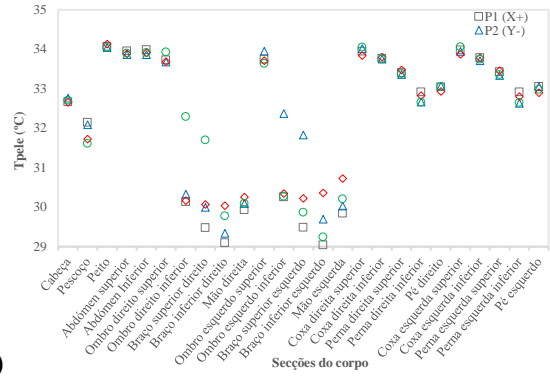
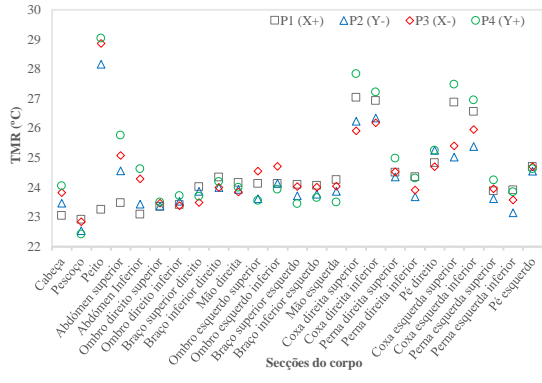


Figura 7.16- Distribuição a) da temperatura média radiante e b) da temperatura da pele em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. Caso de primavera/outono:  $T_{ext}= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_i= 22\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{ar}= 5\text{ m/s}$ .

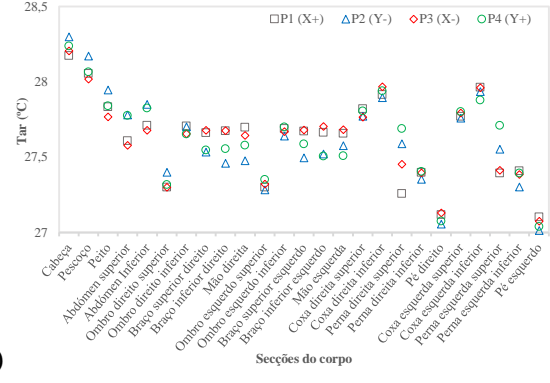
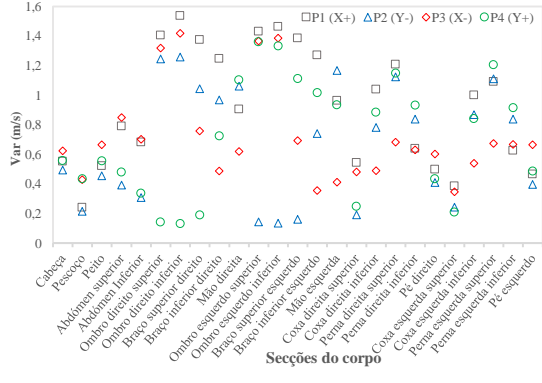


Figura 7.17- Distribuição a) da velocidade do ar e b) da temperatura do ar em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. Caso de verão:  $T_{ext}= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_i= 26\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{ar}= 5\text{ m/s}$ .

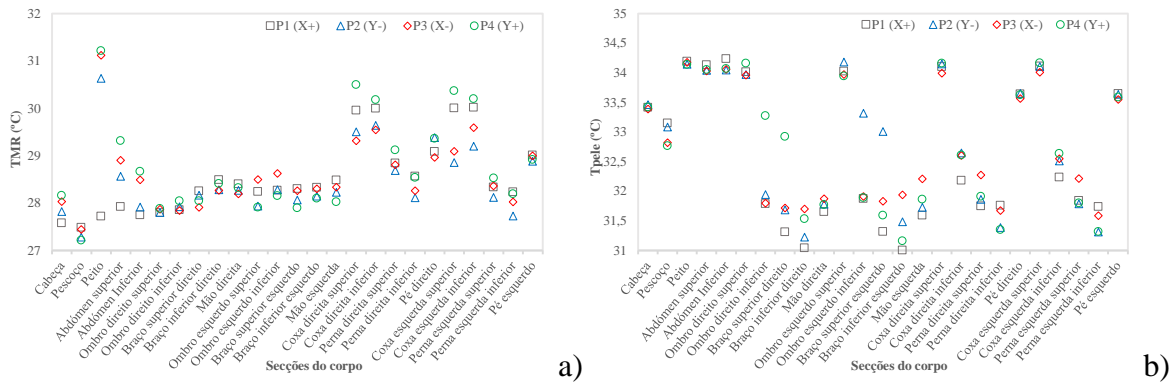


Figura 7.18- Distribuição a) da temperatura média radiante e b) da temperatura da pele em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. Caso de verão:  $T_{ext}= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_i= 26\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{ar}= 5\text{ m/s}$ .

Após analisar os resultados do conforto térmico pode-se observar que a temperatura do ar em torno das secções do corpo dos indivíduos aumenta conforme o aumento da temperatura exterior, no entanto é visível o padrão que existe na variação de temperatura entre as diferentes partes do corpo nas três estações. As zonas do corpo em que a temperatura do ar é mais elevada são a cabeça, peito, zona abdominal e coxas. Por outro lado, as zonas do corpo em que a temperatura é mais baixa são os membros superiores e os membros inferiores.

Relativamente à velocidade do ar em torno das secções do corpo dos indivíduos não existem alterações significativas entre as estações do ano. Nas diferentes zonas do corpo dos quatro indivíduos obtiveram-se valores muito dispersos. Contudo, as zonas da cabeça, peito e abdómen revelam velocidades do ar mais baixas em relação aos membros superiores e inferiores.

Na temperatura média radiante existem algumas semelhanças de estação para estação, sendo que é mais elevada na zona peitoral e nas coxas dos indivíduos, e mais baixa na cabeça, pescoço e membros superiores e inferiores.

A temperatura da pele é maior nas zonas do corpo cobertas com vestuário e, por isso, pode-se ver que varia consoante a estação do ano visto que o vestuário também varia, isto é, como o nível de vestuário no inverno é mais elevado, a temperatura da pele também é mais elevada, ao contrário do que acontece no verão, em que o nível de vestuário é menor e, por isso, a temperatura da pele também é mais baixa.

### 7.1.4 Desconforto térmico local

O desconforto térmico local é avaliado através do índice do risco de resfriamento, o qual pode ser originado devido à movimentação do ar, que arrefece a superfície do corpo humano, sendo que as zonas do corpo que não estão protegidas pelo vestuário são mais propícias aos resfriamentos. As figuras 7.19, 7.20 e 7.21 mostram os resultados obtidos do risco de resfriamento nos quatro indivíduos na estação de inverno, primavera/outono e verão, respetivamente. As condições de  $T_{ext}$ ,  $T_i$  e  $V_{ar}$  apresentam, respetivamente, a temperatura do ar exterior, a temperatura do interior e a velocidade de insuflação do ar através da ventilação personalizada.

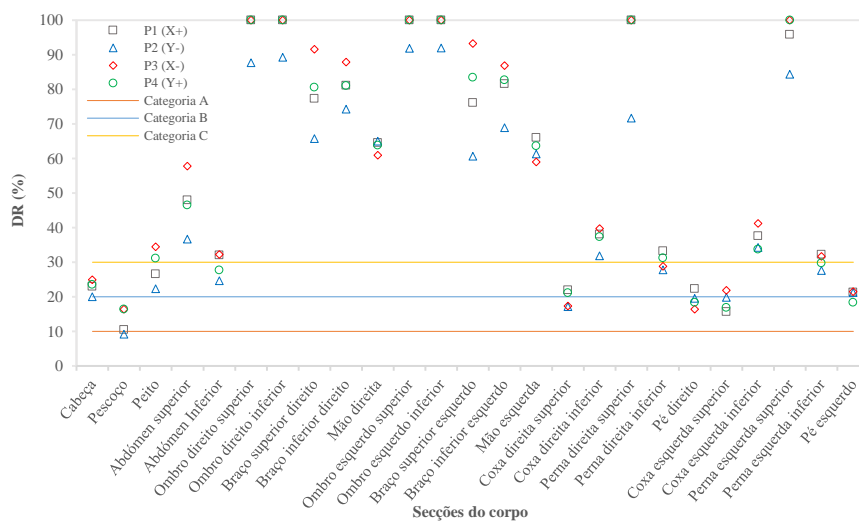


Figura 7.19- Risco de resfriamento, em %, em torno das seções do corpo de quatro indivíduos. Caso de inverno:  $T_{ext}= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_i= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{ar}= 4\text{ m/s}$ .

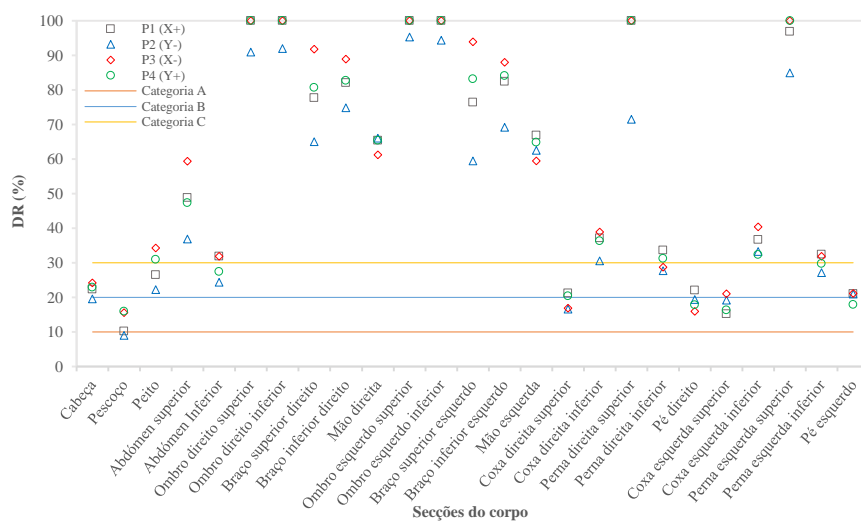


Figura 7.20- Risco de resfriamento, em %, em torno das seções do corpo de quatro indivíduos. Caso de primavera/outono:  $T_{ext}= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_i= 22\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{ar}= 5\text{ m/s}$ .

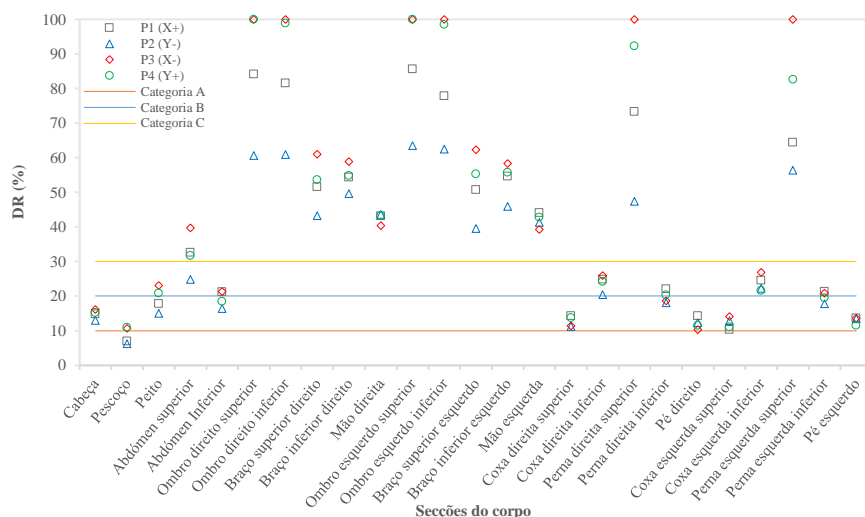


Figura 7.21- Risco de resfriamento, em %, em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. Caso de verão:  $T_{ext}= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_i= 26\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{ar}= 5\text{ m/s}$ .

Através da observação dos resultados obtidos do índice do risco de resfriamento pode-se concluir que o sistema de ventilação personalizada, pelo facto de estar muito próximo dos indivíduos, provoca um elevado risco de resfriamento em quase todas as zonas do corpo. As zonas com percentagens mais elevadas de risco de resfriamento são os membros superiores, visto serem as zonas onde o sistema de ventilação está direcionado.

As estações do ano em que o risco de resfriamento é mais elevado são o inverno e a primavera/outono enquanto no verão o risco de resfriamento é mais baixo. Isto verifica-se pelo facto de que no inverno e na primavera/outono as temperaturas do ar exterior são mais baixas relativamente ao verão em que as temperaturas são mais elevadas. No entanto, no inverno os membros superiores estão protegidos pelo vestuário, por isso, não se considera um risco de resfriamento tão elevado como o que é representado.

De qualquer forma, os resultados obtidos excedem as categorias de desconforto local propostas pela ISO 7730 que foram referidas anteriormente na tabela 4.1 do capítulo 4 deste trabalho e que são apresentadas, também, nas figuras anteriores 7.19, 7.20 e 7.21.

### 7.1.5 Qualidade do ar

Relativamente à qualidade do ar, esta é avaliada através da concentração de dióxido de carbono na zona de respiração dos ocupantes e pode ser consultada nas figuras 7.22, 7.23 e 7.24, para o inverno, primavera/outono e verão, respetivamente. As condições de  $T_{ext}$ ,  $T_i$  e  $V_{ar}$  apresentam, respetivamente, a temperatura do ar exterior, a temperatura do interior e a velocidade de insuflação do ar através da ventilação personalizada.

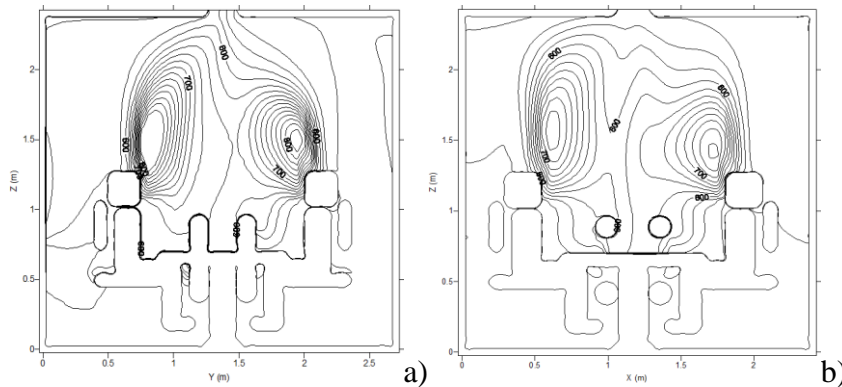


Figura 7.22- Representação do campo de concentração de dióxido de carbono na zona de respiração dos ocupantes nos planos verticais XZ e YZ a)  $X= 1,25$  m e b)  $Y= 1,45$  m. Caso de inverno:  $T_{ext}= 8$  °C,  $T_i= 18$  °C,  $V_{ar}= 4$  m/s.

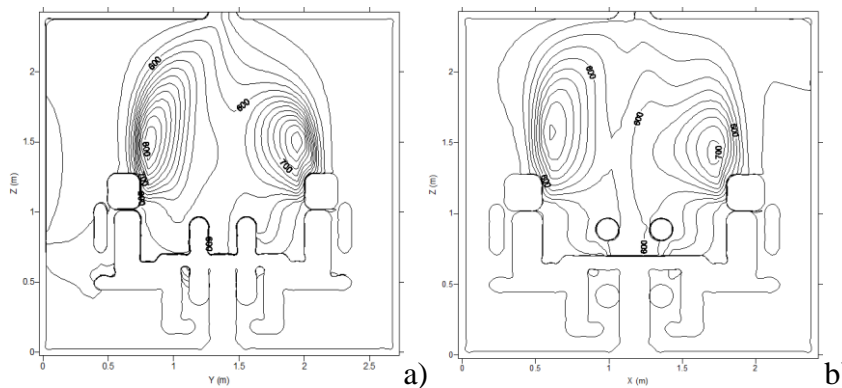


Figura 7.23- Representação do campo de concentração de dióxido de carbono na zona de respiração dos ocupantes nos planos verticais XZ e YZ a)  $X= 1,25$  m e b)  $Y= 1,45$  m. Caso de primavera/outono:  $T_{ext}= 18$  °C,  $T_i= 22$  °C,  $V_{ar}= 5$  m/s.

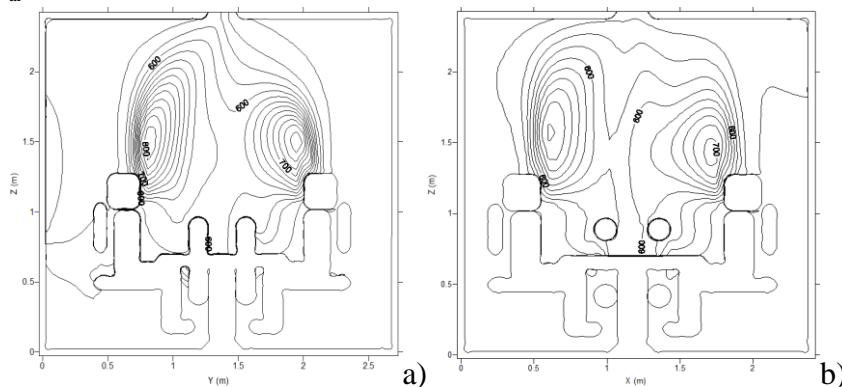


Figura 7.24- Representação do campo de concentração de dióxido de carbono na zona de respiração dos ocupantes nos planos verticais XZ e YZ a)  $X= 1,25$  m e b)  $Y= 1,45$  m. Caso de verão:  $T_{ext}= 28$  °C,  $T_i= 26$  °C,  $V_{ar}= 5$  m/s.

Em termos da concentração de dióxido de carbono na zona de respiração dos ocupantes pode-se observar que a qualidade do ar é boa, e que o sistema de ventilação personalizada permite uma boa renovação do ar, visto que os valores obtidos através das isolinhas apontam para valores entre os 700 e os 800 mg/m<sup>3</sup>, não excedendo os 1800 mg/m<sup>3</sup> permitidos por lei.

Para além disso, também se pode observar que o ar expirado pelos ocupantes tem a tendência a seguir até à exaustão colocada no centro do teto na câmara. Dessa forma, os contaminantes são removidos, evitando assim que estes se dissipem pelo espaço envolvente.

#### 7.1.6 ADI e energia

Através das simulações numéricas realizadas foram obtidos resultados relativos ao índice de distribuição de ar (ADI) para os casos de inverno, primavera/outono e verão. Este índice é baseado nos níveis de conforto térmico e qualidade do ar, portanto, as condições ótimas foram escolhidas em função dos melhores resultados obtidos de ADI, bem como da energia consumida, de modo a seleccionar a solução com melhor ADI mas também com menor consumo de energia.

Nas figuras 7.25, 7.26 e 7.27, para inverno, primavera/outono e verão, respetivamente, encontram-se as isolinhas que representam os valores de ADI de acordo com a variação da velocidade e da temperatura do ar que é projetado através da ventilação personalizada (alínea a). Por sua vez, na alínea b) os dados representados correspondem à energia consumida pelo sistema de ventilação consoante a velocidade e a temperatura do ar utilizadas. Por fim, na alínea c) verifica-se a relação entre o ADI e a energia.

Nas tabelas 7.2, 7.3 e 7.4 encontram-se os dados obtidos nas simulações desde a concentração de dióxido de carbono, o PMV, a potência utilizada para o aquecimento ou arrefecimento do compartimento, o índice de distribuição do ar, entre outros.

As condições de  $T_{ext}$ ,  $T_i$  e  $V_{ar}$  apresentam, respetivamente, a temperatura do ar exterior, a temperatura do interior e a velocidade de insuflação do ar através da ventilação personalizada.

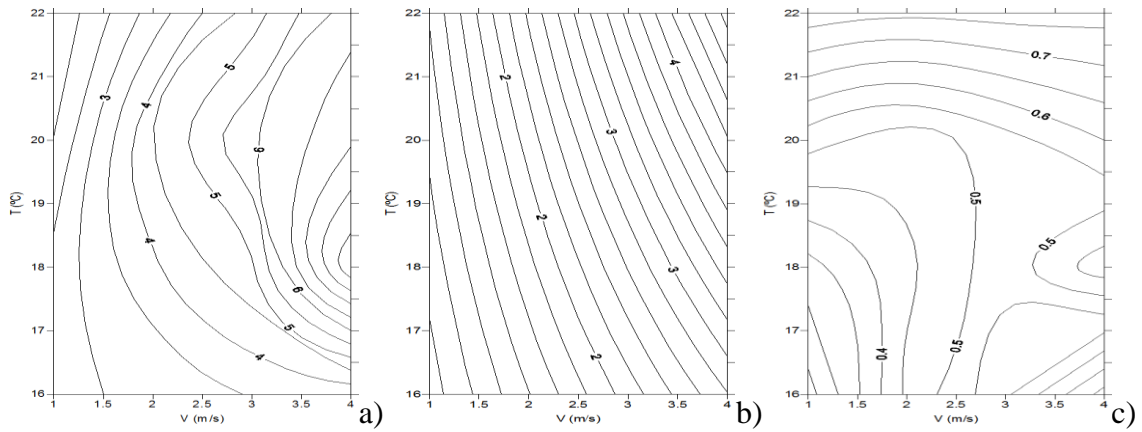


Figura 7.25- Representação de a) ADI, b) energia consumida (kW) e c) energia/ADI, de acordo com a variação da velocidade e da temperatura do ar. Caso de inverno:  $T_{\text{ext}} = 8$  °C,  $T_i = 18$  °C,  $V_{\text{ar}} = 4$  m/s.

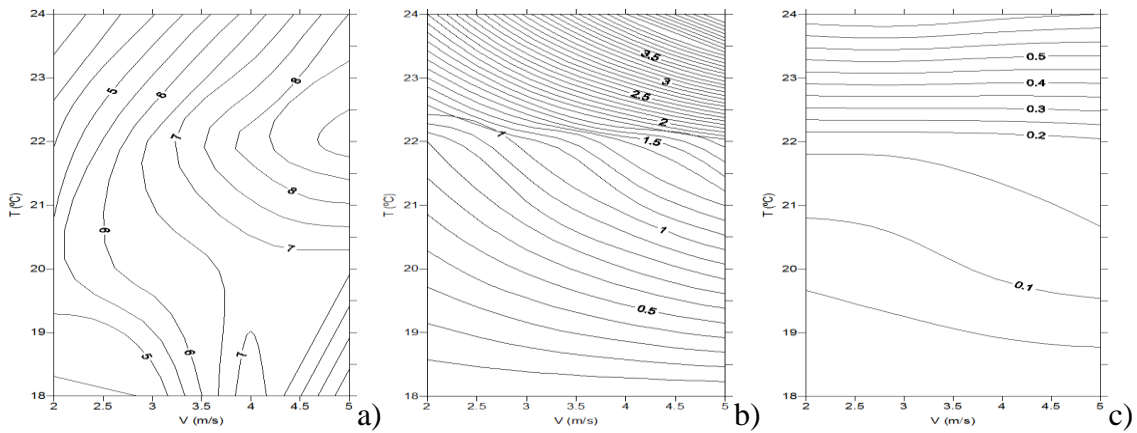


Figura 7.26- Representação de a) ADI, b) energia consumida (kW) e c) energia/ADI, de acordo com a variação da velocidade e da temperatura do ar. Caso de primavera/outono:  $T_{\text{ext}} = 18$  °C,  $T_i = 22$  °C,  $V_{\text{ar}} = 5$  m/s.

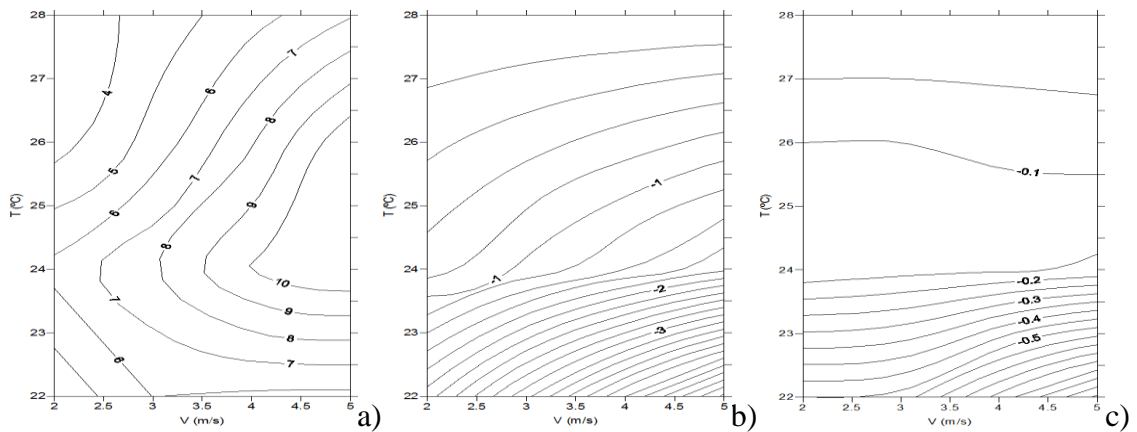


Figura 7.27- Representação de a) ADI, b) energia consumida (kW) e c) energia/ADI, de acordo com a variação da velocidade e da temperatura do ar. Caso de verão:  $T_{\text{ext}} = 28$  °C,  $T_i = 26$  °C,  $V_{\text{ar}} = 5$  m/s.

Em qualquer uma dos casos pode-se verificar que o ADI e o consumo de energia é mais baixo para velocidades mais baixas e para temperaturas mais próximas da temperatura exterior.

Relativamente ao ADI, no inverno, pode-se constatar que os valores máximos são para uma velocidade do ar de 4 m/s à temperatura do ar de 18°C, atingindo um índice de

distribuição do ar de 8. O consumo de energia com estas condições é dos consumos mais baixos que foram obtidos, como se pode observar na alínea b) da figura 7.25.

Na primavera/outono o ADI ideal é obtido com uma velocidade do ar de 5 m/s e uma temperatura do ar de 22 °C, atingindo valores de 8. O consumo de energia é razoável visto que só tem um maior crescimento a partir de temperaturas acima dos 22,5 °C, segundo a alínea b) da figura 7.26. Através da alínea c) da figura 7.26 pode-se confirmar que a temperatura ideal para o sistema de ventilação são os 22 °C.

Por fim, no verão, o índice de distribuição do ar atinge o valor 10, com velocidades do ar compreendidas entre 4 e 5 m/s e temperaturas do ar entre os 24 e os 26°C. Para se escolher entre ambas as temperaturas, recorreu-se à energia consumida com este sistema de ventilação. Segundo a alínea b) da figura 7.27 o consumo de energia é menor a uma temperatura de 26 °C. A alínea c) da mesma figura comprova a temperatura que foi escolhida. Relativamente à velocidade do ar, como o consumo de energia não é muito influenciado, escolheu-se a velocidade de 5 m/s visto que proporciona uma maior renovação do ar.

Nas tabelas seguintes pode-se consultar os valores de PMV obtidos para as três estações do ano, concluindo que os valores são aceitáveis segundo as categorias de sensação térmica propostas pela ISO 7730.

Tabela 7.2- ADI no caso de inverno, para quatro ocupantes, com temperatura exterior de 8 °C e 18 °C interior e velocidade do ar de insuflação de 4 m/s.

Ocupante	1	2	3	4	Média
Temperatura de entrada (°C)	18	18	18	18	<b>18</b>
Temperatura de saída (°C)	20,78	20,78	20,78	20,78	<b>20,78</b>
Temperatura média corporal (°C)	22,23	22,34	22,19	22,32	<b>22,27</b>
Eficiência de remoção de calor (%)	65,64	63,95	66,34	64,33	<b>65,07</b>
PMV	-0,48	-0,20	-0,36	-0,20	<b>-0,31</b>
PPD através do conforto térmico (%)	9,90	5,84	7,74	5,86	<b>7,34</b>
Número de conforto térmico	6,63	10,94	8,57	10,97	<b>9,28</b>
Entrada de CO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	500	500	500	500	<b>500</b>
Saída de CO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	559,93	559,93	559,93	559,93	<b>559,93</b>
CO <sub>2</sub> na zona de respiração (mg/m <sup>3</sup> )	1886,70	2182,59	1920,61	2085,26	<b>2018,79</b>
Eficiência de remoção de contaminantes (%)	4,32	3,56	4,22	3,78	<b>3,97</b>
Caudal volúmico (l/s/Olf)	173,80	173,80	173,80	173,80	<b>173,80</b>
PD com qualidade do ar (%)	0,51	0,51	0,51	0,51	<b>0,51</b>
Número de qualidade do ar	8,42	6,93	8,21	7,36	<b>7,73</b>
Velocidade de entrada (m/s)	4,00	4,00	4,00	4,00	<b>4,00</b>
Velocidade média em torno do corpo (m/s)	0,59	0,42	0,48	0,49	<b>0,50</b>
Eficiência do sistema de promoção de ar (%)	69,84	97,89	85,43	83,30	<b>84,11</b>
Índice de distribuição de ar (ADI)	7,45	8,71	8,39	8,99	<b>8,39</b>
Potência de aquecimento (kW)	<b>3,49</b>				

Tabela 7.3- ADI no caso de primavera/outono, para quatro ocupantes, com temperatura exterior de 18 °C e 22 °C interior e velocidade do ar de insuflação de 5 m/s.

Ocupante	1	2	3	4	Média
Temperatura de entrada (°C)	22	22	22	22	<b>22</b>
Temperatura de saída (°C)	23,20	23,20	23,20	23,20	<b>23,20</b>
Temperatura média corporal (°C)	24,56	24,66	24,52	24,62	<b>24,59</b>
Eficiência de remoção de calor (%)	47,08	45,22	47,86	45,94	<b>46,52</b>
PMV	-0,41	-0,03	-0,24	-0,03	<b>-0,18</b>
PPD através do conforto térmico (%)	8,52	5,02	6,23	5,02	<b>6,20</b>
Número de conforto térmico	5,52	9,00	7,68	9,15	<b>7,84</b>
Entrada de CO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	500	500	500	500	<b>500</b>
Saída de CO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	547,73	547,73	547,73	547,73	<b>547,73</b>
CO <sub>2</sub> na zona de respiração (mg/m <sup>3</sup> )	1605,43	1838,43	1630,60	1769,85	<b>1711,08</b>
Eficiência de remoção de contaminantes (%)	4,32	3,57	4,22	3,76	<b>3,97</b>
Caudal volúmico (l/s/Olf)	217,25	217,25	217,25	217,25	<b>217,25</b>
PD com qualidade do ar (%)	0,35	0,35	0,35	0,35	<b>0,35</b>
Número de qualidade do ar	12,30	10,16	12,03	10,71	<b>11,30</b>
Velocidade de entrada (m/s)	5,00	5,00	5,00	5,00	<b>5,00</b>
Velocidade média em torno do corpo (m/s)	0,72	0,53	0,60	0,62	<b>0,62</b>
Eficiência do sistema de promoção de ar (%)	71,78	97,80	85,83	83,45	<b>84,71</b>
Índice de distribuição de ar (ADI)	8,24	9,56	9,61	9,90	<b>9,33</b>
Potência de aquecimento (kW)	<b>1,74</b>				

Tabela 7.4- ADI no caso de verão, para quatro ocupantes, com temperatura exterior de 28 °C e 26 °C interior e velocidade do ar de insuflação de 5 m/s.

Ocupante	1	2	3	4	Média
Temperatura de entrada (°C)	26	26	26	26	<b>26</b>
Temperatura de saída (°C)	27,23	27,23	27,23	27,23	<b>27,23</b>
Temperatura média corporal (°C)	27,70	27,76	27,69	27,74	<b>27,72</b>
Eficiência de remoção de calor (%)	72,13	69,89	72,63	70,50	<b>71,29</b>
PMV	0,10	0,38	0,30	0,40	<b>0,30</b>
PPD através do conforto térmico (%)	5,19	8,05	6,90	8,31	<b>7,11</b>
Número de conforto térmico	13,91	8,68	10,53	8,49	<b>10,40</b>
Entrada de CO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	500	500	500	500	<b>500</b>
Saída de CO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	547,65	547,65	547,65	547,65	<b>547,65</b>
CO <sub>2</sub> na zona de respiração (mg/m <sup>3</sup> )	1605,49	1838,34	1630,80	1769,82	<b>1711,11</b>
Eficiência de remoção de contaminantes (%)	4,31	3,56	4,21	3,75	<b>3,96</b>
Caudal volúmico (l/s/Olf)	217,25	217,25	217,25	217,25	<b>217,25</b>
PD com qualidade do ar (%)	0,35	0,35	0,35	0,35	<b>0,35</b>
Número de qualidade do ar	12,28	10,14	12,00	10,69	<b>11,28</b>
Velocidade de entrada (m/s)	5,00	5,00	5,00	5,00	<b>5,00</b>
Velocidade média em torno do corpo (m/s)	0,72	0,53	0,60	0,62	<b>0,62</b>
Eficiência do sistema de promoção de ar (%)	71,77	97,80	85,84	83,45	<b>84,72</b>
Índice de distribuição de ar (ADI)	13,07	9,38	11,24	9,52	<b>10,80</b>
Potência de arrefecimento (kW)	<b>-0,87</b>				

## 7.2 Conduas verticais com e sem superfícies radiantes

Nesta segunda secção dos resultados e discussão serão apresentados e discutidos os resultados obtidos nos três casos estudados com o sistema de conduas verticais e com a presença e a ausência das superfícies radiantes, apresentando dados como as temperaturas na câmara virtual, o escoamento em torno dos ocupantes, o conforto térmico e o desconforto térmico local, a qualidade do ar interior, o índice de distribuição de ar (ADI) e o consumo de energia.

