

Melanie Tatiana Silva Sousa

**Desenvolvimento de eco sistemas AVAC para
seniores**



Universidade do Algarve
Faculdade de Ciências e Tecnologia

2016

Melanie Tatiana Silva Sousa

Desenvolvimento de eco sistemas AVAC para seniores

Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente

Trabalho efetuado sob a orientação de:

Prof. Dr. Eusébio Conceição



Universidade do Algarve
Faculdade de Ciências e Tecnologia

2016

“Desenvolvimento de eco sistemas AVAC para seniores”

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.

Melanie Tatiana Silva Sousa

Melanie Tatiana Silva Sousa

Copyright

A Universidade do Algarve reserva para si o direito, em conformidade com o disposto no Código do Direito de Autor e dos Direitos Conexos, de arquivar, reproduzir e publicar a obra, independentemente do meio utilizado, bem como de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição para fins meramente educacionais ou de investigação e não comerciais, conquanto seja dado o devido crédito ao autor e editor respetivos”.

Agradecimentos

A realização desta dissertação marca o fim de uma etapa muito importante da minha vida. Nesta pequena parte da minha tese, gostaria de exprimir o meu agradecimento a todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente para a sua concretização.

O meu sincero obrigado ao Professor Doutor Eusébio Conceição, pela sua dedicação, pelo seu tempo disponibilizado, conhecimentos transmitidos, pelo seu otimismo face aos obstáculos apresentados e principalmente pela sua paciência e ajuda nesta etapa. A sua orientação foi fundamental na realização da dissertação.

Um grande obrigado à minha família que sempre me apoiou, em especial à minha mãe que sempre acreditou em mim. Agradeço pelo apoio incondicional, pela compreensão, pelo carinho, por tudo que tens feito por mim, pela amizade desde sempre, pelo esforço ao longo destes anos para que pudesse frequentar o ensino universitário.

Aos meus amigos agradeço todo o carinho, toda compreensão, todo o apoio ao longo destes anos de amizade. O meu maior obrigado a Maria Silva, Cláudia Nunes, Cristina Santiago, Tatiana Silva, Ana Paula Silva, Amilcar Silva, Fábio Madeira, Ana Nascimento, César Bento, Sofia Silva, Gil Grencho, Laura Bento, Ivo Mesquita, Bernardo Barbosa, André Matos, Ana Gonçalves e a todos os meus pseudo afilhados, pela amizade ao longo deste percurso académico, pela força, pelos anos de convivência e por se terem tornado a minha segunda família. Agradeço em especial à Maria Silva, pela toda ajuda neste último ano, por nunca desistir de mim, pela força, pela paciência e pelo apoio incondicional. Ao Fábio Madeira agradeço por todos estes anos, pela amizade, pela confiança, pelos bons momentos, pelas filosofias, pela companhia e por sempre acreditar em mim.

Ao Gonçalo Branco, uma das pessoas mais importantes da minha vida, agradeço o carinho, a compreensão, o companheirismo, toda a força, todas as palavras de incentivo, o amor transmitido, todo o apoio ao longo destes anos e principalmente toda a paciência nesta última fase de realização da dissertação. À família Branco, agradeço o apoio, o carinho, a compreensão, a amizade e tudo o que têm feito por mim.

Resumo

Nesta dissertação foi estudado um sistema AVAC ecológico, que consiste na implementação de um sistema de condutas verticais com jatos horizontais em que a produção de energia é efetuada a partir de células fotovoltaicas.

Neste estudo, são analisados dois casos, o primeiro caso é realizado numa sala multifunções com 16 idosos e o segundo caso em duas salas comunicantes com 24 idosos.

O estudo destes dois casos é realizado através de softwares que simulam numericamente o escoamento interno, simulam a resposta térmica do corpo humano e simulam a resposta acústica interior. Através das simulações realizadas analisou-se o conforto térmico, a qualidade do ar, a área necessária para a produção de energia para o sistema AVAC e o tempo de reverberação dos ocupantes na sala multifunções.

A temperatura de entrada do ar nas situações de verão e de inverno é de 25 °C e 20 °C respetivamente, a temperatura de ar exterior de verão é de 28 °C e 38 °C e numa situação de inverno é de 8 °C e de 18 °C.

A velocidade do ar, dos jatos de entrada, depende do comprimento das paredes adjacentes, para a sala multifunções varia de 0,5 m/s a 1 m/s e nas salas comunicantes varia de 0,3 m/s a 2 m/s.

O sistema desenvolvido para a situação I, em condições de verão, e a situação II, em condições de inverno, garantem condições de conforto térmico e de qualidade do ar nas salas multifunções. É necessária uma área de 19 m² de painéis fotovoltaicos para garantir estas condições.

Nas salas comunicantes é garantido condições de conforto térmico e de qualidade do ar na situação I, em condições de verão, e na situação II, em condições de inverno, para uma área de 47 m² de painéis fotovoltaicos.

Palavras-chave: sistema de ventilação, condutas verticais, jatos horizontais, conforto térmico, qualidade do ar, células fotovoltaicas, energia e acústica.

Abstract

In this dissertation an ecological HVAC system was studied, is based on a vertical conduct system with horizontal jets which energy production is made through photovoltaic cells.

In this study, two cases are analysed, the first case is a multifunction room with 16 elderly people and the second case is in two communicating rooms with 24 elderly people.

The study of these two cases is analysed through software that simulates numerically the internal flow, simulates a corporal thermal response and simulates an interior acoustic response. Through the simulations was analysed the thermal comfort, air quality, the useful area for the system operation and the reverberation time of the occupants in the multifunction room.

The indoor air temperature in summer and winter situation is 25 °C and 20 °C respectively, the outside temperature in the summer is 28 °C and 38 °C and in a winter situation is 8 °C and 18 °C.

The air velocity of the incoming jets depends on the length of the adjacent walls. The air velocity is 1 m/s and 0,5 m/s in the multifunction room. In the communicating room, the range of the air velocity is 0,3 m/s to 2 m/s.

The system developed for situation I, in summer conditions, and situation II, in winter conditions, guarantee conditions of thermal comfort and air quality in multifunction rooms. An area of 19 m² of photovoltaic panels is required to guarantee these conditions.

In the communicating rooms conditions of thermal comfort and of air quality are guaranteed for the situation I, in summer conditions, and for the situation II, in winter conditions, for an area of 47 m² of photovoltaic panels.

Keywords: ventilation system, vertical conducts, horizontal jets, thermal comfort, indoor air quality, photovoltaic cells, energy and acoustic.

Índice

1. Enquadramento geral	1
2. Objetivos	3
3. Revisão Bibliográfica.....	4
3.1. Sistema de ventilação	4
3.1.1. Sistema de ventilação por impulsão	4
3.1.2. Sistema de jatos confluentes.....	6
3.1.3. Sistema de condutas verticais com jatos horizontais	7
3.2. Conforto e desconforto térmico	7
3.3. Conforto adaptativo	9
3.4. Qualidade do ar.....	9
3.5. Índice de distribuição do ar	10
3.6. Produção de energia: células fotovoltaicas.....	11
3.7. Acústica	12
3.8. Artigos realizados no âmbito deste trabalho	13
4. Modelos numéricos	15
4.1. Modelo diferencial de simulação numérica de escoamentos	15
4.2. Modelo integral de simulação numérica da resposta térmica humana	15
4.3. Modelo numérico da resposta acústica interior	16
4.4. Modelo conforto e desconforto térmico	17
4.5. Modelo ADI.....	18
4.6. Produção de energia	20
5. Metodologia	22
5.1. Caracterização da sala multifunções	22
5.1.1. Modelo numérico de escoamento interno.....	24
5.1.2. Resposta Térmica Humana	25
5.1.3. Resposta acústica interior	26
5.2. Caracterização das salas comunicantes	27
5.2.1. Modelo numérico de escoamento interno.....	29
5.2.2. Resposta Térmica Humana	31
6. Resultados e discussão	32
6.1. Sala multifunções	32
6.1.1. Escoamento em torno dos ocupantes	32

6.1.2. Conforto térmico.....	36
6.1.3. Desconforto térmico	43
6.1.4. Qualidade do ar.....	48
6.1.5. Índice de distribuição do ar (ADI).....	50
6.1.6. Produção de energia.....	574
6.1.7. Resposta acústica interior	57
6.2. Salas comunicantes.....	59
6.2.1. Escoamento em torno dos ocupantes	60
6.2.2. Conforto térmico.....	65
6.2.3. Desconforto térmico	71
6.2.4. Qualidade do ar.....	75
6.2.5. Índice de distribuição do ar (ADI).....	77
6.2.6. Produção de energia.....	82
7. Conclusão.....	834
8. Bibliografia	86

Índice de figuras

Figura 5.1: Representação da sala multifunções visão exterior alínea a) e visão interior na alínea b).....	22
Figura 5.2: Representação da sala multifunções com a numeração dos 16 ocupantes.....	23
Figura 5.3: Malha da sala multifunções, ocupada por 16 idosos, construído através do modelo CFD.	24
Figura 5.4: Malha de uma das mesas ocupada por oito idosos construído através do modelo CFD.	24
Figura 5.5: Malha da mesa a), cadeira b) e ocupantes c) construído através do modelo CFD.	25
Figura 5.6: Representação dos planos da sala multifunções.	25
Figura 5.7: Malha da sala de multifunções, ocupada por 16 idosos, usado no modelo HTC. .	26
Figura 5.8: Malha de uma só mesa ocupada por 8 idosos usado no modelo HTC.....	26
Figura 5.9: Malha da superfície da mesa a) e ocupantes b) usado no modelo HTC.	26
Figura 5.10: Malha dos elementos da sala de estar ocupada por 16 idosos usado na resposta acústica interior.	27
Figura 5.11: Malha dos elementos de uma só mesa ocupada por 8 idosos usado na resposta acústica interior.	27
Figura 5.12: Malha gerada da superfície da mesa a), cadeira b) e ocupantes c) usado na resposta acústica interior.	27
Figura 5.13: Representação das salas comunicantes com 24 idosos.....	28
Figura 5.14: Representação da sala de jantar com os 12 idosos devidamente enumerados na alínea a) e a sala de convívio com a enumeração dos 12 idosos na alínea b).	28
Figura 5.15: Malha das salas comunicantes vista da sala de convívio apresentada na alínea a) e vista da sala de jantar na alínea b), ocupada por 24 idosos construída através do modelo CFD.	30
Figura 5.16: Malha gerada dos sofás com os 12 ocupantes a) e da mesa da sala de jantar com os 12 ocupantes b) construída através do modelo CFD.....	30
Figura 5.17: Representação dos planos das salas comunicantes.	30
Figura 5.18: Malha das salas comunicantes vista da sala de convívio na alínea a) e vista da sala de jantar na alínea b), ocupada por 24 idosos, construída através do modelo HTC.	31
Figura 5.19: Malha da superfície dos sofás com os 12 ocupantes na alínea a) e da mesa da sala de jantar com os 12 ocupantes na alínea b) construída através do modelo HTC.....	31

Figura 6.20: Campo da temperatura do ar a) e o campo da velocidade do ar b). Num plano transversal X=1,1 m, calculados através do modelo CFD, para a situação I em condições de verão ($T_{in}=25\text{ °C}$, $T_{ext}=28\text{ °C}$, $Var=1$ e $0,5\text{ m/s}$).....	33
Figura 6.21: Campo da temperatura do ar a) e campo da velocidade do ar b). Num plano longitudinal Y=1,5 m, calculados através do modelo CFD, para a situação I em condições de verão ($T_{in}=25\text{ °C}$, $T_{ext}=28\text{ °C}$, $Var=1$ e $0,5\text{ m/s}$).....	34
Figura 6.22: Campo da temperatura do ar a) e o campo da velocidade do ar b). Num plano transversal X=1,1 m, calculados através do modelo CFD, para a situação I em condições de verão ($T_{in}=25\text{ °C}$, $T_{ext}=38\text{ °C}$, $Var=1$ e $0,5\text{ m/s}$).....	34
Figura 6.23: Campo da temperatura do ar a) e campo da velocidade do ar b). Num plano longitudinal Y=1,5 m, calculados através do modelo CFD, para a situação I em condições de verão ($T_{in}=25\text{ °C}$, $T_{ext}=38\text{ °C}$, $Var=1$ e $0,5\text{ m/s}$).....	34
Figura 6.24: Campo da temperatura do ar a) e o campo da velocidade do ar b). Num plano transversal X=1,1 m, calculados através do modelo CFD, para a situação I em condições de verão ($T_{in}=20\text{ °C}$, $T_{ext}=8\text{ °C}$, $Var=1$ e $0,5\text{ m/s}$).....	35
Figura 6.25: Campo da temperatura do ar a) e campo da velocidade do ar b). Num plano longitudinal Y=1,5 m, calculados através do modelo CFD, para a situação I em condições de verão ($T_{in}=20\text{ °C}$, $T_{ext}=8\text{ °C}$, $Var=1$ e $0,5\text{ m/s}$).....	35
Figura 6.26: Campo da temperatura do ar a) e o campo da velocidade do ar b). Num plano transversal X=1,1 m, calculados através do modelo CFD, para a situação I em condições de verão ($T_{in}=20\text{ °C}$, $T_{ext}=18\text{ °C}$, $Var=1$ e $0,5\text{ m/s}$).....	35
Figura 6.27: Campo da temperatura do ar a) e campo da velocidade do ar b). Num plano longitudinal Y=1,5 m, calculados através do modelo CFD, para a situação I em condições de verão ($T_{in}=20\text{ °C}$, $T_{ext}=18\text{ °C}$, $Var=1$ e $0,5\text{ m/s}$).....	36
Figura 6.28: Distribuição da temperatura do ar em torno das secções do corpo dos 16 ocupantes. Situação I em condições de verão ($T_{in}=25\text{ °C}$, $T_{ext}=28\text{ °C}$, $Var=1$ e $0,5\text{ m/s}$).....	38
Figura 6.29: Distribuição da velocidade do ar em torno das secções do corpo dos 16 ocupantes. Situação I em condições de verão ($T_{in}=25\text{ °C}$, $T_{ext}=28\text{ °C}$, $Var=1$ e $0,5\text{ m/s}$).....	38
Figura 6.30: Distribuição da temperatura pele em torno das secções do corpo dos 16 ocupantes. Situação I em condições de verão ($T_{in}=25\text{ °C}$, $T_{ext}=28\text{ °C}$, $Var=1$ e $0,5\text{ m/s}$).....	38
Figura 6.31: Distribuição da temperatura do ar em torno das secções do corpo dos 16 ocupantes. Situação II em condições de verão ($T_{in}=25\text{ °C}$, $T_{ext}=38\text{ °C}$, $Var=1$ e $0,5\text{ m/s}$).....	39
Figura 6.32: Distribuição da velocidade do ar em torno das secções do corpo dos 16 ocupantes. Situação II em condições de verão ($T_{in}=25\text{ °C}$, $T_{ext}=38\text{ °C}$, $Var=1$ e $0,5\text{ m/s}$).....	39

Figura 6.33: Distribuição da temperatura pele em torno das secções do corpo dos 16 ocupantes. Situação II em condições de verão ($T_{in}=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=38\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=1$ e $0,5\text{ m/s}$).....	39
Figura 6.34: Distribuição da temperatura do ar em torno das secções do corpo dos 16 ocupantes. Situação I em condições de inverno ($T_{in}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=8\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=1$ e $0,5\text{ m/s}$).	40
Figura 6.35: Distribuição da velocidade do ar em torno das secções do corpo dos 16 ocupantes. Situação I em condições de inverno ($T_{in}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=8\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=1$ e $0,5\text{ m/s}$).	40
Figura 6.36: Distribuição da temperatura da pele em torno das secções do corpo dos 16 ocupantes. Situação I em condições de inverno ($T_{in}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=8\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=1$ e $0,5\text{ m/s}$). ..	40
Figura 6.37: Distribuição da temperatura do ar em torno das secções do corpo dos 16 ocupantes. Situação II em condições de inverno ($T_{in}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=18\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=1$ e $0,5\text{ m/s}$).....	41
Figura 6.38: Distribuição da velocidade do ar em torno das secções do corpo dos 16 ocupantes. Situação II em condições de inverno ($T_{in}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=18\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=1$ e $0,5\text{ m/s}$).....	41
Figura 6.39: Distribuição da temperatura da pele em torno das secções do corpo dos 16 ocupantes. Situação II em condições de inverno ($T_{in}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=18\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=1$ e $0,5\text{ m/s}$).41	41
Figura 6.40: Valores do índice de PMV em condições de verão e de inverno. Situação I em condições de verão ($T_{in}=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=28\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=1$ e $0,5\text{ m/s}$), situação II em condições de verão ($T_{in}=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=38\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=1$ e $0,5\text{ m/s}$), situação I em condições de inverno ($T_{in}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=8\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=1$ e $0,5\text{ m/s}$) e situação II em condições de inverno ($T_{in}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=18\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=1$ e $0,5\text{ m/s}$).	43
Figura 6.41: Valores de índice aPMV em condições de verão. Situação I em condições de verão ($T_{in}=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=28\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=1$ e $0,5\text{ m/s}$), situação II em condições de verão ($T_{in}=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=38\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=1$ e $0,5\text{ m/s}$).....	43
Figura 6.42: Intensidade de turbulência do ar, em %, em torno das secções do corpo dos 16 ocupantes. Situação I em condições de verão ($T_{in}=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=28\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=1$ e $0,5\text{ m/s}$)....	45
Figura 6.43: Risco de Resfriamento em torno das secções do corpo dos 16 ocupantes. Situação I em condições de verão ($T_{in}=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=28\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=1$ e $0,5\text{ m/s}$).....	45
Figura 6.44: Intensidade de turbulência do ar, em %, em torno das secções do corpo dos 16 ocupantes. Situação II em condições de verão ($T_{in}=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=38\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=1$ e $0,5\text{ m/s}$)....	45
Figura 6.45: Risco de Resfriamento em torno das secções do corpo dos 16 ocupantes. Situação II em condições de verão ($T_{in}=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=38\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=1$ e $0,5\text{ m/s}$).	46
Figura 6.46: Intensidade de turbulência do ar, em %, em torno das secções do corpo dos 16 ocupantes. Situação I em condições de inverno ($T_{in}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=8\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=1$ e $0,5\text{ m/s}$). ..	46
Figura 6.47: Risco de Resfriamento em torno das secções do corpo dos 16 ocupantes. Situação I em condições de inverno ($T_{in}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=8\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=1$ e $0,5\text{ m/s}$).	46