### 7.2.1 Caso I

O primeiro caso representa o uso das conduas verticais, sem a utilização das superfícies radiantes, e com a exaustão colocada no centro do teto da câmara virtual. As simulações foram feitas para condições de inverno, primavera/outono e verão com temperaturas do ar exterior de 8, 18 e 28 °C, respetivamente. As velocidades do ar de insuflação estudadas foram de 2 e 3 m/s.

#### 7.2.1.1 Temperaturas das superfícies da câmara virtual

As temperaturas das superfícies da câmara virtual do caso I, novamente determinado pelo modelo da resposta térmica em edifícios, são descritas na tabela 7.5, para o inverno, a primavera/outono e o verão, respetivamente.

Tabela 7.5- Temperaturas das superfícies da câmara virtual.

	inverno $V_{ar}=2$ m/s, $T_{ext}=8$ °C $T_i=8$ °C	inverno $V_{ar}=3$ m/s, $T_{ext}=8$ °C $T_i=8$ °C	primavera/outono $V_{ar}=2$ m/s, $T_{ext}=18$ °C $T_i=18$ °C	primavera/outono $V_{ar}=3$ m/s, $T_{ext}=18$ °C $T_i=18$ °C	verão $V_{ar}=2$ m/s, $T_{ext}=28$ °C $T_i=28$ °C	verão $V_{ar}=3$ m/s, $T_{ext}=28$ °C $T_i=28$ °C
Tteto	8,24	8,16	18,24	18,16	28,24	28,16
Tchão	8,28	8,18	18,28	18,18	28,28	28,18
Tsul	8,26	8,17	18,26	18,17	28,26	28,17
Tnorte	8,26	8,17	18,26	18,17	28,26	28,17
Teste	8,26	8,17	18,26	18,17	28,26	28,17
Toeste	8,26	8,17	18,26	18,17	28,26	28,17

### 7.2.1.2 Escoamento em torno dos ocupantes

Nas figuras 7.28, 7.29, 7.30, 7.31, 7.32 e 7.33 são apresentadas as isolinhas relativas aos campos de velocidade e temperatura do ar em torno dos ocupantes para o caso I. As figuras 7.28 e 7.29 representam o caso de inverno, enquanto as figuras 7.30 e 7.31 descrevem o caso da primavera/outono e as figuras 7.32 e 7.33 apresentam o caso de verão. Relativamente à velocidade de entrada do ar dentro da câmara virtual, serão apresentados os resultados relativos à velocidade de 2 m/s. As condições de  $T_{ext}$ ,  $T_i$  e  $V_{ar}$  apresentam a temperatura do ar exterior, a temperatura do ar interior e a velocidade do ar de insuflação através das condutas verticais, respetivamente.

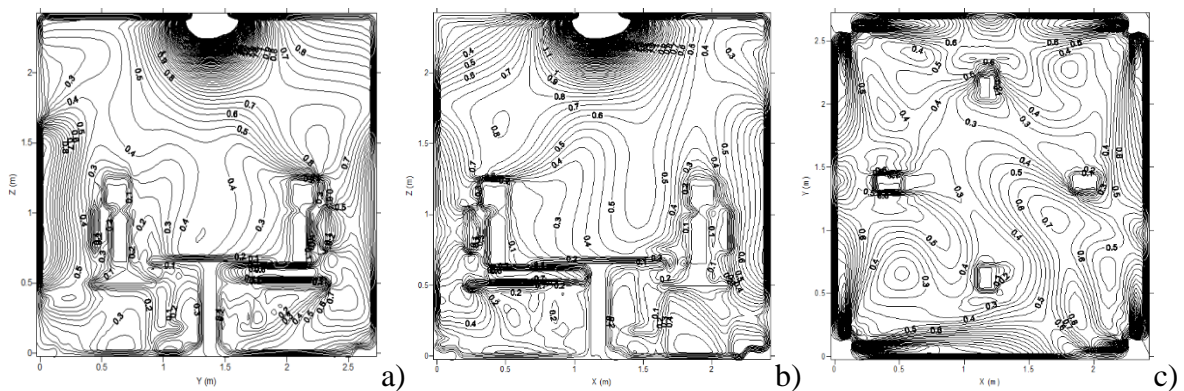


Figura 7.28- Representação do campo da velocidade do ar em torno dos ocupantes nos planos a)  $X= 1,17$  m, b)  $Y= 1,38$  m e c)  $Z= 1,12$  m. Caso I de inverno:  $T_{ext}= 8$  °C,  $T_i= 8$  °C,  $V_{ar}= 2$  m/s.

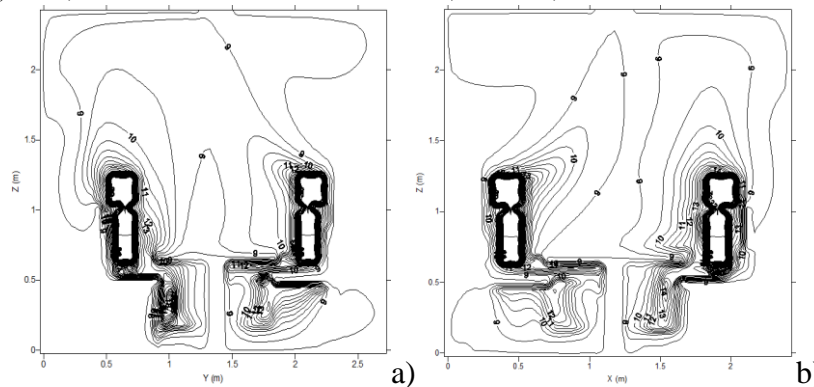


Figura 7.29- Representação do campo da temperatura do ar em torno dos ocupantes nos planos a)  $X= 1,17$  m e b)  $Y= 1,38$  m. Caso I de inverno:  $T_{ext}= 8$  °C,  $T_i= 8$  °C,  $V_{ar}= 2$  m/s.

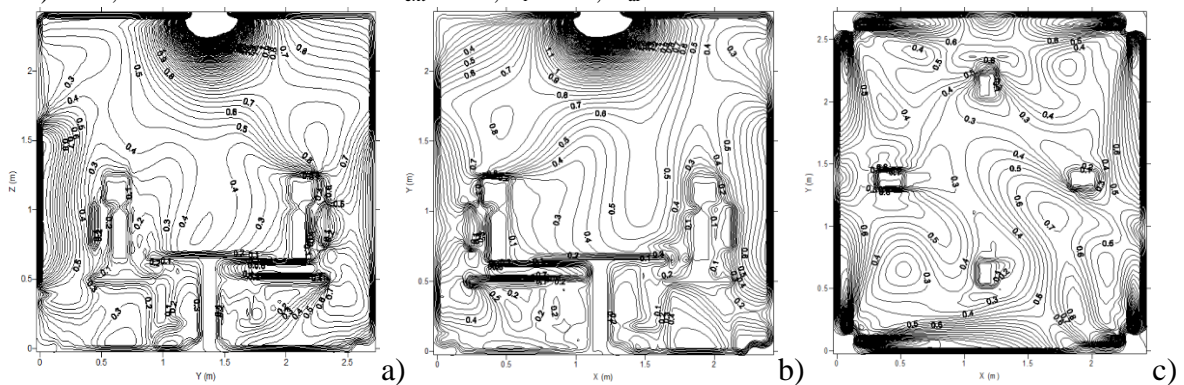


Figura 7.30- Representação do campo da velocidade do ar em torno dos ocupantes nos planos a)  $X= 1,17$  m, b)  $Y= 1,38$  m e c)  $Z= 1,12$  m. Caso I de primavera/outono:  $T_{ext}= 18$  °C,  $T_i= 18$  °C,  $V_{ar}= 2$  m/s.

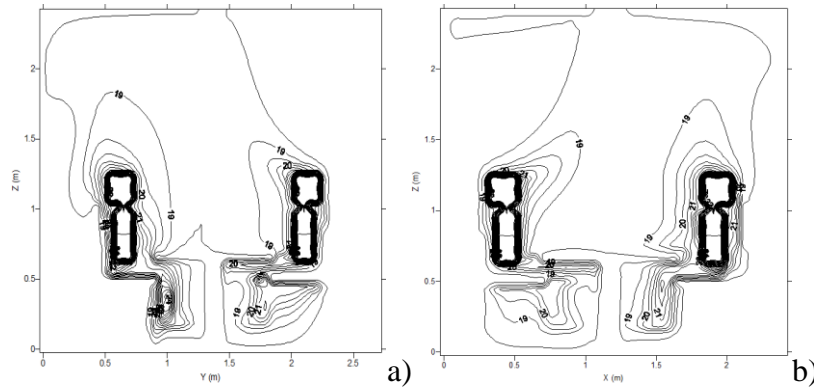


Figura 7.31- Representação do campo da temperatura do ar em torno dos ocupantes nos planos a)  $X= 1,17$  m e b)  $Y= 1,38$  m. Caso I de primavera/outono:  $T_{ext}= 18$  °C,  $T_i= 18$  °C,  $V_{ar}= 2$  m/s.

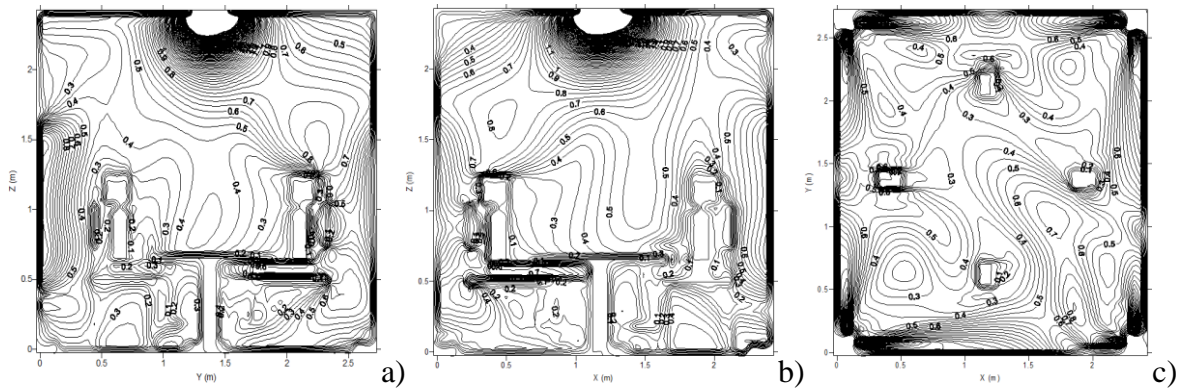


Figura 7.32- Representação do campo da velocidade do ar em torno dos ocupantes nos planos a)  $X= 1,17$  m, b)  $Y= 1,38$  m e c)  $Z= 1,12$  m. Caso I de verão:  $T_{ext}= 28$  °C,  $T_i= 28$  °C,  $V_{ar}= 2$  m/s.

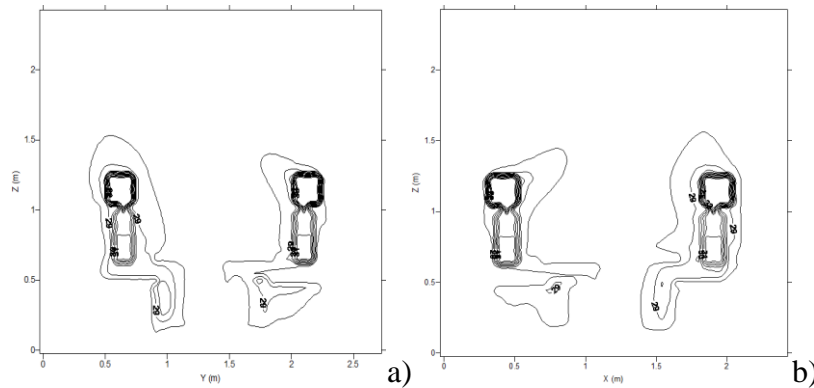


Figura 7.33- Representação do campo da temperatura do ar em torno dos ocupantes nos planos a)  $X= 1,17$  m e b)  $Y= 1,38$  m. Caso I de verão:  $T_{ext}= 28$  °C,  $T_i= 28$  °C,  $V_{ar}= 2$  m/s.

No campo da velocidade do ar obtiveram-se velocidades entre 0,4 e 0,8 m/s entre as condutas verticais e os ocupantes. Em torno dos ocupantes as velocidades do ar encontram-se numa gama entre os 0,1 e 0,4 m/s, o que se pode considerar que são velocidades aceitáveis para os indivíduos séniores. Relativamente às diferentes estações do ano, a velocidade do ar não é influenciada, o que se pode confirmar através das figuras anteriores.

No campo da temperatura do ar verifica-se que este é mais elevado em torno dos ocupantes, quer para o inverno, para a primavera/outono e para o verão. No interior da

câmara virtual a temperatura do ar é mais baixa do que em torno dos ocupantes, verificando-se uma maior diferença no inverno, de cerca de 3 °C, enquanto na primavera/outono a diferença de temperatura é de 2 °C, e no verão essa mesma diferença de temperatura é de 1 °C. Dessa forma, pode-se concluir que quanto maior a temperatura do ar exterior, menor a diferença de temperatura entre o ar interior e a envolvente dos ocupantes.

### 7.2.1.3 Nível de conforto térmico

Em termos do nível de conforto térmico dos ocupantes para o caso I são apresentadas nas figuras 7.34, 7.35, 7.36, 7.37, 7.38 e 7.39 as distribuições da velocidade do ar, da temperatura do ar, da temperatura média radiante e da temperatura da pele em torno das 25 secções do corpo humano dos quatro indivíduos. As figuras 7.34 e 7.35 representam o inverno, as figuras 7.36 e 7.37 representam a primavera/outono e as figuras 7.38 e 7.39 representam o verão. Os resultados apresentados têm uma velocidade do ar das condutas verticais de 2 m/s.

As condições de  $T_{ext}$ ,  $T_i$  e  $V_{ar}$  apresentam a temperatura do ar exterior, a temperatura do ar interior e a velocidade do ar de insuflação através das condutas verticais, respetivamente.

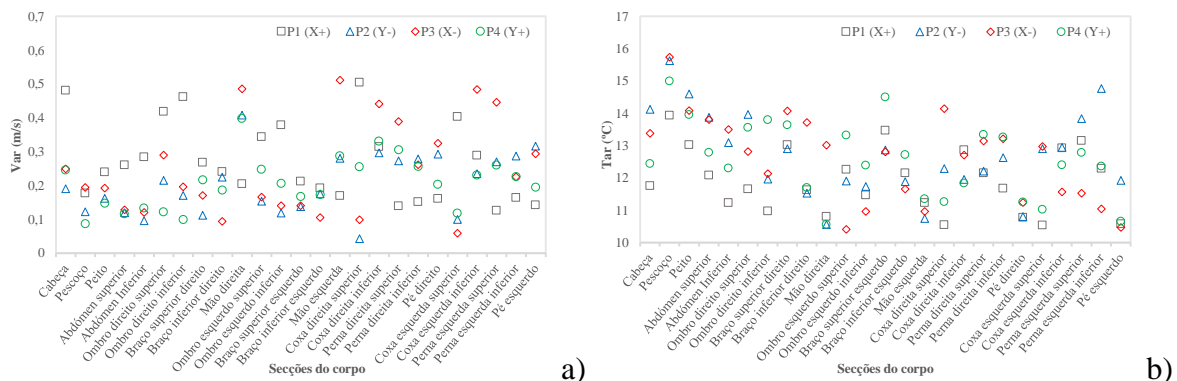


Figura 7.34- Distribuição a) da velocidade do ar e b) da temperatura do ar em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. Caso I de inverno:  $T_{ext}= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_i= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{ar}= 2\text{ m/s}$ .

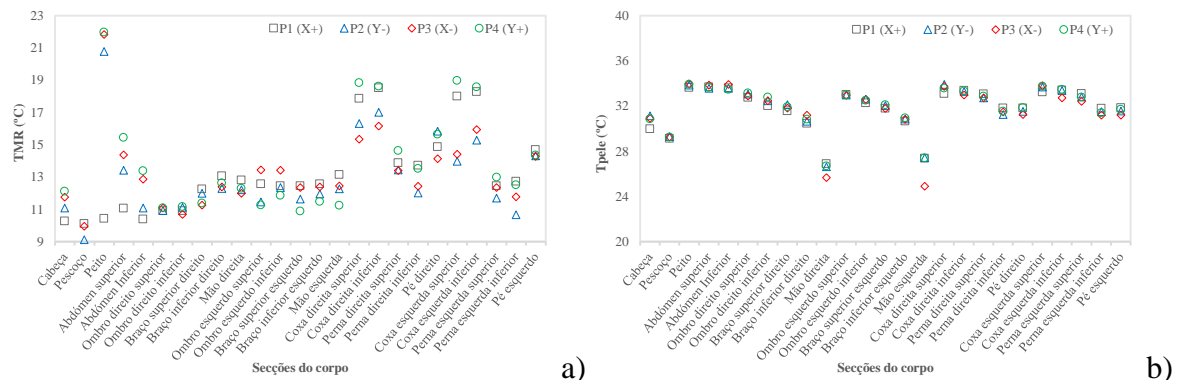
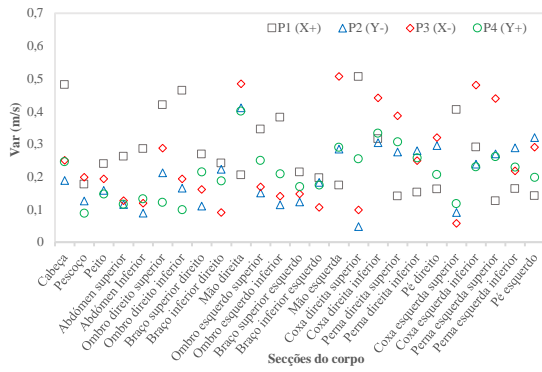
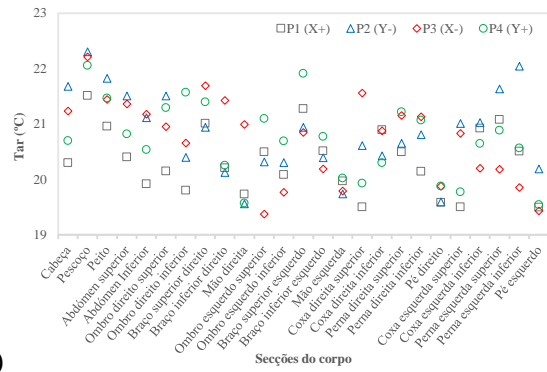


Figura 7.35- Distribuição a) da temperatura média radiante e b) da temperatura da pele em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. Caso I de inverno:  $T_{ext}= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_i= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{ar}= 2\text{ m/s}$ .



a)

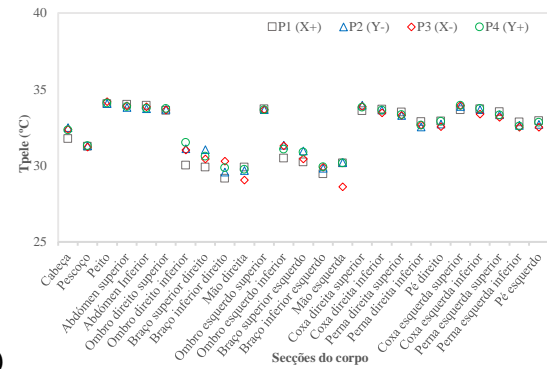


b)

Figura 7.36- Distribuição a) da velocidade do ar e b) da temperatura do ar em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. Caso I de primavera/outono:  $T_{ext}= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_i= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{ar}= 2\text{ m/s}$ .

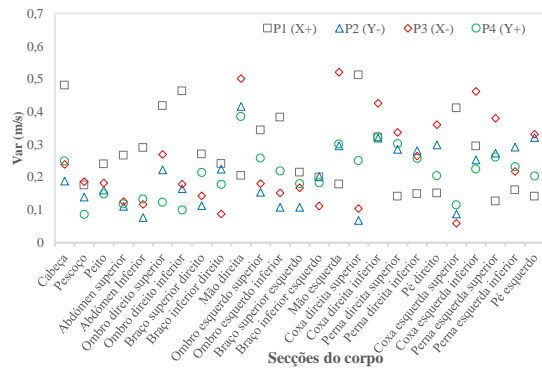


a)

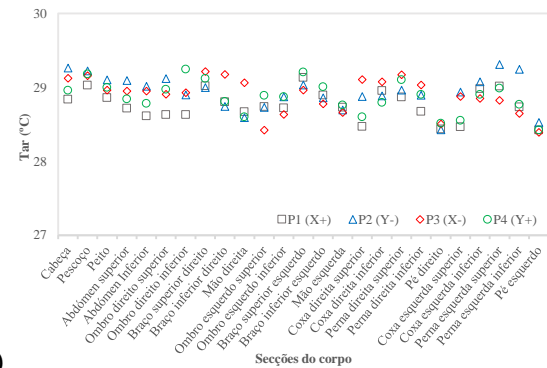


b)

Figura 7.37- Distribuição a) da temperatura média radiante e b) da temperatura da pele em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. Caso I de primavera/outono:  $T_{ext}= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_i= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{ar}= 2\text{ m/s}$ .

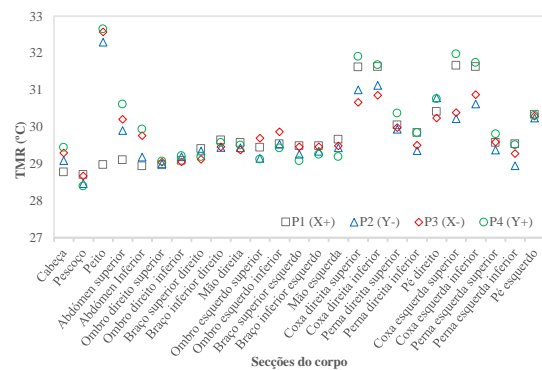


a)

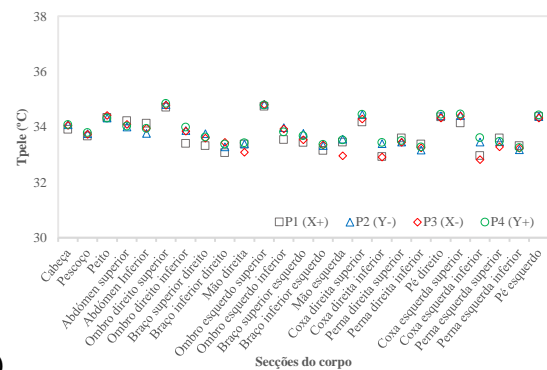


b)

Figura 7.38- Distribuição a) da velocidade do ar e b) da temperatura do ar em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. Caso I de verão:  $T_{ext}= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_i= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{ar}= 2\text{ m/s}$ .



a)



b)

Figura 7.39- Distribuição a) da temperatura média radiante e b) da temperatura da pele em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. Caso I de verão:  $T_{ext}= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_i= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{ar}= 2\text{ m/s}$ .

A partir dos resultados obtidos no caso I, e como já foi referido anteriormente, a velocidade do ar em torno dos ocupantes não varia de estação para estação. Esta distribuição é muito uniforme em torno das pessoas, pelo que se pode considerar que o sistema de condutas verticais é um bom sistema de ventilação.

A temperatura do ar de todas as secções do corpo é maior no verão do que no inverno e, por outro lado, a dispersão de valores em torno do corpo é maior no inverno e na primavera/outono e menor no verão.

Os dados da temperatura média radiante revelam que a temperatura é maior na zona peitoral e nos membros inferiores, e que a temperatura é mais elevada conforme o aumento da temperatura exterior.

A temperatura da pele é constante por todas as secções do corpo, no entanto verifica-se que a temperatura da pele das mãos é inferior à temperatura das restantes secções. Esta temperatura, em concordância com a temperatura do ar e a temperatura média radiante, aumenta consoante o aumento da temperatura exterior.

As tabelas seguintes (7.6, 7.7 e 7.8) representam os valores do índice PMV obtidos no caso I, com uma velocidade de 2 m/s e também com uma velocidade de 3 m/s, de forma a realizar-se uma comparação entre ambas.

Tabela 7.6- Nível de conforto térmico dos ocupantes, no caso I de inverno, com temperatura exterior e interior de 8 °C e velocidade do ar de insuflação de 2 e 3 m/s.

	Ocupante 1	Ocupante 2	Ocupante 3	Ocupante 4	Média
PMV ( $V_{ar}= 2 \text{ m/s}$ )	-2,60	-1,97	-2,18	-1,98	-2,18
PMV ( $V_{ar}= 3 \text{ m/s}$ )	-2,94	-2,24	-2,44	-2,30	-2,48

Tabela 7.7- Nível de conforto térmico dos ocupantes, no caso I de primavera/outono, com temperatura exterior e interior de 18 °C e velocidade do ar de insuflação de 2 e 3 m/s.

	Ocupante 1	Ocupante 2	Ocupante 3	Ocupante 4	Média
PMV ( $V_{ar}= 2 \text{ m/s}$ )	-0,90	-0,39	-0,54	-0,39	-0,56
PMV ( $V_{ar}= 3 \text{ m/s}$ )	-1,66	-0,86	-1,01	-0,89	-1,11

Tabela 7.8- Nível de conforto térmico dos ocupantes, no caso I de verão, com temperatura exterior e interior de 28 °C e velocidade do ar de insuflação de 2 e 3 m/s.

	Ocupante 1	Ocupante 2	Ocupante 3	Ocupante 4	Média
PMV ( $V_{ar}= 2 \text{ m/s}$ )	0,85	1,00	0,92	1,02	0,95
PMV ( $V_{ar}= 3 \text{ m/s}$ )	0,78	0,88	0,83	0,89	0,85

Relativamente aos resultados do índice PMV no caso I pode-se concluir que o nível de conforto em condições de inverno não está aceitável e que piora quando a velocidade do ar

aumenta. Na primavera/outono o nível de conforto é aceitável para o caso com uma velocidade do ar de insuflação de 2 m/s, no entanto, para velocidades do ar mais elevadas o nível de conforto deixa de ser aceitável. O nível de conforto térmico para o verão está aceitável e melhora ligeiramente quando a velocidade do ar de insuflação aumenta.

#### 7.2.1.4 Desconforto térmico local

No desconforto térmico local é analisado o risco de resfriamento dos ocupantes, através do índice de risco de resfriamento. As figuras 7.40, 7.41 e 7.42 descrevem este índice para o inverno, a primavera/outono e o verão, respetivamente.

As condições de  $T_{ext}$ ,  $T_i$  e  $V_{ar}$  apresentam, respetivamente, a temperatura do ar exterior, a temperatura do ar interior e a velocidade do ar de insuflação através das condutas verticais.

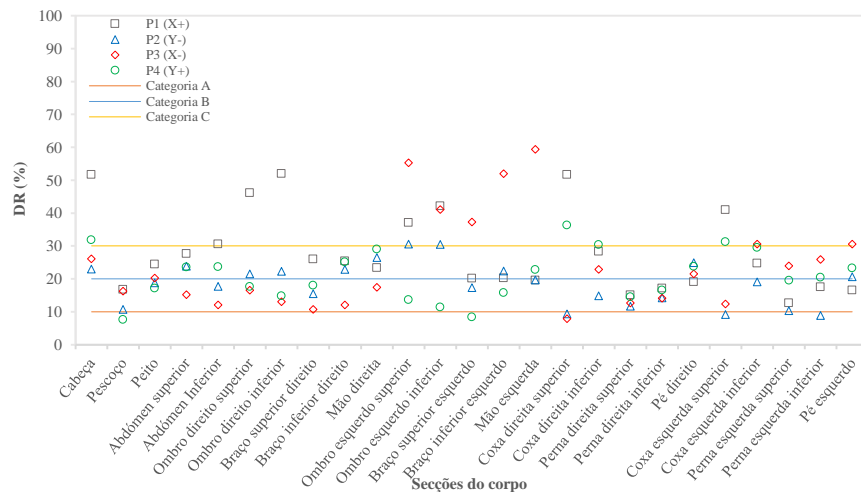


Figura 7.40- Risco de resfriamento, em %, em torno das seções do corpo de quatro indivíduos. Caso I de inverno:  $T_{ext}= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_i= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{ar}= 2\text{ m/s}$ .

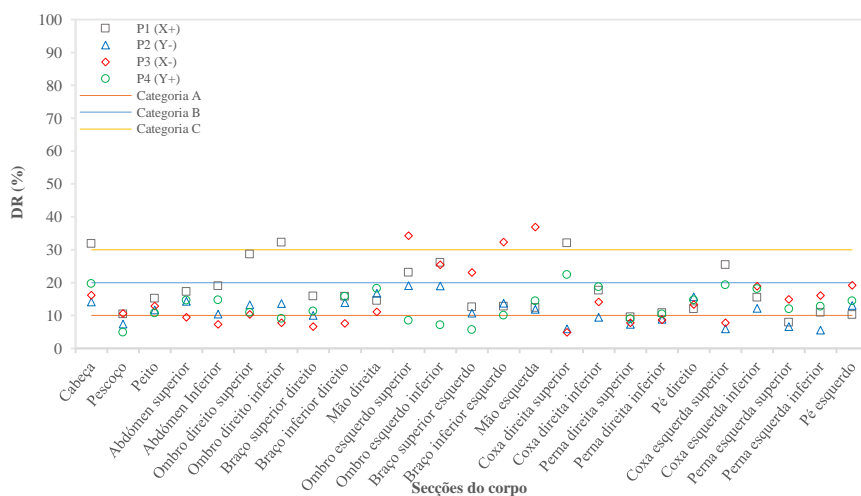


Figura 7.41- Risco de resfriamento, em %, em torno das seções do corpo de quatro indivíduos. Caso I de primavera/outono:  $T_{ext}= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_i= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{ar}= 2\text{ m/s}$ .

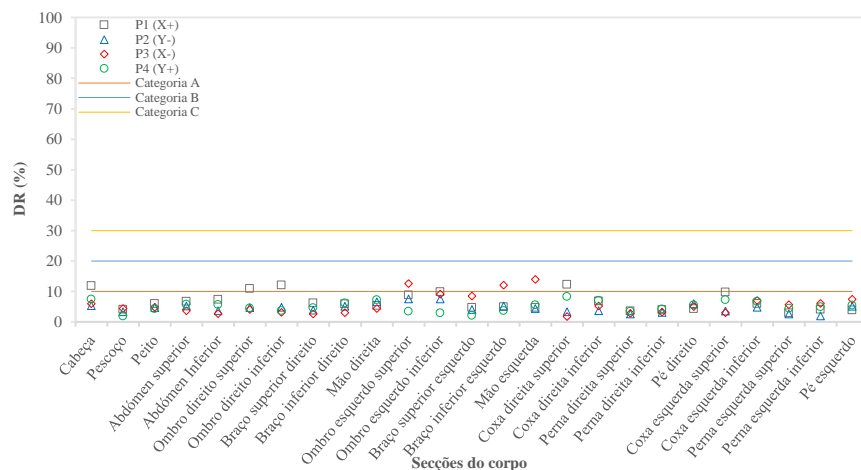


Figura 7.42- Risco de resfriamento, em %, em torno das seções do corpo de quatro indivíduos. Caso I de verão:  $T_{ext}= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_i= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{ar}= 2\text{ m/s}$ .

No caso I o risco de resfriamento é um pouco elevado no inverno tendo em conta os valores admissíveis presentes na ISO 7730 (2005). No entanto, não é dada muita importância a este risco nas zonas do corpo que estão protegidas pelo vestuário. Com o aumento da temperatura do ar exterior este índice tende a diminuir, visto que na primavera/outono e no verão o índice de risco de resfriamento diminui em relação ao inverno, como se pode verificar através das figuras 7.41 e 7.42.

### 7.2.1.5 Qualidade do ar interior

A qualidade do ar interior é avaliada através da concentração de dióxido de carbono na zona de respiração dos ocupantes. No caso I são consideradas as concentrações de dióxido de carbono na zona de respiração dos ocupantes para o inverno (figura 7.43), primavera/outono (figura 7.44) e verão (figura 7.45).