Figura 6.48: Intensidade de turbulência do ar, em %, em torno das secções do corpo dos 16 ocupantes. Situação II em condições de inverno ($T_{in}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=18\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=1$ e $0,5\text{ m/s}$).	47
Figura 6.49: Risco de Resfriamento em torno das secções do corpo dos 16 ocupantes. Situação II em condições de verão ($T_{in}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=18\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=1$ e $0,5\text{ m/s}$).	47
Figura 6.50: Concentração de CO_2 num plano longitudinal, $Y=1,5\text{ m}$. Situação I em condições de verão ($T_{in}=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=28\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=1$ e $0,5\text{ m/s}$).	49
Figura 6.51: Concentração de CO_2 num plano longitudinal, $Y=1,5\text{ m}$. Situação II em condições de verão ($T_{in}=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=38\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=1$ e $0,5\text{ m/s}$).	49
Figura 6.52: Concentração de CO_2 num plano longitudinal, $Y=1,5\text{ m}$. Situação I em condições de inverno ($T_{in}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=8\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=1$ e $0,5\text{ m/s}$).	49
Figura 6.53: Concentração de CO_2 num plano longitudinal, $Y=1,5\text{ m}$. Situação II em condições de inverno ($T_{in}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=18\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=1$ e $0,5\text{ m/s}$).	49
Figura 6.54: Radiação solar incidente no Algarve em kW/m^2 em condições de verão e inverno.	55
Figura 6.55: Produção de energia em kW/m^2 para condições de verão e inverno em função do tempo.	55
Figura 6.56: Percurso da propagação do som da primeira reflexão.	57
Figura 6.57: Percurso da propagação do som da primeira e segunda reflexão.	58
Figura 6.58: Cálculo do tempo de reverberação quando a fonte é localizada na boca dos 16 ocupantes e o recetor é localizado na orelha esquerda a) e na orelha direita b) dos 15 ocupantes.	58
Figura 6.59: Evolução do nível de intensidade sonora quando a fonte está localizada na boca do 5º ocupante e o recetor está localizado nos ouvidos esquerdo e direito do 6º ocupante.	59
Figura 6.60: Campo de temperatura do ar a) e o campo da velocidade do ar b). Num plano transversal $X=3,9\text{ m}$, calculados através do modelo CFD, para a situação I em condições de verão ($T_{in}=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=28\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=0,66\text{ m/s}$, $1,67\text{ m/s}$ e $0,3\text{ m/s}$ para a sala de jantar e $Var=2\text{ m/s}$, $0,46\text{ m/s}$ e $1,67\text{ m/s}$ para a sala de convívio).	62
Figura 6.61: Campo de temperatura do ar a) e o campo da velocidade do ar b). Num plano longitudinal $Y=9,9\text{ m}$, calculados através do modelo CFD, para a situação I em condições de verão ($T_{in}=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=28\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=0,66\text{ m/s}$, $1,67\text{ m/s}$ e $0,3\text{ m/s}$ para a sala de jantar e $Var=2\text{ m/s}$, $0,46\text{ m/s}$ e $1,67\text{ m/s}$ para a sala de convívio).	62
Figura 6.62: Campo de temperatura do ar a) e o campo da velocidade do ar b). Num plano longitudinal $Y=4,05\text{ m}$, calculados através do modelo CFD, para a situação I em condições de	

verão ($T_{in}=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=28\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=0,66\text{ m/s}$, $1,67\text{ m/s}$ e $0,3\text{ m/s}$ para a sala de jantar e $Var=2\text{ m/s}$, $0,46\text{ m/s}$ e $1,67\text{ m/s}$ para a sala de convívio).....	62
Figura 6.63: Campo de temperatura do ar a) e o campo da velocidade do ar b). Num plano transversal $X=3,9\text{ m}$, calculados através do modelo CFD, para a situação I em condições de verão ($T_{in}=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=38\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=0,66\text{ m/s}$, $1,67\text{ m/s}$ e $0,3\text{ m/s}$ para a sala de jantar e $Var=2\text{ m/s}$, $0,46\text{ m/s}$ e $1,67\text{ m/s}$ para a sala de convívio).....	62
Figura 6.64: Campo de temperatura do ar a) e o campo da velocidade do ar b). Num plano longitudinal $Y=9,9\text{ m}$, calculados através do modelo CFD, para a situação I em condições de verão ($T_{in}=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=38\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=0,66\text{ m/s}$, $1,67\text{ m/s}$ e $0,3\text{ m/s}$ para a sala de jantar e $Var=2\text{ m/s}$, $0,46\text{ m/s}$ e $1,67\text{ m/s}$ para a sala de convívio).....	63
Figura 6.65: Campo de temperatura do ar a) e o campo da velocidade do ar b). Num plano longitudinal $Y=4,05\text{ m}$, calculados através do modelo CFD, para a situação I em condições de verão ($T_{in}=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=38\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=0,66\text{ m/s}$, $1,67\text{ m/s}$ e $0,3\text{ m/s}$ para a sala de jantar e $Var=2\text{ m/s}$, $0,46\text{ m/s}$ e $1,67\text{ m/s}$ para a sala de convívio).....	63
Figura 6.66: Campo de temperatura do ar a) e o campo da velocidade do ar b). Num plano transversal $X=3,9\text{ m}$, calculados através do modelo CFD, para a situação I em condições de verão ($T_{in}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=8\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=0,66\text{ m/s}$, $1,67\text{ m/s}$ e $0,3\text{ m/s}$ para a sala de jantar e $Var=2\text{ m/s}$, $0,46\text{ m/s}$ e $1,67\text{ m/s}$ para a sala de convívio).....	63
Figura 6.67: Campo de temperatura do ar a) e o campo da velocidade do ar b). Num plano longitudinal $Y=9,9\text{ m}$, calculados através do modelo CFD, para a situação I em condições de verão ($T_{in}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=8\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=0,66\text{ m/s}$, $1,67\text{ m/s}$ e $0,3\text{ m/s}$ para a sala de jantar e $Var=2\text{ m/s}$, $0,46\text{ m/s}$ e $1,67\text{ m/s}$ para a sala de convívio).....	63
Figura 6.68: Campo de temperatura do ar a) e o campo da velocidade do ar b). Num plano longitudinal $Y=4,05\text{ m}$, calculados através do modelo CFD, para a situação I em condições de verão ($T_{in}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=8\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=0,66\text{ m/s}$, $1,67\text{ m/s}$ e $0,3\text{ m/s}$ para a sala de jantar e $Var=2\text{ m/s}$, $0,46\text{ m/s}$ e $1,67\text{ m/s}$ para a sala de convívio).....	64
Figura 6.69: Campo de temperatura do ar a) e o campo da velocidade do ar b). Num plano transversal $X=3,9\text{ m}$, calculados através do modelo CFD, para a situação I em condições de verão ($T_{in}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=18\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=0,66\text{ m/s}$, $1,67\text{ m/s}$ e $0,3\text{ m/s}$ para a sala de jantar e $Var=2\text{ m/s}$, $0,46\text{ m/s}$ e $1,67\text{ m/s}$ para a sala de convívio).....	64
Figura 6.70: Campo de temperatura do ar a) e o campo da velocidade do ar b). Num plano longitudinal $Y=9,9\text{ m}$, calculados através do modelo CFD, para a situação I em condições de verão ($T_{in}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=18\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=0,66\text{ m/s}$, $1,67\text{ m/s}$ e $0,3\text{ m/s}$ para a sala de jantar e $Var=2\text{ m/s}$, $0,46\text{ m/s}$ e $1,67\text{ m/s}$ para a sala de convívio).....	64

Figura 6.71: Campo de temperatura do ar a) e o campo da velocidade do ar b). Num plano longitudinal $Y=4,05$ m, calculados através do modelo CFD, para a situação I em condições de verão ($T_{in}=20$ °C, $T_{ext}=18$ °C, $Var=0,66$ m/s, $1,67$ m/s e $0,3$ m/s para a sala de jantar e $Var=2$ m/s, $0,46$ m/s e $1,67$ m/s para a sala de convívio).....	64
Figura 6.72: Distribuição da temperatura do ar em torno das diferentes secções do corpo dos 24 ocupantes. Situação I em condições de verão ($T_{in}=25$ °C, $T_{ext}=28$ °C, $Var=0,66$ m/s, $1,67$ m/s e $0,3$ m/s na sala de jantar e $Var=2$ m/s, $0,46$ m/s e $1,67$ m/s na sala de convívio).	66
Figura 6.73: Distribuição da velocidade do ar em torno das diferentes secções do corpo dos 24 ocupantes. Situação I em condições de verão ($T_{in}=25$ °C, $T_{ext}=28$ °C, $Var=0,66$ m/s, $1,67$ m/s e $0,3$ m/s na sala de jantar e $Var=2$ m/s, $0,46$ m/s e $1,67$ m/s na sala de convívio).	66
Figura 6.74: Distribuição da temperatura da pele em torno das diferentes secções do corpo dos 24 ocupantes. Situação I em condições de verão ($T_{in}=25$ °C, $T_{ext}=28$ °C, $Var=0,66$ m/s, $1,67$ m/s e $0,3$ m/s na sala de jantar e $Var=2$ m/s, $0,46$ m/s e $1,67$ m/s na sala de convívio).	66
Figura 6.75: Distribuição da temperatura do ar em torno das diferentes secções do corpo dos 24 ocupantes. Situação II em condições de verão ($T_{in}=25$ °C, $T_{ext}=38$ °C, $Var=0,66$ m/s, $1,67$ m/s e $0,3$ m/s na sala de jantar e $Var=2$ m/s, $0,46$ m/s e $1,67$ m/s na sala de convívio).	67
Figura 6.76: Distribuição da velocidade do ar em torno das diferentes secções do corpo dos 24 ocupantes. Situação II em condições de verão ($T_{in}=25$ °C, $T_{ext}=38$ °C, $Var=0,66$ m/s, $1,67$ m/s e $0,3$ m/s na sala de jantar e $Var=2$ m/s, $0,46$ m/s e $1,67$ m/s na sala de convívio).	67
Figura 6.77: Distribuição da temperatura da pele em torno das diferentes secções do corpo dos 24 ocupantes. Situação II em condições de verão ($T_{in}=25$ °C, $T_{ext}=38$ °C, $Var=0,66$ m/s, $1,67$ m/s e $0,3$ m/s na sala de jantar e $Var=2$ m/s, $0,46$ m/s e $1,67$ m/s na sala de convívio).	67
Figura 6.78: Distribuição da temperatura do ar em torno das diferentes secções do corpo dos 24 ocupantes. Situação I em condições de inverno ($T_{in}=20$ °C, $T_{ext}=8$ °C, $Var=0,66$ m/s, $1,67$ m/s e $0,3$ m/s na sala de jantar e $Var=2$ m/s, $0,46$ m/s e $1,67$ m/s na sala de convívio).	68
Figura 6.79: Distribuição da velocidade do ar em torno das diferentes secções do corpo dos 24 ocupantes. Situação I em condições de inverno ($T_{in}=20$ °C, $T_{ext}=8$ °C, $Var=0,66$ m/s, $1,67$ m/s e $0,3$ m/s na sala de jantar e $Var=2$ m/s, $0,46$ m/s e $1,67$ m/s na sala de convívio).	68
Figura 6.80: Distribuição da temperatura da pele em torno das diferentes secções do corpo dos 24 ocupantes. Situação I em condições de inverno ($T_{in}=20$ °C, $T_{ext}=8$ °C, $Var=0,66$ m/s, $1,67$ m/s e $0,3$ m/s na sala de jantar e $Var=2$ m/s, $0,46$ m/s e $1,67$ m/s na sala de convívio).	68
Figura 6.81: Distribuição da temperatura do ar em torno das diferentes secções do corpo dos 24 ocupantes. Situação II em condições de inverno ($T_{in}=20$ °C, $T_{ext}=18$ °C, $Var=0,66$ m/s, $1,67$ m/s e $0,3$ m/s na sala de jantar e $Var=2$ m/s, $0,46$ m/s e $1,67$ m/s na sala de convívio).	69

Figura 6.82: Distribuição da velocidade do ar em torno das diferentes secções do corpo dos 24 ocupantes. Situação II em condições de inverno ($T_{in}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=18\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=0,66\text{ m/s}$, $1,67\text{ m/s}$ e $0,3\text{ m/s}$ na sala de jantar e $Var=2\text{ m/s}$, $0,46\text{ m/s}$ e $1,67\text{ m/s}$ na sala de convívio).	69
Figura 6.83: Distribuição da temperatura da pele em torno das diferentes secções do corpo dos 24 ocupantes. Situação II em condições de inverno ($T_{in}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=18\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=0,66\text{ m/s}$, $1,67\text{ m/s}$ e $0,3\text{ m/s}$ na sala de jantar e $Var=2\text{ m/s}$, $0,46\text{ m/s}$ e $1,67\text{ m/s}$ na sala de convívio). .	69
Figura 6.84: Valores do índice de PMV em condições de verão e inverno. Situação I em condições de verão ($T_{in}=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=28\text{ }^{\circ}\text{C}$), situação II em condições de verão ($T_{in}=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=38\text{ }^{\circ}\text{C}$) situação I em condições de inverno ($T_{in}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=8\text{ }^{\circ}\text{C}$) e situação II em condições de inverno ($T_{in}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=18\text{ }^{\circ}\text{C}$).	71
Figura 6.85: Valores do índice de aPMV do conforto adaptativo em condições de verão. Situação I em condições de verão ($T_{in}=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=28\text{ }^{\circ}\text{C}$), situação II em condições de verão ($T_{in}=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=38\text{ }^{\circ}\text{C}$).	71
Figura 6.86: Intensidade de turbulência do ar em torno das secções do corpo dos 24 ocupantes. Situação I em condições de verão ($T_{in}=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=28\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=0,66\text{ m/s}$, $1,67\text{ m/s}$ e $0,3\text{ m/s}$ na sala de jantar e $Var=2\text{ m/s}$, $0,46\text{ m/s}$ e $1,67\text{ m/s}$ na sala de convívio).....	73
Figura 6.87: Risco de Resfriamento em torno das secções do corpo dos 24 ocupantes. Situação I em condições de verão ($T_{in}=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=28\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=0,66\text{ m/s}$, $1,67\text{ m/s}$ e $0,3\text{ m/s}$ na sala de jantar e $Var=2\text{ m/s}$, $0,46\text{ m/s}$ e $1,67\text{ m/s}$ na sala de convívio).....	73
Figura 6.88: Intensidade de turbulência do ar em torno das secções do corpo dos 24 ocupantes. Situação II em condições de verão ($T_{in}=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=38\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=0,66\text{ m/s}$, $1,67\text{ m/s}$ e $0,3\text{ m/s}$ na sala de jantar e $Var=2\text{ m/s}$, $0,46\text{ m/s}$ e $1,67\text{ m/s}$ na sala de convívio).....	73
Figura 6.89: Risco de Resfriamento em torno das secções do corpo dos 24 ocupantes. Situação II em condições de verão ($T_{in}=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=38\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=0,66\text{ m/s}$, $1,67\text{ m/s}$ e $0,3\text{ m/s}$ na sala de jantar e $Var=2\text{ m/s}$, $0,46\text{ m/s}$ e $1,67\text{ m/s}$ na sala de convívio).....	74
Figura 6.90: Intensidade de turbulência do ar em torno das secções do corpo dos 24 ocupantes. Situação I em condições de inverno ($T_{in}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=8\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=0,66\text{ m/s}$, $1,67\text{ m/s}$ e $0,3\text{ m/s}$ na sala de jantar e $Var=2\text{ m/s}$, $0,46\text{ m/s}$ e $1,67\text{ m/s}$ na sala de convívio).....	74
Figura 6.91: Risco de Resfriamento em torno das secções do corpo dos 24 ocupantes. Situação I em condições de inverno ($T_{in}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=8\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=0,66\text{ m/s}$, $1,67\text{ m/s}$ e $0,3\text{ m/s}$ na sala de jantar e $Var=2\text{ m/s}$, $0,46\text{ m/s}$ e $1,67\text{ m/s}$ na sala de convívio).....	74
Figura 6.92: Intensidade de turbulência do ar em torno das secções do corpo dos 24 ocupantes. Situação II em condições de inverno ($T_{in}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=18\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=0,66\text{ m/s}$, $1,67\text{ m/s}$ e $0,3\text{ m/s}$ na sala de jantar e $Var=2\text{ m/s}$, $0,46\text{ m/s}$ e $1,67\text{ m/s}$ na sala de convívio).....	75

Figura 6.93: Risco de Resfriamento em torno das secções do corpo dos 24 ocupantes. Situação II em condições de inverno ($T_{in}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=18\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V_{ar}=0,66\text{ m/s}$, $1,67\text{ m/s}$ e $0,3\text{ m/s}$ na sala de jantar e $V_{ar}=2\text{ m/s}$, $0,46\text{ m/s}$ e $1,67\text{ m/s}$ na sala de convívio).....	75
Figura 6.94 Concentração de CO_2 num plano transversal, $X=3,9\text{ m}$. Situação I em condições de verão ($T_{in}=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=28\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V_{ar}=0,66\text{ m/s}$, $1,67\text{ m/s}$ e $0,3\text{ m/s}$ na sala de jantar e $V_{ar}=2\text{ m/s}$, $0,46\text{ m/s}$ e $1,67\text{ m/s}$ na sala de convívio).	76
Figura 6.95: Concentração de CO_2 num plano transversal, $X=3,9\text{ m}$. Situação II em condições de verão ($T_{in}=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=38\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V_{ar}=0,66\text{ m/s}$, $1,67\text{ m/s}$ e $0,3\text{ m/s}$ na sala de jantar e $V_{ar}=2\text{ m/s}$, $0,46\text{ m/s}$ e $1,67\text{ m/s}$ na sala de convívio).....	76
Figura 6.96: Concentração de CO_2 num plano transversal, $X=3,9\text{ m}$. Situação I em condições de inverno ($T_{in}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=8\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V_{ar}=0,66\text{ m/s}$, $1,67\text{ m/s}$ e $0,3\text{ m/s}$ na sala de jantar e $V_{ar}=2\text{ m/s}$, $0,46\text{ m/s}$ e $1,67\text{ m/s}$ na sala de convívio).....	76
Figura 6.97: Concentração de CO_2 num plano transversal, $X=3,9\text{ m}$. Situação II em condições de inverno ($T_{in}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=18\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V_{ar}=0,66\text{ m/s}$, $1,67\text{ m/s}$ e $0,3\text{ m/s}$ na sala de jantar e $V_{ar}=2\text{ m/s}$, $0,46\text{ m/s}$ e $1,67\text{ m/s}$ na sala de convívio).....	76

Índice de tabelas

Tabela 3.1: Categorias do ambiente térmico. Percentagem de insatisfação devido ao conforto e desconforto local.	9
Tabela 5.2: Parâmetros usados nas simulações na sala multifunções.	24
Tabela 5.3: Parâmetros usados nas simulações das salas comunicantes.	29
Tabela 5.4: Temperatura das superfícies da sala multifunções.	32
Tabela 6.5: Valor do ADI e outros parâmetros para 16 ocupantes. Situação I em condições de verão ($T_{in}=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=28\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=1$ e $0,5\text{ m/s}$).	51
Tabela 6.6: Valor do ADI através do método do conforto adaptativo do índice de aPMV e outros parâmetros para 16 ocupantes. Situação I em condições de verão ($T_{in}=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=28\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=1$ e $0,5\text{ m/s}$).	51
Tabela 6.7: Valor do ADI e outros parâmetros para 16 ocupantes. Situação II em condições de verão ($T_{in}=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=38\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=1$ e $0,5\text{ m/s}$).	52
Tabela 6.8: Valor do ADI através do método do conforto adaptativo do índice de aPMV e outros parâmetros para 16 ocupantes. Situação II em condições de verão ($T_{in}=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=38\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=1$ e $0,5\text{ m/s}$).	52
Tabela 6.9: Valor do ADI e outros parâmetros para 16 ocupantes. Situação I em condições de inverno ($T_{in}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=8\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=1$ e $0,5\text{ m/s}$).	53
Tabela 6.10: Valor do ADI e outros parâmetros para 16 ocupantes. Situação II em condições de inverno ($T_{in}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=18\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=1$ e $0,5\text{ m/s}$).	53
Tabela 6.11: Consumos do sistema de ventilação para cada situação em condições de verão e inverno.	55
Tabela 6.12: Resultados da área dos painéis fotovoltaicos para a situação I e II em condições de verão e de inverno.	56
Tabela 6.13: Temperatura das superfícies das salas comunicantes.	60
Tabela 6.14: Valor do ADI e outros parâmetros para 24 ocupantes. Situação I em condições de verão ($T_{in}=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=28\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $Var=0,66\text{ m/s}$, $1,67\text{ m/s}$ e $0,3\text{ m/s}$ na sala de jantar e $Var=2\text{ m/s}$, $0,46\text{ m/s}$ e $1,67\text{ m/s}$ na sala de convívio).	78
Tabela 6.15: Valor do ADI através do método de conforto adaptativo do índice aPMV. Situação I em condições de verão ($T_{in}=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=28\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $Var=0,66\text{ m/s}$, $1,67\text{ m/s}$ e $0,3\text{ m/s}$ na sala de jantar e $Var=2\text{ m/s}$, $0,46\text{ m/s}$ e $1,67\text{ m/s}$ na sala de convívio).	78

Tabela 6.16: Valor do ADI e outros parâmetros para 24 ocupantes. Situação II em condições de verão ($T_{in}=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=38\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $Var=0,66\text{ m/s}$, $1,67\text{ m/s}$ e $0,3\text{ m/s}$ na sala de jantar e $Var=2\text{ m/s}$, $0,46\text{ m/s}$ e $1,67\text{ m/s}$ na sala de convívio).....	79
Tabela 6.17: Valor do ADI através do método de conforto adaptativo do índice aPMV. Situação II em condições de verão ($T_{in}=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=38\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $Var=0,66\text{ m/s}$, $1,67\text{ m/s}$ e $0,3\text{ m/s}$ na sala de jantar e $Var=2\text{ m/s}$, $0,46\text{ m/s}$ e $1,67\text{ m/s}$ na sala de convívio).....	79
Tabela 6.18: Valor do ADI e outros parâmetros para 24 ocupantes. Situação I em condições de inverno ($T_{in}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=8\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $Var=0,66\text{ m/s}$, $1,67\text{ m/s}$ e $0,3\text{ m/s}$ na sala de jantar e $Var=2\text{ m/s}$, $0,46\text{ m/s}$ e $1,67\text{ m/s}$ na sala de convívio).....	80
Tabela 6.19: Valor do ADI e outros parâmetros para 24 ocupantes. Situação II em condições de inverno ($T_{in}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=18\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $Var=0,66\text{ m/s}$, $1,67\text{ m/s}$ e $0,3\text{ m/s}$ na sala de jantar e $Var=2\text{ m/s}$, $0,46\text{ m/s}$ e $1,67\text{ m/s}$ na sala de convívio).....	80
Tabela 6.20: Consumos do sistema de ventilação para cada situação em condições de verão e inverno.....	82
Tabela 6.21: Resultados da área dos painéis fotovoltaicos para a situação I e II em condições de verão e de inverno.	83

1. Enquadramento geral

Atualmente a sociedade passa a maior parte do dia em ambientes fechados, seja no trabalho, escola, comércio, casa ou mesmo em lares, onde existem várias fontes de poluição (aparelhos eletrônicos, materiais de construção, entre outros). Nesses espaços, onde a contaminação do ar traduz-se numa má qualidade do ar interior, pode afetar diretamente a saúde, o conforto e a produtividade de um determinado grupo de pessoas, atingindo em especial os grupos mais vulneráveis como as crianças e os idosos.

O estudo da qualidade de vida do idoso ocupa um lugar de destaque na nossa sociedade devido às alterações demográficas nos países desenvolvidos. Portugal é o 5º país com o índice de envelhecimento mais elevado da União Europeia (INE 2015). O peso relativo da população idosa aumentou passando de 9,7% em 1970 para 20,3% em 2014 (INE 2015).