As condições de  $T_{ext}$ ,  $T_i$  e  $V_{ar}$  apresentam, respetivamente, a temperatura do ar exterior, a temperatura do ar interior e a velocidade do ar de insuflação através das condutas verticais.

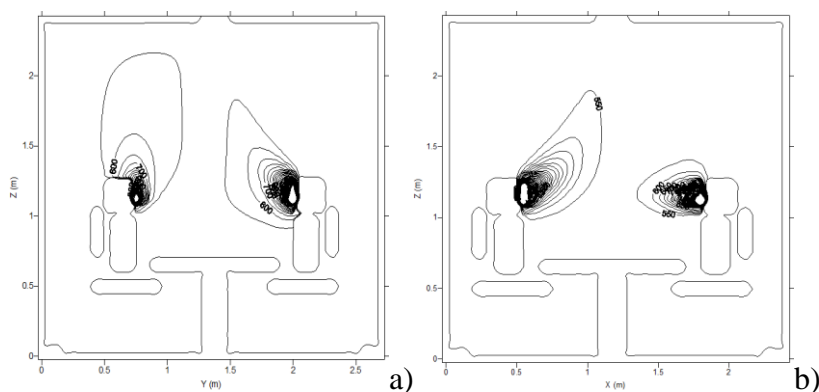


Figura 7.43- Representação do campo da concentração de dióxido de carbono na zona de respiração dos ocupantes nos planos a)  $X= 1,17\text{ m}$  e b)  $Y= 1,38\text{ m}$ . Caso I de inverno:  $T_{ext}= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_i= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{ar}= 2\text{ m/s}$ .

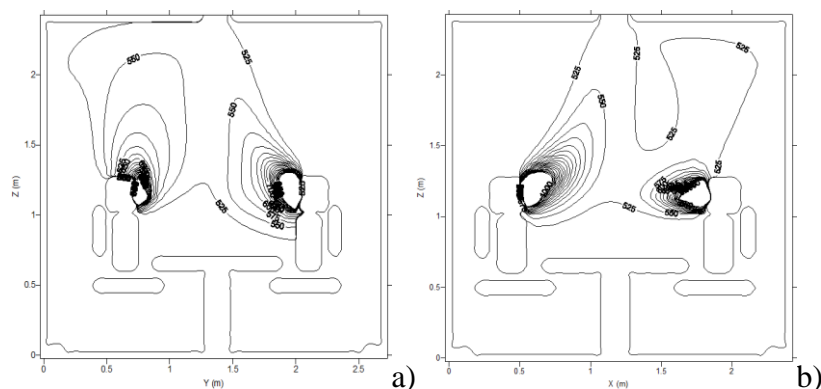


Figura 7.44- Representação do campo da concentração de dióxido de carbono na zona de respiração dos ocupantes nos planos a)  $X= 1,17$  m e b)  $Y= 1,38$  m. Caso I de primavera/outono:  $T_{ext}= 18$  °C,  $T_i= 18$  °C,  $V_{ar}= 2$  m/s.

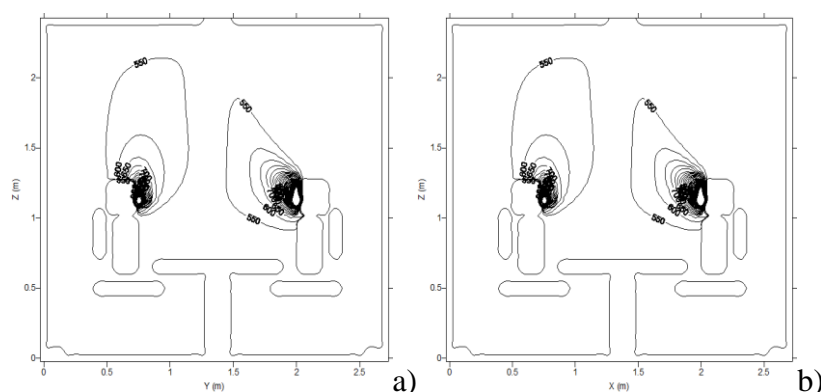


Figura 7.45- Representação do campo da concentração de dióxido de carbono na zona de respiração dos ocupantes nos planos a)  $X= 1,17$  m e b)  $Y= 1,38$  m. Caso I de verão:  $T_{ext}= 28$  °C,  $T_i= 28$  °C,  $V_{ar}= 2$  m/s.

Através das figuras 7.43, 7.44 e 7.45 pode-se concluir que a concentração do dióxido de carbono não é influenciada com a temperatura do ar que entra dentro do compartimento e que esta desloca-se para o teto, onde se encontra a exaustão.

As concentrações obtidas na zona de respiração dos indivíduos encontram-se acima dos valores sugeridos pela ANSI/ASHRAE Standard 62.1, 2004.

Nas tabelas 7.9, 7.10 e 7.11 são comparados os valores da concentração de dióxido de carbono na zona de respiração dos ocupantes, de acordo com a estação de inverno, primavera/outono e verão para velocidades de entrada do ar pelas condutas verticais de 2 e 3 m/s.

Tabela 7.9- Concentração de dióxido de carbono na zona de respiração dos ocupantes, no caso I de inverno, com temperatura exterior e interior de 8 °C e velocidade do ar de insuflação de 2 e 3 m/s.

	Ocupante 1	Ocupante 2	Ocupante 3	Ocupante 4	Média
$CO_2$ (mg/m <sup>3</sup> ) ( $V_{ar}= 2$ m/s)	6 900	1 500	1 500	4 800	3 675
$CO_2$ (mg/m <sup>3</sup> ) ( $V_{ar}= 3$ m/s)	4 520	1 070	1 227	3 514	2 583

Tabela 7.10- Concentração de dióxido de carbono na zona de respiração dos ocupantes, no caso I de primavera/outono, com temperatura exterior e interior de 18 °C e velocidade do ar de insuflação de 2 e 3 m/s.

	Ocupante 1	Ocupante 2	Ocupante 3	Ocupante 4	Média
CO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> ) (V <sub>ar</sub> = 2 m/s)	6 763	1 480	1 511	5 053	3 702
CO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> ) (V <sub>ar</sub> = 3 m/s)	4 402	1 070	1 307	3 512	2 573

Tabela 7.11- Concentração de dióxido de carbono na zona de respiração dos ocupantes, no caso I de verão, com temperatura exterior e interior de 28 °C e velocidade do ar de insuflação de 2 e 3 m/s.

	Ocupante 1	Ocupante 2	Ocupante 3	Ocupante 4	Média
CO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> ) (V <sub>ar</sub> = 2 m/s)	6 383	1 432	1 700	4 902	3 604
CO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> ) (V <sub>ar</sub> = 3 m/s)	4 387	1 070	1 311	3 511	2 570

Segundo as tabelas anteriores conclui-se que o aumento da velocidade de entrada do ar reduz ligeiramente a concentração de dióxido de carbono, no entanto, os níveis estão acima dos valores limites sugeridos pela ANSI/ASHRAE Standard 62.1, 2004.

#### 7.2.1.6 ADI e energia

As tabelas 7.12, 7.13 e 7.14 representam os dados obtidos nas simulações do caso I, para as estações de inverno, primavera/outono e verão, com especial destaque ao índice de distribuição do ar (ADI). Para além das tabelas seguintes, também será mencionado o consumo de energia do caso I.

Tabela 7.12- ADI no caso I de inverno, com temperatura do ar exterior e interior de 8 °C e velocidade de insuflação de 2 m/s.

Ocupante	1	2	3	4	Média
Temperatura de entrada (°C)	8	8	8	8	<b>8</b>
Temperatura de saída (°C)	8,87	8,87	8,87	8,87	<b>8,87</b>
Temperatura média corporal (°C)	12,10	13,31	13,04	12,81	<b>12,81</b>
Eficiência de remoção de calor (%)	21,32	16,43	17,33	18,15	<b>18,31</b>
PPD através do conforto térmico (%)	95,29	75,18	84,12	75,71	<b>82,57</b>
Número de conforto térmico	0,22	0,22	0,21	0,24	<b>0,22</b>
Entrada de CO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	500	500	500	500	<b>500</b>
Saída de CO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	527,14	527,14	527,14	527,14	<b>527,14</b>
Eficiência de remoção de contaminantes (%)	0,34	1,04	0,74	0,41	<b>0,63</b>
Caudal volúmico (l/s/Olf)	304,15	304,15	304,15	304,15	<b>304,15</b>
PD com qualidade do ar (%)	0,19	0,19	0,19	0,19	<b>0,19</b>
Número de qualidade do ar	1,80	5,49	3,92	2,18	<b>3,35</b>
Velocidade de entrada (m/s)	2,00	2,00	2,00	2,00	<b>2,00</b>
Velocidade média em torno do corpo (m/s)	0,31	0,18	0,25	0,19	<b>0,23</b>
Eficiência do sistema de promoção de ar (%)	100	100	100	100	<b>100</b>
Índice de distribuição de ar (ADI)	0,63	1,10	0,90	0,72	<b>0,84</b>
Potência de aquecimento (kW)	<b>0</b>				

Tabela 7.13- ADI no caso I de primavera/outono, com temperatura do ar exterior e interior de 18 °C e velocidade de insuflação de 2 m/s.

Ocupante	1	2	3	4	Média
Temperatura de entrada (°C)	18	18	18	18	<b>18</b>
Temperatura de saída (°C)	18,56	18,56	18,56	18,56	<b>18,56</b>
Temperatura média corporal (°C)	20,43	21,17	20,95	20,85	<b>20,85</b>
Eficiência de remoção de calor (%)	23,01	17,65	18,97	19,65	<b>19,82</b>
PPD através do conforto térmico (%)	22,05	8,12	11,21	8,17	<b>12,39</b>
Número de conforto térmico	1,04	2,18	1,69	2,40	<b>1,83</b>
Entrada de CO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	500	500	500	500	<b>500</b>
Saída de CO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	527,12	527,12	527,12	527,12	<b>527,12</b>
Eficiência de remoção de contaminantes (%)	0,35	1,06	0,74	0,40	<b>0,64</b>
Caudal volúmico (l/s/Olf)	304,15	304,15	304,15	304,15	<b>304,15</b>
PD com qualidade do ar (%)	0,19	0,19	0,19	0,19	<b>0,19</b>
Número de qualidade do ar	1,83	5,62	3,91	2,11	<b>3,37</b>
Velocidade de entrada (m/s)	2,00	2,00	2,00	2,00	<b>2,00</b>
Velocidade média em torno do corpo (m/s)	0,31	0,18	0,25	0,19	<b>0,23</b>
Eficiência do sistema de promoção de ar (%)	100	100	100	100	<b>100</b>
Índice de distribuição de ar (ADI)	1,38	3,50	2,57	2,25	<b>2,43</b>
Potência de aquecimento (kW)	<b>0</b>				

Tabela 7.14- ADI no caso I de verão, com temperatura do ar exterior e interior de 28 °C e velocidade de insuflação de 2 m/s.

Ocupante	1	2	3	4	Média
Temperatura de entrada (°C)	28	28	28	28	<b>28</b>
Temperatura de saída (°C)	20,62	20,62	20,62	20,62	<b>20,62</b>
Temperatura média corporal (°C)	20,96	21,92	21,73	22,01	<b>21,66</b>
Eficiência de remoção de calor (%)	100	100	100	100	<b>100</b>
PPD através do conforto térmico (%)	11,42	5,05	8,31	5,07	<b>7,46</b>
Número de conforto térmico	9,19	24,07	14,16	24,31	<b>17,93</b>
Entrada de CO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	500	500	500	500	<b>500</b>
Saída de CO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	527,15	527,15	527,15	527,15	<b>527,15</b>
Eficiência de remoção de contaminantes (%)	0,34	1,04	0,75	0,40	<b>0,63</b>
Caudal volúmico (l/s/Olf)	304,15	304,15	304,15	304,15	<b>304,15</b>
PD com qualidade do ar (%)	0,19	0,19	0,19	0,19	<b>0,19</b>
Número de qualidade do ar	1,79	5,51	3,98	2,09	<b>3,34</b>
Velocidade de entrada (m/s)	2,00	2,00	2,00	2,00	<b>2,00</b>
Velocidade média em torno do corpo (m/s)	0,31	0,18	0,25	0,19	<b>0,23</b>
Eficiência do sistema de promoção de ar (%)	100	100	100	100	<b>100</b>
Índice de distribuição de ar (ADI)	4,06	11,51	7,51	7,13	<b>7,55</b>
Potência de arrefecimento (kW)	<b>0</b>				

Ao analisar as tabelas anteriores percebe-se que os índices de distribuição de ar são baixos, principalmente no inverno e na primavera/outono. A percentagem de pessoas insatisfeitas (PPD) é muito elevada no inverno. Relativamente ao consumo de energia, neste caso o consumo é nulo, visto que o ar é injetado pelas condutas à temperatura exterior.

## 7.2.2 Caso II

O segundo caso representa o uso de condutas verticais, com e sem a utilização das superfícies radiantes, e com uma exaustão personalizada através de uma conduta colocada ao centro da câmara virtual a uma altura de 1,70 metros. No caso II-A, as simulações realizadas sem chão radiante foram feitas para condições de inverno, primavera/outono e verão com temperaturas do ar de 8, 18 e 28 °C e velocidades de insuflação de 1 e 2 m/s. No caso II-B, as simulações com chão radiante foram feitas com temperaturas do ar iguais às simulações sem chão radiante, no entanto, nestas simulações o chão foi simulado a uma temperatura de 29 °C para o inverno e primavera/outono e 19 °C para o verão. As velocidades de insuflação utilizadas também foram de 1 e 2 m/s.

### 7.2.2.1 Temperaturas das superfícies da câmara virtual

Na tabela seguinte encontram-se as temperaturas das superfícies da câmara virtual para o caso II de condutas verticais com e sem superfícies radiantes. As temperaturas são apresentadas segundo a estação do ano, a velocidade utilizada e a presença, ou não, do chão radiante. Ao consultar a tabela pode-se observar que o chão radiante influencia a temperatura das restantes superfícies. Para velocidades de insuflação de 1 m/s tende a aumentar 2 °C e para velocidades de insuflação de 2 m/s aumenta 1 °C.

Tabela 7.15- Temperaturas das superfícies da câmara virtual.

	inverno $V_{ar}=1$ m/s, $T_{ext}=8$ °C	inverno $V_{ar}=1$ m/s, $T_{ext}=8$ °C $T_{ch}=29$ °C	inverno $V_{ar}=2$ m/s, $T_{ext}=8$ °C	inverno $V_{ar}=2$ m/s, $T_{ext}=8$ °C $T_{ch}=29$ °C	primavera/outono $V_{ar}=1$ m/s, $T_{ext}=18$ °C	primavera/outono $V_{ar}=1$ m/s, $T_{ext}=18$ °C $T_{ch}=29$ °C	primavera/outono $V_{ar}=2$ m/s, $T_{ext}=18$ °C	primavera/outono $V_{ar}=2$ m/s, $T_{ext}=18$ °C $T_{ch}=29$ °C	verão $V_{ar}=1$ m/s, $T_{ext}=28$ °C	verão $V_{ar}=1$ m/s, $T_{ext}=28$ °C $T_{ch}=19$ °C	verão $V_{ar}=2$ m/s, $T_{ext}=28$ °C	verão $V_{ar}=2$ m/s, $T_{ext}=28$ °C $T_{ch}=19$ °C
Tteto	8,49	10,82	8,24	9,17	18,49	19,36	18,24	18,70	28,49	27,74	28,24	27,86
Tchão	8,56	29	8,28	29	18,56	29	18,28	29	28,56	19	28,28	19
Tsul	8,54	10,42	8,26	9,26	18,54	19,47	18,26	18,76	28,54	27,71	28,26	27,85
Tnorte	8,54	10,42	8,26	9,26	18,54	19,47	18,26	18,76	28,54	27,71	28,26	27,85
Teste	8,54	10,42	8,26	9,26	18,54	19,47	18,26	18,76	28,54	27,71	28,26	27,85
Toeste	8,54	10,42	8,26	9,26	18,54	19,47	18,26	18,76	28,54	27,71	28,26	27,85

### 7.2.2.2 Escoamento em torno dos ocupantes

Nas figuras 7.46, 7.47, 7.48, 7.49, 7.50, 7.51, 7.52, 7.53, 7.54, 7.55, 7.56 e 7.57 são apresentadas as isolinhas relativas aos campos de velocidade e temperatura do ar em torno dos ocupantes para o caso II. As figuras 7.46, 7.47, 7.48 e 7.49 estão associadas ao inverno, as figuras 7.50, 7.51, 7.52 e 7.53 estão associadas à primavera/outono e as figuras 7.54, 7.55, 7.56 e 7.57 ao verão. Na velocidade de entrada do ar dentro da sala foram consideradas as velocidades de 1 e 2 m/s, como se pode verificar nas figuras 7.46, 7.47, 7.50, 7.51, 7.54 e 7.55 e nas figuras 7.48, 7.49, 7.52, 7.53, 7.56 e 7.57, respetivamente.

Nas isolinhas do campo de velocidade do ar serão apresentadas apenas as simulações feitas, para o caso II-A (sem o chão radiante) devido ao facto do chão radiante não influenciar a velocidade do ar, e por isso, as isolinhas com chão radiante são idênticas às isolinhas sem chão radiante.

As condições de  $T_{ext}$ ,  $T_i$ ,  $T_{ch}$  e  $V_{ar}$  apresentam, respetivamente, a temperatura do ar exterior, a temperatura do ar interior, a temperatura do chão radiante e a velocidade do ar de insuflação através das condutas verticais.

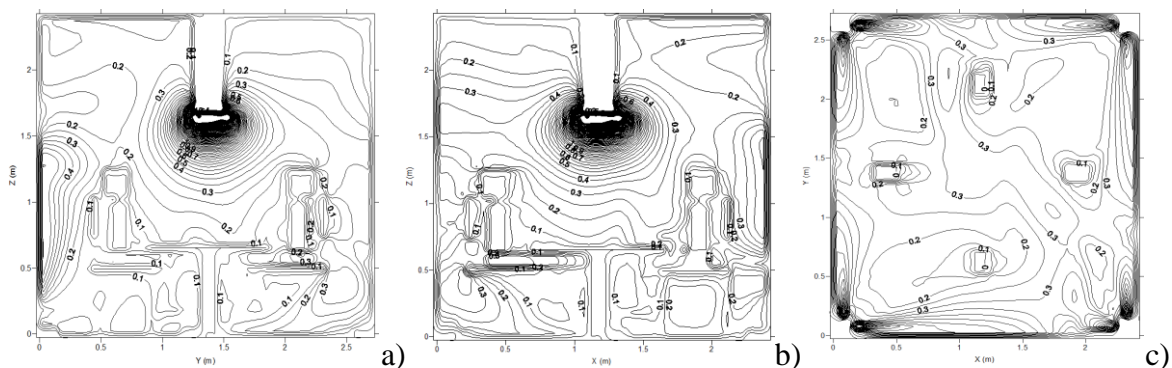
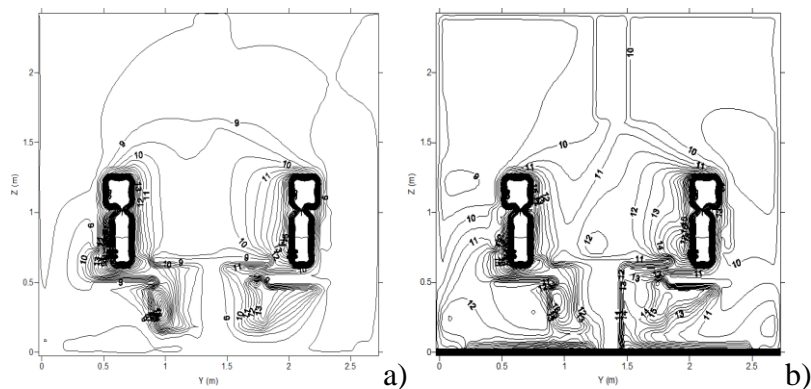


Figura 7.46- Representação do campo da velocidade do ar (sem chão radiante) em torno dos ocupantes nos planos a)  $X=1,17$  m, b)  $Y=1,38$  m e c)  $Z=1,12$  m. Caso II-A de inverno:  $T_{ext}=8$  °C,  $T_i=8$  °C,  $V_{ar}=1$  m/s.



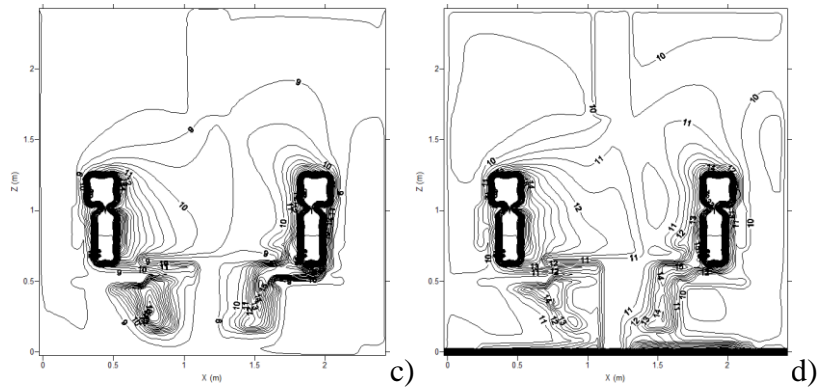


Figura 7.47- Representação do campo da temperatura do ar em torno dos ocupantes nos planos a)  $X= 1,17$  m sem chão radiante, b)  $X= 1,17$  m com chão radiante, c)  $Y= 1,38$  m sem chão radiante e d)  $Y= 1,38$  m com chão radiante. Caso II-A e II-B de inverno:  $T_{ext}= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_i= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{ch}= 29\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{ar}= 1\text{ m/s}$ .

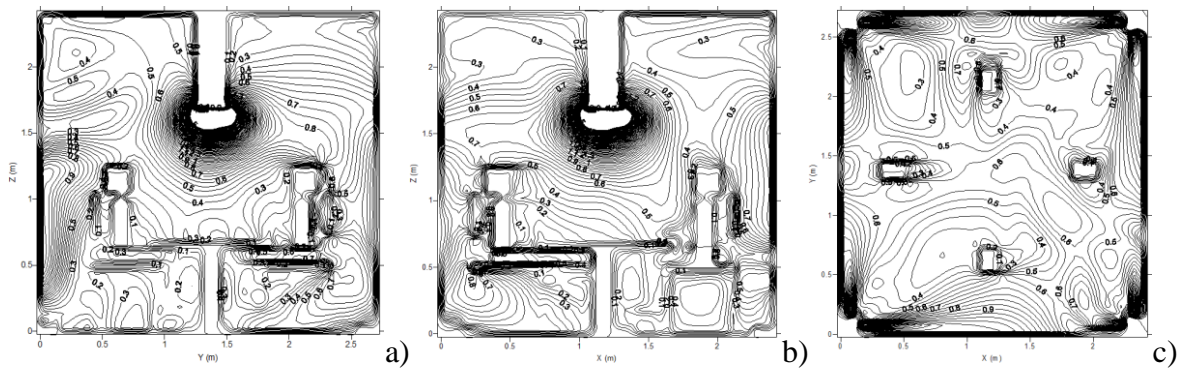


Figura 7.48- Representação do campo da velocidade do ar (sem chão radiante) em torno dos ocupantes nos planos a)  $X= 1,17$  m, b)  $Y= 1,38$  m e c)  $Z= 1,12$  m. Caso II-A de inverno:  $T_{ext}= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_i= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{ar}= 2\text{ m/s}$ .

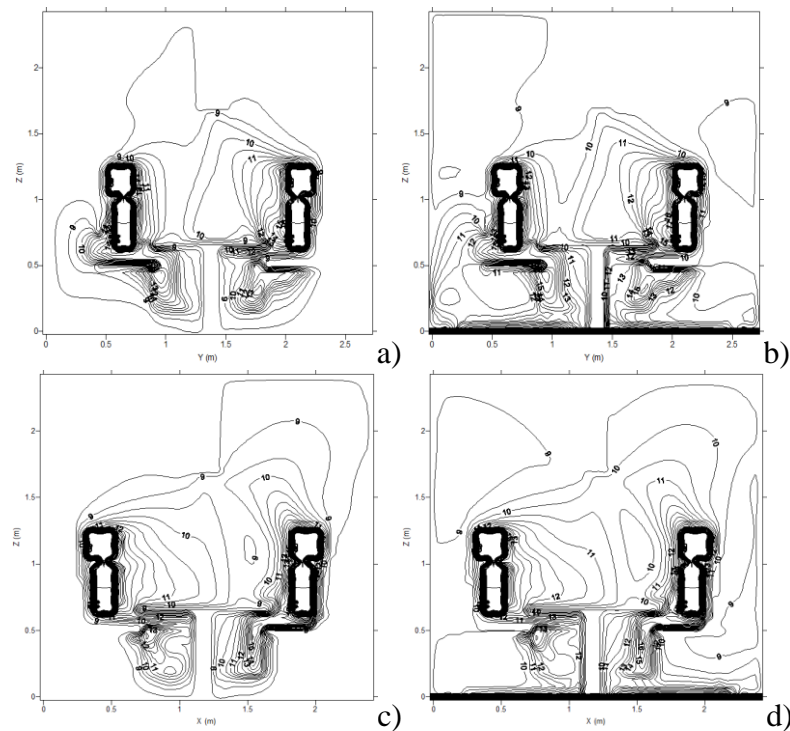


Figura 7.49- Representação do campo da temperatura do ar em torno dos ocupantes nos planos a)  $X= 1,17$  m sem chão radiante, b)  $X= 1,17$  m com chão radiante, c)  $Y= 1,38$  m sem chão radiante e d)  $Y= 1,38$  m com chão radiante. Caso II-A e II-B de inverno:  $T_{ext}= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_i= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{ch}= 29\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{ar}= 2\text{ m/s}$ .

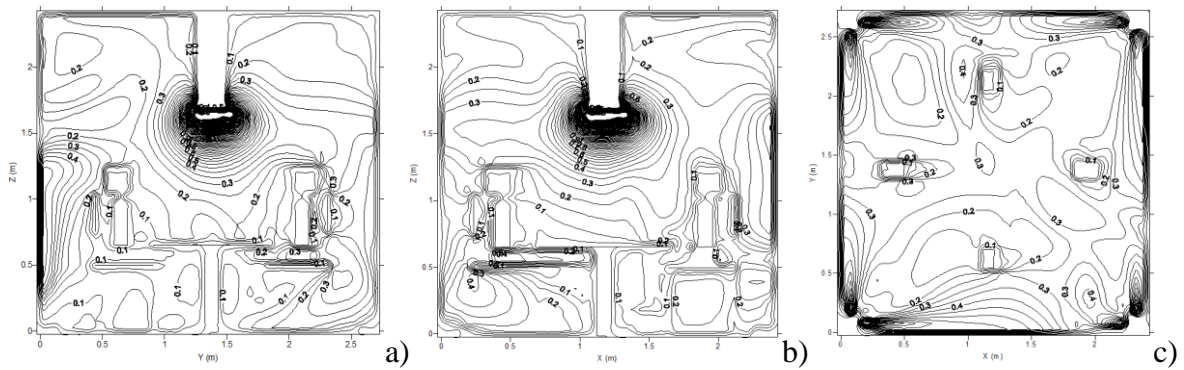


Figura 7.50- Representação do campo da velocidade do ar (sem chão radiante) em torno dos ocupantes nos planos a)  $X= 1,17$  m, b)  $Y= 1,38$  m e c)  $Z= 1,12$  m. Caso II-A de primavera/outono:  $T_{ext}= 18$  °C,  $T_i= 18$  °C,  $V_{ar}= 1$  m/s.

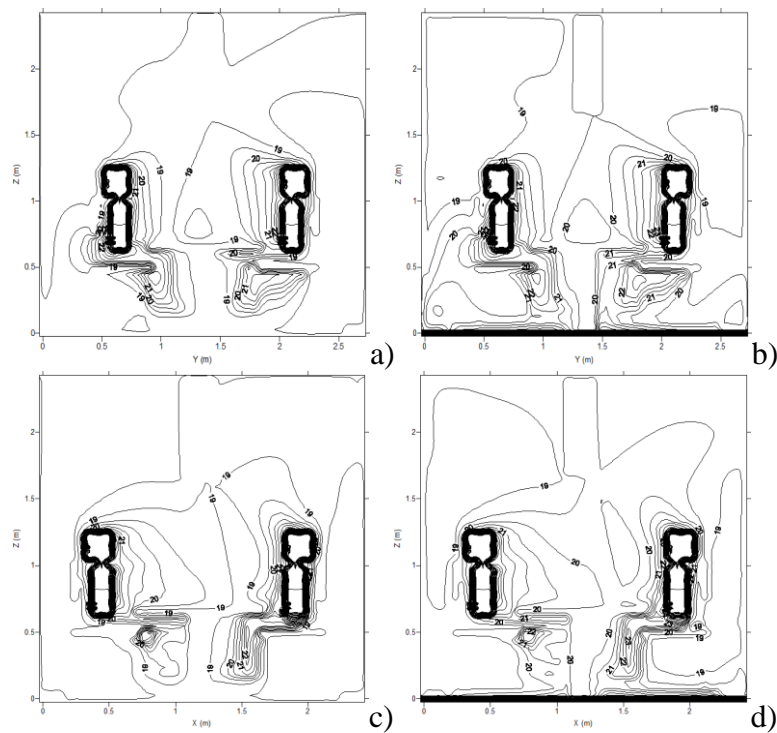


Figura 7.51- Representação do campo da temperatura do ar em torno dos ocupantes nos planos a)  $X= 1,17$  m sem chão radiante, b)  $X= 1,17$  m com chão radiante, c)  $Y= 1,38$  m sem chão radiante e d)  $Y= 1,38$  m com chão radiante. Caso II-A e II-B de primavera/outono:  $T_{ext}= 18$  °C,  $T_i= 18$  °C,  $T_{ch}= 29$  °C,  $V_{ar}= 1$  m/s.

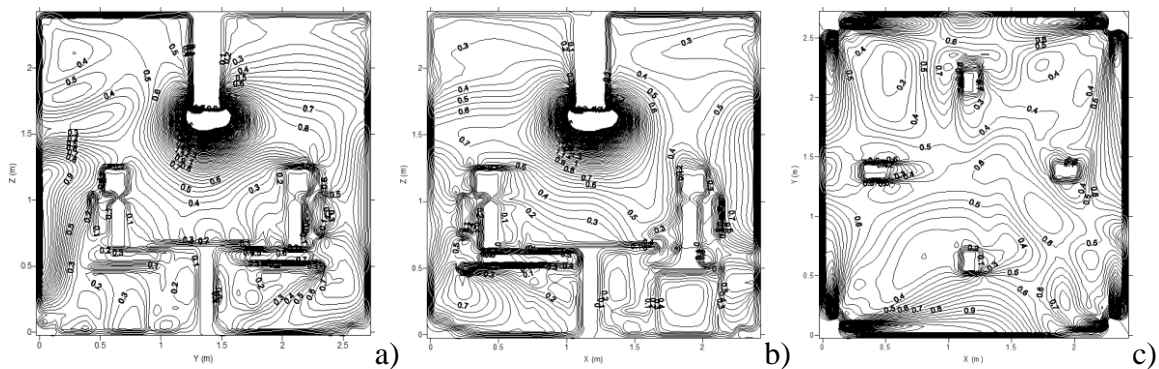


Figura 7.52- Representação do campo da velocidade do ar (sem chão radiante) em torno dos ocupantes nos planos a)  $X= 1,17$  m, b)  $Y= 1,38$  m e c)  $Z= 1,12$  m. Caso II-A de primavera/outono:  $T_{ext}= 18$  °C,  $T_i= 18$  °C,  $V_{ar}= 2$  m/s.

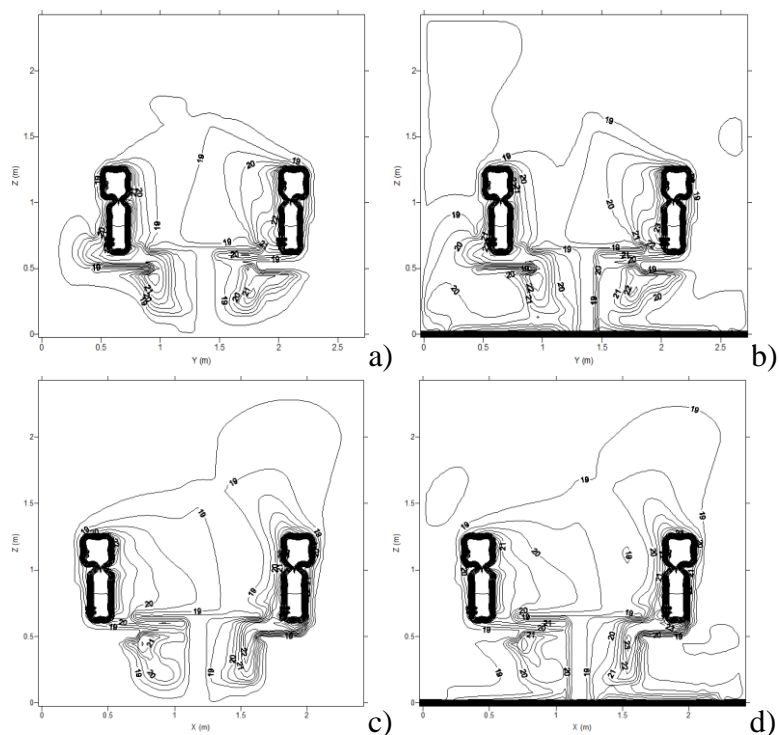


Figura 7.53- Representação do campo da temperatura do ar em torno dos ocupantes nos planos a)  $X= 1,17$  m sem chão radiante, b)  $X= 1,17$  m com chão radiante, c)  $Y= 1,38$  m sem chão radiante e d)  $Y= 1,38$  m com chão radiante. Caso II-A e II-B de primavera/outono:  $T_{ext}= 18$  °C,  $T_i= 18$  °C,  $T_{ch}= 29$  °C,  $V_{ar}= 2$  m/s.

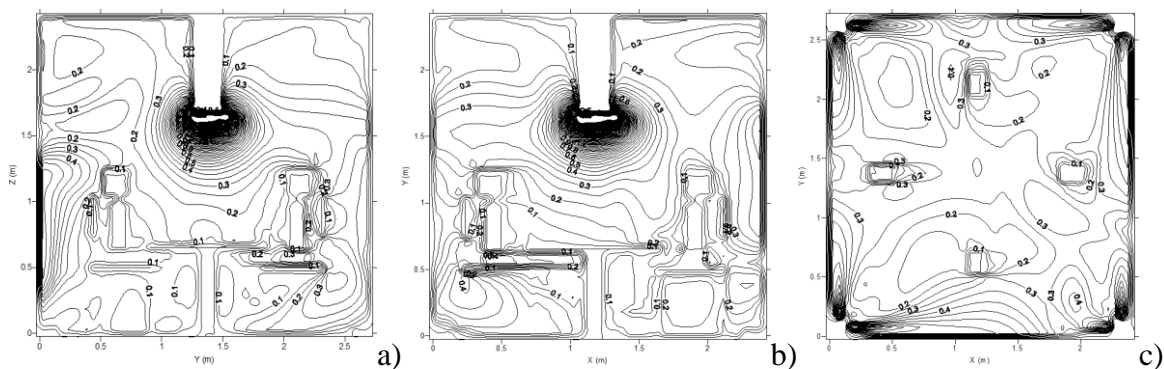
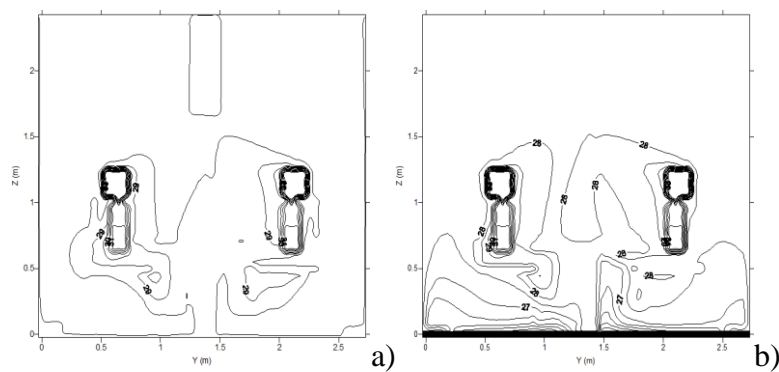


Figura 7.54- Representação do campo da velocidade do ar em torno dos ocupantes nos planos a)  $X= 1,17$  m, b)  $Y= 1,38$  m e c)  $Z= 1,12$  m. Caso II-A de verão:  $T_{ext}= 28$  °C,  $T_i= 28$  °C,  $V_{ar}= 1$  m/s.



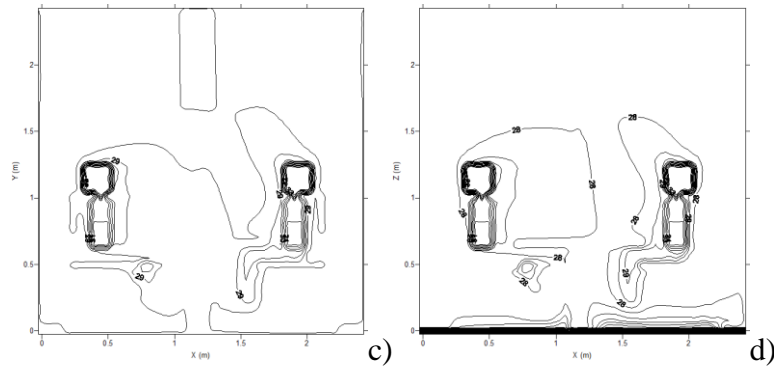


Figura 7.55- Representação do campo da temperatura do ar em torno dos ocupantes nos planos a)  $X=1,17$  m sem chão radiante, b)  $X=1,17$  m com chão radiante, c)  $Y=1,38$  m sem chão radiante e d)  $Y=1,38$  m com chão radiante. Caso II-A e II-B de verão:  $T_{ext}=28$  °C,  $T_i=28$  °C,  $T_{ch}=19$  °C,  $V_{ar}=1$  m/s.

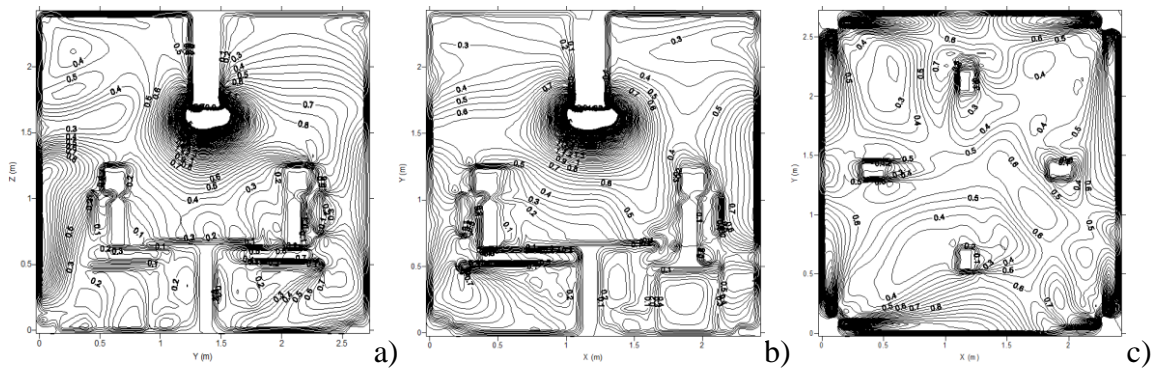


Figura 7.56- Representação do campo da velocidade do ar em torno dos ocupantes nos planos a)  $X=1,17$  m, b)  $Y=1,38$  m e c)  $Z=1,12$  m. Caso II-A de verão:  $T_{ext}=28$  °C,  $T_i=28$  °C,  $V_{ar}=2$  m/s.

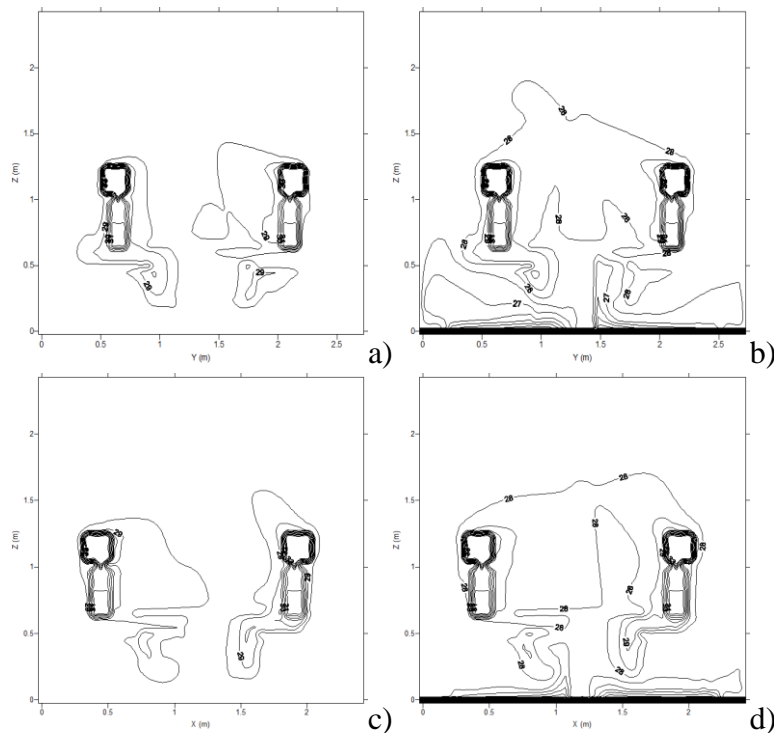


Figura 7.57- Representação do campo da temperatura do ar em torno dos ocupantes nos planos a)  $X=1,17$  m sem chão radiante, b)  $X=1,17$  m com chão radiante, c)  $Y=1,38$  m sem chão radiante e d)  $Y=1,38$  m com chão radiante. Caso II-A e II-B de verão:  $T_{ext}=28$  °C,  $T_i=28$  °C,  $T_{ch}=19$  °C,  $V_{ar}=2$  m/s.

No que diz respeito ao escoamento em torno dos ocupantes no caso II-B (com condutas verticais e superfícies radiantes) pode-se verificar que o campo de velocidade do ar em torno dos ocupantes aumenta de acordo com o aumento da velocidade de entrada do ar exterior a partir das condutas verticais, independentemente da estação do ano (figuras 7.46, 7.48, 7.50, 7.52, 7.54 e 7.56). Os valores da velocidade são similares para as três estações, pelo que conclui-se que a velocidade não é afetada pela temperatura do ar exterior.

O campo da temperatura do ar diminui quando a velocidade do ar das condutas aumenta e aumenta quando o valor da temperatura no exterior aumenta, ou seja, este campo é maior no verão e menor no inverno. Outro fator que influencia a temperatura do ar é o chão radiante implementado na câmara virtual a uma temperatura de 29 °C, para o inverno e primavera/outono, visto que se verifica um ligeiro aumento de temperatura em torno dos ocupantes de cerca de 2 °C quer para a velocidade de entrada do ar de 1 e 2 m/s. A partir das isolinhas das figuras 7.47, 7.49, 7.51 e 7.53 é possível analisar a diferença entre a temperatura do ar do compartimento sem chão radiante (a e c) e com chão radiante (b e d).

No verão verifica-se igualmente uma influência do chão radiante no campo da temperatura do ar, no entanto, neste caso a superfície radiante a uma temperatura de 19 °C, permite diminuir ligeiramente a temperatura em torno dos ocupantes, igualmente em ambas as velocidades de entrada do ar consideradas (figuras 7.55 e 7.57).

### 7.2.2.3 Nível de conforto térmico

Para o caso II, os níveis de conforto térmico são apresentados através das distribuições da velocidade do ar, da temperatura do ar, da temperatura média radiante e da temperatura da pele nas 25 secções do corpo humano dos ocupantes. As figuras 7.58, 7.59, 7.60, 7.61, 7.62, 7.63, 7.64 e 7.65 referem-se ao inverno, as figuras 7.66, 7.67, 7.68, 7.69, 7.70, 7.71, 7.72 e 7.73 estão relacionadas com a primavera/outono e as figuras 7.74, 7.75, 7.76, 7.77, 7.78, 7.79, 7.80 e 7.81 estão associadas ao verão. Relativamente à velocidade de entrada do ar dentro da câmara virtual, foram consideradas velocidades de 1 e 2 m/s.

Nas tabelas 7.16, 7.17 e 7.18 são comparados os valores do índice PMV com e sem a introdução de chão radiante no compartimento, para a estação de inverno, primavera/outono e verão, bem como o consumo de energia da superfície radiante.

As condições de  $T_{ext}$ ,  $T_i$ ,  $T_{ch}$  e  $V_{ar}$  apresentam, respetivamente, a temperatura do ar exterior, a temperatura do ar interior, a temperatura do chão radiante e a velocidade do ar de insuflação através das condutas verticais.

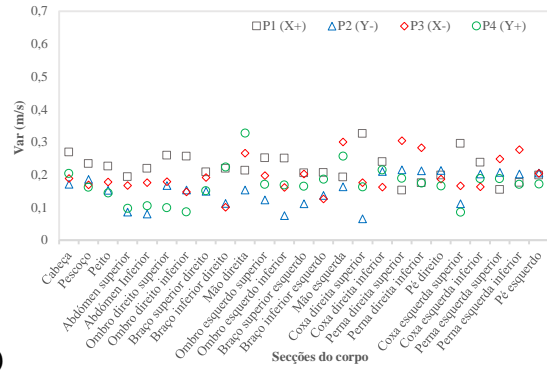
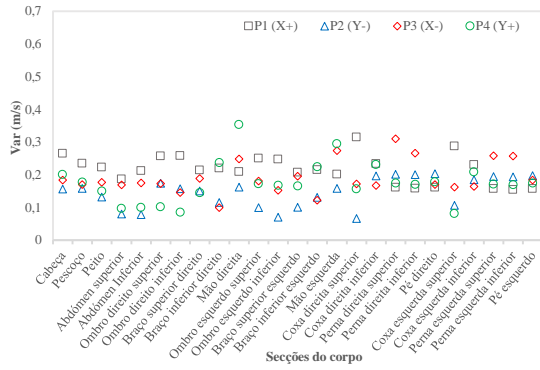


Figura 7.58- Distribuição da velocidade do ar em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. a) sem chão radiante e b) com chão radiante. Caso II-A e II-B de inverno:  $T_{ext}= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_i= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{ch}= 29\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{ar}= 1\text{ m/s}$ .

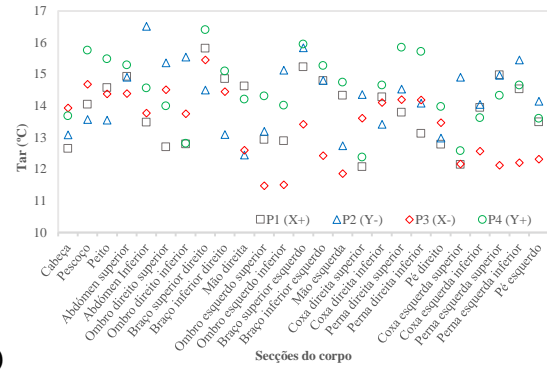
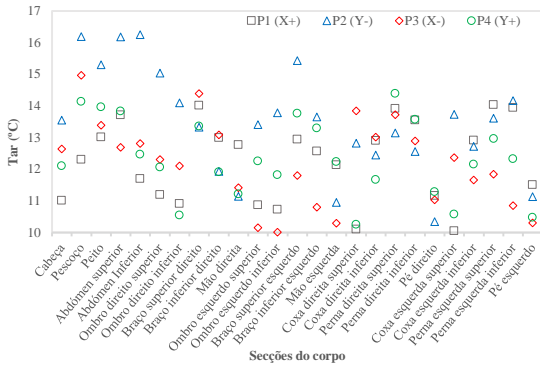


Figura 7.59- Distribuição da temperatura do ar em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. a) sem chão radiante e b) com chão radiante. Caso II-A e II-B de inverno:  $T_{ext}= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_i= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{ch}= 29\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{ar}= 1\text{ m/s}$ .

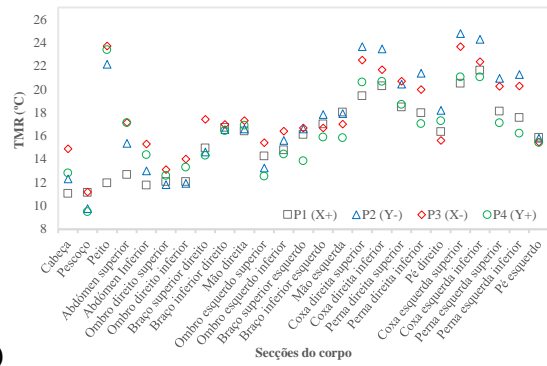
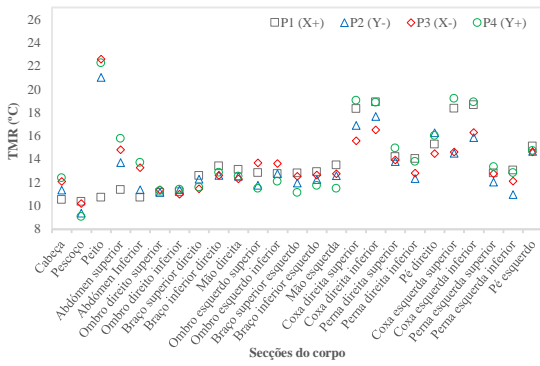


Figura 7.60- Distribuição da temperatura média radiante em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. a) sem chão radiante e b) com chão radiante. Caso II-A e II-B de inverno:  $T_{ext}= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_i= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{ch}= 29\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{ar}= 1\text{ m/s}$ .

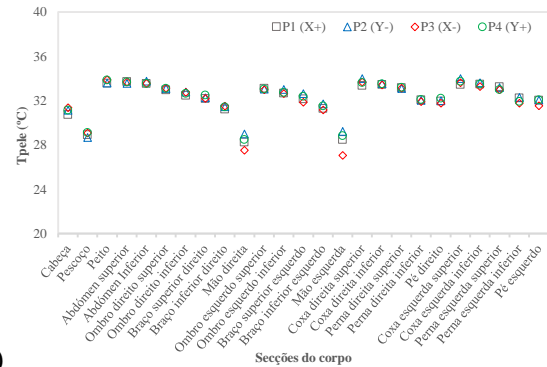
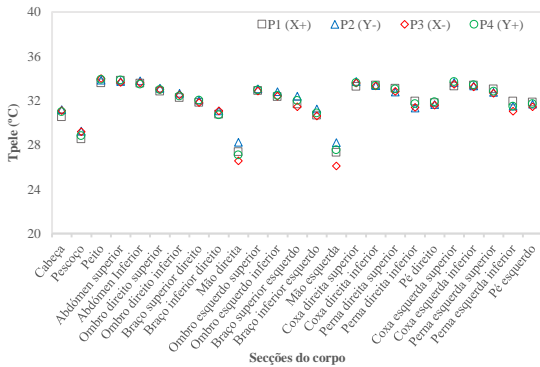


Figura 7.61- Distribuição da temperatura da pele em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. a) sem chão radiante e b) com chão radiante. Caso II-A e II-B de inverno:  $T_{ext}= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_i= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{ch}= 29\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{ar}= 1\text{ m/s}$ .

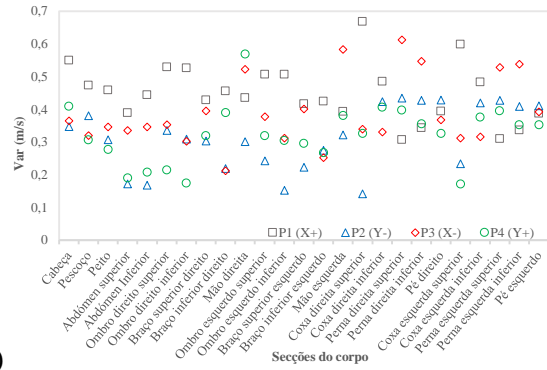
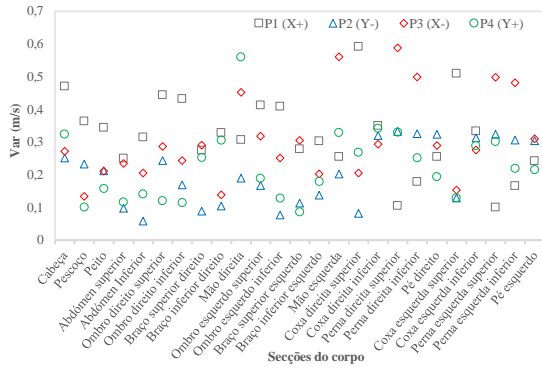


Figura 7.62- Distribuição da velocidade do ar em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. a) sem chão radiante e b) com chão radiante. Caso II-A e II-B de inverno:  $T_{ext}= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_i= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{ch}= 29\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{ar}= 2\text{ m/s}$ .

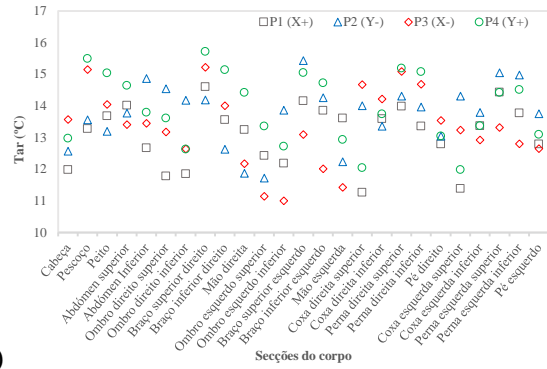
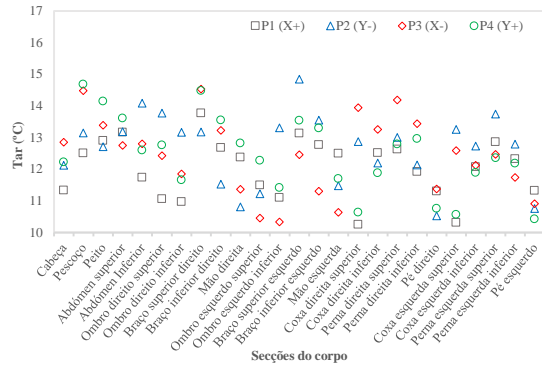


Figura 7.63- Distribuição da temperatura do ar em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. a) sem chão radiante e b) com chão radiante. Caso II-A e II-B de inverno:  $T_{ext}= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_i= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{ch}= 29\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{ar}= 2\text{ m/s}$ .

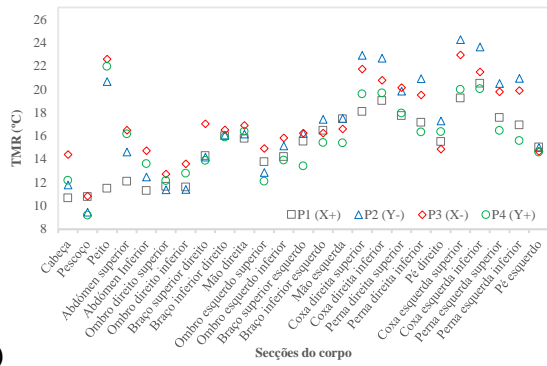
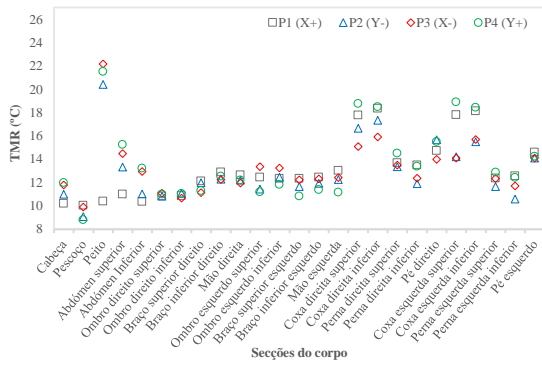


Figura 7.64- Distribuição da temperatura média radiante em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. a) sem chão radiante e b) com chão radiante. Caso II-A e II-B de inverno:  $T_{ext}= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_i= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{ch}= 29\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{ar}= 2\text{ m/s}$ .



Figura 7.65- Distribuição da temperatura da pele em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. a) sem chão radiante e b) com chão radiante. Caso II-A e II-B de inverno:  $T_{ext}= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_i= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{ch}= 29\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{ar}= 2\text{ m/s}$ .

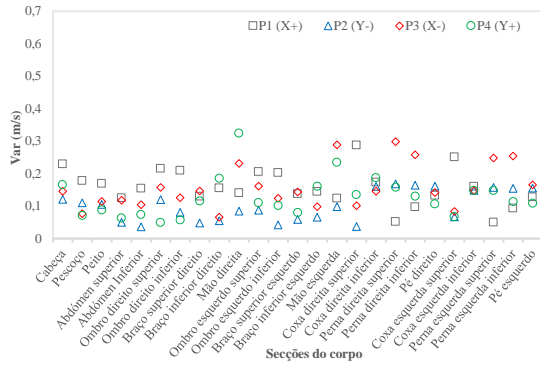


Figura 7.66- Distribuição da velocidade do ar em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. a) sem chão radiante e b) com chão radiante. Caso II-A e II-B de primavera/outono:  $T_{ext}= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_i= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{ch}= 29\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{ar}= 1\text{ m/s}$ .

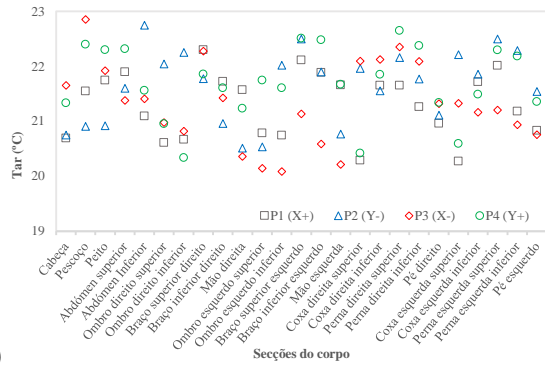
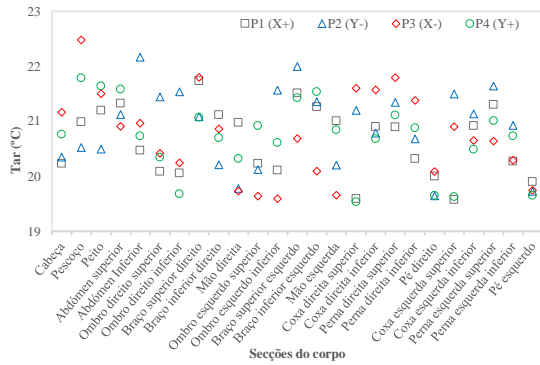


Figura 7.67- Distribuição da temperatura do ar em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. a) sem chão radiante e b) com chão radiante. Caso II-A e II-B de primavera/outono:  $T_{ext}= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_i= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{ch}= 29\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{ar}= 1\text{ m/s}$ .

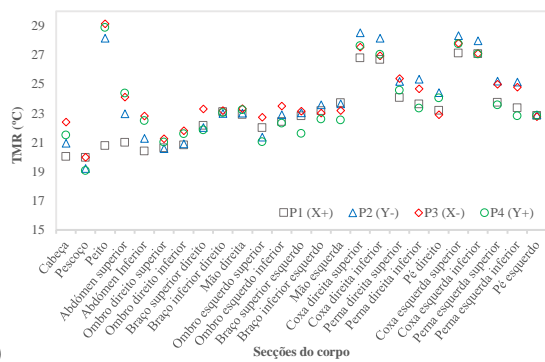
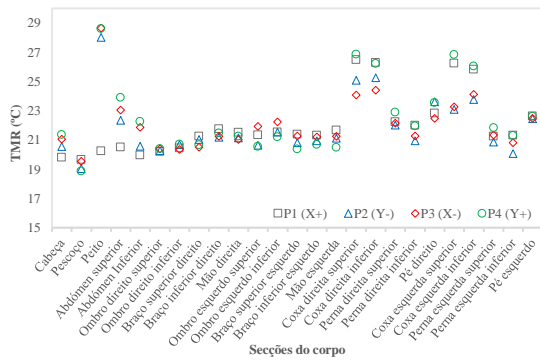


Figura 7.68- Distribuição da temperatura média radiante em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. a) sem chão radiante e b) com chão radiante. Caso II-A e II-B de primavera/outono:  $T_{ext}= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_i= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{ch}= 29\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{ar}= 1\text{ m/s}$ .

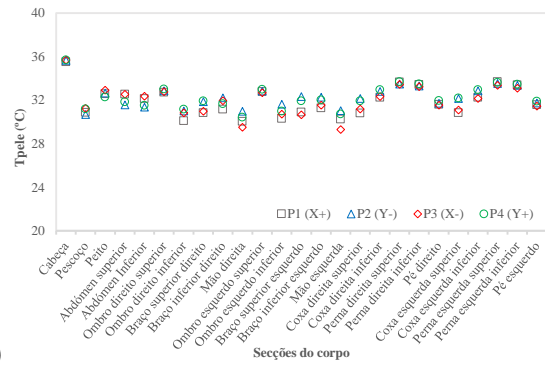
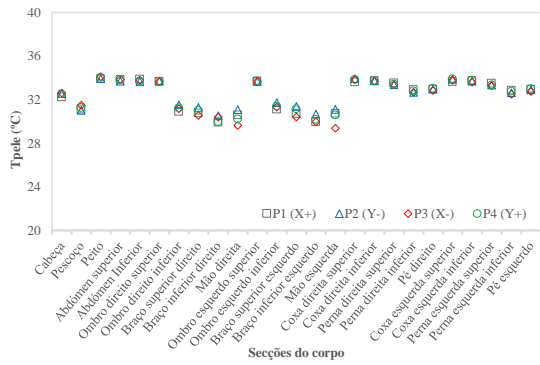


Figura 7.69- Distribuição da temperatura da pele em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. a) sem chão radiante e b) com chão radiante. Caso II-A e II-B de primavera/outono:  $T_{ext}= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_i= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{ch}= 29\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{ar}= 1\text{ m/s}$ .

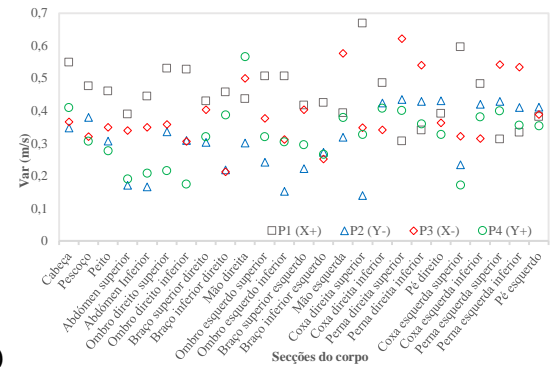
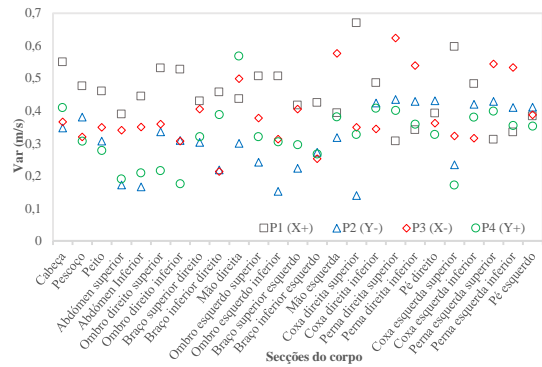


Figura 7.70- Distribuição da velocidade do ar em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. a) sem chão radiante e b) com chão radiante. Caso II-A e II-B de primavera/outono:  $T_{ext}= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_i= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{ch}= 29\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{ar}= 2\text{ m/s}$ .

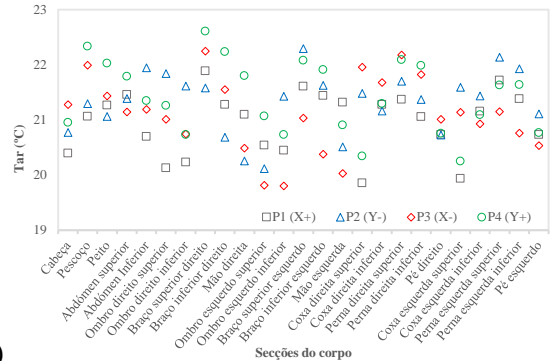
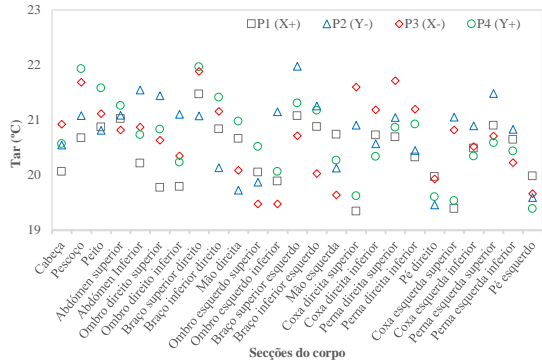


Figura 7.71- Distribuição da temperatura do ar em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. a) sem chão radiante e b) com chão radiante. Caso II-A e II-B de primavera/outono:  $T_{ext}= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_i= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{ch}= 29\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{ar}= 2\text{ m/s}$ .