A população com uma faixa etária igual ou superior a 60 anos apresenta um sistema imunológico mais enfraquecido e uma maior prevalência de doenças crónicas e de problemas respiratórios. Vários estudos demonstram que a concentração de poluentes no interior de um edifício pode ser 10-20 vezes mais elevada do que no exterior, com um impacto crescente sobre a qualidade da vida dos seus ocupantes, podendo originar ou agravar doenças sobretudo a nível respiratório e cardiovascular (Mendes *et al.*, 2014). Para além da qualidade do ar interior (QAI) também o ambiente térmico é um fator chave que pode afetar o conforto, a saúde e o bem-estar dos ocupantes, (Mendes *et al.*, 2014).

Outros fatores como o tipo de edifício, o clima exterior e a estação do ano, segundo Frontczak *et al.* (2010), devem igualmente ser tidos em conta, pois influenciam o conforto humano em ambientes interiores. O conforto térmico é considerado pelos ocupantes o fator que tem uma maior importância quando comparado com o conforto visual, acústico e a boa qualidade do ar (Frontczak *et al.*, 2010).

Fanger (1970), por sua vez, realizou vários estudos de grande importância sobre o conforto térmico. Através das equações e métodos desenvolvidos nesses estudos, é possível calcular e analisar o conforto térmico dos ocupantes num espaço interior.

Atualmente, o consumo de energia e conforto térmico são dois temas importantes a serem considerados no controle de sistemas AVAC (aquecimento, ventilação e ar

condicionado), porque são amplamente utilizados na indústria e em edifícios. Nesta perspetiva, é necessário projetar sistemas de controlo de climatização com elevados níveis de conforto e redução do consumo de energia (Conceição *et al.*, 2014).

Em Portugal, face às suas características climáticas, tem excelentes condições para o aproveitamento de radiação solar para fins energéticos. O aproveitamento direto da energia solar é efetuado sob três formas principais: conversão térmica passiva, ativa e conversão fotovoltaica (solar fotovoltaica) (Oliveira *et al.*, 2003).

Neste trabalho será estudado um sistema de ventilação com parâmetros ambientais que seja adequado para idosos em diferentes espaços. Neste sistema serão analisados o conforto e o desconforto térmico, a qualidade do ar interior, a distribuição do ar e um estudo acústico (tempo de reverberação) entre os ocupantes idosos. Este estudo é realizado através de softwares numéricos que simulam o escoamento interno, a resposta térmica humana do corpo e a resposta acústica interior.

Posteriormente, será analisado a radiação solar no Algarve e a energia gasta no sistema AVAC implementado. Determinar-se-á a área dos painéis fotovoltaicos necessários para cada situação em condições de verão e de inverno de maneira que o sistema AVAC seja ecologicamente eficiente.

2. Objetivos

Esta dissertação tem como finalidade o desenvolvimento de um sistema AVAC mais ecológico e direcionado a idosos. O caso em estudo será realizado numa sala de multifunções (ocupada por 16 idosos) e em duas salas comunicantes (ocupada por 24 idosos).

É denominado sala multifunções por ser considerado uma sala de jantar como também uma sala de convívio. As salas comunicantes consistem em uma sala de jantar e uma sala de convívio que estão ligadas entre si.

Neste estudo, serão feitas várias simulações em condições de verão e de inverno. Serão usados modelos numéricos que simulam o escoamento interno, a resposta térmica humana do corpo e a resposta acústica interior.

Os principais objetivos deste estudo, são os seguintes:

- Distribuição do ar de um sistema de condutas verticais e jatos horizontais e avaliar o conforto térmico, desconforto térmico e a qualidade do ar;
- Realizar um estudo acústico da sala multifunções;
- Analisar a energia usada pelo sistema AVAC e calcular a área necessária dos painéis fotovoltaicos.

3. Revisão Bibliográfica

3.1. Sistema de ventilação

Um sistema de ventilação tem como objetivo obter um conforto térmico e uma qualidade do ar interior adequada para os ocupantes. Este sistema tem que ser eficiente para eliminar e diluir os poluentes do interior e proporcionar níveis aceitáveis de contaminantes no ar interior.

O sistema deverá ser energeticamente eficiente e avaliado para cada situação, de maneira a não deteriorar a qualidade do ar interior e o clima (Säteri, 2004).

O ar de um sistema de ventilação deve chegar à zona de respiração dos ocupantes, o mais rapidamente possível depois de entrar para a sala. Os sistemas de ventilação não devem causar desconforto térmico devido à sua temperatura, velocidade ou sentido do fluxo (Säteri, 2004).

3.1.1 Sistema de ventilação por impulsão

O sistema de ventilação por impulsão consiste na injeção do ar exterior num espaço com velocidades baixas o que causa uma mínima mistura. O ar é introduzido por uma conduta perto do chão a baixa velocidade, tipicamente $<0,5$ m/s (Cao *et al.*, 2014).

Devido à baixa velocidade do ar inserido, o movimento do ar interior é em grande parte impulsionado pelos fluxos de convecção criados por fontes de calor, como pessoas, equipamentos ou por dissipadores de calor como paredes frias ou janelas (Cao *et al.*, 2014). Os fluxos de convecção dentro da sala causam a formação de camadas de ar horizontais. As camadas de ar mais quentes estão perto do teto e as camadas de ar mais frias estão perto do chão (Li *et al.* 1992).

A distribuição dos contaminantes é influenciada por vários fatores, como o método da introdução do ar exterior no espaço, o tipo de fonte de contaminantes, as fontes de calor e a altura do espaço. A ventilação por impulsão melhora a qualidade do ar dos ocupantes ao reduzir os contaminantes na parte inferior da sala (Cheng *et al.* 2015). O movimento ascendente geral do ar faz com que os contaminantes se concentrem na zona superior.

Este sistema de ventilação, que não é extremamente dispendioso e que funciona a partir de fenómenos convectivos, pode ser utilizado tanto no Verão como no Inverno.

Ao longo dos anos foram realizados estudos sobre este tipo de ventilação. Resumidamente, são apresentados cronologicamente alguns destes estudos:

- Li *et al.* (1992), realizou um estudo experimental que é baseado no perfil da temperatura do ar num espaço. Chegou à conclusão que o perfil da temperatura do ar vertical é consideravelmente afetado por condução através da parede como também pela radiação entre as superfícies da sala, especialmente entre o teto e o chão.
- Awbi & Gan (1993), comprovou que o desempenho da ventilação por impulsão é mais eficiente em comparação com a ventilação de mistura.
- Awbi (1998), num estudo experimental e numérico verificou que a eficiência de ventilação na distribuição de calor para a ventilação por impulsão é quase o dobro do valor para a ventilação através de um sistema de mistura.
- Lee *et al.* (2009), realizou um estudo experimental e numérico baseado na distribuição do ar e na distribuição de contaminantes, onde concluiu que a eficiência de distribuição do ar é proporcional à altura do teto.
- Em relação ao conforto térmico, com este tipo de ventilação, Gan (1995) realizou um estudo sobre o conforto térmico local em escritórios com ventilação por impulsão, onde utilizou o modelo numérico de simulação de escoamentos. Através das equações de Fanger foi previsto o nível de conforto térmico. Verificou que o desconforto térmico nos escritórios ventilados por impulsão pode ser evitado através da otimização da velocidade do ar injetado e da temperatura do ar. Neste estudo, também é verificado que as condições ideais da injeção de ar de um sistema de ventilação por impulsão dependem da distância entre o ocupante e o difusor de ar.

O sistema de ventilação por impulsão utiliza 100% do ar exterior, logo, facilita a remoção dos contaminantes do ar produzidos dentro de uma sala (Cao *et al.*, 2014). A energia consumida por este sistema é ligeiramente menor que a energia usada para os sistemas de ventilação de mistura convencionais.

3.1.2 Sistema de jatos confluentes

Em busca de uma solução para superar os problemas relacionados com a saúde dos ocupantes e reduzir o uso de energia, um novo sistema de jatos confluentes, foi proposto (Cho *et al.*, 2008 e Janbakhsh *et al.*, 2014).

A ventilação com jatos confluentes pode ser descrita como jatos múltiplos que são provenientes de diferentes aberturas circulares no mesmo plano e em direções paralelas (Karimipannah *et al.*, 2005). Os jatos convergem e misturam-se a uma certa distância a jusante.

Num estudo realizado por Karimipannah *et al.* (2005) verifica algumas vantagens da aplicação de um sistema de ventilação de jatos confluentes em salas de aula. O processo experimental consiste numa conduta com aberturas circulares que injeta o ar para a sala. Os jatos são introduzidos com uma velocidade muito mais elevada em comparação com o sistema de ventilação por impulsão. Este método de distribuição de ar combina alguns aspetos positivos: reduz eficientemente a contaminação do ar na parte inferior da zona ocupada e a troca de ar é ligeiramente melhor que um sistema de ventilação por impulsão. Outra vantagem deste sistema é que pode ser usado para aquecimento da sala, em contraste com o sistema por impulsão, que só é útil para arrefecimento.

Nos últimos anos foram realizados vários estudos sobre este sistema de ventilação. Resumidamente são apresentados alguns destes estudos:

- Avaliação da qualidade do ar e níveis de conforto em salas de aula para diferentes sistemas de ventilação, Karimipannah *et al.* (2007). Neste estudo foi analisado o ambiente interno de uma sala de aula, utilizando ventilação de jatos confluentes. Em diferentes situações térmicas foi avaliado a velocidade do ar, a temperatura do ar e a concentração dos gases. Além disso, foram realizadas 56 simulações usando o modelo numérico de simulação de escoamentos para fornecer informações adicionais sobre a qualidade do ar, o conforto térmico da sala de aula, a eficiência da ventilação, o efeito de radiação, etc.
- Comparação da ventilação de jatos confluentes em paredes e ventilação por impulsão, em Cho *et al.* (2008). Concluiu-se que os impulsos dos jatos (jatos confluentes em paredes) têm uma maior propagação sobre o chão do que a ventilação por impulsão.

- Melhoria das condições de conforto, utilizando um sistema de jatos confluentes localizados próximos do nível do chão em uma câmara experimental (Conceição *et al.*, 2014). Neste estudo são avaliados o conforto térmico, o desconforto térmico local e os níveis de qualidade do ar. O nível de conforto térmico é avaliado utilizando o modelo numérico de simulação de resposta térmica humana, enquanto o desconforto térmico local e os níveis de qualidade do ar são avaliadas pelo modelo numérico de simulação de escoamentos.

Este sistema não é extremamente dispendioso, dado que funciona a partir de fenómenos convectivos, podendo ser utilizado em condições de Verão e Inverno.

3.1.3. Sistema de condutas verticais com jatos horizontais

O sistema de condutas verticais com jatos horizontais é o sistema utilizado nesta dissertação. Este sistema foi desenvolvido por Conceição *et al.*, (2015) aplicado em espaços interiores é estudado um sistema de ventilação que permite melhorar a qualidade do ar interior sem que prejudique o conforto térmico de indivíduos idosos.

Neste trabalho o 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 do índice PMV, especialmente em casos como salas de pequenas dimensões, os jatos horizontais iriam embater uns nos outros e provocar uma corrente de ar nas costas dos indivíduos Conceição *et al.*, (2015).

3.2. Conforto e desconforto térmico

O conforto térmico é a condição da mente que manifesta a sua satisfação com o ambiente térmico e é estimado por avaliação subjetiva (ANSI / ASHRAE, 2013). Um dos objetivos importantes dos sistemas AVAC é manter esse nível de conforto térmico para os ocupantes de edifícios. O conforto térmico depende de fatores quantificáveis como a temperatura do ar,

velocidade do ar, humidade relativa do ar e a temperatura média radiante, como também depende de fatores não quantificáveis: estado mental, hábitos, educação, etc.

No intuito de determinar as condições térmicas adequadas é usado normas como a ASHRAE (2013) e ISO 7730 (2005). Através destas normas são definidos intervalos de temperatura que podem resultar na satisfação térmica para a maior parte dos ocupantes num espaço (Charles, 2003). As normas definidas são principalmente baseadas em modelos matemáticos, estudados por Fanger, como o modelo do conforto térmico, conhecido como a votação média previsível (índice PMV) (Fanger, 1970) e o modelo de desconforto local a partir de correntes de ar o DR- Risco de Resfriamento (Draught Risk) (Fanger *et al.*, 1988).

Na avaliação do nível de conforto térmico será utilizado o índice PMV (*Predicted Mean Vote*) que corresponde à votação média previsível da sensação térmica de um painel de avaliadores. O nível de desconforto térmico é utilizado o índice PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied*) que exprime a percentagem previsível de pessoas termicamente insatisfeitas, relativamente, às condições de conforto de um dado ambiente térmico moderado (Conceição *et al.*, 1996).

O calor produzido no corpo é influenciado pelo nível de atividade da pessoa, sendo também variável com a idade e o sexo. Este calor é trocado com o ambiente exterior por condução, convecção, radiação e evaporação. A convecção depende da temperatura e velocidade do ar exterior. A radiação depende da temperatura média radiante e a evaporação depende da humidade relativa do ar e da velocidade do ar.

Um individuo pode estar termicamente confortável, mas secções do corpo podem ser expostos a condições que resultam em desconforto térmico local. Este desconforto pode ser devido a (Conceição *et al.*, 1996):

- Resfriamentos por correntes de ar, pode ser calculada através do Risco de Resfriamento (DR-*Draught Risk*);
- Existência de assimetrias de temperaturas radiantes (vertical/horizontal), ou seja, arrefecimento ou aquecimento de partes do corpo por radiação;
- Temperatura do chão ser desconfortável, ou seja, ter pés quentes ou frios;
- Diferença vertical da temperatura do ar, o que pode ser desconfortável ao nível dos pés e ao nível da cabeça.

Na tabela 3.1, segundo a ISO 7730 (2005), representa as três categorias do conforto térmico a percentagem de insatisfação devido ao conforto térmico geral e desconforto térmico local.

Tabela 3.1: Categorias do ambiente térmico. Percentagem de insatisfação devido ao conforto e desconforto local.

Categorias	Sensação térmica do corpo como um todo		Desconforto térmico local			
	PPD %	PMV	DR %	Diferença da temperatura vertical %	Chão quente ou frio %	Assimetria da temperatura radiante %
A	<6	-0.2<PMV<+0.2	<10	<3	<10	<5
B	<10	-0.5<PMV<+0.5	<20	<5	<10	<5
C	<15	-0.7<PMV<+0.7	<30	<10	<15	<10

3.3 Conforto adaptativo

O modelo adaptativo baseia-se na ideia de que a temperatura exterior influencia o conforto no interior porque os seres humanos podem adaptar-se a temperaturas diferentes durante diferentes épocas do ano (Charles, 2003). A hipótese adaptativa indica que a mudança no ambiente térmico produz desconforto, as pessoas, conscientemente ou inconscientemente, reagem a fim de restaurar o seu próprio conforto térmico.

Pesquisas experimentais sobre conforto térmico indicam que o modelo do índice de PMV não considera as adaptações do corpo humano às condições ambientais. Estas adaptações desempenham um papel fundamental na determinação da sensação térmica e na percepção de conforto registadas por cada individuo (Hoof, 2008).

Os ocupantes inseridos num dado ambiente térmico podem atingir o seu conforto térmico através do ajuste das suas próprias condições ambientais com recurso, por exemplo, à adaptação do seu vestuário, à ingestão de água, ao abrir ou ao fechar de janelas, ao abrir ou ao fechar de persianas (Yao *et al.*, 2010).

3.4 Qualidade do ar

O ambiente interior é por vezes contaminado por substâncias que podem resultar de uma utilização contínua do espaço ou por materiais que os rodeiam. Consequentemente, esses

contaminantes em função das concentrações e características podem prejudicar o bem-estar dos ocupantes, como por exemplo a sensação de mal-estar, originar doenças graves ou mesmo a morte em casos mais graves com o monóxido de carbono (Pinto *et al.*, 2007)

A qualidade do ar deve ser sempre uma das principais preocupações, para manter um ambiente saudável em que os poluentes nunca atinjam concentrações que possam prejudicar a saúde dos ocupantes.

A avaliação da qualidade do ar, em compartimentos ocupados por seres humanos, é muitas vezes feita através da medição da concentração de dióxido de carbono. A evolução da concentração deste gás fornece uma boa indicação do caudal volúmico de renovação do ar (Conceição *et al.*, 1996). O Decreto-Lei n.º 118/2013, de 4 de dezembro define um caudal de renovação do ar para ambientes escolares de 35 m³/h por ocupante. Esta norma recomenda igualmente um limite para a concentração do dióxido de carbono em ambientes interiores de 2250 mg/m³.

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

3.5 Índice de distribuição do ar

O índice de distribuição do ar, ADI (*Air Distribution Index*), está associado no nível de conforto térmico, da qualidade do ar interior, da remoção de contaminantes, remoção de calor como também da eficiência da ventilação. É usado em vários estudos (Conceição *et al.*, 2012 e Karimipannah *et al.*, 2008) este índice oferece informações úteis sobre o desempenho do sistema de ventilação e permite fazer a comparação entre sistemas.

Conceição *et al.*, (2012) realizou um estudo sobre o acoplamento de um modelo de conforto e um modelo numérico de simulação de escoamentos. Utiliza o índice de percentagem da votação média previsível da sensação térmica de um painel de avaliadores (índice PMV) na análise da troca de calor entre o corpo e o meio ambiente, com a eficiência de ventilação para obter o índice de distribuição de ar ADI para os espaços ocupados com ambientes não uniformes.

Em relação ao estudo efetuado por Karimipannah *et al.*, (2008) avaliou o desempenho dos sistemas de ventilação envolvendo aumentos de alto e baixo nível de distribuição do ar com o intuito de alcançar o mesmo índice de distribuição de ar para casos diferentes.

3.6 Produção de energia: células fotovoltaicas

A energia solar fotovoltaica é uma tecnologia promissora para satisfazer as crescentes demandas de energia, num momento em que as fontes convencionais de energia são esgotáveis (Castro, 2002).

Nos sistemas fotovoltaicos a radiação solar é convertida em energia elétrica, por semicondutores, que são configurados em elementos denominados células fotovoltaicas. Os semicondutores feitos de silício são os mais usados na construção das células e o seu rendimento possível razoável é, atualmente, de cerca de 25-30% (Fahrenbruch *et al.*, 1983).

O agrupamento de módulos, colocados numa mesma estrutura de suporte, forma um painel. Quando incide luz solar com energia suficiente sobre estas estruturas, produz-se uma corrente de elétrons, obtendo-se assim energia elétrica utilizável (Oliveira *et al.*, 2003).

O desempenho energético dos painéis fotovoltaicos varia consoante a luz solar disponível e a inclinação dos módulos, sendo a eficiência de conversão da ordem dos 15% (Fahrenbruch *et al.*, 1983).

Um sistema solar fotovoltaico tem os seguintes elementos (Oliveira *et al.*, 2003):

- um coletor fotovoltaico, onde se produz a energia elétrica;
- grupo acumulador, onde se armazena a energia a utilizar em períodos sem luz solar;
- controlador de carga, que faz a gestão da energia à entrada e saída do acumulador;
- inversor de corrente, que transforma a corrente contínua em corrente alternada, produzida nos painéis e num sistema de apoio, utilizado quando a energia solar disponível é insuficiente.

A energia gerada durante as horas de radiação pode ser armazenada em baterias para o seu aproveitamento durante as horas de inexistência de radiação solar (Castro, 2002).

A vantagem das células fotovoltaicas é a ausência quase total de poluição, ausência de ruídos e cheiros, na reduzida ou nula manutenção e no elevado período de vida dos módulos fotovoltaicos (Oliveira *et al.*, 2003).

As características da energia fotovoltaica fazem com que a instalação deste tipo de sistemas seja bastante atrativa é comum encontrar sistemas fotovoltaicos a alimentar máquinas de pré-pagamento de estacionamento, ou sistemas de telecomunicações.

A grande desvantagem destes sistemas é o custo elevado por MWh, ultrapassando o preço da eletricidade da rede pública (Fahrenbruch *et al.*, 1983). Prevê-se, no entanto, um crescimento na utilização destes sistemas nos próximos anos, face ao aumento da sua competitividade e das aplicações com recurso a esta tecnologia (Fahrenbruch *et al.*, 1983).

3.7 Acústica

Ao longo dos tempos foram realizados vários estudos sobre a componente acústica, como o conforto acústico de edifícios ou em veículos. Devido ao tempo passado em locais fechados, o conforto acústico, tem um grande impacto na produtividade dos ocupantes (Chigot, 2005). Apesar de ser reconhecido como um parâmetro importante, a pesquisa indica que o conforto acústico não é considerado prioridade no projeto de um edifício (Anderson, 2008).

Silva (2002) realizou um estudo sobre o conforto em veículos, avaliou o ambiente térmico e a qualidade do ar interior. Neste estudo, os principais aspetos considerados são a temperatura, qualidade do ar, ruído, vibração, luz e ergonomia.

Um estudo realizado por Momovic *et al.*, (2009) apresenta a qualidade do ar interior, conforto térmico e desempenho acústico de nove escolas secundárias construídas na Inglaterra. O estudo mostrou que enquanto os níveis de ruído externo não são excessivos era possível conseguir projetos de ventilação natural, que preencham os critérios para níveis de ruído do ambiente interior, segundo os padrões acústicos exigidos.