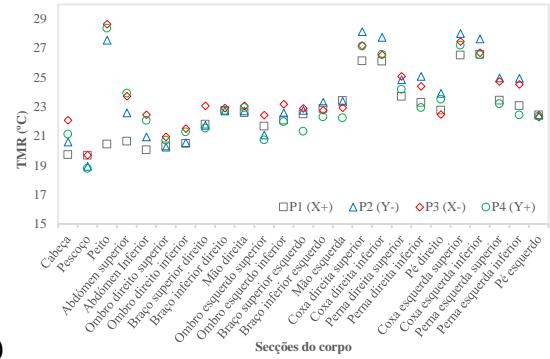
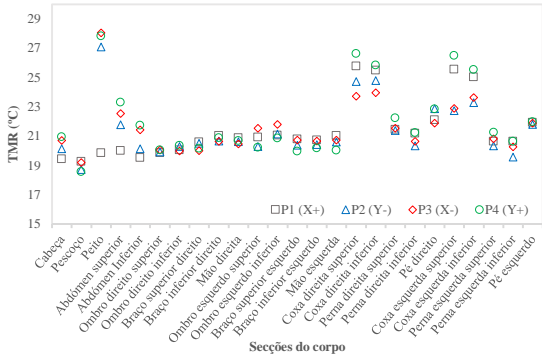


Figura 7.72- Distribuição da temperatura média radiante em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. a) sem chão radiante e b) com chão radiante. Caso II-A e II-B de primavera/outono:  $T_{ext}= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_i= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{ch}= 29\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{ar}= 2\text{ m/s}$ .

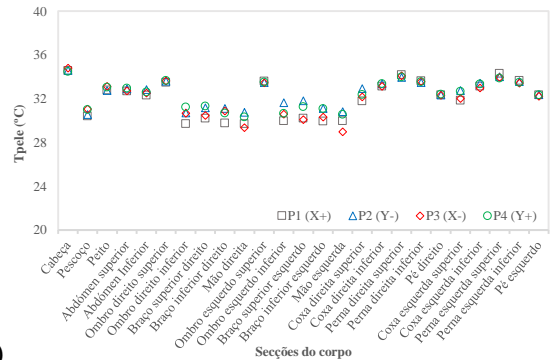
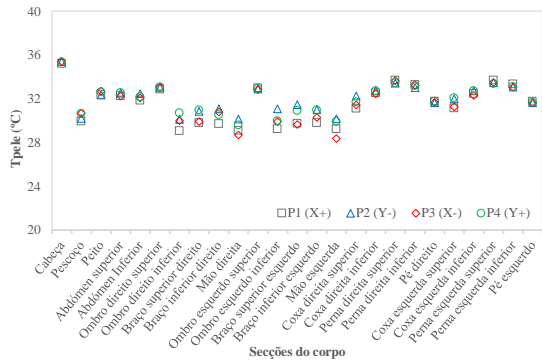


Figura 7.73- Distribuição da temperatura da pele em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. a) sem chão radiante e b) com chão radiante. Caso II-A e II-B de primavera/outono:  $T_{ext}= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_i= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{ch}= 29\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{ar}= 2\text{ m/s}$ .

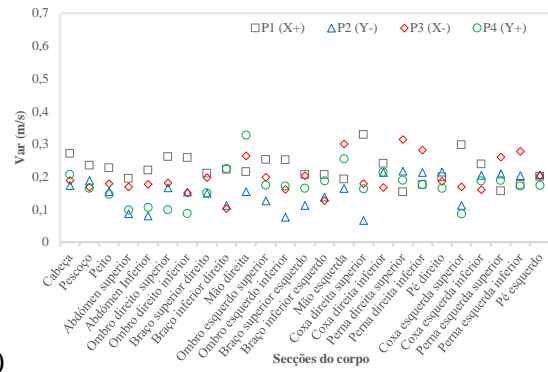
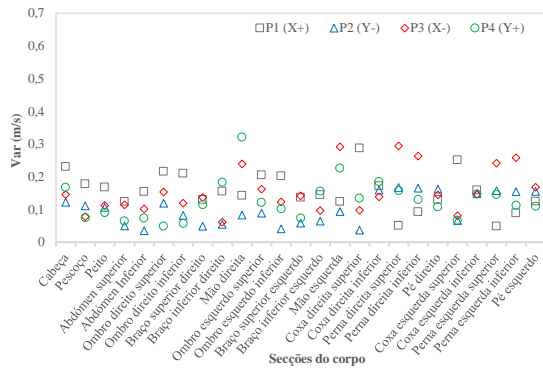


Figura 7.74- Distribuição da velocidade do ar em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. a) sem chão radiante e b) com chão radiante. Caso II-A e II-B de verão:  $T_{ext} = 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_i = 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{ch} = 19\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{ar} = 1\text{ m/s}$ .

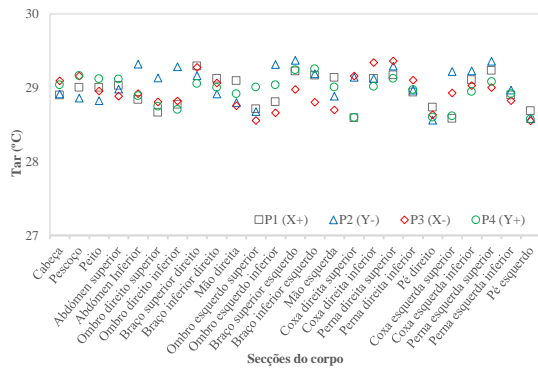


Figura 7.75- Distribuição da temperatura do ar em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. a) sem chão radiante e b) com chão radiante. Caso II-A e II-B de verão:  $T_{ext} = 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_i = 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{ch} = 19\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{ar} = 1\text{ m/s}$ .

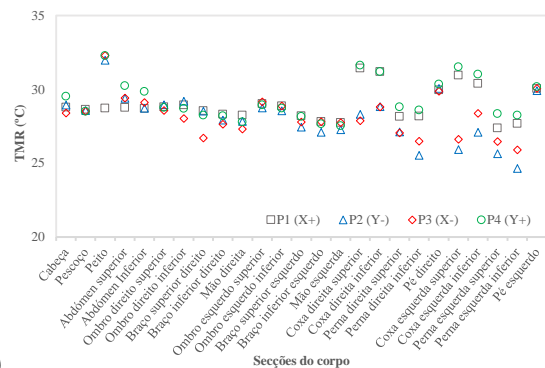
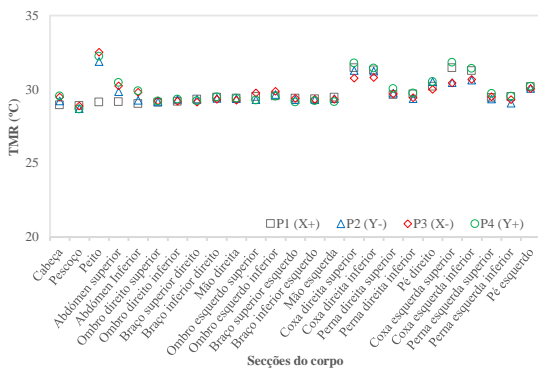


Figura 7.76- Distribuição da temperatura média radiante em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. a) sem chão radiante e b) com chão radiante. Caso II-A e II-B de verão:  $T_{ext} = 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_i = 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{ch} = 19\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{ar} = 1\text{ m/s}$ .

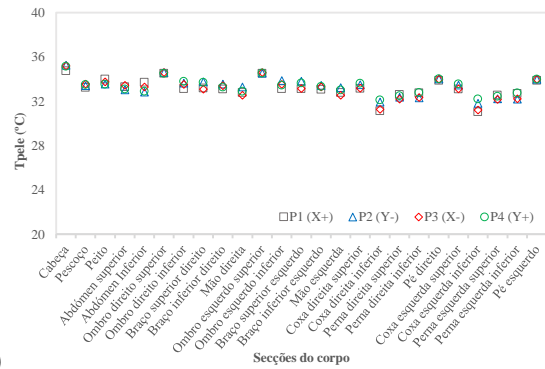
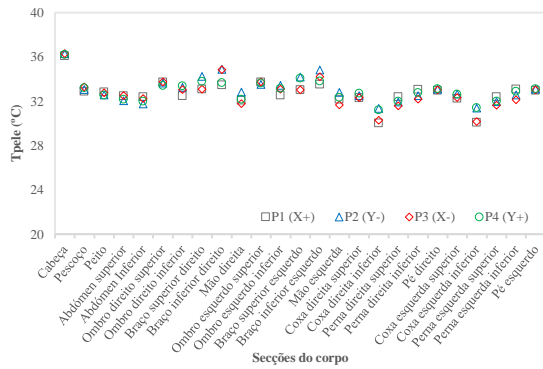


Figura 7.77- Distribuição da temperatura da pele em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. a) sem chão radiante e b) com chão radiante. Caso II-A e II-B de verão:  $T_{ext} = 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_i = 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{ch} = 19\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{ar} = 1\text{ m/s}$ .

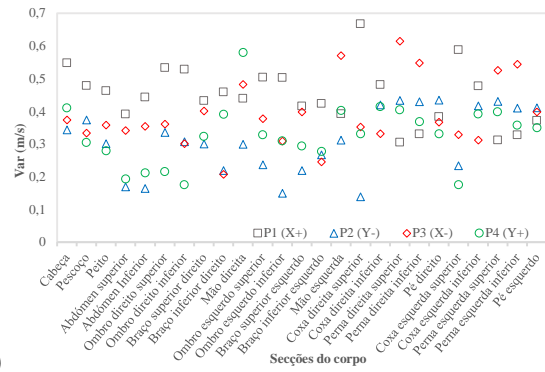
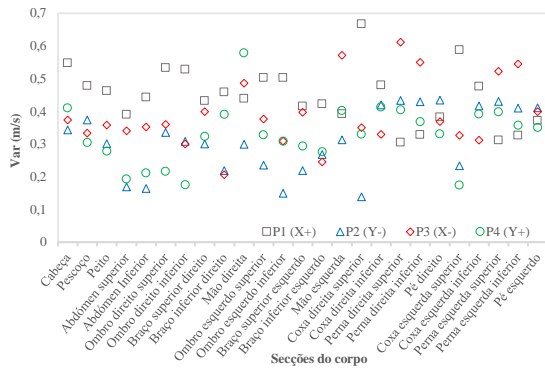


Figura 7.78- Distribuição da velocidade do ar em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. a) sem chão radiante e b) com chão radiante. Caso II-A e II-B de verão:  $T_{ext} = 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_i = 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{ch} = 19\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{ar} = 2\text{ m/s}$ .

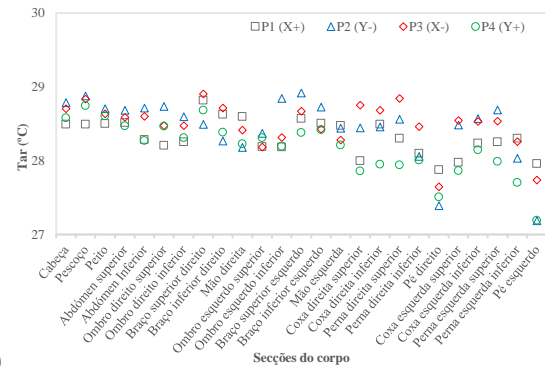
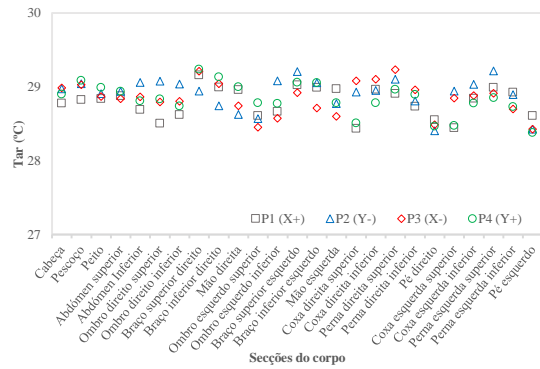


Figura 7.79- Distribuição da temperatura do ar em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. a) sem chão radiante e b) com chão radiante. Caso II-A e II-B de verão:  $T_{ext} = 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_i = 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{ch} = 19\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{ar} = 2\text{ m/s}$ .

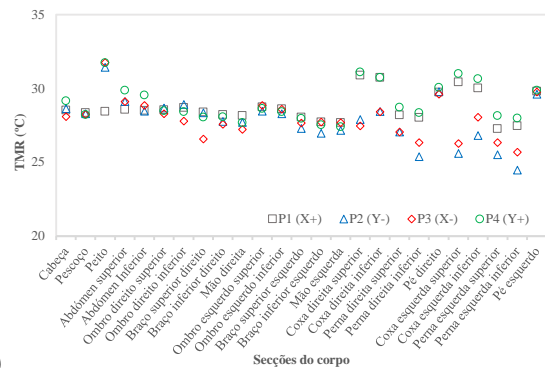
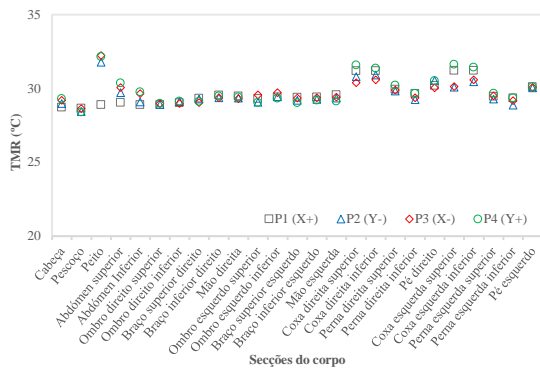


Figura 7.80- Distribuição da temperatura média radiante em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. a) sem chão radiante e b) com chão radiante. Caso II-A e II-B de verão:  $T_{ext} = 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_i = 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{ch} = 19\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{ar} = 2\text{ m/s}$ .

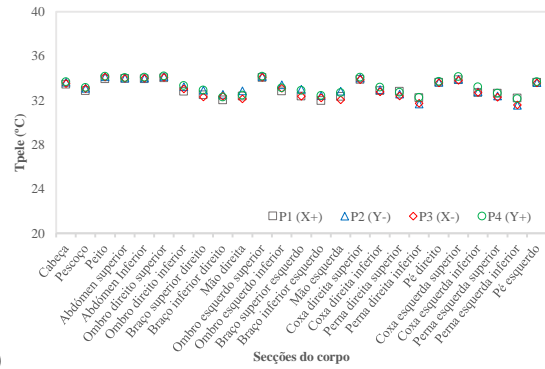
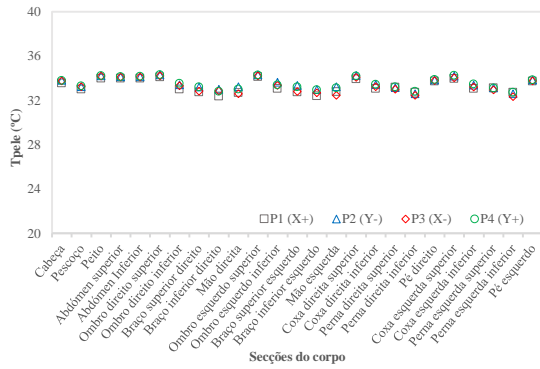


Figura 7.81- Distribuição da temperatura da pele em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. a) sem chão radiante e b) com chão radiante. Caso II-A e II-B de verão:  $T_{ext} = 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_i = 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{ch} = 19\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{ar} = 2\text{ m/s}$ .

Através das figuras 7.58, 7.62, 7.66, 7.70, 7.74 e 7.78, para todas as estações, pode-se observar que a velocidade do ar em torno das 25 secções do corpo dos quatro ocupantes aumenta devido ao aumento da velocidade do ar que entra na câmara virtual. O aumento da velocidade do ar de 1 m/s para 2 m/s, produz uma diminuição da temperatura do ar, apesar de não ser muito significativa (figuras 7.59, 7.63, 7.67, 7.71, 7.75, 7.79).

No caso da distribuição da velocidade e da temperatura do ar em torno dos ocupantes e da introdução da superfície radiante pode-se concluir que a velocidade do ar nas secções do corpo humano dos quatro indivíduos não é influenciada pelo chão radiante visto que as alterações são mínimas. A temperatura em torno dos ocupantes aumenta com a superfície inferior radiante situando-se entre os 10 e 17 °C, nomeadamente para o inverno e para a primavera/outono. No caso do verão, as temperaturas diminuem.

A temperatura média radiante tende a aumentar após a introdução do chão radiante no inverno e na primavera/outono. No verão, o chão radiante faz com que a temperatura média radiante diminua. Outro fator que também diminui a temperatura média radiante é o aumento da velocidade do ar.

O chão radiante não têm uma influência muito significativa na temperatura da pele. Por outro lado, com o aumento da velocidade do ar pode-se verificar que existem alterações na temperatura da pele dos ocupantes.

No caso quer da temperatura média radiante quer da temperatura da pele verifica-se que aumenta em concordância com o aumento da temperatura do ar exterior.

Tabela 7.16- Nível de conforto térmico. Caso II-A e II-B de inverno, com temperatura do ar exterior e interior de 8 °C e velocidade de entrada do ar exterior de 1 e 2 m/s.

	Ocupante 1	Ocupante 2	Ocupante 3	Ocupante 4	Média
<b>PMV (<math>V_{ar}= 1 \text{ m/s}</math>)</b>	-2,41	-1,73	-2,09	-1,91	-2,04
<b>PMV(<math>V_{ar}= 1 \text{ m/s}, T_{ch}= 29 \text{ }^\circ\text{C}</math>)</b>	-2,04	-1,47	-1,67	-1,48	-1,67
<b>PMV (<math>V_{ar}= 2 \text{ m/s}</math>)</b>	-2,69	-2,10	-2,34	-2,09	-2,31
<b>PMV(<math>V_{ar}= 2 \text{ m/s}, T_{ch}= 29 \text{ }^\circ\text{C}</math>)</b>	-2,67	-1,93	-2,09	-1,94	-2,16

Tabela 7.17- Nível de conforto térmico. Caso II-A e II-B de primavera/outono, com temperatura do ar exterior e interior de 18 °C e velocidade de entrada do ar exterior de 1 e 2 m/s.

	Ocupante 1	Ocupante 2	Ocupante 3	Ocupante 4	Média
<b>PMV (<math>V_{ar}= 1 \text{ m/s}</math>)</b>	-0,59	-0,20	-0,35	-0,21	-0,34
<b>PMV(<math>V_{ar}= 1 \text{ m/s}, T_{ch}= 29 \text{ }^\circ\text{C}</math>)</b>	-0,78	-0,27	-0,38	-0,37	-0,45
<b>PMV (<math>V_{ar}= 2 \text{ m/s}</math>)</b>	-1,65	-0,94	-1,20	-0,92	-1,18
<b>PMV(<math>V_{ar}= 2 \text{ m/s}, T_{ch}= 29 \text{ }^\circ\text{C}</math>)</b>	-1,36	-0,65	-0,89	-0,64	-0,89

Tabela 7.18- Nível de conforto térmico. Caso II-A e II-B de verão, com temperatura do ar exterior e interior de 28 °C e velocidade de entrada do ar exterior de 1 e 2 m/s.

	Ocupante 1	Ocupante 2	Ocupante 3	Ocupante 4	Média
<b>PMV (<math>V_{ar}= 1 \text{ m/s}</math>)</b>	0,93	1,07	0,93	1,08	1,00
<b>PMV(<math>V_{ar}= 1 \text{ m/s}, T_{ch}= 19 \text{ °C}</math>)</b>	0,73	0,66	0,60	0,79	0,70
<b>PMV (<math>V_{ar}= 2 \text{ m/s}</math>)</b>	0,77	0,87	0,82	0,88	0,84
<b>PMV(<math>V_{ar}= 2 \text{ m/s}, T_{ch}= 19 \text{ °C}</math>)</b>	0,66	0,74	0,69	0,79	0,72

Analisando os níveis de conforto térmico, o aumento da velocidade do ar tende a diminuir o nível de conforto, nomeadamente no inverno e primavera/outono (tabela 7.16 e 7.17). No verão devido às temperaturas mais elevadas, o aumento da velocidade do ar é favorável ao nível de conforto visto que com esse aumento o conforto melhora. (tabela 7.18).

Verifica-se uma melhoria do índice PMV após a introdução do chão radiante no caso II-B, quer para o inverno, quer para a primavera/outono e quer para o verão. Esta melhoria não é muito elevada, pelo que também se pode introduzir mais superfícies radiantes, como o caso de parte das paredes e/ou teto, de forma a melhorar o conforto térmico dos indivíduos.

#### 7.2.2.4 Desconforto térmico local

No caso II são apresentados também os riscos de resfriamento. Os riscos de resfriamento do inverno são abordados nas figuras 7.82 e 7.83, os da primavera/outono nas figuras 7.84 e 7.85 e os do verão nas figuras 7.86 e 7.87. Em cada uma das figuras são representados dois riscos de resfriamento. Na alínea a) não é considerada nenhuma superfície radiante, ou seja, é apresentado o caso II-A enquanto na alínea b) é introduzido chão radiante no compartimento, que representa o caso II-B. As velocidades de entrada do ar através das condutas verticais consideradas são, novamente, de 1 e 2 m/s.

As condições de  $T_{ext}$ ,  $T_i$ ,  $T_{ch}$  e  $V_{ar}$  apresentam, respetivamente, a temperatura do ar exterior, a temperatura do ar interior, a temperatura do chão radiante e a velocidade do ar de insuflação através das condutas verticais.

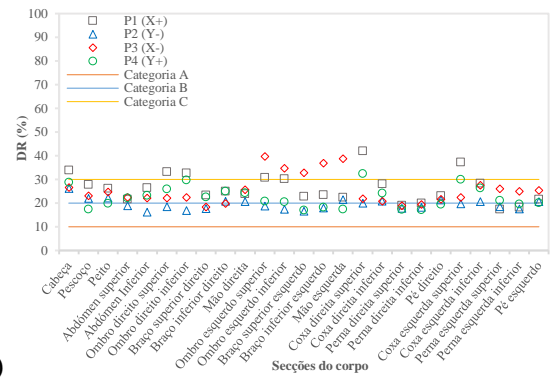
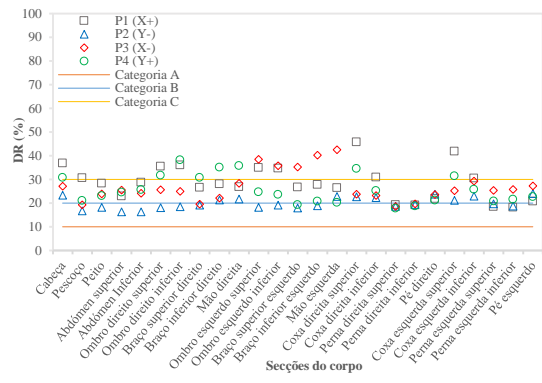


Figura 7.82- Risco de resfriamento em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. a) sem chão radiante e b) com chão radiante. Caso II-A e II-B de inverno:  $T_{ext}= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_i= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{ch}= 29\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{ar}= 1\text{ m/s}$ .

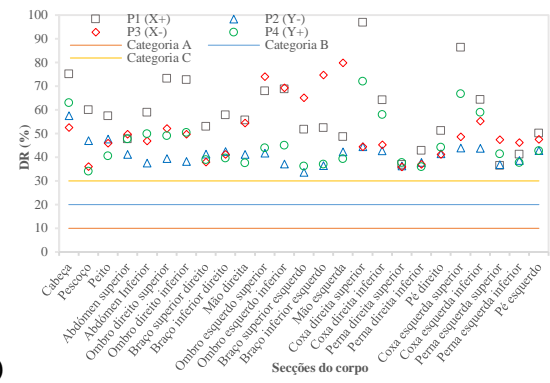
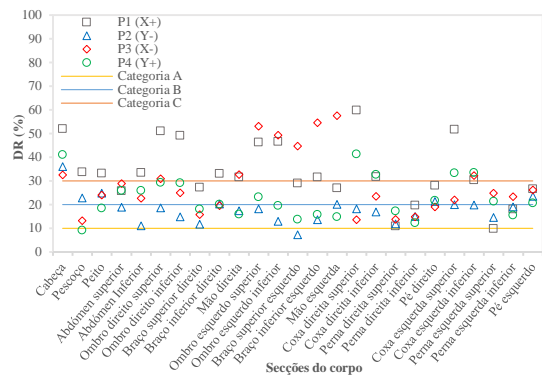


Figura 7.83- Risco de resfriamento em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. a) sem chão radiante e b) com chão radiante. Caso II-A e II-B de inverno:  $T_{ext}= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_i= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{ch}= 29\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{ar}= 2\text{ m/s}$ .

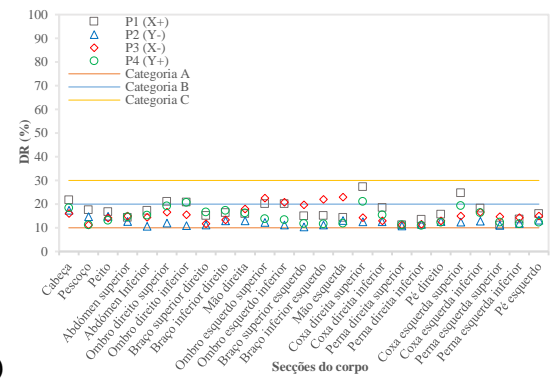
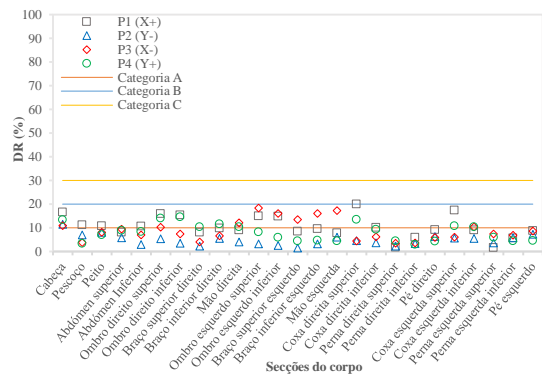


Figura 7.84- Risco de resfriamento em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. a) sem chão radiante e b) com chão radiante. Caso II-A e II-B de primavera/outono:  $T_{ext}= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_i= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{ch}= 29\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{ar}= 1\text{ m/s}$ .

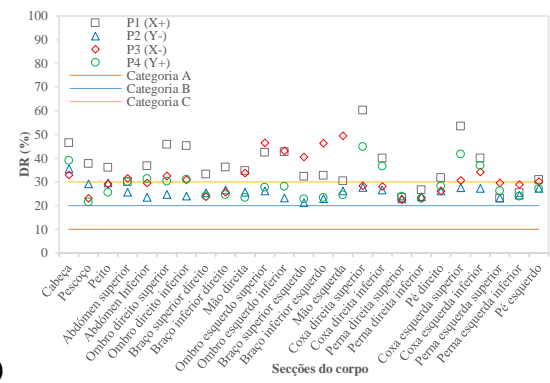
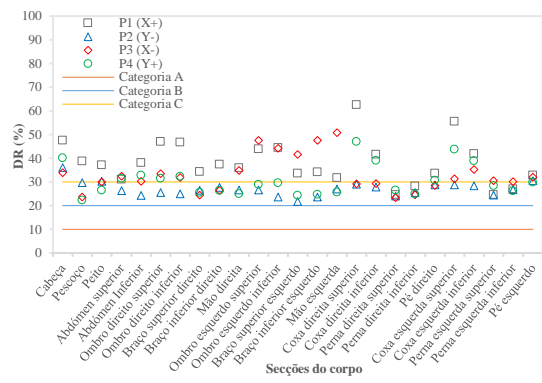


Figura 7.85- Risco de resfriamento em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. a) sem chão radiante e b) com chão radiante. Caso II-A e II-B de primavera/outono:  $T_{ext}= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_i= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{ch}= 29\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{ar}= 2\text{ m/s}$ .

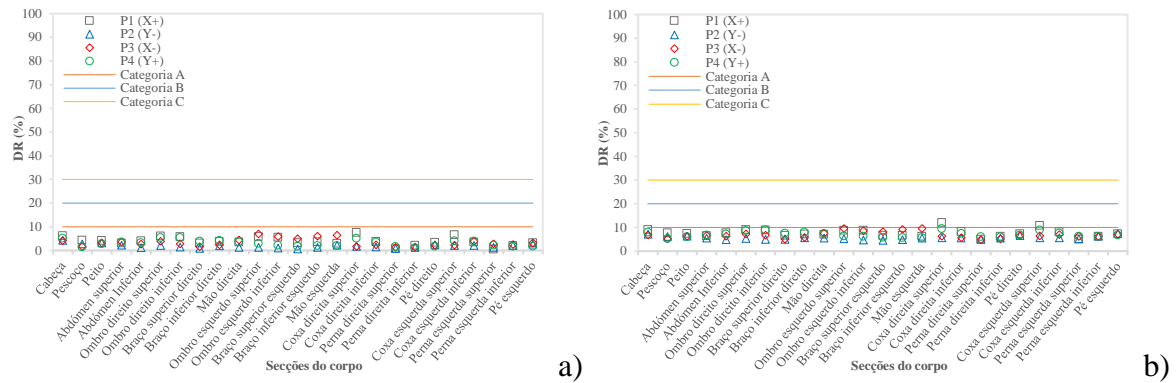


Figura 7.86- Risco de resfriamento em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. a) sem chão radiante e b) com chão radiante. Caso II-A e II-B de verão:  $T_{ext} = 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_i = 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{ch} = 19\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{ar} = 1\text{ m/s}$ .

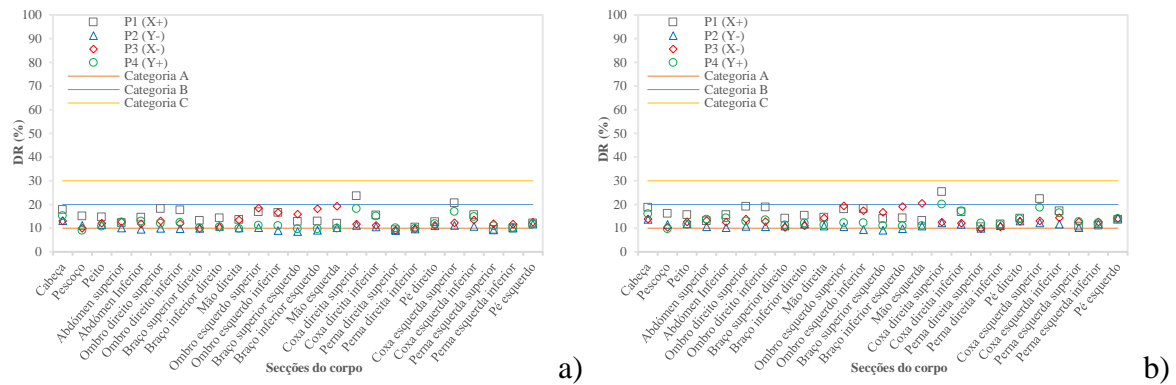


Figura 7.87- Risco de resfriamento em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. a) sem chão radiante e b) com chão radiante. Caso II-A e II-B de verão:  $T_{ext} = 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_i = 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{ch} = 19\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{ar} = 2\text{ m/s}$ .

No desconforto térmico local é avaliado o risco de resfriamento em torno das 25 secções do corpo dos quatro ocupantes. No inverno este risco diminui com o chão radiante, visto que a temperatura dos ocupantes aumenta. No entanto, com o aumento da velocidade do ar das condutas verticais os valores do risco de resfriamento aumentam (figuras 7.82 e 7.83). De uma forma geral, os valores risco de resfriamento estão na categoria C.

Na primavera/outono o aumento da velocidade dos jatos das condutas aumenta, também, o risco de resfriamento dos ocupantes (figuras 7.84 e 7.85). Os valores respetivos à velocidade de entrada do ar de 1 m/s correspondem à categoria B, no entanto, com o aumento da velocidade de entrada de ar passam a pertencer, de uma forma geral, à categoria C.

No verão a situação é contrária à do inverno dado que o chão radiante tem o intuito de refrescar os ocupantes. Esse efeito pode causar algum desconforto localizado em algumas secções do corpo dos ocupantes pelo que o risco de resfriamento é mais elevado do que sem a superfície inferior radiante, sendo que estes valores estão associados à categoria A. Em relação à variação da velocidade do ar das condutas verticais, e de acordo com o que tem vindo a ser concluído, o aumento da velocidade aumenta, também, o risco de resfriamento (figuras 7.86 e 7.87).

### 7.2.2.5 Qualidade do ar interior

No caso II são consideradas as concentrações de dióxido de carbono na zona de respiração dos ocupantes para o inverno (figuras 7.88 e 7.89), primavera/outono (figuras 7.90 e 7.91) e verão (figuras 7.92 e 7.93) com velocidades de entrada do ar de 1 e 2 m/s, respetivamente. Só serão apresentados os resultados da concentração de dióxido de carbono sem a superfície radiante (caso II-A) visto que não se verificaram diferenças significativas após a introdução do chão radiante.