Zannin *et al.* (2007) realizou um estudo sobre o conforto acústico das salas de aula em uma escola pública brasileira. Foi avaliado através de entrevistas com 62 professores e 464 alunos, medidas de ruído de fundo, tempo de reverberação e isolamento acústico. Medidas acústicas revelaram a baixa qualidade acústica das salas de aula. Os resultados mostraram que

professores e alunos consideram o ruído gerado e a voz do professor nas salas de aula vizinhas como as principais fontes de aborrecimento dentro da sala de aula. As simulações acústicas resultaram na sugestão de colocação de contraplacado perfurado no teto, para redução do tempo de reverberação e aumento do conforto acústico das salas de aula

3.8 Artigos realizados no âmbito deste trabalho

Nesta dissertação, alguns dos objetivos, como avaliação de um sistema de condutas verticais e jatos horizontais, conforto térmico, qualidade do ar, a distribuição do ar, a produção de energia através de células fotovoltaicas e a resposta acústica interior em parte foram desenvolvidos ao longo desta dissertação que suportam e validam o estudo realizado:

- Em Conceição *et al* (2015), é efetuado um estudo relacionado com o desenvolvimento de novos sistemas AVAC aplicados em espaços interiores. São apresentados resultados de dois novos sistemas AVAC, um baseado em sistemas de ventilação personalizada, e outro baseado em jatos confluentes. O sistema de ventilação personalizada é colocado numa secretária para um ocupante, enquanto o sistema JC, baseado em jatos horizontais provenientes de condutas verticais colocadas nos cantos das paredes dos compartimentos, é usado para quatro indivíduos idosos sentados em redor de uma mesa. Em ambas as simulações a exaustão é colocada na área central do teto. No sistema de ventilação personalizada o ocupante é sujeito a um índice de distribuição do ar de 6,76, um nível de conforto térmico de -0,81, a uma concentração de dióxido de carbono na zona de respiração de 920,44 mg/m³ e o DR de 22,43%. No sistema de jatos confluentes os indivíduos são sujeitos a um índice de distribuição do ar de 4,52, um nível de conforto térmico de 0,85, uma concentração de dióxido de carbono na zona de respiração de 2569,96 mg/m³ e o DR médio de 25,77%.
- Em Conceição *et al.* (2015) foi também realizado um estudo sobre a produção de energia a partir de recursos ecológicos ambientais em um edifício público sustentável. Neste estudo a produção de energia nos edifícios, utilizando fontes renováveis, inclui a energia solar e eólica. De acordo com o estudo da sustentabilidade do edifício, a energia elétrica é obtida utilizando células fotovoltaicas e as turbinas eólicas também foram utilizadas para a produção de eletricidade. Os resultados obtidos para a energia produzida pelas células fotovoltaicas, para as condições de verão e de inverno, são de 37% e 6%

respetivamente. No entanto, os resultados obtidos para a energia produzida por turbinas eólicas, para condições de verão e inverno, é respetivamente 2% e 1,7%.

- Em Conceição *et al* (2016), num estudo térmico acústico foi desenvolvido e implementado uma malha em espaços com grande ocupação. Neste estudo, a componente térmica do software que avalia o escoamento interno e a fisiologia térmica dos ocupantes, é usado no estudo da simulação da resposta acústica interior, o componente acústico do software que calcula o som direto e indireto.

4. Modelos numéricos

Neste estudo são usados modelos que simulam numericamente o escoamento interno, simulam a resposta térmica do corpo humano e simulam a resposta acústica interior. A informação obtida através dos dois modelos acoplados (simulação do escoamento interno e resposta térmica humana) é usado no cálculo da acústica interna.

4.1. Modelo diferencial de simulação numérica de escoamentos

O modelo de simulação numérica de escoamentos (CFD- *Dynamics Computacional Fluids*) tem como a função de avaliar a temperatura do ar, velocidade do ar, a concentração de dióxido de carbono em torno do ocupante e no interior do espaço. Avalia o escoamento em torno dos ocupantes, o Risco de Resfriamento (baseada em modelos empíricos) e o nível de qualidade do ar.

Este modelo é baseado em equações diferenciais de Navier-Stokes em coordenadas cartesianas no interior de um espaço ocupado e simula escoamentos em regime estacionário e em condições não isotérmicas. No modelo de turbulência, de acordo com Conceição *et al.*, (2013), é usado o modelo RNG.

As variáveis obtidas através da simulação numérica de escoamentos são usadas como valores de entrada no modelo numérico da resposta térmica humana.

4.2. Modelo integral de simulação numérica da resposta térmica humana

O modelo numérico de resposta térmica humana HTC (*Human Thermal Comfort*), avalia o nível de conforto térmico e desconforto local a que os ocupantes estão sujeitos em compartimentos interiores com ambientes não uniformes. Este modelo simula em regime transitório ou regime estacionário, em condições não isotérmicas (Conceição *et al.*, 2009).

O corpo é dividido em 25 cilindros. Cada elemento é dividido em camadas, podendo ainda ser protegido do ambiente exterior devido a camadas de vestuário.

O modelo numérico é dividido em quatro partes:

- Sistema térmico do corpo humano,
- sistema térmico vestuário,
- sistema termorregulador (para controlar a temperatura do corpo humano),
- e conforto térmico.

A resposta térmica do corpo humano é baseada no balanço de energia através de equações integrais para as camadas de tecido do corpo humano, sangue arterial e venoso, bem como o balanço massa através de equações integrais para o sangue e água da transpiração na superfície da pele para cada elemento.

A resposta térmica da roupa é baseada no balanço de energia através de equações integrais para as camadas de roupas, bem como balanço de massa através de equações integrais para a água transpirada nas camadas de roupa em cada elemento. O sistema de equações final é resolvido através de Runge-Kutta-Fehlberg, em condições de regime transitório (Conceição *et al.*, 2006).

4.3. Modelo numérico da resposta acústica interior

O modelo numérico da resposta acústica interior é baseado em métodos geométricos e modelos numéricos matemáticos. Este modelo usa o nível de temperatura do ar, no interior da câmara experimental e em torno dos ocupantes, calculado pelo modelo HTC, na avaliação da velocidade da propagação do som.

Através do modelo numérico da acústica interior é possível calcular o percurso entre a fonte e o recetor considerando as várias reflexões das superfícies no espaço. Os percursos traçados irão representar o trajeto entre a fonte e o recetor.

O tempo de reverberação é calculado numericamente utilizando uma regressão do nível de intensidade da evolução do som, usando uma equação exponencial, quando o recetor está localizado na orelha esquerda e direita dos ocupantes. Assim, o tempo de reverberação é calculada, para os ouvidos esquerdo e direito, sendo o tempo necessário que decorre uma diminuição de 60 dB.

4.4. Modelo conforto e desconforto térmico

O modelo de índice PMV (*Predicted Mean Vote*) foi desenvolvido por Fanger na década de 1970 a partir de estudos em laboratório e câmara climática. Nestes estudos os participantes usaram um nível de vestuário padronizado e expostos a diferentes ambientes térmicos (Charles, 2003). Usando os sete pontos da escala de sensação térmica da ASHRAE é observado a sensação térmica, sendo -3 considerado muito frio, -2 frio, -1 ligeiramente frio, 0 neutro, +1 ligeiramente quente, +2 quente e o +3 muito quente.

-Modelo do índice PMV

Fanger (1970) também desenvolveu um índice relacionado, chamado PPD (*Predicted Percentage Dissatisfied*). Este índice é calculado a partir PMV (equação 4.1), e prevê a percentagem de pessoas que estão insatisfeitas com um determinado ambiente térmico (Karimipannah *et al.*, 2008).

$$PPD = 100 - 95 \times e^{(-0.033353(PMV)^4 - 0.2179(PMV)^2)} \quad (4.1)$$

-Modelo de conforto adaptativo do índice aPMV

O modelo adaptativo considera as adaptações do corpo humano às condições ambientais. Assim, o índice aPMV pode ser obtido usando a seguinte equação (Yao *et al.*, 2009):

$$aPMV = \frac{PMV}{1 + \lambda \times PMV} \quad (4.2)$$

Em que: $\lambda = 0,1193 \times T_{ext} - 2,4984$.

-Modelo DR

O DR (Draught Risk) pode ser determinado pela seguinte equação (4.3). Este índice depende da temperatura do ar, da velocidade do ar e da intensidade de turbulência do ar (Conceição *et al.*, 2009).

$$DR = (34 - t_a)(v_a - 0,05)^{0,62}(0,37 \times v_a \times Tu + 3,14) \quad (4.3)$$

Em que:

t_a : Temperatura do ar (°C).

v_a : Velocidade do ar (m/s).

Tu : intensidade de turbulência (%).

4.5. Modelo ADI

A qualidade de um sistema de ventilação pode ser calculada pelo número de conforto térmico e do número da qualidade do ar através das seguintes equações 4.4 e 4.5 respetivamente, (Conceição *et al.*, 2012).

$$N_{TC} = \frac{\varepsilon_{TC}}{PPD} \quad (4.4)$$

$$N_{AQ} = \frac{\varepsilon_{AQ}}{PD} \quad (4.5)$$

Em que:

N_{TC} : Número de conforto térmico.

N_{AQ} : Número de qualidade do ar.

ε_{TC} : Eficiência de remoção de calor (%).

ε_{AQ} : Eficiência de remoção dos contaminantes (%).

PPD: Percentagem previsível de pessoas insatisfeitas (%).

PD: Percentagem de pessoas insatisfeitas devido a qualidade do ar (%).

A combinação destas equações é possível determinar a eficiência da remoção de calor, remoção dos contaminantes e o conforto térmico através do ADI (índice de distribuição do ar), representado na equação 4.6.

$$ADI = (N_{TC} \times N_{AQ})^{0,5} \quad (4.6)$$

Em que:

N_{TC} : Número de conforto térmico.

N_{AQ} : Número de qualidade do ar.

A eficiência de remoção de calor é apresentada na seguinte equação 4.7:

$$\varepsilon_{TC} = \frac{T_0 - T_i}{T_{corpo} - T_i} \quad (4.7)$$

Em que:

ε_{TC} : Eficiência de remoção de calor (%).

T_0 : Temperatura do ar na exaustão (°C).

T_i : Temperatura do ar nas entradas (°C).

T_{corpo} : Temperatura média do ar em torno do corpo humano (°C).

O número de qualidade do ar é calculado, na equação 4.8, através da eficiência de remoção do contaminante e a percentagem de pessoas insatisfeitas com a qualidade do ar.

$$N_{AQ} = \frac{\varepsilon_{AQ}}{PD} = \frac{\frac{C_0 - C_i}{C_R - C_i}}{395e^{(-1,83V^{0,25})}} \quad (4.8)$$

N_{AQ} : Número de qualidade do ar.

ε_{AQ} : Eficiência de remoção dos contaminantes (%).

PD: Percentagem de pessoas insatisfeitas devido a qualidade do ar (%).

C_0 : Concentração de contaminante na saída de ar (mg/m^3).

C_i : Concentração de contaminante na entrada de ar (mg/m^3).

C_r : Concentração de contaminante na zona de respiração (mg/m^3).

V: Caudal de ar renovado por ocupante (m^3/h).

4.6. Produção de energia

Nesta dissertação foram usados informações e cálculos em Conceição *et al* (2015) e de um projeto realizado neste âmbito para obter a potência e a radiação solar incidente no Algarve.

A variação da temperatura de funcionamento da célula causa uma variação no rendimento (eficiência) do mesmo, afetando a potência gerada, para o mesmo nível de radiação solar. A potência elétrica produzida pelo módulo é proporcional à radiação solar e à sua área útil, podendo ser calculada pela seguinte equação 4.9.

$$P = G \times A \times \eta \times \rho \quad (4.9)$$

Em que:

P: Potência produzida.

G: Radiação solar (W/m^2).

A: Área do painel (m^2).

η - Rendimento do módulo (STC: *Standard Test Conditions*-condições de referência).

ρ : Variação do rendimento devido à temperatura de funcionamento (%)

O STC é obtido para condições de uma radiação solar incidente (G^r) de $1000 \text{ W}/\text{m}^2$, para uma temperatura de $25 \text{ }^\circ\text{C}$, para uma distribuição espectral (da massa de ar) AM 1.5 e para uma eficiência de 15,51%.

Através da equação 4.10 determina-se a variação do rendimento:

$$\rho = [1 + (T - 25) \times TCP]. \quad (4.10)$$

Em que:

TCP: *Temperature Coefficient for Power* – coeficiente de temperatura para a potência que se considerou $0,41\%/^\circ\text{C}$.

A temperatura de funcionamento do painel fotovoltaico, T, pode ser estimada pela equação 4.11.

$$T_c = T_a + \frac{G \times (NOCT - 20)}{800} \quad (4.11)$$

Em que:

T_a : temperatura do ar ambiente ($^{\circ}\text{C}$).

G: Irradiância na superfície da célula (W/m^2).

NOCT: *Nominal Operating Cell Temperature* - temperatura normal de funcionamento da célula= 46 ($^{\circ}\text{C}$)

O NOCT é dado pelo fabricante e representa a temperatura atingida pela célula em condições “normalizadas” de funcionamento, em circuito aberto, definidas com temperatura ambiente de 20°C , a irradiância na superfície da célula de $800 \text{ W}/\text{m}^2$, distribuição espectral AM1.5 e velocidade do vento maior que $1 \text{ m}/\text{s}$. O NOCT normalmente situa-se entre os 42°C e os 46°C .

5. Metodologia

Neste capítulo é feita uma caracterização de dois casos: sala multifunções e salas comunicantes. A sala multifunções tem como objetivo representar uma sala de convívio como também uma sala de jantar e é ocupada por 16 idosos. As salas comunicantes representam uma sala de convívio e uma sala de jantar que estão ligadas entre si e tem uma ocupação de 24 idosos. É estudado os dois casos para uma possibilidade de implementar na residência de pessoas idosas e em salas com maiores dimensões e comunicantes como lares. Através de softwares como o CFD, HTC e resposta acústica interior é apresentado as imagens resultantes das salas em estudo de cada modelo numérico.

5.1. Caracterização da sala multifunções

A sala multifunções tem dimensões de $4,50 \times 2,55 \times 2,50 \text{ m}^3$ (figura 5.1 a) e é equipada com duas mesas, dezasseis cadeiras, duas condutas de exaustão personalizada, quatro condutas verticais e oito horizontais (figura 5.1 b).

Foram efetuadas simulações em condições de verão e inverno para uma ocupação de 16 pessoas, os indivíduos ocupam uma faixa etária igual ou superior a 60 anos. Na figura 5.2 é apresentado a numeração da localização dos ocupantes usado nas simulações numéricas.

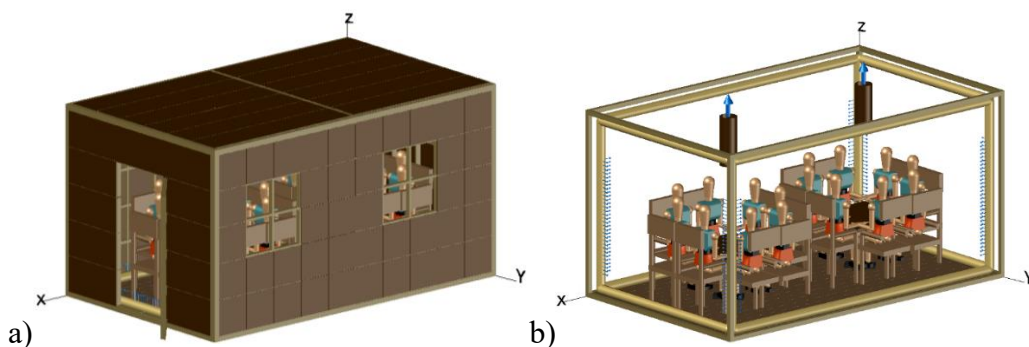


Figura 5.1: Representação da sala multifunções visão exterior alínea a) e visão interior na alínea b).

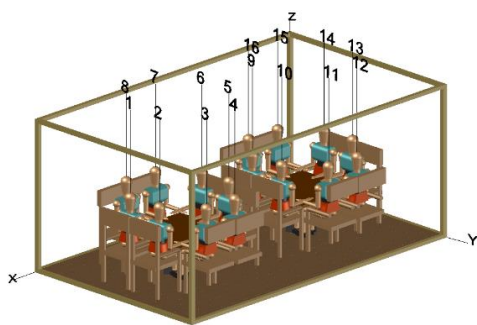


Figura 5.2: Representação da sala multifunções com a numeração dos 16 ocupantes.

Na exaustão personalizada são consideradas duas saídas de ar, a 1,70 m do chão, fixadas no teto e centradas para cada uma das mesas. Esta filosofia melhora o conforto térmico e a qualidade do ar, diminui o risco de transmissão de doenças.

O sistema de condutas verticais apresenta orifícios onde emite jatos horizontais que injetam o ar a baixas velocidades, visto que, as velocidades de ar mais elevadas causam Risco de Resfriamento aos ocupantes mais vulneráveis. As condutas estão localizadas nos cantos do compartimento com 0,15 m de diâmetro e o fluxo de ar perto das paredes. As entradas de ar foram colocadas desde dos 0,15 m até ao 1,70 m, e com uma largura de 0,05m. No transporte de ar para as condutas verticais são usadas condutas horizontais, que se encontram no chão e no teto da sala.

O conforto térmico é influenciado por parâmetros individuais como a atividade física e o vestuário. A atividade física ponderada por parte dos indivíduos é de 1,2 met, o nível de vestuário dos indivíduos considerado para uma situação de verão é de 0,5 clo e para uma situação de Inverno 1 clo. O vestuário considerado no verão consiste em camisa de manga curta, calções e sapatos e no inverno uma camisola, calças, meias e sapatos. Os indivíduos são definidos com 1,70 m de altura e 70 kg de peso.

Neste estudo é usado o modelo HTC para calcular o nível de conforto térmico, desconforto térmico local, qualidade do ar interior. O modelo CFD é usado para obter a distribuição de temperatura do ar, velocidade do ar e temperatura da pele. O modelo de resposta acústica interior é usado no cálculo do tempo de reverberação a que os ocupantes estão sujeitos.

A seguinte tabela (5.2) apresenta os dados de entrada para cada situação da sala multifunções. São apresentados dados para a temperatura do ar de entrada interior, para a temperatura do ar exterior, para o nível de vestuário, para a velocidade nos jatos de entrada das paredes adjacentes (na origem ao x corresponde a 1 m/s e na origem ao eixo y corresponde aos 0,5 m/s, figura 5.1) e para a concentração de dióxido de carbono na sala.

Tabela 5.2: Parâmetros usados nas simulações na sala multifunções.

Situação	Temperatura do ar interior (°C)	Temperatura do ar exterior (°C)	Nível de vestuário dos ocupantes (clo)	Velocidade do ar das condutas verticais (m/s)	Entrada de CO ₂ (mg/m ³)
Situação I verão	25	28	0,5	1 e 0,5	500
Situação II verão	25	38	0,5	1 e 0,5	500
Situação I inverno	20	8	1	1 e 0,5	500
Situação I inverno	20	18	1	1 e 0,5	500

5.1.1. Modelo numérico de escoamento interno

A geração de malha utilizada pelo modelo numérico CFD é baseado numa malha cúbica com 5 cm de lado, como é apresentado na figura 5.3. Nesta situação a malha tem uma dimensão por 90×51×50, com um total de 229500 unidades. Os sistemas de condutas de ventilação verticais e horizontais é realizada através de desenho assistido por um software de design, enquanto a presença dos ocupantes é feita numericamente usando a localização dos ocupantes.

Na figura 5.4 e 5.5 estão presentes os detalhes dos obstáculos internos e os ocupantes.

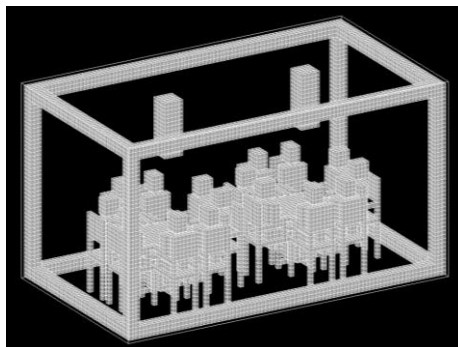


Figura 5.3: Malha da sala multifunções, ocupada por 16 idosos, construído através do modelo CFD.

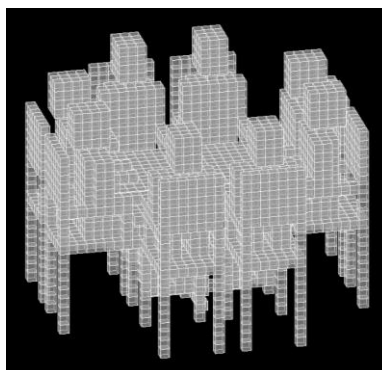


Figura 5.4: Malha de uma das mesas ocupada por oito idosos construído através do modelo CFD.

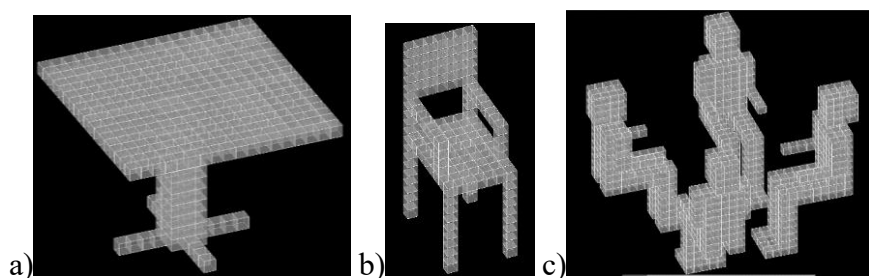


Figura 5.5: Malha da mesa a), cadeira b) e ocupantes c) construído através do modelo CFD.

Os planos escolhidos para análise do escoamento em torno dos ocupantes são apresentados na figura 5.6. O campo transversal é representado pelo plano $X=1,1$ m e o plano longitudinal pelo $Y=1,5$ m.

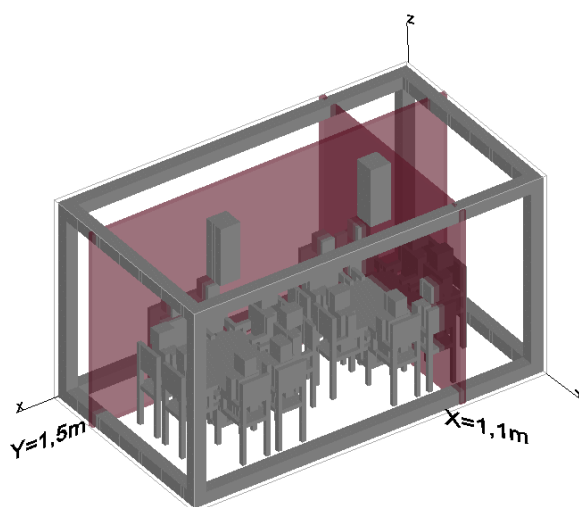


Figura 5.6: Representação dos planos da sala multifunções.

5.1.2. Resposta Térmica Humana

A malha usada no modelo da resposta térmica é baseada em superfícies como representada na figura 5.7. As superfícies dos contornos dos elementos, ou seja, os objetos interiores como mesas, cadeiras, sistemas de condutas de ventilação verticais e horizontais são exportados do modelo numérico CFD. A malha desenvolvida nos contornos dos elementos é usada para avaliar a troca de calor entre os ocupantes e as superfícies envolventes.

Os ocupantes são compostos por cilindros e esferas. A sua localização é exportada do modelo CFD. Nas simulações são consideradas 34428 elementos das superfícies e nos 16 ocupantes, divididos em 25 partes, são considerados 64 elementos (total de 25600 elementos de superfícies). Na figura 5.8 está representada a malha das superfícies dos ocupantes e de uma

mesa com oito idosos enquanto que na figura 5.9 apresenta detalhadamente a mesa e os ocupantes.

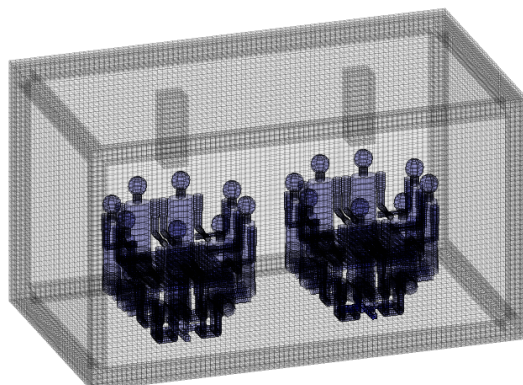


Figura 5.7: Malha da sala de multifunções, ocupada por 16 idosos, usado no modelo HTC.



Figura 5.8: Malha de uma só mesa ocupada por 8 idosos usado no modelo HTC.

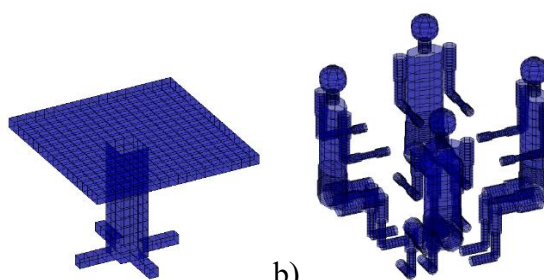


Figura 5.9: Malha da superfície da mesa a) e ocupantes b) usado no modelo HTC.

5.1.3. Resposta acústica interior

Na resposta acústica interior a malha é baseada nas superfícies dos elementos como mesas, cadeiras, pessoas e condutas da sala multifunções, realizada pelo modelo numérico CFD (figura 5.10). A componente acústica é realizada, unicamente nesta sala, devido à grande ocupação num reduzido espaço.

No modelo numérico da resposta acústica interior, antes de calcular o percurso do som, é agrupado as superfícies dos elementos de modo a obter um modelo geométrico mais simplificado, logo os números de elementos de superfícies vão ser menores em relação aos modelos já apresentados, neste caso são num total de 2332 elementos de superfícies.

A figura 5.11 apresenta a malha detalhada das superfícies em uma das mesas ocupadas por oito idosos utilizadas na resposta acústica interior e a figura 5.12 apresenta detalhadamente a mesa, a cadeira e os ocupantes utilizado na propagação do som.

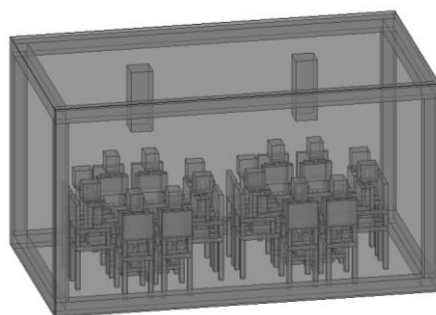


Figura 5.10: Malha dos elementos da sala de estar ocupada por 16 idosos usado na resposta acústica interior.

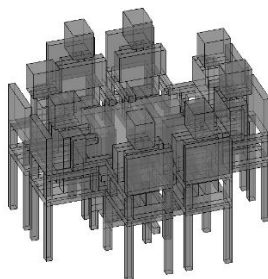


Figura 5.11: Malha dos elementos de uma só mesa ocupada por 8 idosos usado na resposta acústica interior.

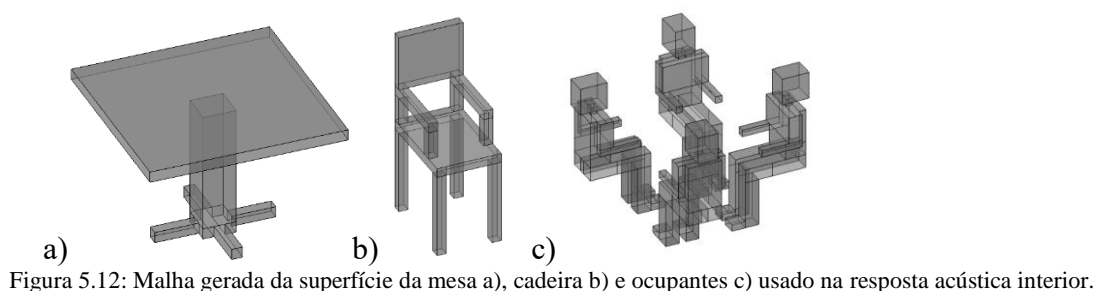


Figura 5.12: Malha gerada da superfície da mesa a), cadeira b) e ocupantes c) usado na resposta acústica interior.

5.2. Caracterização das salas comunicantes

As salas comunicantes (figura 5.13), representam uma sala de jantar com dimensões de $3,15 \times 7,85 \times 3,5 \text{ m}^3$ e a sala de convívio com dimensões de $9 \times 7,9 \times 3,5 \text{ m}^3$.

A sala de jantar (figura 5.14 a) é equipada por condutas verticais com jatos horizontais, duas condutas de exaustão, uma mesa e 12 cadeiras ocupada por 12 idosos. Na sala de convívio (figura 5.14 b) tem também as condutas verticais, duas condutas de exaustão, dois sofás grandes para uma ocupação de 8 idosos e dois sofás pequenos onde se sentam 4 idosos.

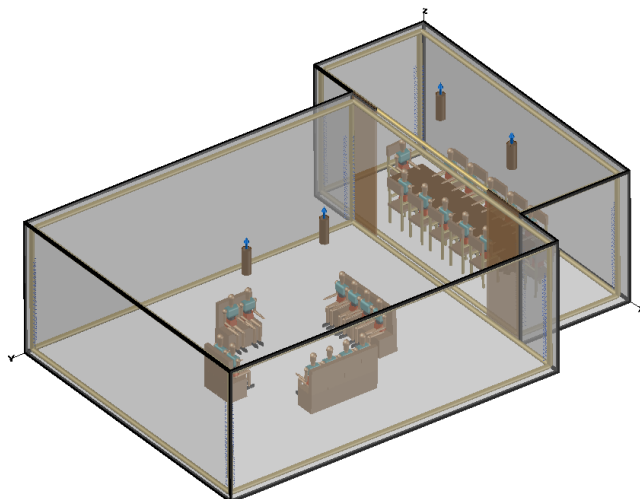


Figura 5.13: Representação das salas comunicantes com 24 idosos.

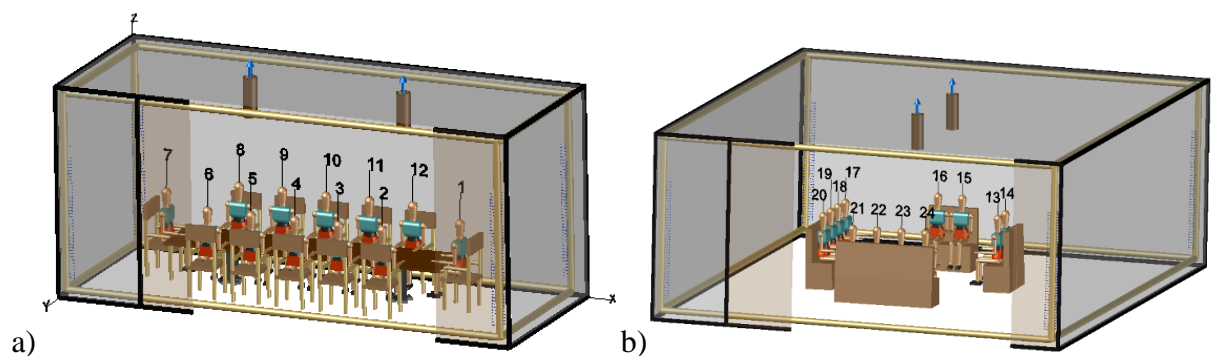


Figura 5.14: Representação da sala de jantar com os 12 idosos devidamente enumerados na alínea a) e a sala de convívio com a enumeração dos 12 idosos na alínea b).

Neste caso as quatro condutas de exaustão encontram-se a 1,80 m do chão, fixadas no teto de cada sala. Os sistemas de condutas verticais estão localizados nos cantos de cada sala com 0,15 m de diâmetro, as entradas de ar foram colocadas desde dos 0,15 m até 1,80 m, e com uma largura de 0,05 m. As condutas horizontais encontram-se no chão e no teto da câmara, como no caso anterior, e tem o mesmo propósito transporte de ar para as condutas verticais.

A tabela 5.3 apresenta os dados usados nas salas comunicantes. Os valores apresentados correspondem às temperaturas de entrada do ar interiores, às temperaturas do ar exteriores, às temperaturas das superfícies da sala, ao nível de vestuário, à concentração de dióxido de carbono e a velocidade nos jatos de entrada da sala de jantar e da sala de convívio.

As velocidades do ar de entrada que correspondem às condutas verticais (figura 5.13) na origem ao eixo do y têm valores de 0,66 m/s (sala de jantar) e de 2 m/s (sala de convívio). A 7,85 m da origem, paralelo ao eixo do y, as condutas verticais da sala de jantar apresentam uma velocidade de 0,66 m/s e na sala de convívio a 7,9 m da origem, paralelo ao eixo do y, apresentam uma velocidade do ar de 2 m/s. As velocidades do ar para as condutas verticais na origem ao eixo x correspondem a 0,3 m/s na sala de jantar e na sala de convívio a 3,15 m paralelo ao eixo do x a velocidade do ar é de 1,67 m/s.

As velocidades do ar foram obtidas pelo comprimento das paredes, ou seja, considerou-se 2 m/s a velocidade do ar de entrada da parede com o maior comprimento e obteve-se as restantes em consideração a essa velocidade do ar.

Tabela 5.3: Parâmetros usados nas simulações das salas comunicantes.

Situação	Temperatura do ar interior (°C)	Temperatura do ar exterior (°C)	Nível de vestuário dos ocupantes (clo)	Velocidade do ar das condutas verticais da sala de jantar (m/s)	Velocidade do ar das condutas verticais da sala de convívio (m/s)	Entrada de CO ₂ (mg/m ³)
Situação verão I	25	28	0,5	0,66; 1,67; 0,66 e 0,3	2; 0,46; 2 e 1,67	500
Situação verão II	25	38	0,5	0,66; 1,67; 0,66 e 0,3	2; 0,46; 2 e 1,67	500
Situação inverno I	20	8	1	0,66; 1,67; 0,66 e 0,3	2; 0,46; 2 e 1,67	500
Situação inverno II	20	18	1	0,66; 1,67; 0,66 e 0,3	2; 0,46; 2 e 1,67	500

5.2.1. Modelo numérico de escoamento interno

Nesta situação a malha é feita por 184×243×70, com um total de 42676 unidades. Os obstáculos interiores será a mesa, cadeiras e os sofás representado pelos cubos. Sistemas de condutas de ventilação e a presença dos ocupantes é concretizado do mesmo modo que o caso anterior. Na figura 5.15 a) e b) é apresentado a malha gerada das salas comunicantes em diferentes perspetivas, enquanto que na figura 5.16 a) e b) estão presentes os detalhes dos ocupantes na sala de convívio e da sala de jantar.

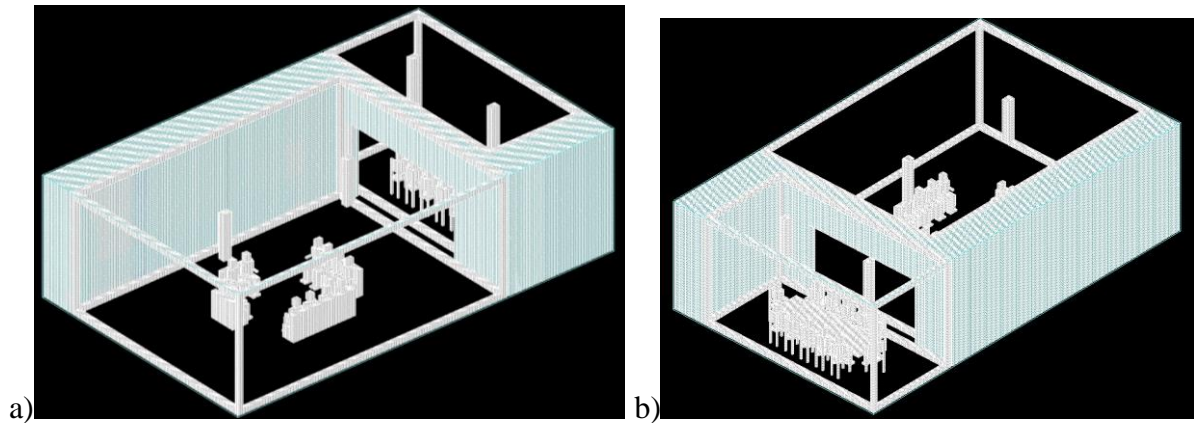


Figura 5.15: Malha das salas comunicantes vista da sala de convívio apresentada na alínea a) e vista da sala de jantar na alínea b), ocupada por 24 idosos construída através do modelo CFD.

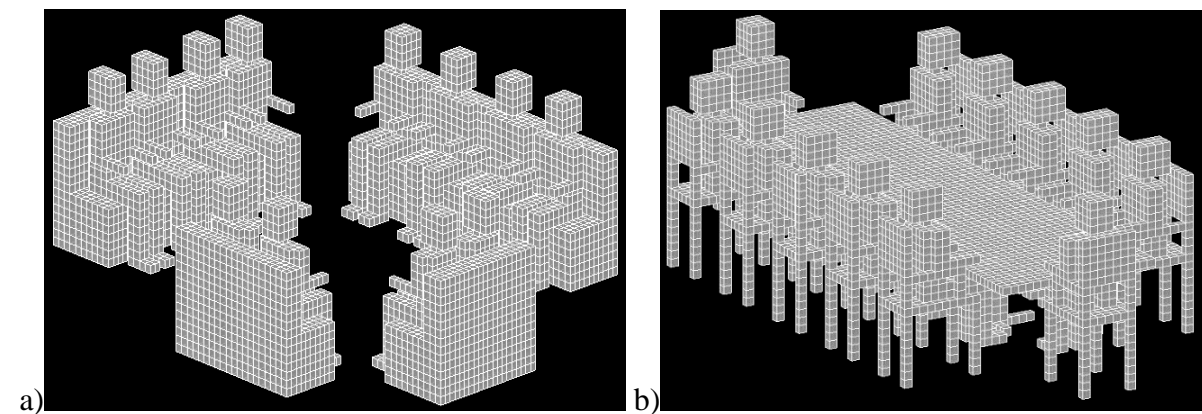


Figura 5.16: Malha gerada dos sofás com os 12 ocupantes a) e da mesa da sala de jantar com os 12 ocupantes b) construída através do modelo CFD.

Na análise do escoamento em torno dos ocupantes os planos escolhidos nas salas comunicantes são apresentados na figura 5.17. O campo transversal é representado pelo plano $X=3,9$ m, o campo longitudinal da sala de convívio é representado pelo plano $Y=4,05$ m e na sala de jantar $Y=9,9$ m.

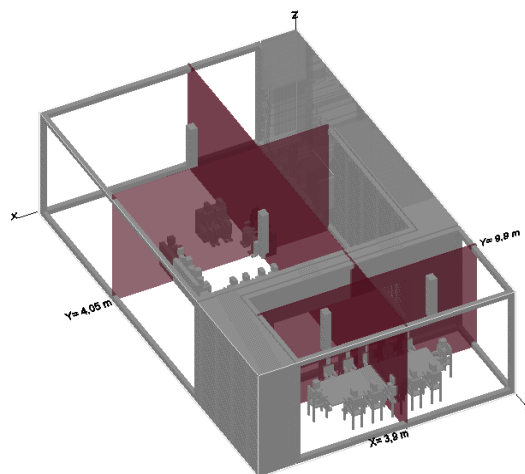


Figura 5.17: Representação dos planos das salas comunicantes.

5.2.2. Resposta Térmica Humana

As superfícies dos contornos dos elementos, como mesa, cadeiras, sofás e as condutas de ventilação, são exportados do modelo numérico CFD. Nas simulações são consideradas 108376 elementos de superfícies, sendo os 24 ocupantes divididos em 25 partes, são considerados 64 elementos (total de 38400 elementos de superfícies). Na figura 5.18 é representado a malha das salas comunicantes através do modelo HTC. O interior da sala de convívio, com os sofás e os 12 ocupantes, pode ser observado na figura 5.19 como também a sala de jantar, com a mesa e os 12 ocupantes.

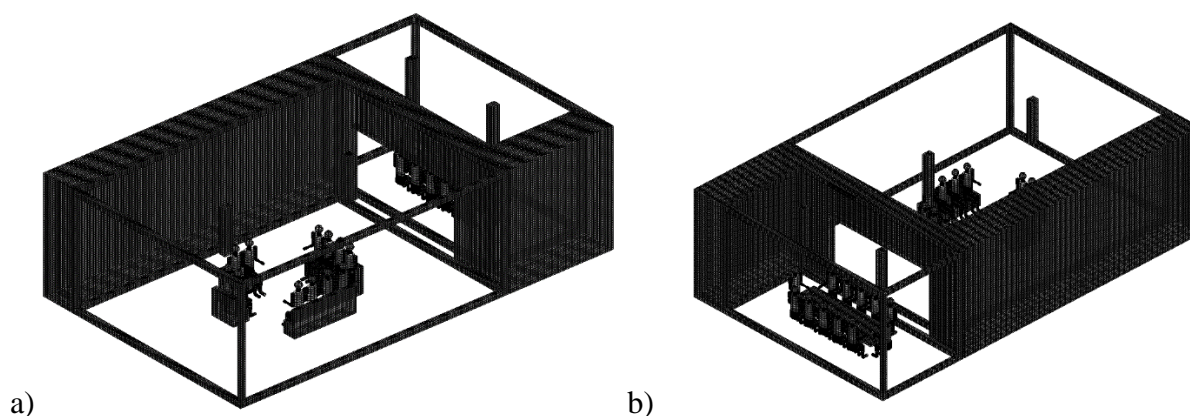


Figura 5.18: Malha das salas comunicantes vista da sala de convívio na alínea a) e vista da sala de jantar na alínea b), ocupada por 24 idosos, construída através do modelo HTC.