Nas tabelas 7.19, 7.20 e 7.21 são comparados os valores da concentração de dióxido de carbono na zona de respiração dos ocupantes, de acordo com a estação de inverno, primavera/outono e verão para velocidades de entrada de ar de 1 e 2 m/s.

As condições de  $T_{ext}$ ,  $T_i$ ,  $T_{ch}$  e  $V_{ar}$  apresentam, respetivamente, a temperatura do ar exterior, a temperatura do ar interior, a temperatura do chão radiante e a velocidade do ar de insuflação através das condutas verticais.

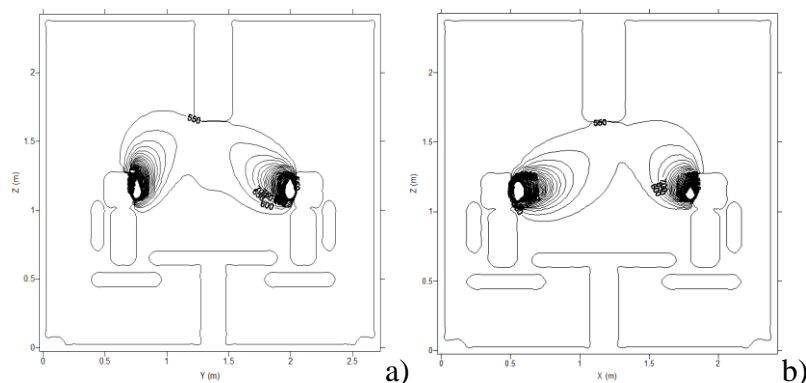


Figura 7.88- Representação do campo da concentração de dióxido de carbono na zona de respiração dos ocupantes nos planos a)  $X= 1,17$  m e b)  $Y= 1,38$  m. Caso II-A de inverno:  $T_{ext}= 8$  °C,  $T_i= 8$  °C,  $T_{ch}= 29$  °C,  $V_{ar}= 1$  m/s.

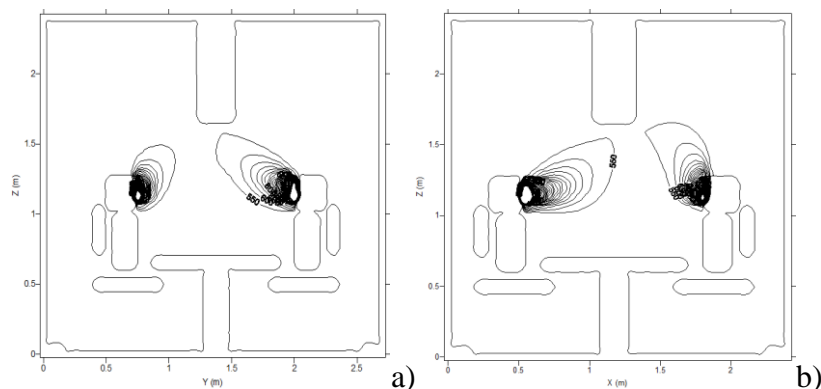


Figura 7.89- Representação do campo da concentração de dióxido de carbono na zona de respiração dos ocupantes nos planos a)  $X= 1,17$  m e b)  $Y= 1,38$  m. Caso II-A de inverno:  $T_{ext}= 8$  °C,  $T_i= 8$  °C,  $T_{ch}= 29$  °C,  $V_{ar}= 2$  m/s.

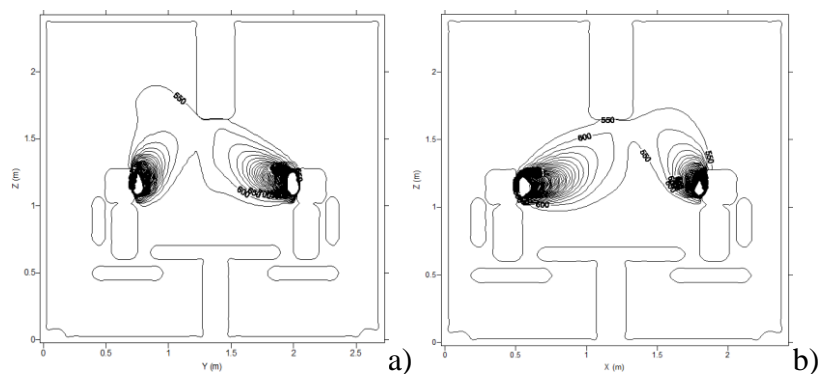


Figura 7.90- Representação do campo da concentração de dióxido de carbono na zona de respiração dos ocupantes nos planos a)  $X= 1,17$  m e b)  $Y= 1,38$  m. Caso II-A de primavera/outono:  $T_{ext}= 18$  °C,  $T_i= 18$  °C,  $T_{ch}= 29$  °C,  $V_{ar}= 1$  m/s.

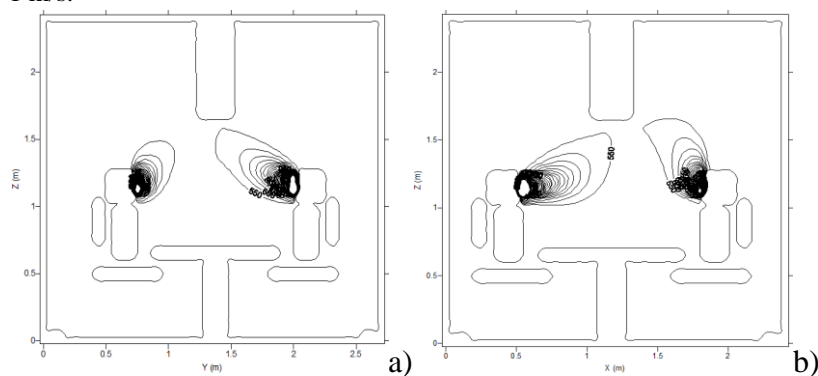


Figura 7.91- Representação do campo da concentração de dióxido de carbono na zona de respiração dos ocupantes nos planos a)  $X= 1,17$  m e b)  $Y= 1,38$  m. Caso II-A de primavera/outono:  $T_{ext}= 18$  °C,  $T_i= 18$  °C,  $T_{ch}= 29$  °C,  $V_{ar}= 2$  m/s.

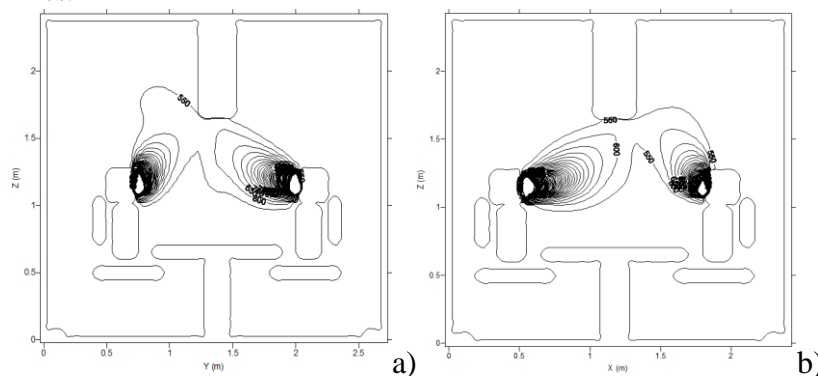


Figura 7.92- Representação do campo da concentração de dióxido de carbono na zona de respiração dos ocupantes nos planos a)  $X= 1,17$  m e b)  $Y= 1,38$  m. Caso II-A de verão:  $T_{ext}= 28$  °C,  $T_i= 28$  °C,  $T_{ch}= 19$  °C,  $V_{ar}= 1$  m/s.

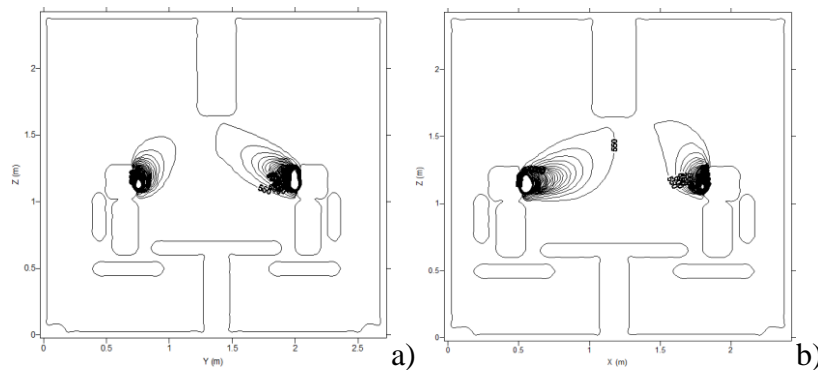


Figura 7.93- Representação do campo da concentração de dióxido de carbono na zona de respiração dos ocupantes nos planos a)  $X= 1,17$  m e b)  $Y= 1,38$  m. Caso II-A de verão:  $T_{ext}= 28$  °C,  $T_i= 28$  °C,  $T_{ch}= 19$  °C,  $V_{ar}= 2$  m/s.

Relativamente à concentração de dióxido de carbono e à qualidade do ar interior, pode-se observar através das isolinhas que existe uma concentração de dióxido de carbono muito elevada junto à zona de respiração dos ocupantes, devido ao ar que é expirado, e que esta concentração é removida pela conduta de exaustão personalizada, visto que o ar se desloca para a zona onde a conduta se encontra. No entanto, verifica-se que o ar expirado, no caso em que a velocidade dos jatos das condutas verticais é de 2 m/s, dispersa-se um pouco dentro da câmara e, por isso, a remoção dos contaminantes através da conduta de exaustão personalizada não é imediatamente assegurada (figuras 7.89, 7.91 e 7.93).

Tabela 7.19- Concentração de dióxido de carbono na zona de respiração dos ocupantes. Caso II-A de inverno, com temperatura do ar exterior e interior de 8 °C e velocidade de entrada do ar de 1 e 2 m/s.

	Ocupante 1	Ocupante 2	Ocupante 3	Ocupante 4	Média
CO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> ) (V <sub>ar</sub> = 1 m/s)	3 338	5 286	2 567	5 133	4 081
CO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> ) (V <sub>ar</sub> = 2 m/s)	2 113	2 390	2 250	4 923	2 919

Tabela 7.20- Concentração de dióxido de carbono na zona de respiração dos ocupantes. Caso II-A de primavera/outono, com temperatura do ar exterior e interior de 18 °C e velocidade de entrada do ar de 1 e 2 m/s.

	Ocupante 1	Ocupante 2	Ocupante 3	Ocupante 4	Média
CO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> ) (V <sub>ar</sub> = 1 m/s)	4 136	5 871	3 440	9 023	5 618
CO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> ) (V <sub>ar</sub> = 2 m/s)	2 121	2 362	2 183	5 622	3 072

Tabela 7.21- Concentração de dióxido de carbono na zona de respiração dos ocupantes. Caso II-A de verão, com temperatura do ar exterior e interior de 28 °C e velocidade de entrada do ar de 1 e 2 m/s.

	Ocupante 1	Ocupante 2	Ocupante 3	Ocupante 4	Média
CO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> ) (V <sub>ar</sub> = 1 m/s)	3 801	5 539	3 375	5 902	4 654
CO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> ) (V <sub>ar</sub> = 2 m/s)	2 588	2 514	1 921	6 358	3 345

Em relação ao aumento de velocidade de entrada do ar pode-se observar que provoca uma diminuição da concentração de dióxido de carbono (tabelas 7.19, 7.20 e 7.21).

#### 7.2.2.6 ADI e energia

Nesta secção são apresentadas as tabelas 7.22, 7.23 e 7.24 que mostram alguns dos dados obtidos no caso II, entre os quais se encontra o índice de distribuição de ar (ADI), a percentagem de pessoas insatisfeitas e o consumo de energia.

Tabela 7.22- ADI caso II de inverno, com temperatura do ar exterior e interior de 8 °C, temperatura do chão radiante de 29 °C e velocidade de entrada do ar de 1e 2 m/s.

Média dos 4 ocupantes	s/ chão radiante V <sub>ar</sub> =1 m/s	c/ chão radiante V <sub>ar</sub> =1 m/s	s/ chão radiante V <sub>ar</sub> =2 m/s	c/ chão radiante V <sub>ar</sub> =2 m/s
Temperatura de entrada (°C)	8	29	8	29
Temperatura de saída (°C)	9,12	10,24	8,99	9,72
Temperatura média corporal (°C)	12,90	14,05	12,57	13,56
Eficiência de remoção de calor (%)	23,23	100	21,73	100
PPD através do conforto térmico (%)	77,08	59,59	86,89	81,09
Número de conforto térmico	0,30	2,19	0,25	1,56
Entrada de CO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	500,00	500,00	500,00	500,00
Saída de CO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	551,04	550,52	525,20	525,20
Eficiência de remoção de contaminantes (%)	1,61	1,21	1,23	1,23
Caudal volúmico (l/s/Olf)	152,07	152,07	304,15	304,15
PD com qualidade do ar (%)	0,64	0,64	0,19	0,19
Número de qualidade do ar	2,52	1,90	6,47	6,48
Velocidade de entrada (m/s)	1,00	1,00	2,00	2,00
Velocidade média em torno do corpo (m/s)	0,20	0,20	0,27	0,38
Eficiência do sistema de promoção de ar (%)	100	100	100	100
Índice de distribuição de ar (ADI)	0,86	1,90	1,25	3,10
Potência de aquecimento (kW)	0	1,33	0	1,43

Tabela 7.23- ADI no caso II de primavera/outono, temperatura do ar exterior e interior de 8 °C, temperatura do chão radiante de 29 °C e velocidade de entrada do ar de 1e 2 m/s.

Média dos 4 ocupantes	s/ chão radiante V <sub>ar</sub> =1 m/s	c/ chão radiante V <sub>ar</sub> =1 m/s	s/ chão radiante V <sub>ar</sub> =2 m/s	c/ chão radiante V <sub>ar</sub> =2 m/s
Temperatura de entrada (°C)	18	29	18	29
Temperatura de saída (°C)	18,76	19,30	18,63	19,00
Temperatura média corporal (°C)	20,86	21,53	20,72	21,22
Eficiência de remoção de calor (%)	26,53	100	23,35	100
PPD através do conforto térmico (%)	7,91	10,07	35,31	23,13
Número de conforto térmico	3,64	15,06	0,75	6,98
Entrada de CO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	500,00	500,00	500,00	500,00
Saída de CO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	550,48	550,48	525,19	525,19
Eficiência de remoção de contaminantes (%)	1,16	1,19	1,22	1,22
Caudal volúmico (l/s/Olf)	152,07	152,07	304,15	304,15
PD com qualidade do ar (%)	0,64	0,64	0,19	0,19
Número de qualidade do ar	1,81	1,86	6,46	6,45
Velocidade de entrada (m/s)	1,00	1,00	2,00	2,00
Velocidade média em torno do corpo (m/s)	0,15	0,20	0,38	0,38
Eficiência do sistema de promoção de ar (%)	100	100	100	100
Índice de distribuição de ar (ADI)	2,46	5,03	2,08	6,21
Potência de aquecimento (kW)	0	0,67	0	0,73

Tabela 7.24- ADI no caso II de verão, temperatura do ar exterior e interior de 8 °C, com temperatura do chão radiante de 19 °C e velocidade de entrada do ar de 1e 2 m/s.

Média dos 4 ocupantes	s/ chão radiante $V_{ar}=1$ m/s	c/ chão radiante $V_{ar}=1$ m/s	s/ chão radiante $V_{ar}=2$ m/s	c/ chão radiante $V_{ar}=2$ m/s
Temperatura de entrada (°C)	28	19	28	19
Temperatura de saída (°C)	28,39	27,91	28,27	27,97
Temperatura média corporal (°C)	28,97	28,38	28,85	28,43
Eficiência de remoção de calor (%)	40,29	95,03	32,17	95,12
PPD através do conforto térmico (%)	26,41	15,31	19,78	15,90
Número de conforto térmico	1,55	6,32	1,64	6,04
Entrada de CO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	500,00	500,00	500,00	500,00
Saída de CO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	550,52	550,51	525,18	525,18
Eficiência de remoção de contaminantes (%)	1,31	1,28	1,16	1,17
Caudal volúmico (l/s/Olf)	152,07	152,07	304,15	304,15
PD com qualidade do ar (%)	0,64	0,64	0,19	0,19
Número de qualidade do ar	2,04	2,01	6,14	6,16
Velocidade de entrada (m/s)	1,00	1,00	2,00	2,00
Velocidade média em torno do corpo (m/s)	0,15	0,20	0,38	0,38
Eficiência do sistema de promoção de ar (%)	100	100	100	100
Índice de distribuição de ar (ADI)	1,78	3,54	3,10	5,97
Potência de arrefecimento (kW)	0	-0,62	0	-0,63

Relativamente ao índice ADI, verifica-se que os valores são muito baixos no inverno, sendo que o valor mais elevado é com uma velocidade do ar de 2 m/s e com chão radiante a 29 °C. Na primavera/outono obtiveram-se índices de distribuição do ar mais elevados, sendo que, mais uma vez, o valor mais alto é obtido com uma velocidade do ar de 2 m/s e chão radiante a 29 °C. No verão repete-se a mesma situação.

O consumo de energia relativo à introdução do chão radiante aumenta com o aumento da velocidade do ar, embora a diferença não seja muito elevada.

Dessa forma, e visto que há um aumento do índice ADI da velocidade de 1 m/s para 2 m/s, deve-se considerar que o caso II-B, com chão radiante, e com uma velocidade do ar de 2 m/s é a melhor situação.

### 7.2.3 Caso III

Neste caso foram repetidas simulações relativas ao inverno e ao verão, introduzindo paredes radiantes de forma a melhorar o conforto térmico dos ocupantes em relação ao conforto térmico obtido com o caso II-B em que se utilizou apenas chão radiante. Visto que

na primavera/outono já foram obtidos bons resultados do índice PMV no caso II-B, neste caso não foram feitas novas simulações.

As paredes radiantes não foram aplicadas em toda a área das paredes do compartimento, visto que as paredes têm 2,4 metros e as paredes radiantes têm uma altura de 1,55 metros, distanciadas do chão 0,15 metros e até uma altura de 1,70 metros da câmara.

### 7.2.3.1 Temperaturas das superfícies da câmara virtual

Na tabela seguinte encontram-se representadas as temperaturas das superfícies da câmara virtual para o caso III de sistemas de condutas verticais com e sem superfícies radiantes. Estas temperaturas representam a temperatura das zonas das paredes, chão e teto onde não foi colocado o sistema de superfícies radiantes. As temperaturas são apresentadas segundo a estação do ano e a velocidade do ar utilizada no sistema das condutas verticais. Ao observar a tabela pode-se entender que a temperatura das paredes aumentou relativamente ao caso II-B, no qual só se utilizou chão radiante.

Tabela 7.25- Temperaturas das superfícies da câmara virtual.

	inverno $V_{ar}=1$ m/s, $T_{ext}=8$ °C, $T_{par}=50$ °C	inverno $V_{ar}=2$ m/s, $T_{ext}=8$ °C, $T_{par}=50$ °C	verão $V_{ar}=1$ m/s, $T_{ext}=28$ °C, $T_{par}=15$ °C	verão $V_{ar}=2$ m/s, $T_{ext}=28$ °C, $T_{par}=15$ °C
Tteto	13,33	11,94	26,93	27,02
Tchão	14,47	12,90	26,80	26,89
Tsul	14,43	12,87	26,81	26,90
Tnorte	14,47	12,90	26,80	26,90
Teste	14,49	12,91	26,80	26,89
Toeste	14,49	12,91	26,80	26,89

### 7.2.3.2 Escoamento em torno dos ocupantes

Neste caso, no que diz respeito ao escoamento em torno dos ocupantes, não serão apresentadas isolinhas visto que são muito semelhantes ao caso II-B, para condições de inverno ( $T_{ar}= 8$  °C e  $V_{ar}= 1$  e 2 m/s) e verão ( $T_{ar}= 28$  °C e  $V_{ar}= 1$  e 2 m/s), nomeadamente o campo da velocidade do ar e também o campo da temperatura do ar. Para se poder observar nitidamente as alterações obtidas entre o caso III e o caso II-B devem-se consultar os gráficos que são apresentados nas secções seguintes.

### 7.2.3.3 Nível de conforto térmico

Para o caso III, os níveis de conforto térmico são apresentados nas figuras seguintes através da distribuição da velocidade e da temperatura do ar, da temperatura média radiante e da temperatura da pele nas 25 secções do corpo humano dos ocupantes. As figuras 7.94, 7.95, 7.96 e 7.97 estão associadas ao inverno e as figuras 7.98, 7.99, 7.100 e 7.101 estão relacionadas com o verão. Relativamente à velocidade de entrada do ar dentro da câmara virtual, foram consideradas, novamente, velocidades de 1 e 2 m/s.

Nas tabelas 7.26 e 7.27 são comparados os valores do índice PMV com as paredes radiantes para as duas velocidades do ar estudadas, para a estação de inverno e verão, bem como o consumo de energia das superfícies radiantes.

As condições de  $T_{ext}$ ,  $T_i$ ,  $T_{par}$  e  $V_{ar}$  apresentam, respetivamente, a temperatura do ar exterior, a temperatura do ar interior, a temperatura das paredes radiantes e a velocidade do ar de insuflação através das condutas verticais.

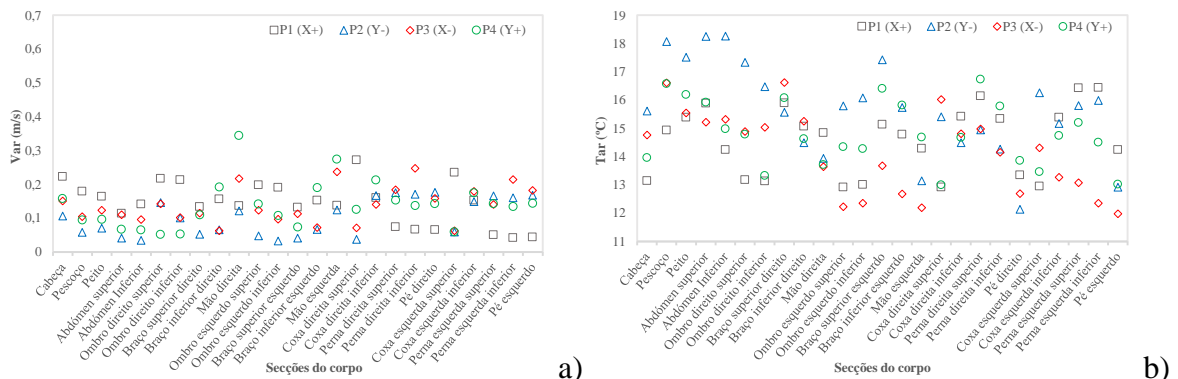


Figura 7.94- Distribuição a) da velocidade do ar e b) da temperatura do ar em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. Caso III de inverno:  $T_{ext} = 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_i = 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{par} = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{ar} = 1\text{ m/s}$ .

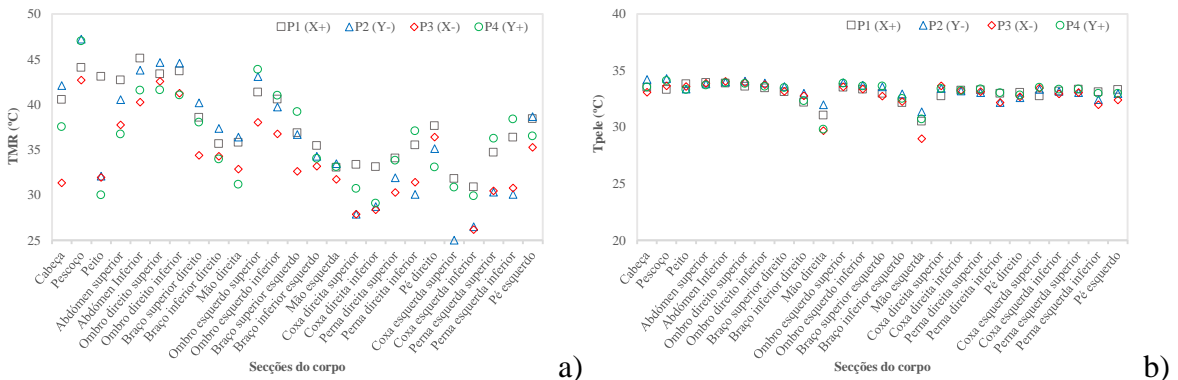


Figura 7.95- Distribuição a) da temperatura média radiante e b) da temperatura da pele em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. Caso III de inverno:  $T_{ext} = 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_i = 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{par} = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{ar} = 1\text{ m/s}$ .

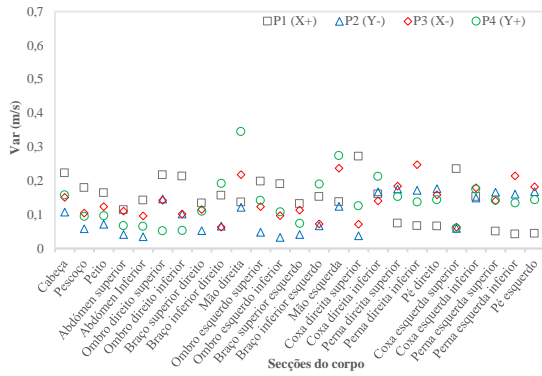


Figura 7.96- Distribuição a) da velocidade do ar e b) da temperatura do ar em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. Caso III de inverno:  $T_{ext} = 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_i = 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{par} = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{ar} = 2\text{ m/s}$ .

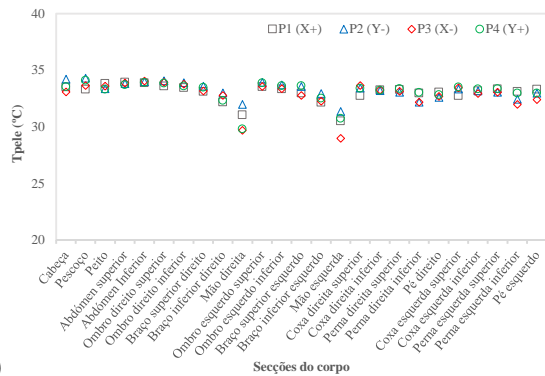


Figura 7.97- Distribuição a) da temperatura média radiante e b) da temperatura da pele em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. Caso III de inverno:  $T_{ext} = 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_i = 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{par} = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{ar} = 2\text{ m/s}$ .

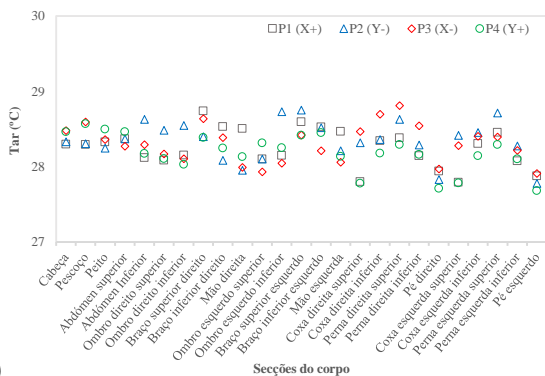
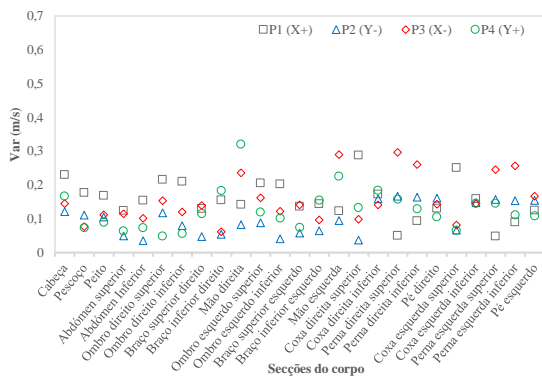


Figura 7.98- Distribuição a) da velocidade do ar e b) da temperatura do ar em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. Caso III de verão:  $T_{ext} = 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_i = 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{par} = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{ar} = 1\text{ m/s}$ .

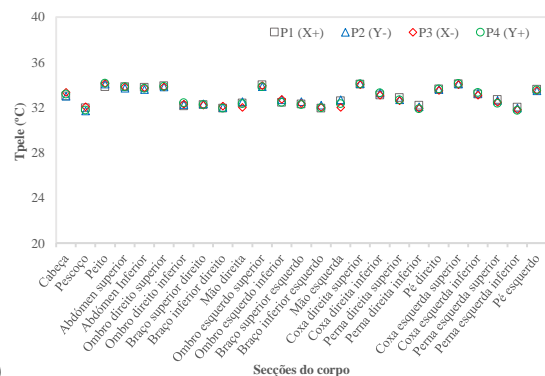
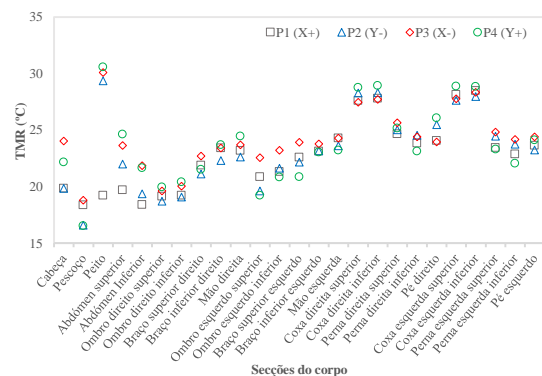


Figura 7.99- Distribuição a) da temperatura média radiante e b) da temperatura da pele em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. Caso III de verão:  $T_{ext} = 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_i = 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{par} = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{ar} = 1\text{ m/s}$ .

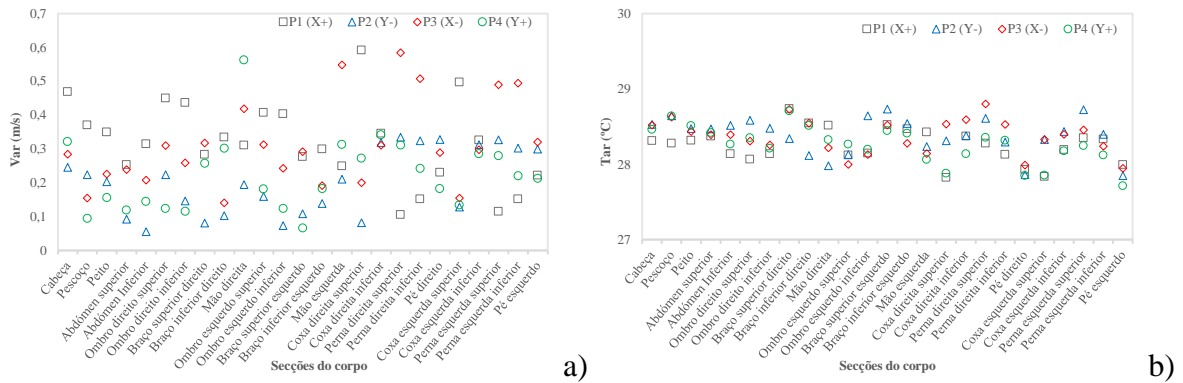


Figura 7.100- Distribuição a) da velocidade do ar e b) da temperatura do ar em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. Caso III de verão:  $T_{ext}= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_i= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{par}= 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{ar}= 2\text{ m/s}$ .

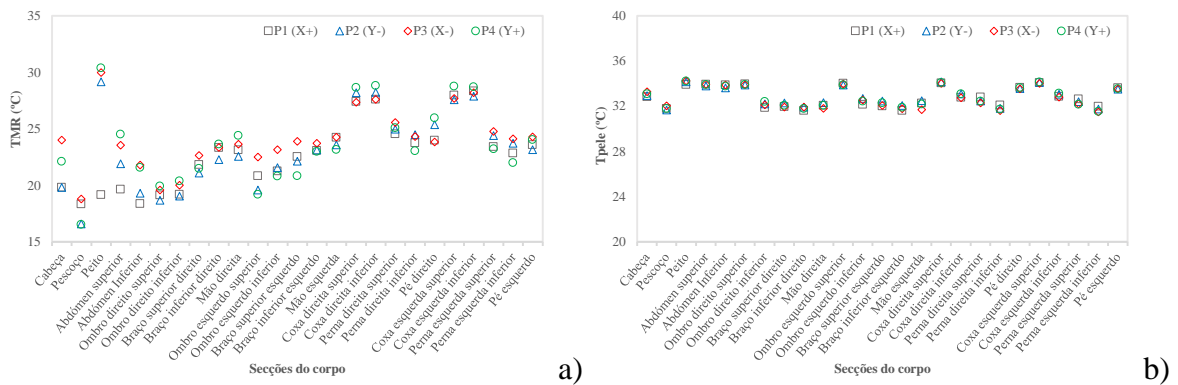


Figura 7.101- Distribuição a) da temperatura média radiante e b) da temperatura da pele em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. Caso III de verão:  $T_{ext}= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_i= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{par}= 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{ar}= 2\text{ m/s}$ .