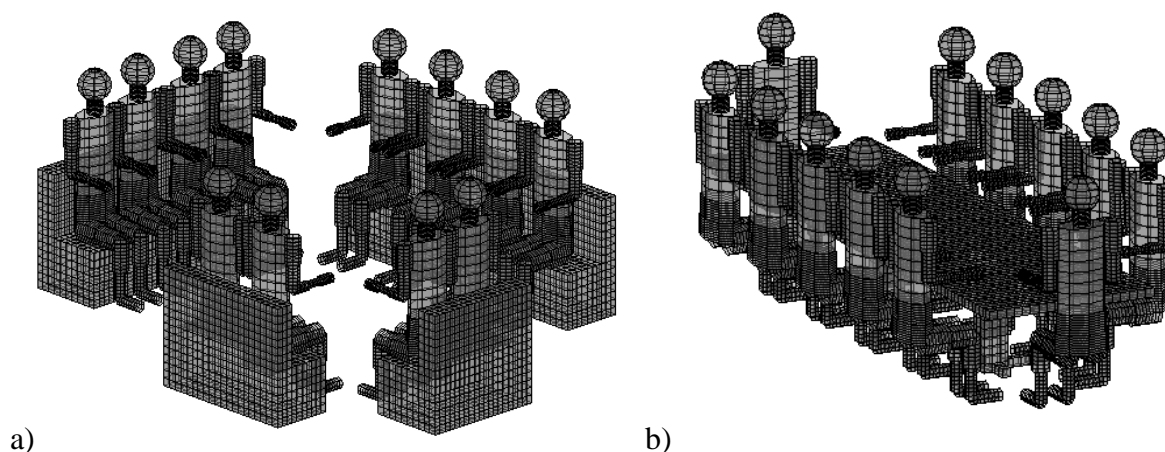


Figura 5.19: Malha da superfície dos sofás com os 12 ocupantes na alínea a) e da mesa da sala de jantar com os 12 ocupantes na alínea b) construída através do modelo HTC.

6. Resultados e discussão

Neste capítulo serão analisados e discutidos os resultados obtidos em condições de verão e inverno, relativos ao sistema de ventilação de condutas verticais com jatos horizontais. É avaliado para a sala multifunções e as duas salas comunicantes 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. O tempo de reverberação só é calculado para a sala multifunções devido ao reduzido espaço na sala e ao elevado nível de ocupação.

6.1. Sala multifunções

Na sala multifunções as temperaturas das superfícies da sala foram determinadas a partir de equações de balanço de energia aplicadas no espaço na tabela 5.4, pode ser observado a temperatura dos corpos interiores, paredes laterais, teto e chão.

Tabela 5.4: Temperatura das superfícies da sala multifunções.

	Verão		Inverno	
	Situação I Ti=25 °C, Text=28 °C	Situação II Ti=25 °C, Text=38 °C	Situação I Ti=20 °C, Text=8 °C	Situação II Ti=20 °C, Text=18 °C
Temperatura das superfícies interiores (°C)	27,32	27,42	22,16	22,27
Temperatura do Chão (°C)	27,41	28,45	20,86	22,79
Temperatura do Teto (°C)	27,49	29,21	19,87	21,44
Temperatura a Norte (°C)	27,44	28,66	20,54	21,69
Temperatura a Sul (°C)	27,44	28,66	20,54	21,69
Temperatura a Este(°C)	27,44	28,66	20,54	21,69
Temperatura a Oeste (°C)	27,44	28,66	20,54	21,69

6.1.1. Escoamento em torno dos ocupantes

Nos resultados, do escoamento em torno dos ocupantes, é possível observar a temperatura do ar e a velocidade do ar nas simulações I e II em condições de verão e inverno para planos transversais e longitudinais. O plano transversal tem uma cota de X=1,1 m e o plano longitudinal tem uma cota de Y=1,5 m.

Na figura 6.20 é apresentado o campo transversal da temperatura do ar e da velocidade do ar no plano X=1,1 m, para uma temperatura de entrada do ar de 25 °C, para uma temperatura do ar exterior 28 °C e para uma velocidade do ar de 1 e 0,5 m. É observado o campo longitudinal

da temperatura do ar e da velocidade do ar no plano $Y=1,5$ m, para as mesmas condições de verão, na figura 6.21.

A figura 6.22 apresenta o campo transversal da temperatura do ar e da velocidade do ar, no plano $X=1,1$ m, para uma temperatura de entrada do ar de 25 °C, para uma temperatura do ar exterior 38 °C e para uma velocidade do ar de 1 e $0,5$ m. O campo longitudinal da temperatura do ar e da velocidade do ar, no plano $Y=1,5$ m é observado na figura 6.23 para as mesmas condições de verão.

O campo transversal da temperatura do ar e da velocidade do ar, no plano $X=1,1$ m, para uma temperatura de entrada do ar de 20 °C, para uma temperatura do ar exterior 8 °C e com uma velocidade do ar de 1 e $0,5$ m é apresentado na figura 6.24. É observado na figura 6.25 o campo longitudinal da temperatura do ar e da velocidade do ar, no plano $Y=1,5$ m para as mesmas condições de inverno.

Na figura 6.26 apresenta o campo transversal da temperatura do ar e da velocidade do ar, no plano $X=1,1$ m, para uma temperatura de entrada do ar de 20 °C, para uma temperatura do ar exterior 18 °C e com uma velocidade do ar de 1 e $0,5$ m. O campo longitudinal da temperatura do ar e da velocidade do ar, no plano $Y=1,5$ m para as mesmas condições de inverno é observado na figura 6.27.

As variáveis T_{in} , T_{ext} e Var apresentam, respetivamente, a temperatura do ar interior, a temperatura do ar exterior e a velocidade do ar.

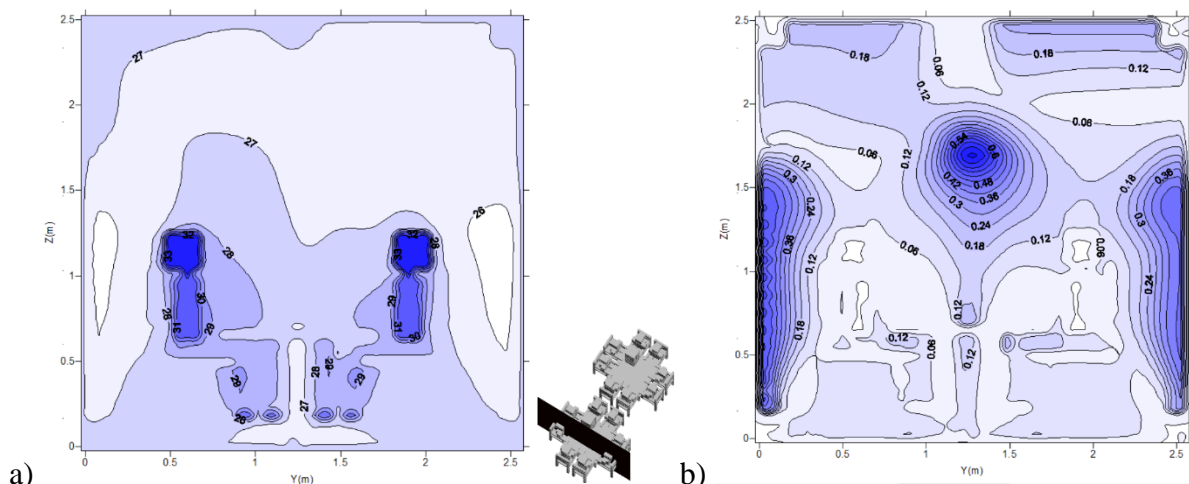


Figura 6.20: Campo da temperatura do ar a) e o campo da velocidade do ar b). Num plano transversal $X=1,1$ m, calculados através do modelo CFD, para a situação I em condições de verão ($T_{in}=25$ °C, $T_{ext}=28$ °C, $Var=1$ e $0,5$ m/s).

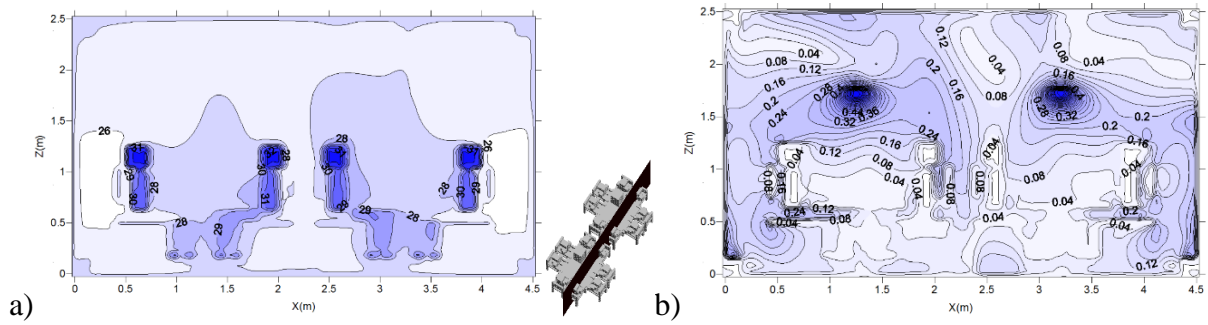


Figura 6.21: Campo da temperatura do ar a) e campo da velocidade do ar b). Num plano longitudinal $Y=1,5$ m, calculados através do modelo CFD, para a situação I em condições de verão ($T_{in}=25$ °C, $T_{ext}=28$ °C, $Var=1$ e $0,5$ m/s).

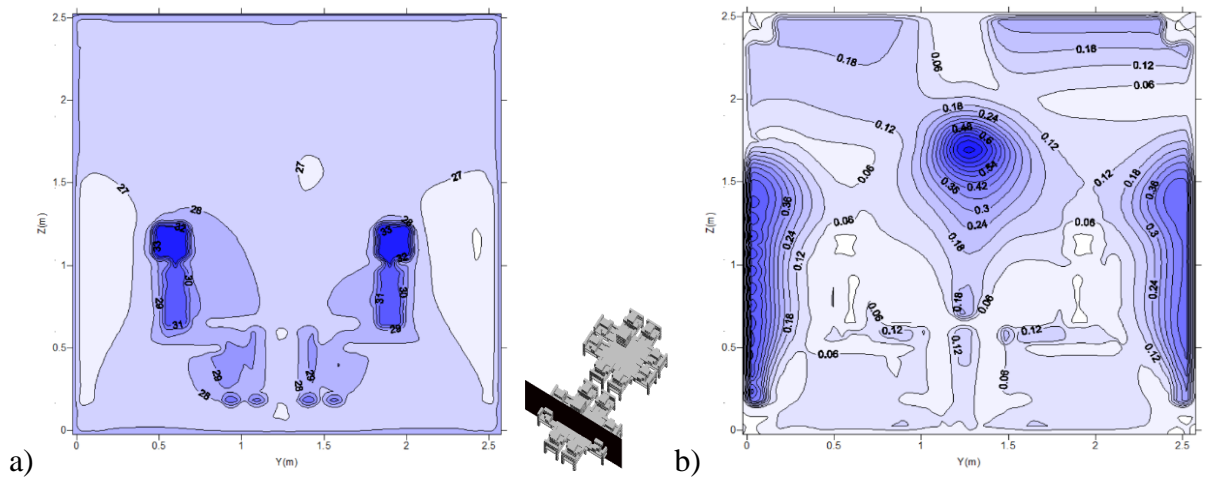


Figura 6.22: Campo da temperatura do ar a) e o campo da velocidade do ar b). Num plano transversal $X=1,1$ m, calculados através do modelo CFD, para a situação I em condições de verão ($T_{in}=25$ °C, $T_{ext}=38$ °C, $Var=1$ e $0,5$ m/s).

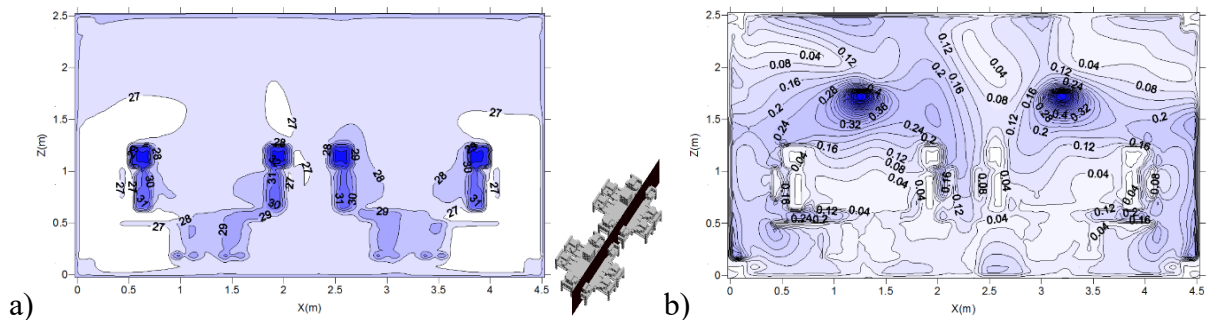


Figura 6.23: Campo da temperatura do ar a) e campo da velocidade do ar b). Num plano longitudinal $Y=1,5$ m, calculados através do modelo CFD, para a situação I em condições de verão ($T_{in}=25$ °C, $T_{ext}=38$ °C, $Var=1$ e $0,5$ m/s).

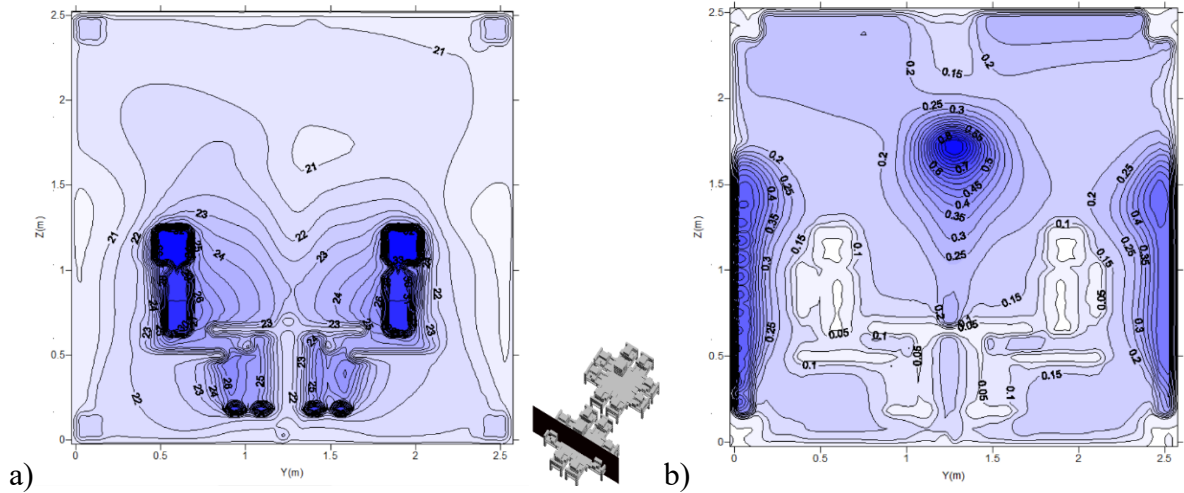


Figura 6.24: Campo da temperatura do ar a) e o campo da velocidade do ar b). Num plano transversal $X=1,1$ m, calculados através do modelo CFD, para a situação I em condições de verão ($T_{in}=20$ °C, $T_{ext}=8$ °C, $Var=1$ e $0,5$ m/s).

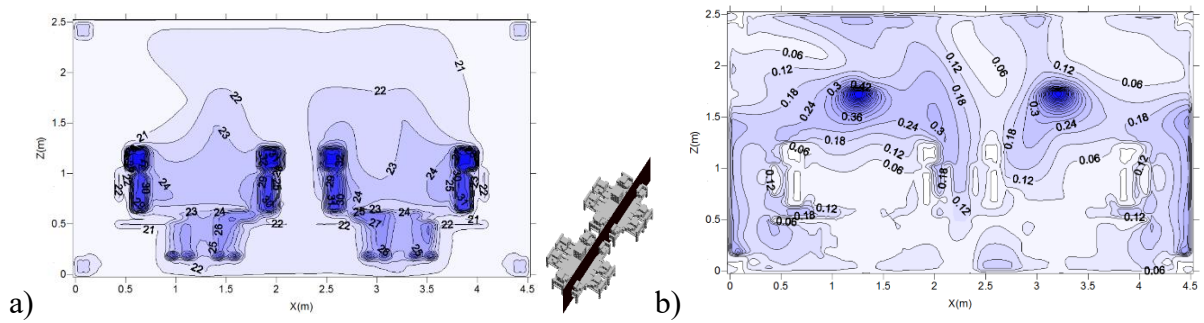


Figura 6.25: Campo da temperatura do ar a) e campo da velocidade do ar b). Num plano longitudinal $Y=1,5$ m, calculados através do modelo CFD, para a situação I em condições de verão ($T_{in}=20$ °C, $T_{ext}=8$ °C, $Var=1$ e $0,5$ m/s).

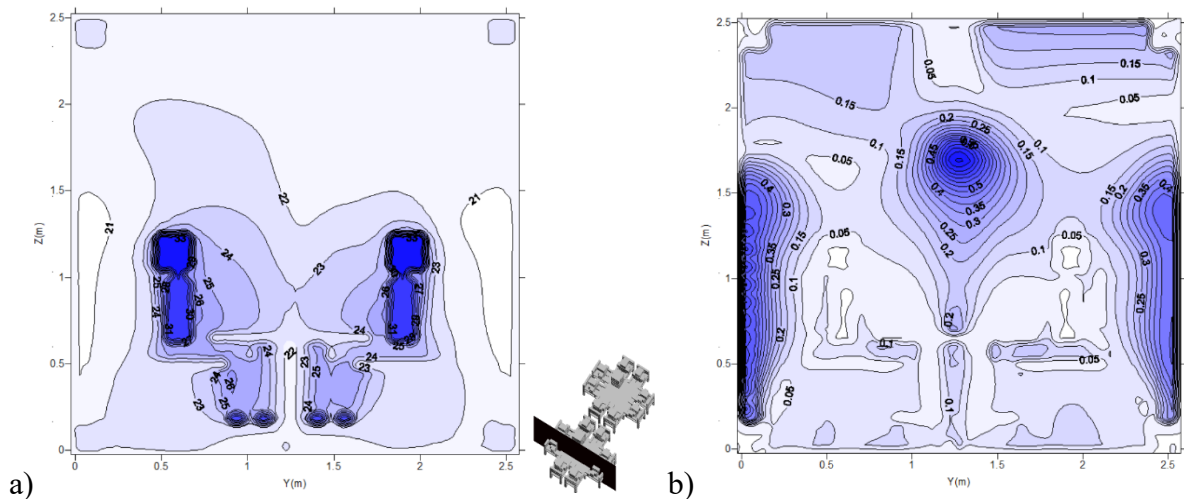


Figura 6.26: Campo da temperatura do ar a) e o campo da velocidade do ar b). Num plano transversal $X=1,1$ m, calculados através do modelo CFD, para a situação I em condições de verão ($T_{in}=20$ °C, $T_{ext}=18$ °C, $Var=1$ e $0,5$ m/s).

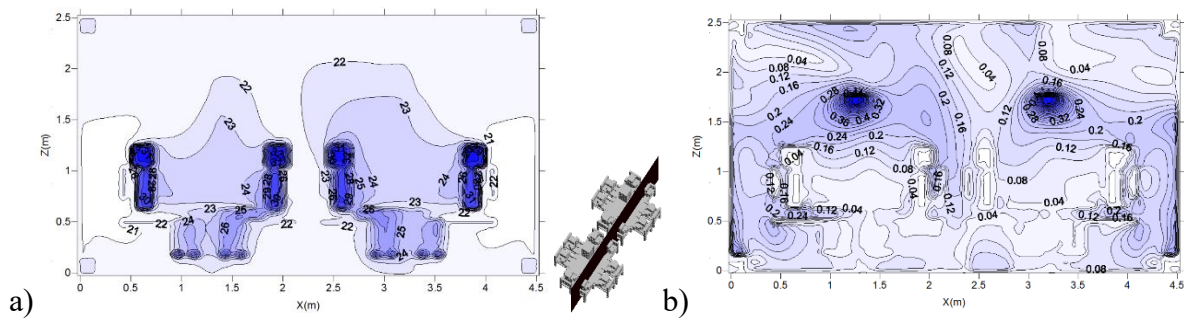


Figura 6.27: Campo da temperatura do ar a) e campo da velocidade do ar b). Num plano longitudinal $Y=1,5$ m, calculados através do modelo CFD, para a situação I em condições de verão ($T_{in}=20$ °C, $T_{ext}=18$ °C, $Var=1$ e $0,5$ m/s).

De acordo com os resultados obtidos, a velocidade do ar apresenta o valor mais elevado em torno dos ocupantes e junto da parede. Os valores são similares nas diferentes condições de verão e de inverno apresentadas. Logo a temperatura do ar não influencia a velocidade do ar. Em todas as situações, é possível observar que a velocidade do ar em torno dos ocupantes é razoavelmente mais baixa.

A temperatura do ar, nas situações I e II em condições de verão, ronda os 33 °C em torno dos ocupantes e no ambiente envolvente ronda os 27 °C. Nas situações I e II em condições de inverno a temperatura do ar em torno dos ocupantes ronda os 30 °C e na zona não ocupada ronda os 22 °C.

6.1.2. Conforto térmico

A avaliação do conforto térmico é analisada através de parâmetros como a distribuição da temperatura do ar em torno das diferentes secções do corpo, da velocidade do ar em torno das diferentes secções do corpo, da temperatura da pele, da temperatura média radiante do nível de atividade física e do nível de vestuário. Nas simulações realizadas em condições de verão e inverno são apresentados os resultados para a distribuição da temperatura do ar em torno das diferentes secções do corpo, da velocidade do ar em torno das diferentes secções do corpo e da temperatura da pele para os 16 ocupantes.

A distribuição da temperatura do ar em torno das diferentes secções do corpo e da velocidade do ar em torno das diferentes secções do corpo são calculados através do software CFD. O modelo HTC utiliza estes dados como valores de entrada, nas simulações, com o objetivo de obter os valores de temperatura da pele para as diferentes secções do corpo humano.

Na figura 6.28 é apresentado a distribuição da temperatura do ar em torno das diferentes secções do corpo, para uma temperatura de entrada do ar de 25 °C, para uma temperatura do ar exterior 28 °C e para uma velocidade do ar de 1 e 0,5 m. A distribuição da velocidade do ar e a temperatura da pele, em torno das secções do corpo dos 16 ocupantes, são apresentadas respetivamente nas figuras 6.29 e 6.30 para as mesmas condições de verão anteriormente referidas.

A distribuição da temperatura do ar em torno das diferentes secções do corpo é apresentada na figura 6.31, para uma temperatura de entrada do ar de 25 °C, para uma temperatura do ar exterior 38 °C e para uma velocidade do ar de 1 e 0,5 m. A distribuição da velocidade do ar em torno das diferentes secções do corpo, dos 16 ocupantes, para as mesmas condições de verão observa-se na figura 6.32. A distribuição da temperatura da pele em torno das secções do corpo dos ocupantes, é apresentada também para as mesmas condições de verão na figura 6.33.

A figura 6.34 apresenta a distribuição da temperatura do ar em torno das secções do corpo humano para uma temperatura de entrada do ar de 20 °C, para uma temperatura do ar exterior 8 °C e para uma velocidade do ar de 1 e 0,5 m. A distribuição da velocidade do ar em torno das diferentes secções do corpo é observada na figura 6.35 e a temperatura da pele na figura 6.36, para as mesmas condições de inverno em cima referidas.

Na figura 6.37 é apresentado a distribuição da temperatura do ar em torno das secções do corpo humano, para uma temperatura de entrada do ar de 20 °C, para uma temperatura do ar exterior 18 °C e para uma velocidade do ar de 1 e 0,5 m. A distribuição da velocidade do ar em torno das diferentes secções do corpo e a temperatura da pele, são apresentadas respetivamente nas figuras 6.38 e 6.39 para as mesmas condições de inverno anteriormente referidas.

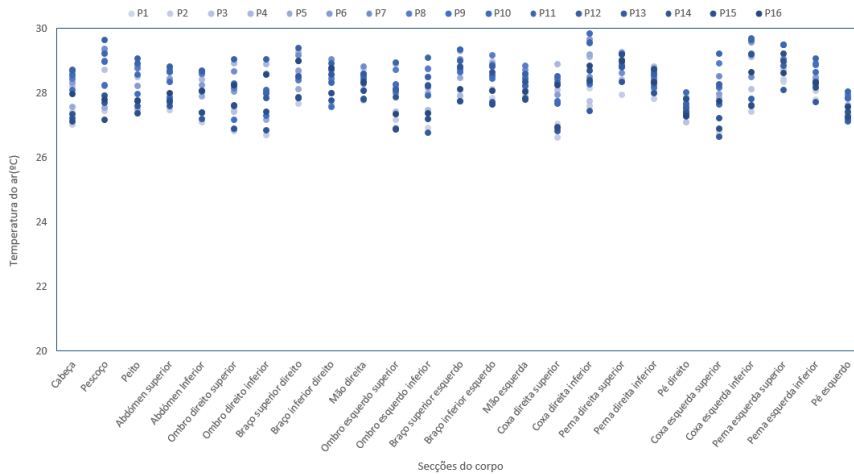


Figura 6.28: Distribuição da temperatura do ar em torno das secções do corpo dos 16 ocupantes. Situação I em condições de verão ($T_{in}=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=28\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=1$ e $0,5\text{ m/s}$).

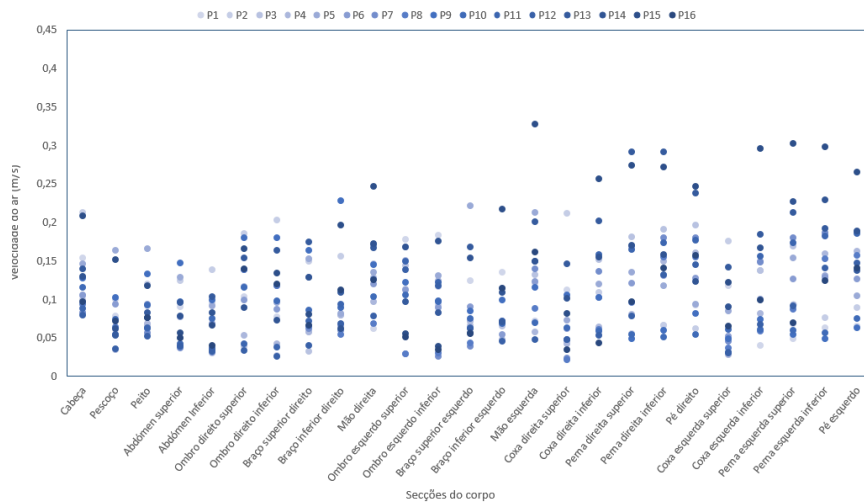


Figura 6.29: Distribuição da velocidade do ar em torno das secções do corpo dos 16 ocupantes. Situação I em condições de verão ($T_{in}=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=28\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=1$ e $0,5\text{ m/s}$).

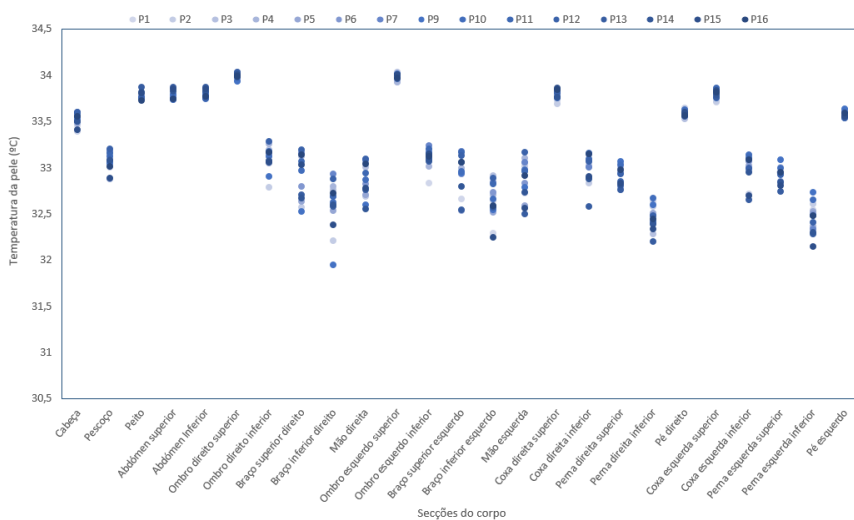


Figura 6.30: Distribuição da temperatura pele em torno das secções do corpo dos 16 ocupantes. Situação I em condições de verão ($T_{in}=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=28\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=1$ e $0,5\text{ m/s}$).

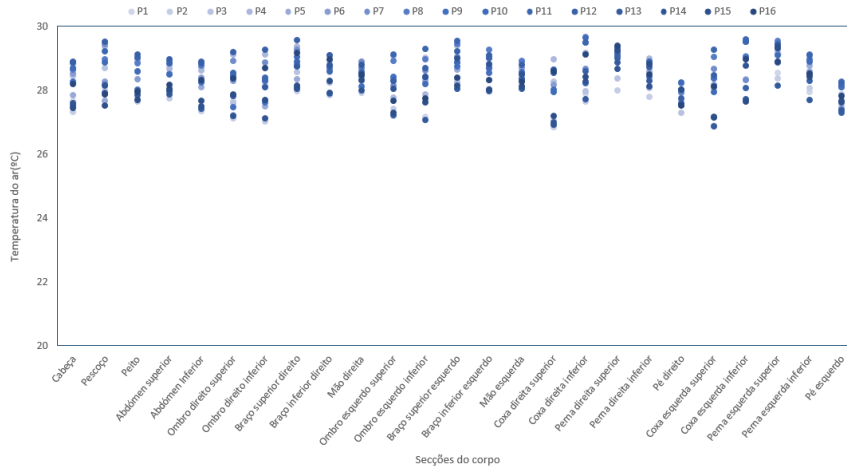


Figura 6.31: Distribuição da temperatura do ar em torno das secções do corpo dos 16 ocupantes. Situação II em condições de verão ($T_{in}=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=38\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=1$ e $0,5\text{ m/s}$).

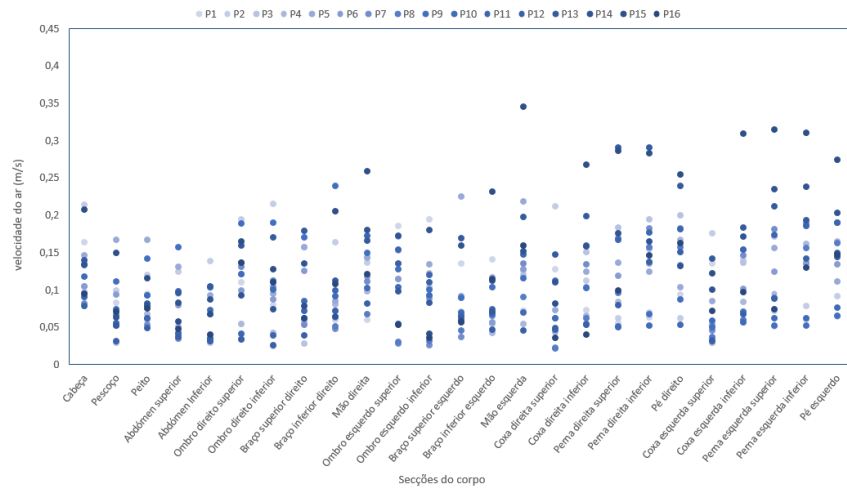


Figura 6.32: Distribuição da velocidade do ar em torno das secções do corpo dos 16 ocupantes. Situação II em condições de verão ($T_{in}=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=38\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=1$ e $0,5\text{ m/s}$).

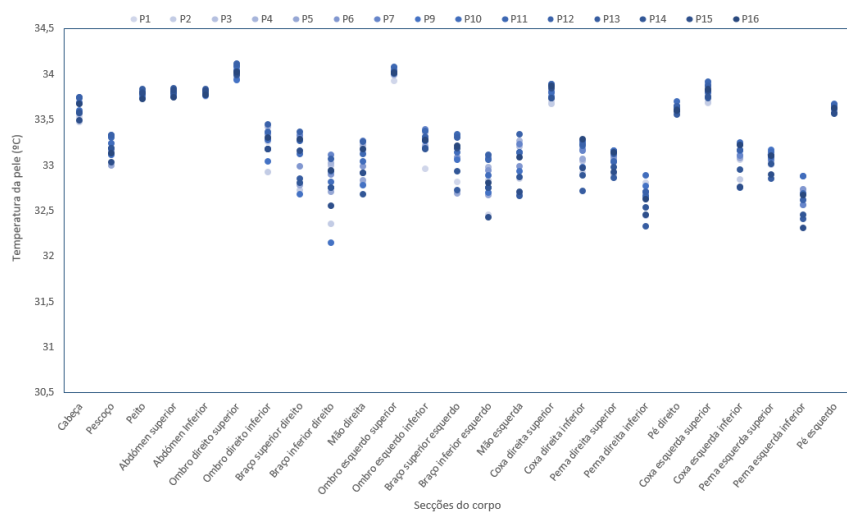


Figura 6.33: Distribuição da temperatura pele em torno das secções do corpo dos 16 ocupantes. Situação II em condições de verão ($T_{in}=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=38\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=1$ e $0,5\text{ m/s}$).

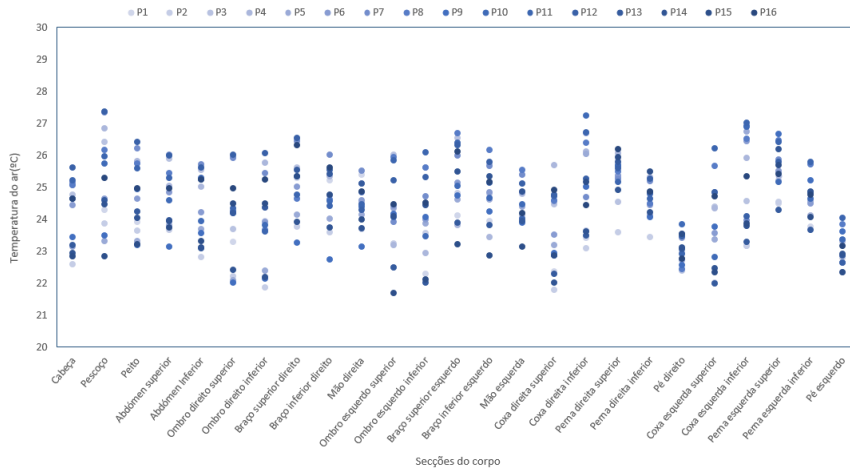


Figura 6.34: Distribuição da temperatura do ar em torno das secções do corpo dos 16 ocupantes. Situação I em condições de inverno ($T_{in}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=8\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=1$ e $0,5\text{ m/s}$).

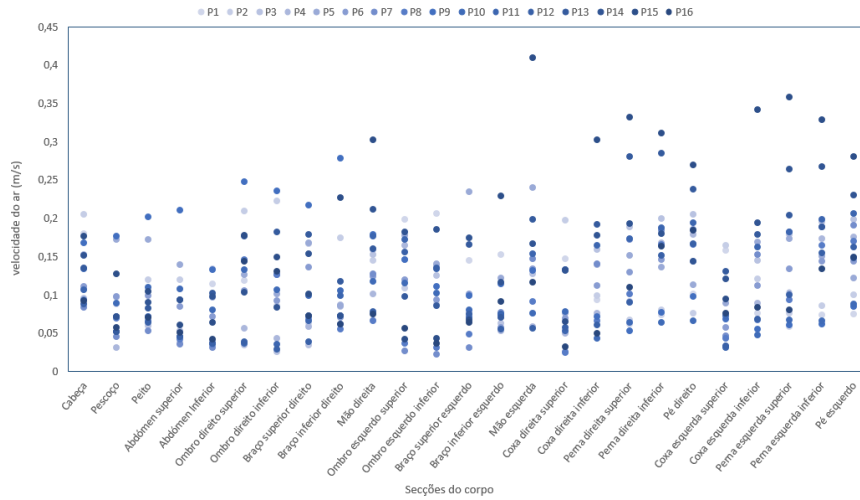


Figura 6.35: Distribuição da velocidade do ar em torno das secções do corpo dos 16 ocupantes. Situação I em condições de inverno ($T_{in}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=8\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=1$ e $0,5\text{ m/s}$).

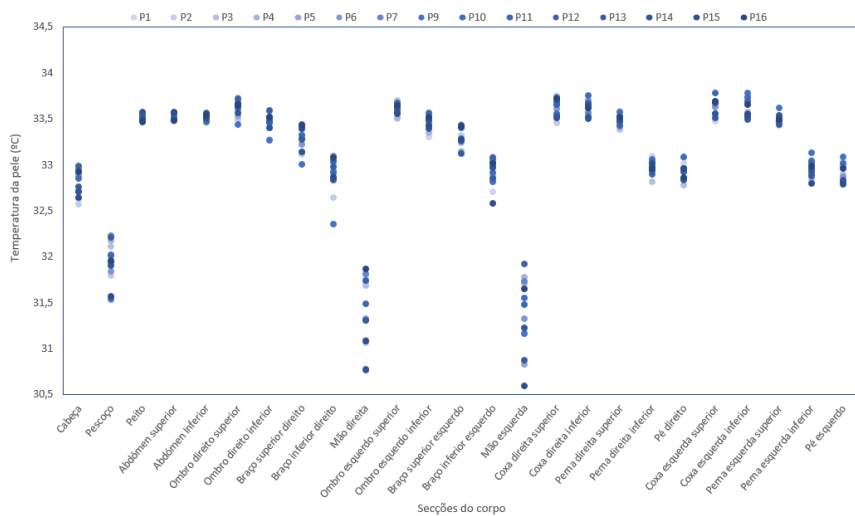


Figura 6.36: Distribuição da temperatura da pele em torno das secções do corpo dos 16 ocupantes. Situação I em condições de inverno ($T_{in}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=8\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=1$ e $0,5\text{ m/s}$).

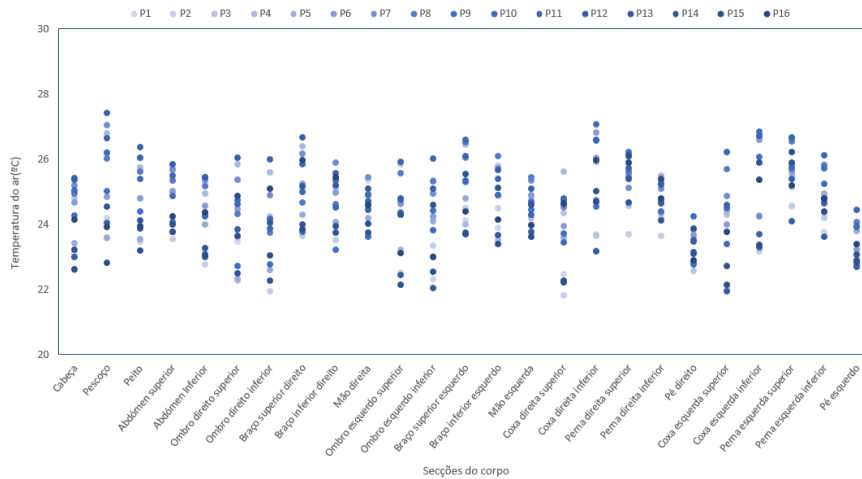


Figura 6.37: Distribuição da temperatura do ar em torno das secções do corpo dos 16 ocupantes. Situação II em condições de inverno ($T_{in}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=18\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=1$ e $0,5\text{ m/s}$).

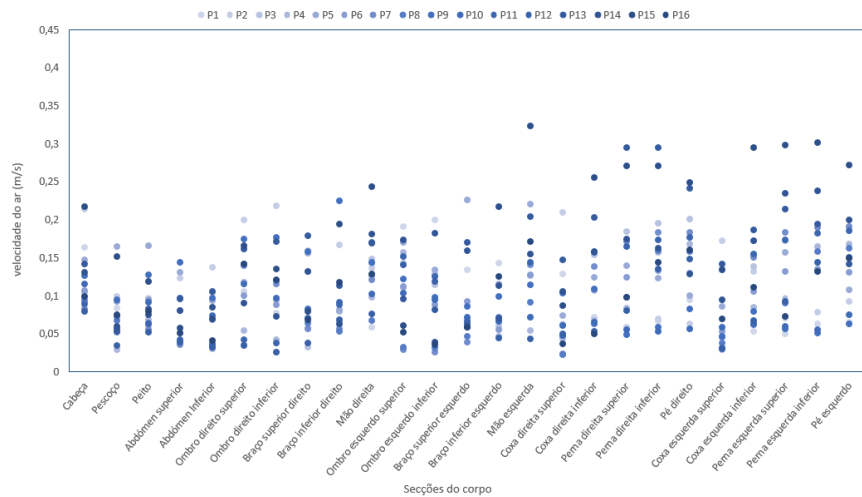


Figura 6.38: Distribuição da velocidade do ar em torno das secções do corpo dos 16 ocupantes. Situação II em condições de inverno ($T_{in}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=18\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=1$ e $0,5\text{ m/s}$).

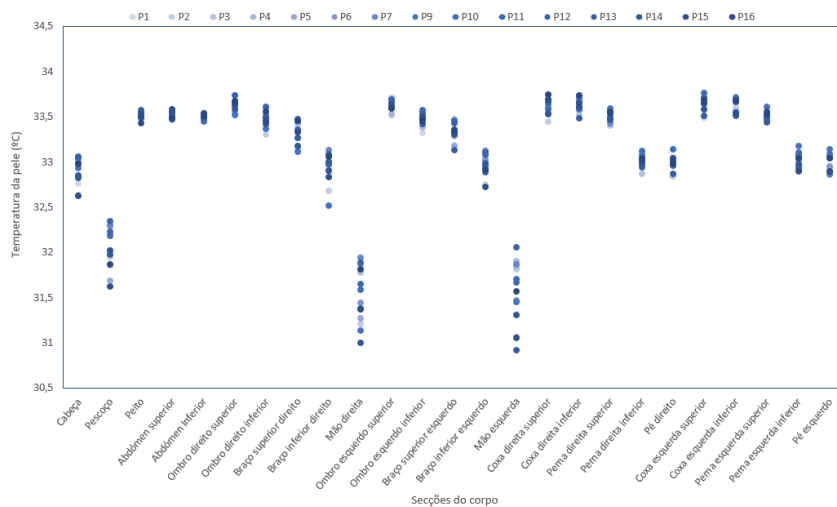


Figura 6.39: Distribuição da temperatura da pele em torno das secções do corpo dos 16 ocupantes. Situação II em condições de inverno ($T_{in}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=18\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=1$ e $0,5\text{ m/s}$).