Passando à análise dos gráficos acima identificados, pode-se observar que, relativamente à estação de inverno, a temperatura do ar em torno das secções do corpo dos ocupantes é mais elevada em comparação com o caso II-B. Com condições de velocidades do ar de 1 m/s, no caso II-B a temperatura do ar varia entre os 10 e os 17 °C (como já se constatou anteriormente) e no caso III a temperatura do ar atinge valores superiores, estando entre os 12 e 19 °C, verificando-se assim um aumento de 2 °C após a introdução das paredes radiantes. Para condições em que a velocidade do ar é de 2 m/s a temperatura do ar em torno do corpo dos ocupantes diminui mas, no entanto, continua a ser mais elevada do que no caso II-B em que a velocidade do ar é de 2 m/s.

A velocidade do ar em torno dos ocupantes, no inverno, mantém-se igual, o que seria de esperar visto que as velocidades estudadas são iguais em ambos os casos. De entre a velocidade de 1 e 2 m/s conclui-se que a velocidade em torno dos ocupantes é maior para uma velocidade do ar de 2 m/s.

A temperatura média radiante em torno dos ocupantes também sofre um aumento no caso III. Para velocidades do ar de 1 m/s, no caso II-B a temperatura média radiante situava-se entre 8 e 26 °C enquanto no caso III a temperatura média radiante atinge valores entre os 25 e 47 °C, verificando-se assim um grande aumento da mesma após a introdução das paredes radiantes. No caso da velocidade do ar ser de 2 m/s, verifica-se o mesmo aumento entre ambos os casos, no entanto a temperatura média radiante desce ligeiramente.

Na temperatura da pele não se verifica uma alteração muito significativa entre o caso II-B e o caso III, no entanto, o intervalo é menor no caso III, variando entre os 28 e 36 °C enquanto no caso II-B o intervalo da temperatura da pele é entre os 25 e 36 °C. No que diz respeito à variação da velocidade do ar entre 1 e 2 m/s, esta não altera significativamente a temperatura da pele.

Analisando agora os resultados obtidos para o verão, a velocidade do ar em torno dos ocupantes aumenta com o aumento da velocidade de entrada do ar através das condutas verticais, no entanto, os valores obtidos são iguais quer para o caso II-B quer para o caso III.

A temperatura do ar em torno do corpo dos ocupantes é menor do que no caso II-B devido ao arrefecimento provocado pelas paredes radiantes, à exceção da zona dos pés em que a temperatura do ar é mais baixa visto que no caso II-B o chão é radiante e no caso III apenas as paredes é que são radiantes. Relativamente à variação da velocidade de entrada do ar no compartimento, esta não influencia muito a temperatura do ar no verão.

A temperatura média radiante no verão é menor visto que a temperatura do ar também é menor, sendo que no caso II-B a temperatura média radiante compreendia um intervalo entre 25 e 35 °C e no caso III a temperatura média radiante compreende um intervalo entre 15 e 30 °C. Porém, no que diz respeito à alteração da velocidade do ar de entrada no compartimento, esta não provoca alterações significativas na temperatura média radiante.

A temperatura da pele é semelhante em ambos os casos para ambas as velocidades do ar embora seja ligeiramente mais baixa no caso III e com velocidades de 2 m/s.

Tabela 7.26- Nível de conforto térmico. Caso III de inverno, com temperatura do ar exterior e interior de 8 °C e velocidade de entrada do ar exterior de 1 e 2 m/s.

	Ocupante 1	Ocupante 2	Ocupante 3	Ocupante 4	Média
PMV ( $V_{ar}= 1 \text{ m/s}$ , $T_{par}= 50 \text{ °C}$ )	0,43	0,59	-0,09	0,27	0,30
PMV ( $V_{ar}= 2 \text{ m/s}$ , $T_{par}= 50 \text{ °C}$ )	-0,15	0,01	-0,64	-0,11	-0,22

Tabela 7.27- Nível de conforto térmico. Caso III de verão, com temperatura do ar exterior e interior de 28 °C e velocidade de entrada do ar de 1 e 2 m/s.

	Ocupante 1	Ocupante 2	Ocupante 3	Ocupante 4	Média
PMV ( $V_{ar}= 1 \text{ m/s}$ , $T_{par}= 15 \text{ °C}$ )	0,21	0,53	0,55	0,57	0,47
PMV ( $V_{ar}= 2 \text{ m/s}$ , $T_{par}= 15 \text{ °C}$ )	0,03	0,41	0,37	0,45	0,32

Relativamente aos níveis de conforto térmico, segundo as tabelas anteriores, verifica-se que o aumento da velocidade do ar diminui o nível de conforto térmico no inverno e aumenta no verão. Com a colocação das paredes radiantes o nível do índice PMV melhora estando dentro dos limites sugeridos pela ANSI/ASHRAE Standard 62.1, 2004.

O consumo de energia das paredes radiantes é mais elevado do que o consumo do chão radiante visto que é necessário o aquecimento/arrefecimento de uma área maior no compartimento. O consumo no inverno é mais elevado que no verão visto que o aumento de temperatura também mais elevado no inverno do que no verão.

#### 7.2.3.4 Desconforto térmico local

Nesta secção do desconforto térmico local é apresentado o índice de risco de resfriamento dos ocupantes. As figuras 7.102, 7.103, 7.104 e 7.105 descrevem este índice para o inverno e para o verão, com velocidades de entrada do ar de 1 e 2 m/s.

As condições de  $T_{ext}$ ,  $T_i$ ,  $T_{par}$  e  $V_{ar}$  apresentam, respetivamente, a temperatura do ar exterior, a temperatura do ar interior, a temperatura das paredes radiantes e a velocidade do ar de insuflação através das condutas verticais.

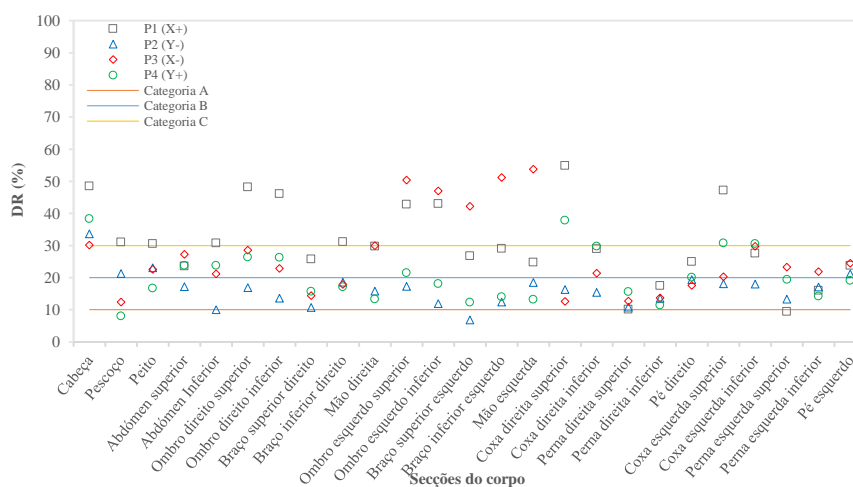


Figura 7.102- Risco de resfriamento, em %, em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. Caso III de inverno:  $T_{ext}= 8 \text{ °C}$ ,  $T_i= 8 \text{ °C}$ ,  $T_{par}= 50 \text{ °C}$ ,  $V_{ar}= 1 \text{ m/s}$ .

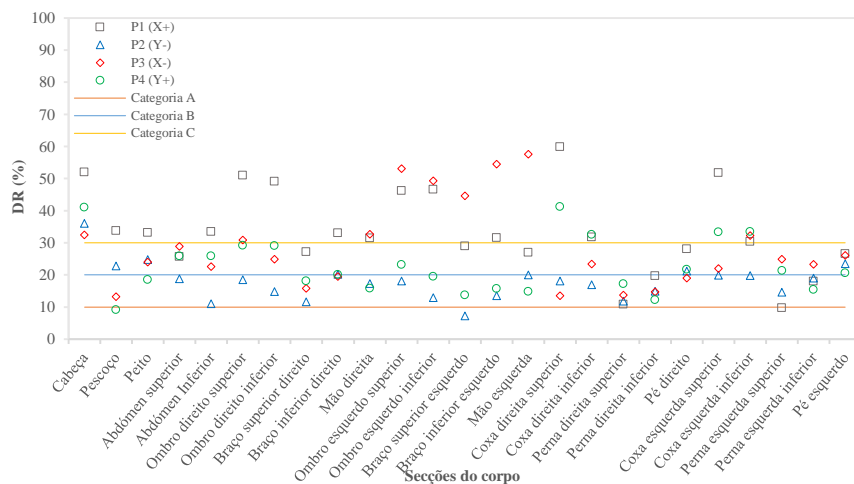


Figura 7.103- Risco de resfriamento, em %, em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. Caso III de inverno:  $T_{ext}= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_i= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{par}= 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{ar}= 2\text{ m/s}$ .

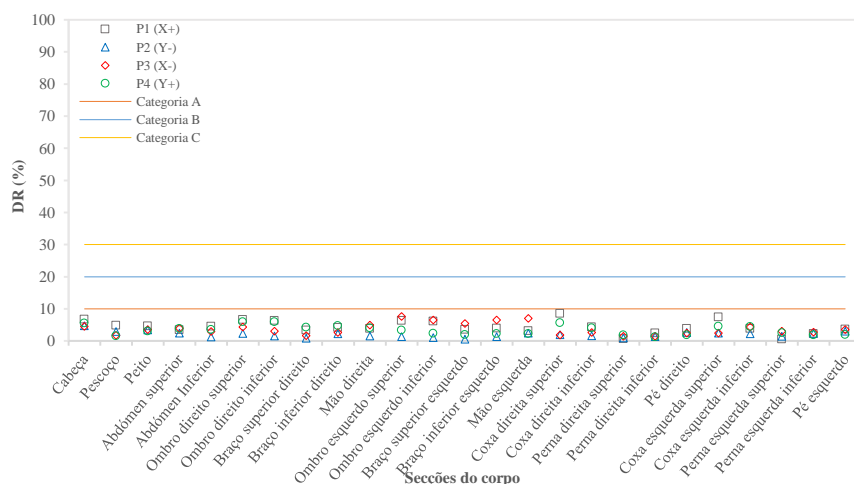


Figura 7.104- Risco de resfriamento, em %, em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. Caso III de verão:  $T_{ext}= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_i= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{par}= 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{ar}= 1\text{ m/s}$ .

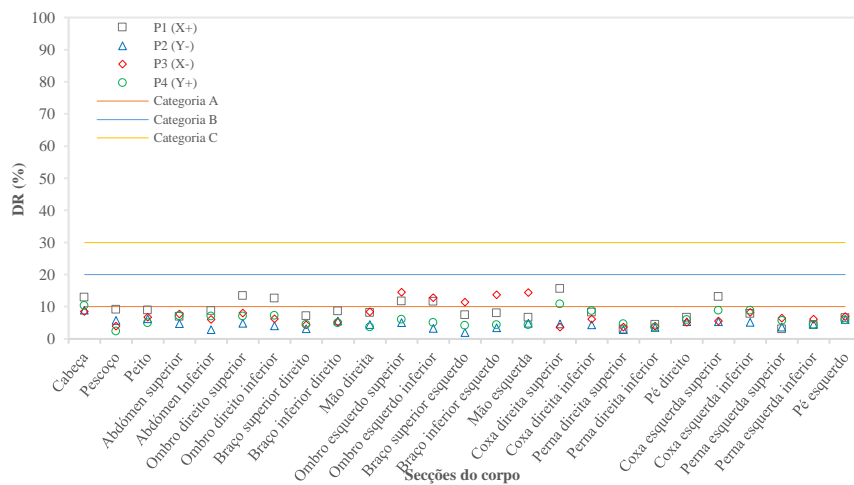


Figura 7.105- Risco de resfriamento, em %, em torno das secções do corpo de quatro indivíduos. Caso III de verão:  $T_{ext}= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_i= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{par}= 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{ar}= 2\text{ m/s}$ .

Com as figuras anteriores podemos observar que os riscos de resfriamento obtidos são baixos, até mesmo no inverno com uma velocidade de 1 m/s. Comparando os resultados obtidos neste caso com o caso II-B verifica-se que o efeito das paredes radiantes nos ocupantes facultam riscos de resfriamento mais baixos.

Os resultados obtidos no caso II-B, no inverno, ultrapassam as categorias definidas pela ISO 7730. No caso III, no inverno, com uma velocidade do ar de 1 m/s os resultados obtidos correspondem à categoria C, e com uma velocidade do ar de 2 m/s os resultados ultrapassam a categoria C da ISO 7730.

Relativamente ao verão, no caso II-B; os valores obtidos correspondem à categoria B e C de acordo com a velocidade do ar de 1 e 2 m/s, respetivamente, enquanto no caso III, os valores correspondem às categorias A e B, respetivamente.

Sendo assim, pode-se concluir que as paredes radiantes influenciam positivamente os ocupantes, reduzindo o risco de resfriamento dos mesmos.

#### 7.2.3.5 Qualidade do ar interior

Relativamente ao caso III verifica-se que a qualidade do ar interior é semelhante ao caso II-B visto que a localização da exaustão é a mesma e o caudal de renovação do ar também é o mesmo. Dessa forma, não serão apresentados resultados nesta secção visto serem idênticos aos resultados apresentados anteriormente.

#### 7.2.3.6 ADI e energia

Nesta secção as tabelas 7.28 e 7.29 apresentam os resultados obtidos no caso III, nomeadamente, o índice de distribuição do ar, a percentagem de pessoas insatisfeitas, a concentração de dióxido de carbono na zona de respiração dos ocupantes, o consumo de energia, entre outros dados.

Tabela 7.28- ADI no caso III de inverno, com temperatura do ar exterior e interior de 8 °C, temperatura das paredes de 50 °C e velocidade de insuflação do ar de 1 e 2 m/s.

Média dos 4 ocupantes	V <sub>ar</sub> = 1 m/s	V <sub>ar</sub> = 2 m/s
Temperatura de entrada (°C)	50	50
Temperatura de saída (°C)	11,38	10,71
Temperatura média corporal (°C)	15,14	14,27
Eficiência de remoção de calor (%)	100	100
PPD através do conforto térmico (%)	8,21	7,32
Número de conforto térmico	14,93	16,81
Entrada de CO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	500,00	500,00
Saída de CO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	550,97	525,19
CO <sub>2</sub> na zona de respiração (mg/m <sup>3</sup> )	4 192,29	3 049,27
Eficiência de remoção de contaminantes (%)	1,80	1,23
Caudal volúmico (l/s/Olf)	152,07	304,15
PD com qualidade do ar (%)	0,64	0,19
Número de qualidade do ar	2,82	6,51
Velocidade de entrada (m/s)	1,00	2,00
Velocidade média em torno do corpo (m/s)	0,14	0,27
Eficiência do sistema de promoção de ar (%)	100	100
Índice de distribuição de ar (ADI)	6,35	10,23
Potência de aquecimento (kW)	3,67	5,69

Tabela 7.29- ADI no caso III de verão, com temperatura do ar exterior e interior de 28 °C, temperatura das paredes de 15 °C e velocidade do ar de 1 e 2 m/s.

Média dos 4 ocupantes	V <sub>ar</sub> = 1 m/s	V <sub>ar</sub> = 2 m/s
Temperatura de entrada (°C)	15	15
Temperatura de saída (°C)	27,71	27,75
Temperatura média corporal (°C)	28,29	28,34
Eficiência de remoção de calor (%)	95,57	95,60
PPD através do conforto térmico (%)	10,01	7,71
Número de conforto térmico	10,33	13,14
Entrada de CO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	500,00	500,00
Saída de CO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	550,50	525,18
CO <sub>2</sub> na zona de respiração (mg/m <sup>3</sup> )	4 779,59	3 379,64
Eficiência de remoção de contaminantes (%)	1,28	1,16
Caudal volúmico (l/s/Olf)	152,07	304,15
PD com qualidade do ar (%)	0,64	0,19
Número de qualidade do ar	2,00	6,14
Velocidade de entrada (m/s)	1,00	2,00
Velocidade média em torno do corpo (m/s)	0,15	0,27
Eficiência do sistema de promoção de ar (%)	100	100
Índice de distribuição de ar (ADI)	4,49	8,75
Potência de arrefecimento (kW)	-1,16	-1,78

Neste caso os índices de distribuição de ar mais elevados foram obtidos na simulação em que a velocidade do ar dos jatos horizontais das condutas verticais é de 2 m/s.

Comparando com o caso II-B pode-se verificar que o índice de distribuição do ar aumentou no caso III, sendo que o aumento mais significativo foi no inverno. Neste caso, volta-se a confirmar que a melhor solução é com as condutas verticais a uma velocidade do ar de 2 m/s.

Como foi referido na secção anterior, a concentração de dióxido de carbono na zona de respiração dos ocupantes neste caso é bastante semelhante à do caso II-B, como se pode verificar ao comparar ambas as tabelas do índice ADI. A média torna-se um pouco elevada devido à concentração do quarto indivíduo ser muito mais elevada que os restantes indivíduos.

O consumo de energia, como era de esperar, é mais elevado neste caso.

## 8. Uso das energias renováveis nos sistemas de ventilação e nos sistemas de superfícies radiantes estudados

Neste trabalho foram estudados sistemas de ventilação personalizada e condutas verticais, com e sem superfícies radiantes, nos quais é necessário consumir energia para aquecer ou arrefecer o ar e a água que estes utilizam.

De forma a tornar esses sistemas de ventilação e de superfícies radiantes mais ecológicos foram introduzidos processos de produção de energia renovável, de forma a diminuir esse consumo de energia.

No caso do aquecimento do ar dos sistemas de ventilação e da água do sistema de superfícies radiantes, para as estações frias, os processos de produção de energia renovável são a biomassa e os coletores solares. A biomassa sendo queimada diretamente pode produzir calor de forma a aquecer o ar vindo do exterior e também a água para as superfícies radiantes. Os coletores solares seriam especialmente para aquecer a água das superfícies radiantes.

No caso do arrefecimento do ar dos sistemas de ventilação e da água do sistema de superfícies radiantes, para as estações quentes, os processos de produção de energia renovável são a geotermia e o ar-condicionado solar. Através da geotermia seriam implementados tubos no interior da superfície terrestre, pelos quais circularia ar e água de forma a arrefece-los para, posteriormente, seguirem para os espaços a serem arrefecidos. O ar-condicionado solar, através da energia solar, permitiria o arrefecimento de ar vindo do exterior para circular pelos sistemas de ventilação estudados.

Nesta secção será abordada com algum detalhe o funcionamento de um ar-condicionado solar, mostrando valores concretos da quantidade de energia solar necessária para gerar a quantidade de frio que o sistema de ventilação personalizada e as superfícies radiantes necessitam, na estação de verão, para arrefecer o ar e a água, respetivamente, e de acordo com os casos estudados ao longo desta dissertação.

Esses valores foram obtidos através de uma simulação feita com um programa de resolução de sistemas de equações múltiplas, o qual determinou variáveis como o calor gerado ( $Q_{gen}$ ) e o calor evaporado ( $Q_{evap}$ ) de um ar-condicionado com refrigerante amoníaco-água. Através dessa simulação obteve-se que na gama estudada a relação entre  $Q_{evap}$  e  $Q_{gen}$  é de 0,43.

Com esta relação entre o  $Q_{\text{evap}}$  e o  $Q_{\text{gen}}$  é possível determinar o  $Q_{\text{gen}}$  que é necessário para se obter a quantidade de frio ( $Q_{\text{evap}}$ ) que os sistemas requerem de acordo com os parâmetros ambientais que foram escolhidos (tabela 8.1).

Tabela 8.1- Energia nos sistemas de ventilação e superfícies radiantes, no verão.

	Potência de arrefecimento $Q_{\text{evap}}$ (kW)	Potência de aquecimento $Q_{\text{gen}}$ (kW)
Sistema de ventilação personalizada: $T_{\text{ext}}= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_{\text{i}}= 26\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{\text{ar}}= 5\text{ m/s}$	0,87	2,02
Superfícies radiantes, Caso II-B: $T_{\text{ext}}= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_{\text{i}}= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_{\text{ch}}= 19\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{\text{ar}}= 1\text{ m/s}$	0,62	1,44
Superfícies radiantes, Caso II-B: $T_{\text{ext}}= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_{\text{i}}= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_{\text{ch}}= 19\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{\text{ar}}= 2\text{ m/s}$	0,63	1,47
Superfícies radiantes, Caso III: $T_{\text{ext}}= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_{\text{i}}= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_{\text{par}}= 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{\text{ar}}= 1\text{ m/s}$	1,16	2,70
Superfícies radiantes, Caso III: $T_{\text{ext}}= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_{\text{i}}= 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_{\text{par}}= 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{\text{ar}}= 2\text{ m/s}$	1,78	4,14

Segundo a tabela 8.1, verifica-se que no caso do sistema de ventilação personalizada é necessário 0,87 kW de energia para se obter uma temperatura do ar de insuflação no verão de 26 °C. Para se obter esses 0,87 kW é necessário gerar 2,02 kW através da energia solar.

No caso II-B em que se utilizam superfícies radiantes, é necessário arrefecer a água que passa nos tubos do chão radiante a uma temperatura de 19 °C. Para isso, é preciso uma potência de aquecimento de 1,44 e 1,47 kW para fornecer 0,62 e 0,63 kW de frio para a água.

No caso III, em que as superfícies radiantes são colocadas nas paredes é necessária uma potência de aquecimento de 2,70 e 4,14 kW para se obter uma potência de arrefecimento de 1,16 e 1,78 kW, de forma a que a água esteja a uma temperatura de 15 °C.

É de notar que quanto maior a potência de arrefecimento necessária, maior também é a quantidade de energia solar necessária.

No caso do inverno e da primavera/outono o ar-condicionado solar também pode gerar calor para aquecer os espaços interiores. Nesse caso o calor gerado necessário para aquecer o ar e a água dos sistemas de ventilação e sistemas de superfícies radiantes nos espaços pode ser consultado na tabela 8.2, de acordo com cada caso.

Tabela 8.2- Energia nos sistemas de ventilação e superfícies radiantes, no inverno e na primavera/outono.

	Potência de aquecimento $Q_{gen}$ (kW)
Sistema de ventilação personalizada: $T_{ext}= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 4\text{ m/s}$	3,49
Sistema de ventilação personalizada: $T_{ext}= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 22\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 5\text{ m/s}$ .	1,74
Superfícies radiantes, Caso II-B: $T_{ext}= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_{ch}= 29\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 1\text{ m/s}$	1,33
Superfícies radiantes, Caso II-B: $T_{ext}= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_{ch}= 29\text{ }^{\circ}\text{C}$ $V_{ar}= 2\text{ m/s}$	1,43
Superfícies radiantes, Caso II-B: $T_{ext}= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_{ch}= 29\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $V_{ar}= 1\text{ m/s}$	0,67
Superfícies radiantes, Caso II-B: $T_{ext}= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_{ch}= 29\text{ }^{\circ}\text{C}$ $V_{ar}= 2\text{ m/s}$	0,73
Superfícies radiantes, Caso III: $T_{ext}= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_{par}= 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ $V_{ar}= 1\text{ m/s}$	3,67
Superfícies radiantes, Caso III: $T_{ext}= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_i= 8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $T_{par}= 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ $V_{ar}= 2\text{ m/s}$	5,69

## 9. Conclusão

Nesta dissertação realizou-se um estudo sobre dois sistemas de ventilação diferentes: o sistema de ventilação personalizada e o sistema de condutas verticais com e sem superfícies radiantes, tendo o intuito de avaliar e melhorar o conforto térmico e o desconforto térmico local dos indivíduos e a qualidade do ar em espaços fechados.

Essa avaliação realizou-se com a utilização de modelos numéricos como o modelo diferencial de simulação de escoamentos, o modelo integral de simulação da resposta térmica humana e o modelo integral de simulação da resposta térmica em edifícios. Para além dos modelos também utilizaram-se índices como o *Predicted Mean Vote* (PMV), o *Predicted Percentage Dissatisfied* (PPD), o *Draught Risk* (DR), e o índice de distribuição do ar (ADI).

No estudo do sistema de ventilação personalizada, a gama de casos estudados no inverno compreendeu temperaturas do ar entre os 16 e os 22 °C e velocidades do ar entre 1 e 4 m/s; para a primavera/outono as temperaturas do ar estudadas foram entre 18 e 24 °C e velocidades do ar entre 2 e 5 m/s; no verão as temperaturas e velocidades do ar estudadas foram de 22 a 28 °C e 2 a 5 m/s, respetivamente.

Os casos com melhores condições foram escolhidos de acordo com os resultados mais elevados obtidos pelo índice de distribuição do ar (ADI), o qual tem em conta o conforto térmico, a qualidade do ar e a eficiência do sistema de ventilação.

Através dos resultados obtidos pode-se concluir que o sistema de ventilação personalizada é um sistema viável para instalação em, por exemplo, salas de aula, nas quais é importante melhorar a qualidade do ar interior prevenindo os estudantes do Síndrome do Edifício Doente. Sendo assim, os casos ótimos escolhidos apresentam os seguintes parâmetros ambientais do ar injetado pela ventilação personalizada: para o inverno a velocidade do ar é de 4 m/s e a temperatura do ar é de 18 °C; para a primavera/outono a velocidade do ar é de 5 m/s e a temperatura do ar é de 22 °C; e para o verão a velocidade do ar é de 5 m/s e temperatura do ar é de 26 °C. Nestes casos foram obtidos índices de distribuição do ar (ADI) entre os 8 e os 10 valores.

Apesar de se verificar que a ventilação personalizada é um sistema viável para implementação em salas de aula, devido ao facto do sistema estar muito próximo dos indivíduos, o risco de resfriamento revela-se um pouco elevado, ultrapassando a categoria C, segundo a ISO 7730, o que para indivíduos de faixa etária superior a 60 anos, com sistemas imunológicos mais fracos não é aconselhável.

Dessa forma, nesta dissertação realizou-se, também, o estudo de um novo sistema de ventilação, denominado de sistema condutas verticais, com e sem o sistema de superfícies radiantes, com o intuito de promover o conforto térmico de indivíduos séniores e a qualidade do ar no interior de espaços fechados, sem pôr em causa o estado de saúde dos mesmos.

De entre os três casos estudados com as condutas verticais, verificou-se que no caso I a qualidade do ar interior não está dentro dos limites de concentração máxima recomendados pelo Decreto-Lei 79/2006 e o conforto térmico dos indivíduos também é baixo devido ao ar dos jatos horizontais estar à temperatura exterior e não existir aquecimento no inverno e primavera/outono, nem arrefecimento no verão.

Para melhorar a qualidade do ar interior e o conforto térmico dos indivíduos, surgiu o caso II-A, em que é introduzida uma exaustão personalizada, e o caso II-B em que se coloca chão radiante. Em relação à qualidade do ar interior verifica-se que, realmente, a exaustão personalizada permite remover mais facilmente os contaminantes expirados, sem que estes se dispersem pelo espaço envolvente, devido à proximidade da conduta na zona de respiração dos indivíduos. No que diz respeito ao conforto térmico dos indivíduos, este melhora no caso II-B, em comparação com o caso I e o caso II-A, no entanto, os valores de índice PMV ainda ultrapassam os limites recomendados pela ISO 7730, à exceção da primavera/outono que obteve resultados do índice PMV superiores ao limite inferior de -0,7. Isto ocorre visto que ao aumentar a velocidade do ar das condutas verticais para melhorar a qualidade do ar, inevitavelmente, existe uma diminuição do conforto térmico.

Com isso, surgiu o caso III em que foram introduzidas paredes radiantes. Neste caso, em que foram estudadas as estações de inverno e verão, pode-se confirmar que foi o caso onde se obteve um melhor conforto térmico, em que os resultados obtidos do índice PMV não ultrapassam os limites recomendados de -0,7 e 0,7, segundo a ISO 7730 e, por isso, o sistema de condutas verticais é considerado um sistema eficiente. Em relação ao risco de resfriamento, com este sistema de ventilação das condutas verticais verifica-se um baixo risco de resfriamento, não ultrapassando as percentagens admitidas nas categorias A, B e C, pela ISO 7730, devido às baixas velocidades do ar injetado pelo sistema que foram consideradas e também pelo facto do sistema de ventilação não ser localizado junto aos indivíduos.

Relativamente às energias renováveis que foram abordadas, verifica-se que são processos de produção de energia que permitem reduzir o consumo de energia dos sistemas de ventilação e do sistema de superfícies radiantes, tornando-os ecológicos, e que possibilitam o aquecimento/arrefecimento de ar e água consoante a estação do ano. Para o aquecimento

da água e do ar foram introduzidos a biomassa e os coletores solares e para o arrefecimento da água e do ar foram introduzidos a geotermia e os ares-condicionados solares.

Por fim, pode-se concluir que ambos os sistemas ventilação estudados e as superfícies radiantes permitem melhorar o conforto térmico e a qualidade do ar interior, apesar do sistema de ventilação personalizada ser mais apropriado para indivíduos mais jovens em que os elevados caudais de ar não prejudicam o estado de saúde dos mesmos; e o sistema de condutas verticais ter sido desenvolvido com o intuito de melhorar o conforto térmico e a qualidade do ar interior em espaços frequentados por indivíduos séniores, considerando os seus sistemas imunológicos fracos.

## 10. Aplicações futuras

Futuramente, e no seguimento do estudo realizado nesta dissertação, sugere-se que se efetuem novas simulações numéricas, adaptadas a um espaço de maiores dimensões.

Neste trabalho simulou-se apenas um grupo de quatro indivíduos para testar, primeiramente, a viabilidade destes sistemas. No entanto, como o sistema de ventilação personalizada e os sistemas de condutas verticais e superfícies radiantes foram estudados com o intuito de serem implementados em salas de aula/bibliotecas e lares de idosos, respetivamente, o ideal será realizar-se um estudo semelhante, mas num espaço de maiores dimensões, aproximando-se mais do contexto real a que estes sistemas se destinam e para se verificar se a resposta dos indivíduos é similar à que foi obtida neste trabalho.

Posteriormente às simulações numéricas, sugere-se também que se efetuem medições experimentais de ambos os sistemas de ventilação e do sistema de superfícies radiantes, de forma a validar os resultados obtidos numericamente, quer numa câmara de menores dimensões como numa câmara de maiores dimensões.

Por fim, após a validação dos resultados obtidos e a confirmação de que os sistemas estudados são, efetivamente, eficazes do ponto de vista de conforto térmico nos indivíduos, da qualidade do ar no interior de espaços fechados, e da eficiência energética, será possível que estes sistemas, num futuro próximo, sejam implementados quer nas salas de aula/bibliotecas quer em espaços de convívio em lares de idosos.

## 11. Bibliografia

- Althouse, A., Turnquist, C., Bracciano, A. (2004). Modern refrigeration and air conditioning. 9ª edição, The Goodheart-WillcCox-company-Inc.
- ANSI/ASHRAE Standard 62.1 (2004), ASHRAE Standard – Ventilation of Acceptable Indoor Air Quality, American Society of Heating Refrigeration and Air-Conditioning Engineers Inc, Atlanta.
- Atthajariyakul, S., Leephakpreeda, T. (2005). Neural computing thermal Comfort index for HVAC systems. *Energy Conversion and Management*. Volume 46, Pages 2553-2565.
- Awbi, H. B. (1998). Energy efficient room air distribution. *Renewable Energy*, Volume 15, Issues 1-4, September-December 1998, Pages 293-299.
- Awbi, H. B. (2003). *Ventilation of Buildings*, 2ª edition. London: Taylor & Francis.
- Cardozo, E., Erlich, C., Malmquist, A., Alejo, L. (2014). Integration of a wood pellet burner and a stirling engine to produce residential heat and power. *Applied Thermal Engineering*. Volume 73, Pages 671-680.
- Chen, Y., Raphael, B., Sekhar, S.C. (2012). Individual control of a personalized ventilation system integrated with an ambient mixing ventilation system. *HVAC&R Research*. Volume 18, Pages 1136-1152.
- Chinnakani, K., Krishnamurthy, A., Moyne, J. (2011). Comparison of Energy Consumption in HVAC Systems Using Simple ON-OFF, Intelligent ON-OFF and Optimal Controllers. *IEEE*. 978-1-4577-1002-5/11/\$26.00.
- Cho, Y., Awbi, H.B., Karimipanah, T. (2007). Theoretical and experimental investigation of wall confluent jets ventilation and comparison with wall displacement ventilation. *Building and Environment*. Volume 43, Pages 1091-1100.
- Conceição, E. Z. E, Lúcio, M<sup>a</sup>. M. J. R., Lourenço, T. M. C., Brito, A. I. P. V. (2006). Evaluation of thermal comfort in slightly warm ventilated spaces in nonuniform environments. *HVAC&R Research*. Volume 12, Pages 451-475.
- Conceição, E. Z. E, Lúcio, M<sup>a</sup>. M. J. R. (2008). Thermal study of school buildings in winter conditions. *Building and Environment*. Volume 43, Pages 782-792.
- Conceição, E. Z. E., Vicente, V. D. S. R., Lúcio, M<sup>a</sup>. M. J. R. (2008). Airflow Inside School Building Office Compartments with Moderate Environments. *HVAC&R Research*. Volume 14, Pages 1-13.
- Conceição, E. Z. E, Lúcio, M<sup>a</sup>. M. J. R. (2010a). Evaluation of thermal comfort conditions in a localized radiant system placed in front and behind two students seated nearby warmed curtains. *Building and Environment*. Volume 45, Pages 2100-2110.
- Conceição, E. Z. E, Lúcio, M<sup>a</sup>. M. J. R. (2010b). Numerical simulation of passive and active solar strategies in buildings with complex topology. *Building Simulation*. Volume 3, Pages 245-261.
- Conceição, E. Z. E, Lúcio, M<sup>a</sup>. M. J. R., Rosa, S.P., Custódio, A. L.V., Andrade, R. L., Meira, M.J.P.A. (2010a). Evaluation of Comfort level in desks equipped with two

personalized ventilation systems in slightly warm environments. *Building and Environment*. Volume 45, Pages 601-609.

Conceição, E. Z. E., Rosa, S. P., Custódio, A. L.V., Andrade, R. L., Meira, M. J. P. A., Lúcio, M<sup>a</sup>. M. J. R. (2010b). Study of airflow around occupants seated in desks equipped with upper and lower air terminal devices for slightly warm environments. *HVAC&R Research*. Volume 16, Pages 401-412.

Conceição, E. Z. E., Lúcio, M<sup>a</sup>. M. J. R. (2011). Evaluation of thermal Comfort conditions in a classroom equipped with radiant cooling systems and subjected to uniform convective environment. *Applied Mathematical Modelling*. Volume 35, Pages 1292-1305.

Conceição, E. Z. E., Lúcio, M<sup>a</sup>. M., Awbi, H. B. (2012). Comfort and airflow evaluation in spaces equipped with mixing ventilation and cold radiant floor. *Building Simulation*. Volume 6, Pages 51-67.

Conceição, E. Z. E., Santiago, C. I. M., Lúcio, M<sup>a</sup>. M. J. R. (2014). Estratégias e Tecnologias de AVAC para a sustentabilidade dos edifícios- Avaliação das condições de conforto térmico a que os ocupantes estão sujeitos em espaços equipados com sistema de chão radiante aquecido. *Ordem dos Engenheiros, 14.as Jornadas de Engenharia de Climatização*.

Decreto-Lei n<sup>o</sup> 79/2006 de 4 de Abril. Regulamento dos sistemas energéticos de climatização em edifícios (RSECE), *Diário da República, I Série- A, N. 67*.

Demirbas, A. (2005). Potential applications of renewable energy sources, biomass combustion problems in boiler power systems and combustion related environmental issues. *Progress in Energy and Combustion Science*. Volume 31, Pages 171-192.

Demirbas, M. F., Balat, M., Balat, H. (2009). Potential contribution of biomass to the sustainable energy development. *Energy Conversion and Management*. Volume 50, Pages 1746-1760.

Fabbri, K. (2013). Thermal comfort evaluation in kindergarten: PMV and PPD measurement through datalogger and questionnaire. *Building and Environment*. Volume 68, Pages 202-214.

Ferreira, P. M., Ruano, A. E., Silva, S., Conceição, E. Z. E. (2012). Neural networks based predictive control for thermal Comfort and energy savings in public buildings. *Energy and Buildings*. Volume 55, Pages 238-251.

Fontana, L. (2011). Thermal performance of radiant heating floors in furnished enclosed spaces, *Applied Thermal Engineering*. Volume 31, Pages 1547-1555.

Fridleifsson, I. B. (1996). Present status and potential role of geothermal energy in the world. *WREC*. Pages 34-39.

Fridleifsson, I. B. (2001). Geothermal energy for the benefit of the people. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Volume 5, Pages 299-312.

Fridleifsson, I. B. (2003). Status of geothermal energy amongst the world's energy sources. *Geothermics*. Volume 32, Pages 379-388.

- Hassan, H. Z., Mohamad, A. A. (2012). A review on solar cold production through absorption technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Volume 16, Pages 5331-5348.
- Homod, R. Z., Sahari, K. S. M., Almurib, H. A. F. (2014). Energy saving by integrated control of natural ventilation and HVAC systems using model guide for comparison. *Renewable Energy*. Volume 71, Pages 639–650.
- ISO 7730 (2005). Ergonomics of thermal environmental – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria.
- Johnston, I. W., Narsilio, G. A., Colls, S. (2011). Emerging geothermal energy technologies. *KSCE Journal of Civil Engineering*. Volume 15, Pages 643-653.
- Kaczmarczyk, J., Melikov, A., Fanger, P.O. (2004). Human response to personalized ventilation and mixing ventilation. *Indoor Air*. Volume 14, Pages 17-29.
- Kaczmarczyk, J., Melikov, A., Bolashikov, Z., Nikolaev, L., Fanger, P.O. (2006). Human response to five designs of personalized ventilation. *HVAC&R Research*. Volume 12, Pages 367-384.
- Karimipannah, T., Awbi, H.B., Blomqvist, C., Sandberg M., (2005). Effectiveness of confluent jets ventilation system for classrooms, *Indoor Air*, Beijing, China.
- Karimipannah, T., Awbi, H.B., Sandberg M., Blomqvist, C. (2007). Investigation of air quality, comfort parameters and effectiveness for two floor-level air supply systems in classrooms. *Building and Environment*. Volume 42. Pages 647-655.
- Kim, S., Jang, Y. J., Shin, Y., Kim, G-H. (2014). Economic feasibility analysis of the application of geothermal energy facilities to public building structures. *Sustainability*. Volume 6, Pages 1667-1685.
- Lourenço, P. M. S. (2012). Modelação de coletores solares térmicos. *Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente*, Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências, Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia.
- Melikov, A. K., Cermak, R., Majer, M. (2002). Personalized ventilation: evaluation of different air terminal devices. *Energy and Buildings*. Volume 34, Pages 829-836.
- Melikov, A. K. (2004). Personalized ventilation. *Indoor air*. Volume 14, Pages 157-167.
- Melikov, A. K., Pavlov, G., Dimitrov, N. (2007). Personalized ventilation: impact of airflow direction at the breathing zone on inhaled air quality. *Proceedings of Clima*.
- Melikov, A. K., Skwarczynski, M. A., Kaczmarczyk, J., Zabecky, J. (2013). Use of personalized ventilation for improving health, comfort, and performance at high room temperature and humidity. *Indoor Air*. Volume 23, Pages 250-263.
- Mendes, A., Aguiar, L., Pereira, C., Neves, P., Silva, S., Teixeira, J.P. (2014). Qualidade do ar interior em lares idosos em Portugal, projeto GERIA. *Saúde Ambiental*. Instituto Nacional de saúde.
- Mihalakakou, G., Psiloglou, B., Santamouris, M., Nomidis, D. (2002). Application of renewable energy sources in the Greek islands of the South Aegean Sea. *Renewable Energy*. Volume 26, Pages 1-19.

- Milenic, D., Vasiljevic, P., Vranjes, A. (2010). Criteria for use of groundwater as renewable energy source in geothermal heat pump systems for building heating/colling purposes. *Energy and Buildings*. Volume 42, Pages 649-657.
- Olesen, B.W., Parsons, K.C. (2002). Introduction to Thermal Comfort standards and to the proposed new version of EN ISO 7730. *Energy and Buildings*. Volume 34, Pages 537-548.
- Ormandy, D., Ezratty, V. (2012). Health and thermal comfort. From WHO Guidance to housing strategies. *Energy Policy*. Volume 49, Pages 116-121.
- Patankar, S.V. (1980). *Numerical heat transfer and fluid flow*. Hemisphere publishing corporati
- Rathore, M. (2010). *Thermal Engineering*. 1ª Edição, McGraw-Hill.
- Roríz L., (2007). *Climatização – conceção, instalação e condução de sistemas*, 2ª Edição, Orion.
- Ruano, A. E. Crispim, E. M., Conceição, E. Z. E., Lúcio, M. M. J. R. (2006). Prediction of building's temperature using neural networks models. *Energy and Buildings*. Volume 38, Pages 682-694.
- Ullah, K., Saidur, R., Ping, H., Akikur, R., Shuvo, N. (2013). A review of solar thermal refrigeration and cooling methods. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Volume 24, Pages 499–513.
- Wang, S. (2000). *Handbook of air conditioning and refrigeration*. 2ª edição, McGraw-Hill.
- Wargocki, P., Wyon, D. P., Baik, Y. K., Clausen, G., Fanger, P.O. (1999). Perceived air quality, Sick Building Syndrome (SBS) symptoms and productivity in an office with two different pollution loads. *Indoor Air*. Volume 9, Pages 165-179.
- Yang, B., Sekhar, C., Melikov, A. K. (2010). Ceiling mounted personalized ventilation system in hot and humid climate- An energy analysis. *Energy and Buildings*. Volume 42, Pages 2304-2308.
- Yau, Y. H., Chew, B.T. (2014). A review on predicted mean vote and adaptive thermal comfort models. *Building Services Engineering Research&Technology*. Volume 35, Pages 23-35
- Zhang, D., Cai, N., Wang, Z. (2013). Experimental and numerical analysis of lightweight radiant floor heating system. *Energy and Buildings*, Volume 61, Pages 260-266.

# ANEXOS

## Anexo 1- Equações de balanço energético para regime transitório

Neste anexo podem ser consultadas as equações integrais de balanço de energia que foram desenvolvidas e utilizadas ao longo deste trabalho para superfícies opacas e para o ar interior.

### Superfície oeste (W)

$$mCp \frac{dT_W}{dt} = \frac{T_i - T_W}{R_{Wi}} + \frac{T_o - T_W}{R_o}$$

Considerando regime permanente ( $mCp \frac{dT_W}{dt} = 0$ ) então resulta

$$\begin{aligned} 0 &= \frac{T_i - T_W}{R_{Wi}} + \frac{T_o - T_W}{R_o} \Leftrightarrow \\ 0 &= \frac{T_i}{R_{Wi}} - \frac{T_W}{R_{Wi}} + \frac{T_o}{R_o} - \frac{T_W}{R_o} \Leftrightarrow \\ 0 &= \frac{T_i}{R_{Wi}} + \frac{T_o}{R_o} - T_W \left( \frac{1}{R_{Wi}} + \frac{1}{R_o} \right) \end{aligned}$$

$$T_W = \frac{\frac{T_i}{R_{Wi}} + \frac{T_o}{R_o}}{\frac{1}{R_{Wi}} + \frac{1}{R_o}}; \text{ sendo } R_{Wi} = \frac{1}{hA_W}; R_o = \frac{\Delta x_W}{kA_W} + \frac{1}{hA_W}; A_W = \sum A_{Wi}$$

Em que:

$m$ = Massa do ar interior (kg)

$Cp$ = Calor específico do ar interior (J/ kg.°C)

$T_i$ = Temperatura interior (°C)

$T_o$ = Temperatura exterior (°C)

$T_w$ = Temperatura da parede oeste (°C)

$R_o$ = Resistência exterior (W/°C)

$R_{Wi}$ = Resistência entre a parede oeste e o interior (W/°C)

$A_w$ = Área da parede oeste (m<sup>2</sup>)

$\Delta x_W$ = Distância (m)

$h$ = Coeficiente de transferência de calor por convecção (W/m<sup>2</sup>.K)

$k$ = Condutividade térmica (W/m.K)

## Superfície este (E)

$$mCp \frac{dT_E}{dt} = \frac{T_i - T_E}{R_{Ei}} + \frac{T_0 - T_E}{R_0}$$

Considerando regime permanente  $mCp \frac{dT_E}{dt} = 0$  então resulta

$$\begin{aligned} 0 &= \frac{T_i - T_E}{R_{Ei}} + \frac{T_0 - T_E}{R_0} \Leftrightarrow \\ 0 &= \frac{T_i}{R_{Ei}} - \frac{T_E}{R_{Ei}} + \frac{T_0}{R_0} - \frac{T_E}{R_0} \Leftrightarrow \\ 0 &= \frac{T_i}{R_{Ei}} + \frac{T_0}{R_0} - T_E \left( \frac{1}{R_{Ei}} + \frac{1}{R_0} \right) \end{aligned}$$

$$T_E = \frac{\frac{T_i}{R_{Ei}} + \frac{T_0}{R_0}}{\frac{1}{R_{Ei}} + \frac{1}{R_0}}; \text{ Sendo } R_{Ei} = \frac{1}{hA_E}; R_0 = \frac{\Delta x_E}{KA_E} + \frac{1}{hA_E}; A_E = \sum A_{Ei}$$

Em que:

$m$  = Massa do ar interior (kg)

$Cp$  = Calor específico do ar interior (J/ kg.°C)

$T_i$  = Temperatura interior (°C)

$T_0$  = Temperatura exterior (°C)

$T_E$  = Temperatura da parede este (°C)

$R_0$  = Resistência exterior (W/°C)

$R_{Ei}$  = Resistência entre a parede este e o interior (W/°C)

$A_E$  = Área da parede este (m<sup>2</sup>)

$\Delta x_E$  = Distância (m)

$h$  = Coeficiente de transferência de calor por convecção (W/m<sup>2</sup>.K)

$k$  = Condutividade térmica (W/m.K)

## Superfície norte (N)

$$mCp \frac{dT_N}{dt} = \frac{T_i - T_N}{R_{Ni}} + \frac{T_o - T_N}{R_o}$$

Considerando regime permanente  $mCp \frac{dT_N}{dt} = 0$  então resulta

$$\begin{aligned} 0 &= \frac{T_i - T_N}{R_{Ni}} + \frac{T_o - T_N}{R_o} \Leftrightarrow \\ 0 &= \frac{T_i}{R_{Ni}} - \frac{T_N}{R_{Ni}} + \frac{T_o}{R_o} - \frac{T_N}{R_o} \Leftrightarrow \\ 0 &= \frac{T_i}{R_{Ni}} + \frac{T_o}{R_o} - T_N \left( \frac{1}{R_{Ni}} + \frac{1}{R_o} \right) \end{aligned}$$

$$T_N = \frac{\frac{T_i}{R_{Ni}} + \frac{T_o}{R_o}}{\frac{1}{R_{Ni}} + \frac{1}{R_o}}; \text{ Sendo } R_{Ni} = \frac{1}{hA_N}; R_o = \frac{\Delta x_N}{KA_N} + \frac{1}{hA_N}; A_N = \sum A_{Ni}$$

Em que:

$m$  = Massa do ar interior (kg)

$Cp$  = Calor específico do ar interior (J/ kg.°C)

$T_i$  = Temperatura interior (°C)

$T_o$  = Temperatura exterior (°C)

$T_N$  = Temperatura da parede norte (°C)

$R_o$  = Resistência exterior (W/°C)

$R_{Ni}$  = Resistência entre a parede norte e o interior (W/°C)

$A_N$  = Área da parede norte (m<sup>2</sup>)

$\Delta x_N$  = Distância (m)

$h$  = Coeficiente de transferência de calor por convecção (W/m<sup>2</sup>.K)

$k$  = Condutividade térmica (W/m.K)

## Superfície sul (S)

$$mCp \frac{dT_S}{dt} = \frac{T_i - T_S}{R_{Si}} + \frac{T_0 - T_S}{R_0}$$

Considerando regime permanente  $mCp \frac{dT_S}{dt} = 0$  então resulta

$$\begin{aligned} 0 &= \frac{T_i - T_S}{R_{Si}} + \frac{T_0 - T_S}{R_0} \Leftrightarrow \\ 0 &= \frac{T_i}{R_{Si}} - \frac{T_S}{R_{Si}} + \frac{T_0}{R_0} - \frac{T_S}{R_0} \Leftrightarrow \\ 0 &= \frac{T_i}{R_{Si}} + \frac{T_0}{R_0} - T_S \left( \frac{1}{R_{Si}} + \frac{1}{R_0} \right) \end{aligned}$$

$$T_S = \frac{\frac{T_i}{R_{Si}} + \frac{T_0}{R_0}}{\frac{1}{R_{Si}} + \frac{1}{R_0}}; \text{ Sendo } R_{Si} = \frac{1}{hA_S}; R_0 = \frac{\Delta x_S}{kA_S} + \frac{1}{hA_S}; A_S = \sum A_{Si}$$

Em que:

$m$  = Massa do ar interior (kg)

$Cp$  = Calor específico do ar interior (J/ kg.°C)

$T_i$  = Temperatura interior (°C)

$T_0$  = Temperatura exterior (°C)

$T_S$  = Temperatura da parede sul (°C)

$R_0$  = Resistência exterior (W/°C)

$R_{Si}$  = Resistência entre a parede sul e o interior (W/°C)

$A_S$  = Área da parede sul (m<sup>2</sup>)

$\Delta x_S$  = Distância (m)

$h$  = Coeficiente de transferência de calor por convecção (W/m<sup>2</sup>.K)

$k$  = Condutividade térmica (W/m.K)

## Superfície teto (T)

$$mCp \frac{dT_T}{dt} = \frac{T_i - T_T}{R_{Ti}} + \frac{T_o - T_T}{R_o}$$

Considerando regime permanente  $mCp \frac{dT_T}{dt} = 0$  então resulta

$$\begin{aligned} 0 &= \frac{T_i - T_T}{R_{Ti}} + \frac{T_o - T_T}{R_o} \Leftrightarrow \\ 0 &= \frac{T_i}{R_{Ti}} - \frac{T_T}{R_{Ti}} + \frac{T_o}{R_o} - \frac{T_T}{R_o} \Leftrightarrow \\ 0 &= \frac{T_i}{R_{Ti}} + \frac{T_o}{R_o} - T_T \left( \frac{1}{R_{Ti}} + \frac{1}{R_o} \right) \end{aligned}$$

$$T_T = \frac{\frac{T_i}{R_{Ti}} + \frac{T_o}{R_o}}{\frac{1}{R_{Ti}} + \frac{1}{R_o}}; \text{ Sendo } R_{Ti} = \frac{1}{hA_T}; R_o = \frac{\Delta x_T}{KA_T} + \frac{1}{hA_T}; A_T = \sum A_{ST}$$

Em que:

$m$ = Massa do ar interior (kg)

$Cp$ = Calor específico do ar interior (J/ kg.°C)

$T_i$ = Temperatura interior (°C)

$T_o$ = Temperatura exterior (°C)

$T_T$ = Temperatura do teto (°C)

$R_o$ = Resistência do exterior (W/°C)

$R_{Ti}$ = Resistência entre o teto e o interior (W/°C)

$A_T$ = Área do teto (m<sup>2</sup>)

$\Delta x_T$ = Distância (m)

$h$ = Coeficiente de transferência de calor por convecção (W/m<sup>2</sup>.K)

$k$ = Condutividade térmica (W/m.K)

## Superfície chão (C)

$$mCp \frac{dT_C}{dt} = \frac{T_i - T_C}{R_{Ci}} + \frac{T_o - T_C}{R_o}$$

Considerando regime permanente  $mCp \frac{dT_C}{dt} = 0$  então resulta

$$\begin{aligned} 0 &= \frac{T_i - T_C}{R_{Ci}} + \frac{T_o - T_C}{R_o} \Leftrightarrow \\ 0 &= \frac{T_i}{R_{Ci}} - \frac{T_C}{R_{Ci}} + \frac{T_o}{R_o} - \frac{T_C}{R_o} \Leftrightarrow \\ 0 &= \frac{T_i}{R_{Ci}} + \frac{T_o}{R_o} - T_C \left( \frac{1}{R_{Ci}} + \frac{1}{R_o} \right) \end{aligned}$$

$$T_C = \frac{\frac{T_i}{R_{Ci}} + \frac{T_o}{R_o}}{\frac{1}{R_{Ci}} + \frac{1}{R_o}}; \text{ Sendo } R_{Ci} = \frac{1}{hA_C}; R_o = \frac{\Delta x_C}{KA_C} + \frac{1}{hA_C}; A_C = \sum A_{Ci}$$

Em que:

$m$  = Massa do ar interior (kg)

$Cp$  = Calor específico do ar interior (J/ kg.°C)

$T_i$  = Temperatura interior (°C)

$T_o$  = Temperatura exterior (°C)

$T_C$  = Temperatura do chão (°C)

$R_o$  = Resistência do exterior (W/°C)

$R_{Ci}$  = Resistência entre o chão e o interior (W/°C)

$A_C$  = Área do chão (m<sup>2</sup>)

$\Delta x_C$  = Distância (m)

$h$  = Coeficiente de transferência de calor por convecção (W/m<sup>2</sup>.K)

$k$  = Condutividade térmica (W/m.K)

Equação da temperatura do ar interior

## Temperatura do ar interior

$$\begin{aligned}
 mCp \frac{dT_i}{dt} = & \dot{m}Cp(T_0 - T_i) + N \times 100 + \frac{T_N - T_i}{R_{Ni}} + \frac{T_S - T_i}{R_{Si}} + \frac{T_E - T_i}{R_{Ei}} + \frac{T_W - T_i}{R_{Wi}} \\
 & + \frac{T_T - T_i}{R_{Ti}} + \frac{T_C - T_i}{R_{Ci}} + \sum_{j=1}^n \left( \frac{T_{Nj} - T_i}{R_{Ni_j}} \right) \\
 & + \sum_{j=1}^n \left( \frac{T_{Sj} - T_i}{R_{Si_j}} \right) + \sum_{j=1}^n \left( \frac{T_{Ej} - T_i}{R_{Ei_j}} \right) + \sum_{j=1}^n \left( \frac{T_{Wj} - T_i}{R_{Wi_j}} \right) + \sum_{j=1}^n \left( \frac{T_{Tj} - T_i}{R_{Ti_j}} \right) \\
 & + \sum_{j=1}^n \left( \frac{T_{Cj} - T_i}{R_{Ci_j}} \right)
 \end{aligned}$$

Considerando que o regime é permanente  $mCp \frac{dT_i}{dt} = 0$  logo,

$$\begin{aligned}
 \dot{m}CpT_0 + N \times 100 + \frac{T_N}{R_{Ni}} + \frac{T_S}{R_{Si}} + \frac{T_E}{R_{Ei}} + \frac{T_W}{R_{Wi}} + \frac{T_T}{R_{Ti}} + \frac{T_C}{R_{Ci}} + \sum_{j=1}^n \left( \frac{T_{Nj}}{R_{Ni_j}} \right) \\
 + \sum_{j=1}^n \left( \frac{T_{Sj}}{R_{Si_j}} \right) + \sum_{j=1}^n \left( \frac{T_{Ej}}{R_{Ei_j}} \right) + \sum_{j=1}^n \left( \frac{T_{Wj}}{R_{Wi_j}} \right) + \sum_{j=1}^n \left( \frac{T_{Tj}}{R_{Ti_j}} \right) + \sum_{j=1}^n \left( \frac{T_{Cj}}{R_{Ci_j}} \right) \\
 = T_i \left[ mCp + \frac{1}{R_{Ni}} + \frac{1}{R_{Si}} + \frac{1}{R_{Ei}} + \frac{1}{R_{Wi}} + \frac{1}{R_{Ti}} + \frac{1}{R_{Ci}} + \sum_{j=1}^n \left( \frac{1}{R_{Ni_j}} \right) \right. \\
 \left. + \sum_{j=1}^n \left( \frac{1}{R_{Si_j}} \right) + \sum_{j=1}^n \left( \frac{1}{R_{Ei_j}} \right) + \sum_{j=1}^n \left( \frac{1}{R_{Wi_j}} \right) + \sum_{j=1}^n \left( \frac{1}{R_{Ti_j}} \right) + \sum_{j=1}^n \left( \frac{1}{R_{Ci_j}} \right) \right]
 \end{aligned}$$

$T_i$

$$= \frac{\left( \dot{m}CpT_0 + N \times 100 + \frac{T_N}{R_{Ni}} + \frac{T_S}{R_{Si}} + \frac{T_E}{R_{Ei}} + \frac{T_W}{R_{Wi}} + \frac{T_T}{R_{Ti}} + \frac{T_C}{R_{Ci}} + \sum_{j=1}^n \left( \frac{T_{Nj}}{R_{Ni_j}} \right) + \sum_{j=1}^n \left( \frac{T_{Sj}}{R_{Si_j}} \right) + \sum_{j=1}^n \left( \frac{T_{Ej}}{R_{Ei_j}} \right) + \sum_{j=1}^n \left( \frac{T_{Wj}}{R_{Wi_j}} \right) + \sum_{j=1}^n \left( \frac{T_{Tj}}{R_{Ti_j}} \right) + \sum_{j=1}^n \left( \frac{T_{Cj}}{R_{Ci_j}} \right) \right)}{\text{coeficiente}}$$

$$\begin{aligned}
 \text{coeficiente} = & mCp + \frac{1}{R_{Ni}} + \frac{1}{R_{Si}} + \frac{1}{R_{Ei}} + \frac{1}{R_{Wi}} + \frac{1}{R_{Ti}} + \frac{1}{R_{Ci}} + \sum_{j=1}^n \left( \frac{1}{R_{Ni_j}} \right) \\
 & + \sum_{j=1}^n \left( \frac{1}{R_{Si_j}} \right) + \sum_{j=1}^n \left( \frac{1}{R_{Ei_j}} \right) + \sum_{j=1}^n \left( \frac{1}{R_{Wi_j}} \right) + \sum_{j=1}^n \left( \frac{1}{R_{Ti_j}} \right) + \sum_{j=1}^n \left( \frac{1}{R_{Ci_j}} \right)
 \end{aligned}$$

Em que:

$m$ = Massa do ar interior (kg)

$C_p$ = Calor específico do ar interior (J/ kg.°C)

$N$ = Número de pessoas

$T_i$ = Temperatura interior (°C)

$T_o$ = Temperatura exterior (°C)

$T_N$ = Temperatura da parede norte (°C)

$T_S$ = Temperatura da parede sul (°C)

$T_E$ = Temperatura da parede este (°C)

$T_W$ = Temperatura da parede oeste (°C)

$T_T$ = Temperatura do teto (°C)

$T_C$ = Temperatura do chão (°C)

$R_{Ni}$ = Resistência entre a parede norte e o interior (W/°C)

$R_{Si}$ = Resistência entre a parede sul e o interior (W/°C)

$R_{Ei}$ = Resistência entre a parede este e o interior (W/°C)

$R_{Wi}$ = Resistência entre a parede oeste e o interior (W/°C)

$R_{Ti}$ = Resistência entre o teto e o interior (W/°C)

$R_{Ci}$ = Resistência entre o chão e o interior (W/°C)

Anexo 2- Apresentação do sistema de ventilação personalizada e do sistema de condutas verticais com mais pormenor, em desenho assistido por computador

Neste anexo podem ser consultadas figuras que mostram com pormenor o trabalho efetuado em desenho assistido por computador para o sistema de ventilação personalizada e para o sistema de condutas verticais.

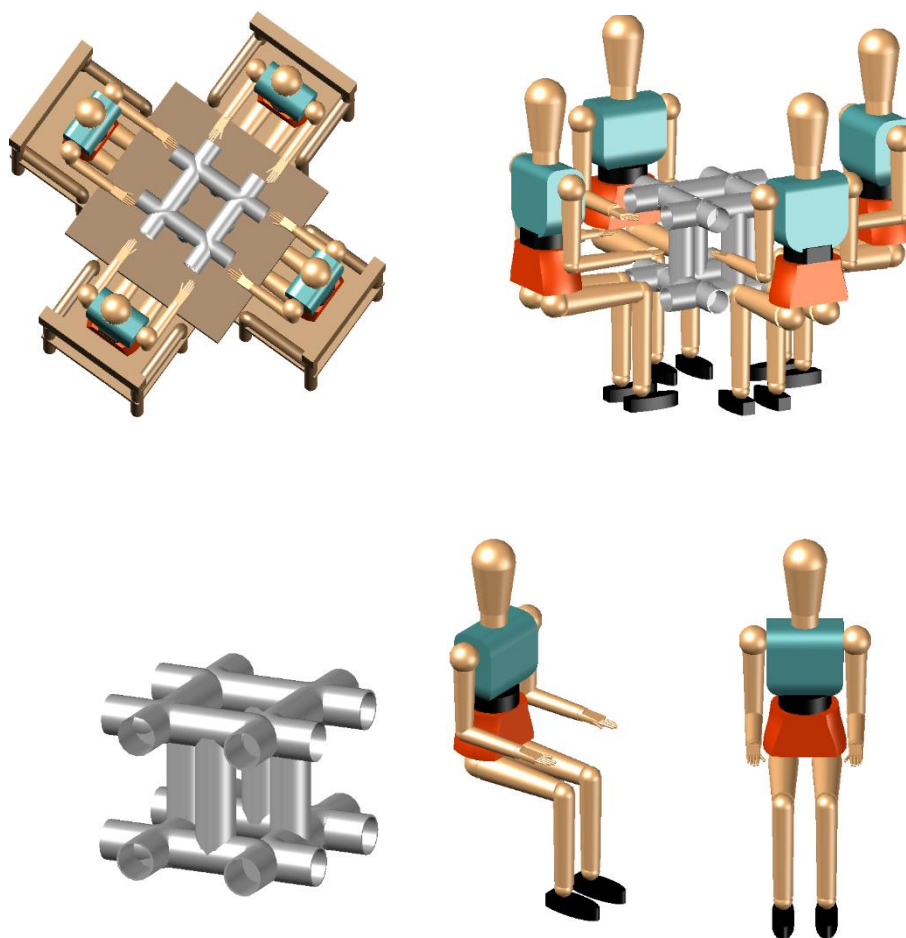


Figura 1- Apresentação pormenorizada do sistema de ventilação personalizada e dos indivíduos virtuais.

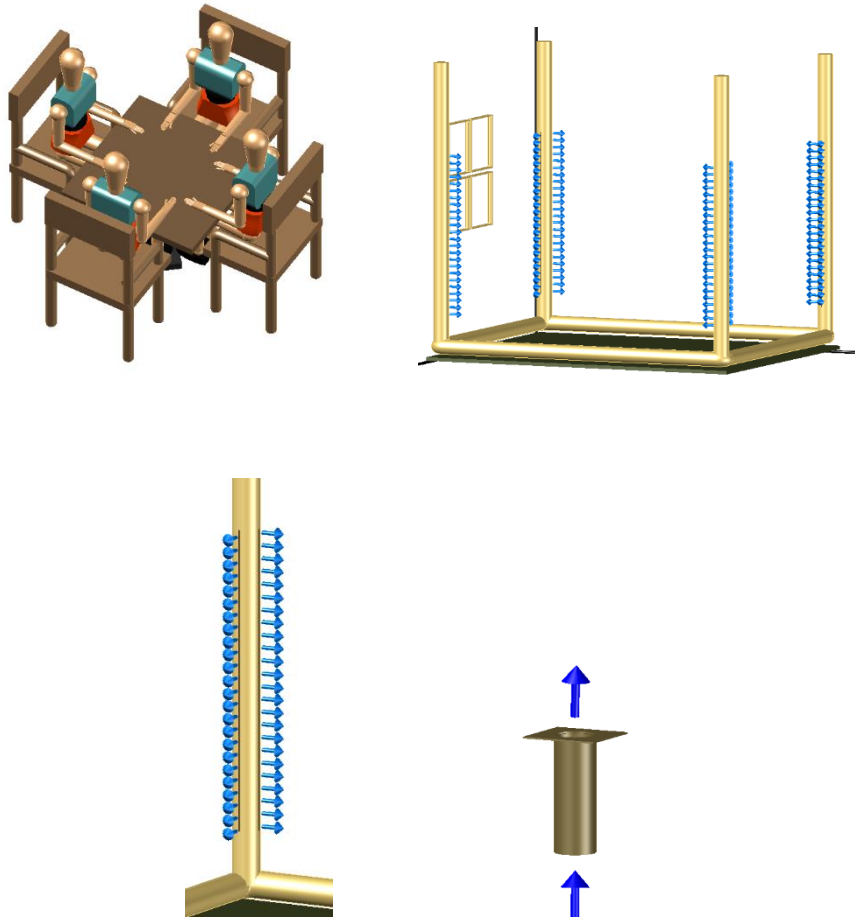


Figura 2- Apresentação pormenorizada do sistema de condutas verticais e da exaustão personalizada.