Através da observação dos resultados obtidos para a temperatura do ar em torno das diferentes secções do corpo, nas diferentes situações apresentadas, pode-se concluir que em condições de verão a temperatura do ar em torno das diferentes secções do corpo é mais elevada do que em condições de inverno. Não existe grandes diferenças nas situações I e II em condições de verão como também nas situações I e II em condições de inverno.

Em relação à velocidade do ar em torno das diferentes secções do corpo observa-se que, de uma forma geral, é igual para todas as situações. Os valores apresentados, nas diferentes situações, indicam que é mais elevado nos membros inferiores do que nos membros superiores e no tronco.

Os resultados relacionados com a temperatura da pele apresentam valores mais elevados nas secções do corpo protegidas pelo vestuário. Esta conotação é mais notória em condições de verão do que em condições de inverno, visto que, o nível de vestuário também é mais elevado no inverno. A temperatura da pele nos membros superiores decresce desde os ombros até às mãos e nos membros inferiores decresce desde as coxas até aos pés.

No conforto térmico dos ocupantes é também apresentado os valores de índice do PMV (*Predicted Mean Vote*) em condições de verão e inverno. Em condições de verão é também utilizado o índice de aPMV de conforto adaptativo com o intuito de comparar esses valores com o índice do PMV anteriormente referido.

Na figura 6.40 é apresentado os valores do índice de PMV para os 16 ocupantes em condições de verão e de inverno. Em condições de verão a temperatura de entrada do ar é de 25 °C, as temperaturas exteriores são de 28 °C (situação I) e de 38 °C (situação II). Em condições de inverno a temperatura de entrada do ar é de 20 °C, para temperaturas exteriores de 8 °C (situação I) e de 18 °C (situação II).

O índice do aPMV é apresentado na figura 6.41 para os 16 ocupantes em condições de verão, para uma temperatura de entrada do ar de 25 °C, para temperaturas exteriores de 28 °C (situação I) e de 38 °C (situação II).

Os resultados do índice de PMV indica que os níveis de conforto térmico em condições de verão não estão aceitáveis ao contrário das condições de inverno. Os valores menos aceitáveis são observados em temperaturas exteriores mais elevadas.

A partir do conforto adaptativo do índice de aPMV para as condições de verão, verifica-se uma grande melhoria no nível de conforto térmico dos ocupantes.

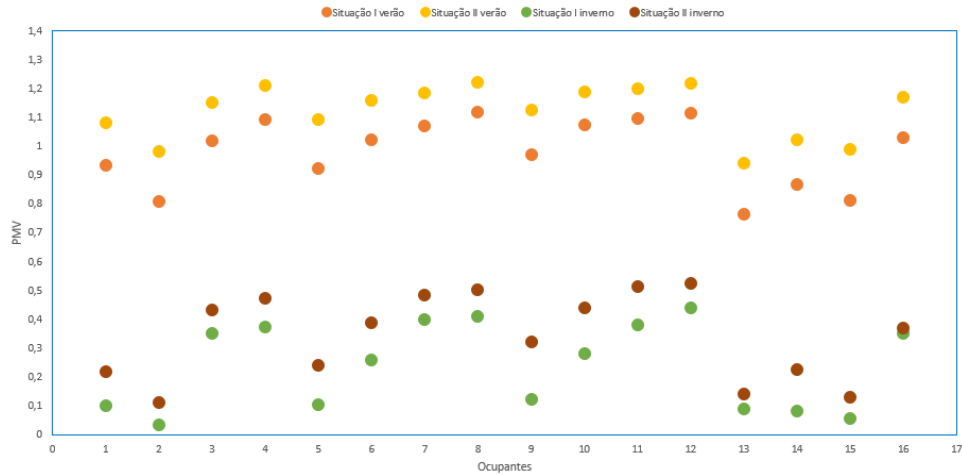


Figura 6.40: Valores do índice de PMV em condições de verão e de inverno. Situação I em condições de verão ($T_{in}=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=28\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=1$ e $0,5\text{ m/s}$), situação II em condições de verão ($T_{in}=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=38\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=1$ e $0,5\text{ m/s}$), situação I em condições de inverno ($T_{in}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=8\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=1$ e $0,5\text{ m/s}$) e situação II em condições de inverno ($T_{in}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=18\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=1$ e $0,5\text{ m/s}$).

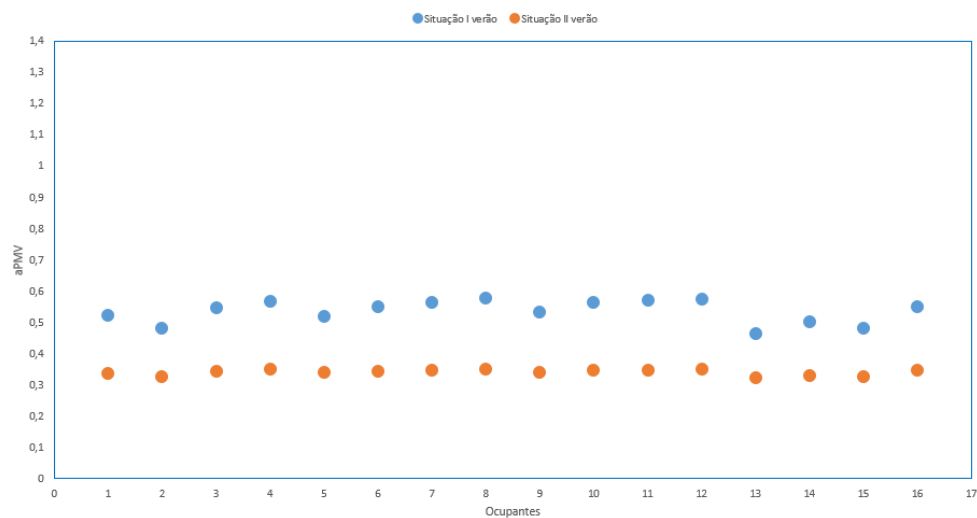


Figura 6.41: Valores de índice aPMV em condições de verão. Situação I em condições de verão ($T_{in}=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=28\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=1$ e $0,5\text{ m/s}$), situação II em condições de verão ($T_{in}=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=38\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=1$ e $0,5\text{ m/s}$).

6.1.3. Desconforto térmico

O desconforto térmico é avaliado através do Risco de Resfriamento (*DR-Draught Risk*), que pode ser originado pelas correntes de ar que arrefece a superfície do corpo humano.

A intensidade de turbulência é também analisada nas seguintes figuras, pode-se observar a percentagem de intensidade de turbulência em torno das diferentes secções do corpo dos ocupantes.

A percentagem da intensidade de turbulência do ar em torno das secções do corpo dos 16 ocupantes, observa-se na figura 6.42 em condições de verão, para uma temperatura de entrada do ar de 25 °C, para uma temperatura do ar exterior 28 °C e para uma velocidade do ar de 1 e 0,5 m. Na figura 6.43 é apresentado a percentagem de pessoas insatisfeitas devido ao Risco de Resfriamento para as mesmas condições de verão.

Na figura 6.44 é apresentado a percentagem da intensidade de turbulência do ar em torno das secções do corpo dos 16 ocupantes, em condições de verão, para uma temperatura de entrada do ar de 25 °C, para uma temperatura do ar exterior 38 °C e para uma velocidade do ar de 1 e 0,5 m. O Risco de Resfriamento, para as mesmas condições de verão, é observado na figura 6.45.

A intensidade de turbulência do ar, em condições de inverno, observa-se na figura 6.46 a percentagem em torno das secções do corpo dos 16 ocupantes, para uma temperatura de entrada do ar de 20 °C, para uma temperatura do ar exterior 8 °C e para uma velocidade do ar de 1 e 0,5 m. Nas mesmas condições de inverno, é apresentado na figura 6.47 a percentagem de pessoas insatisfeitas devido ao Risco de Resfriamento.

A figura 6.48, em condições de inverno, apresenta a intensidade de turbulência do ar em torno das secções do corpo dos 16 ocupantes para uma temperatura de entrada do ar de 20 °C, para uma temperatura do ar exterior de 18 °C e para uma velocidade do ar de 1 e 0,5 m. Na figura 6.49 é observado a percentagem de pessoas insatisfeitas devido ao Risco de Resfriamento para as mesmas condições de inverno.

As variáveis Tin, Text e Var apresentam, respetivamente, a temperatura da entrada do ar, a temperatura do ar exterior e a velocidade do ar.

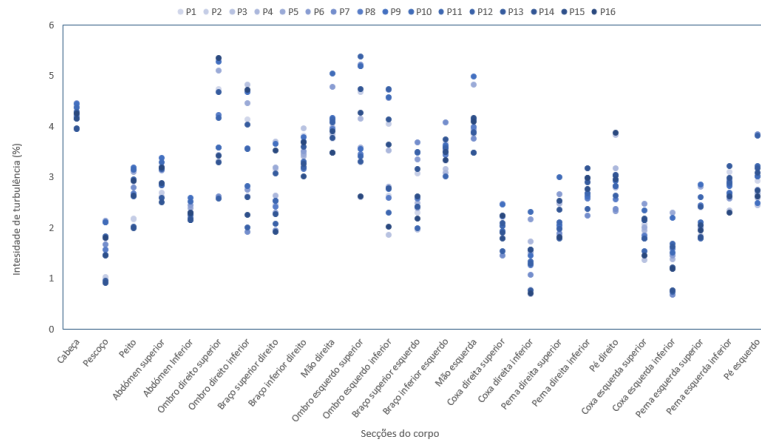


Figura 6.42: Intensidade de turbulência do ar, em %, em torno das secções do corpo dos 16 ocupantes. Situação I em condições de verão ($T_{in}=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=28\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=1$ e $0,5\text{ m/s}$).

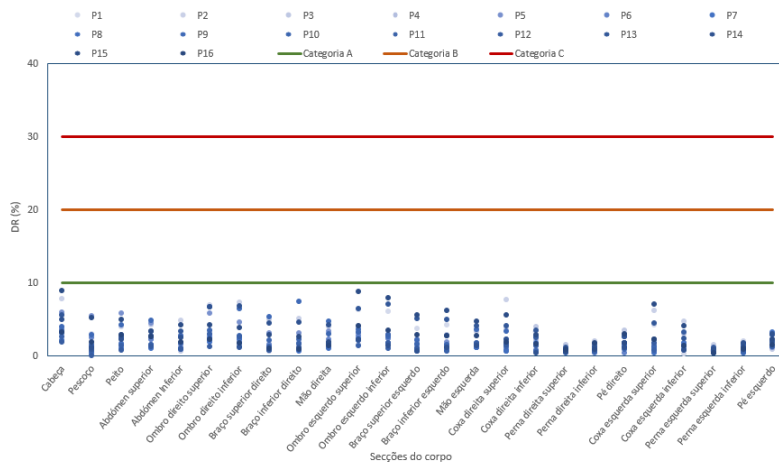


Figura 6.43: Risco de Resfriamento em torno das secções do corpo dos 16 ocupantes. Situação I em condições de verão ($T_{in}=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=28\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=1$ e $0,5\text{ m/s}$).

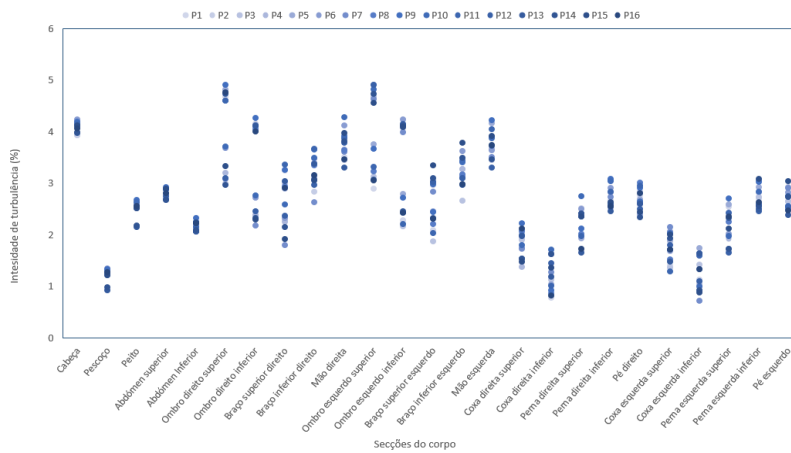


Figura 6.44: Intensidade de turbulência do ar, em %, em torno das secções do corpo dos 16 ocupantes. Situação II em condições de verão ($T_{in}=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=38\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=1$ e $0,5\text{ m/s}$).

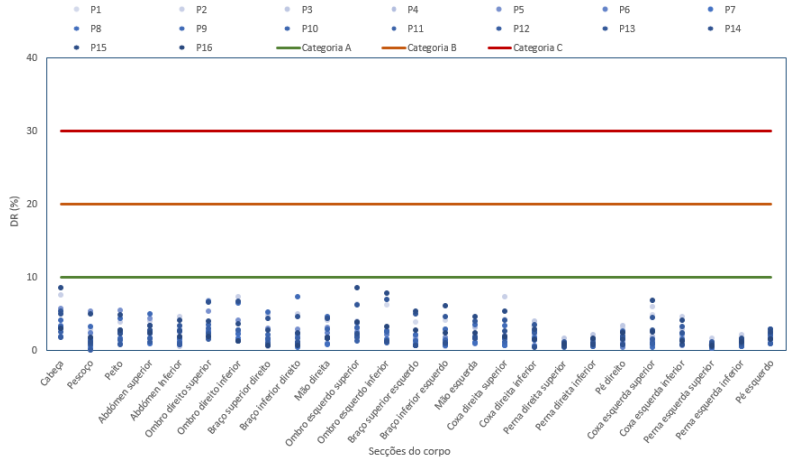


Figura 6.45: Risco de Resfriamento em torno das secções do corpo dos 16 ocupantes. Situação II em condições de verão ($T_{in}=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=38\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=1$ e $0,5\text{ m/s}$).

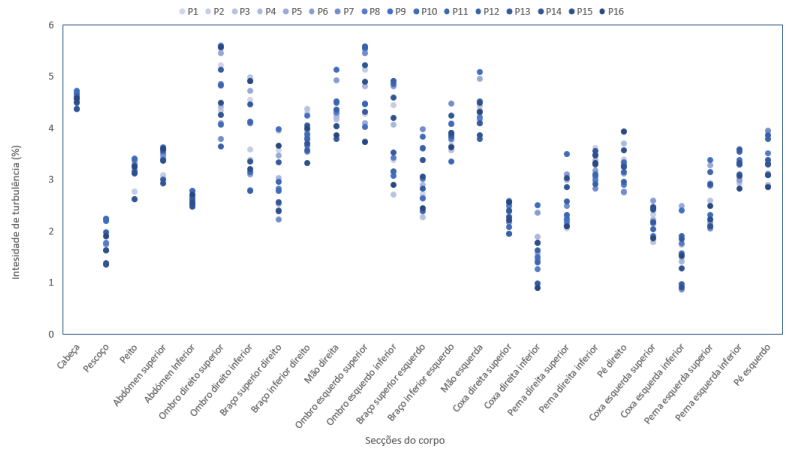


Figura 6.46: Intensidade de turbulência do ar, em %, em torno das secções do corpo dos 16 ocupantes. Situação I em condições de inverno ($T_{in}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=8\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=1$ e $0,5\text{ m/s}$).

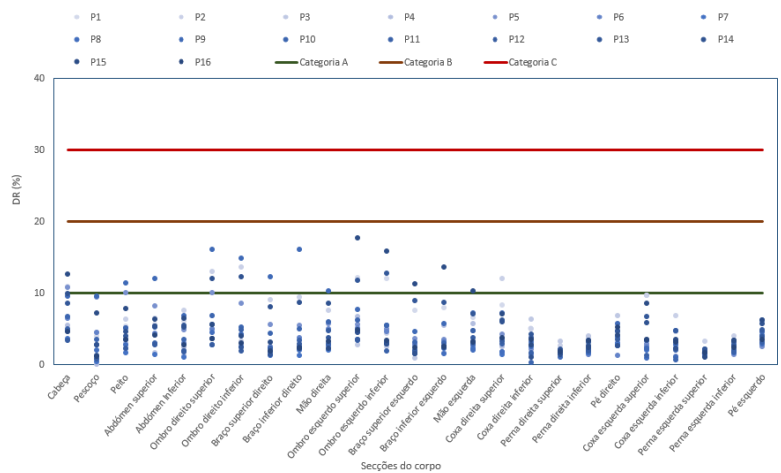


Figura 6.47: Risco de Resfriamento em torno das secções do corpo dos 16 ocupantes. Situação I em condições de inverno ($T_{in}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=8\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=1$ e $0,5\text{ m/s}$).

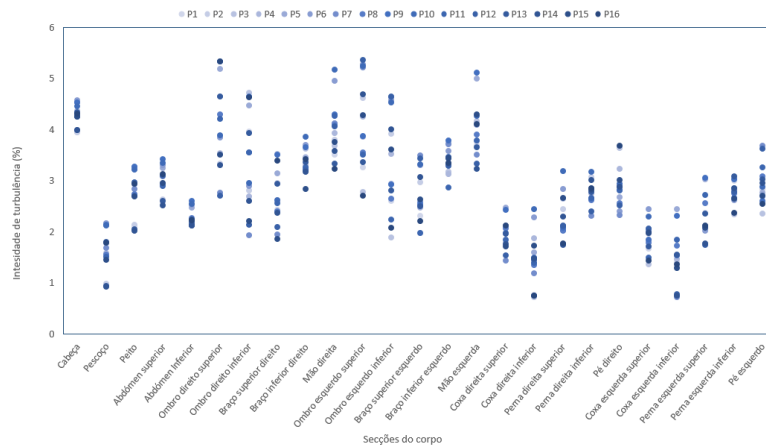


Figura 6.48: Intensidade de turbulência do ar, em %, em torno das secções do corpo dos 16 ocupantes. Situação II em condições de inverno ($T_{in}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=18\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=1$ e $0,5\text{ m/s}$).

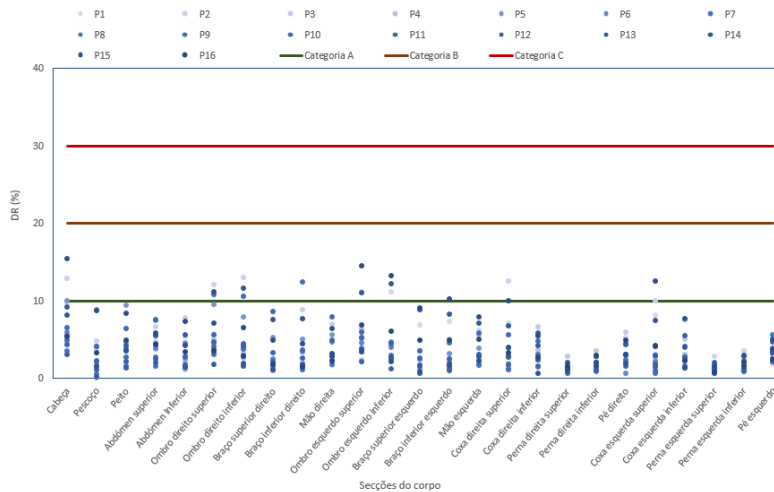


Figura 6.49: Risco de Resfriamento em torno das secções do corpo dos 16 ocupantes. Situação II em condições de verão ($T_{in}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=18\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=1$ e $0,5\text{ m/s}$).

A intensidade de turbulência do ar em todas as situações é inferior a 6%. A intensidade de turbulência do ar é similar em condições de verão como em condições de inverno. Verifica-se, ainda, que a intensidade de turbulência do ar é ligeiramente mais elevada nos membros superiores do que no tronco e nos membros inferiores. Em termos médios a intensidade de turbulência do ar nos membros superiores diminui dos ombros até as mãos, enquanto que nos membros inferiores aumenta da coxa até aos pés.

Em relação ao Risco de Resfriamento, verifica-se que é mais elevado em condições de inverno, do que as com as condições de verão. No inverno o Risco de Resfriamento é mais elevado para temperaturas do ar exteriores mais baixas. Em condições de verão apresenta

condições aceitáveis para a categoria A, enquanto que em condições inverno apresenta condições aceitáveis para a categoria B da ISO 7730 (2005).

6.1.4. Qualidade do ar

A qualidade do ar na sala multifunções é analisada através da concentração de dióxido de carbono num plano longitudinal $Y=1,5$ m.

A concentração de dióxido de carbono em condições de verão é apresentada na figura 6.50 para a situação I, para uma temperatura de entrada do ar de 25 °C, para uma temperatura do ar exterior de 28 °C e para uma velocidade do ar de 1 e $0,5$ m/s. A situação II é apresentada na figura 6.51 para uma temperatura de entrada do ar de 25 °C, para uma temperatura do ar exterior de 38 °C e para uma velocidade de 1 e $0,5$ m/s.

Em condições de inverno a concentração de dióxido de carbono é observado na figura 6.52 para uma temperatura de entrada do ar de 20 °C, para uma temperatura do ar exterior de 8 °C e para uma velocidade do ar de 1 e $0,5$ m/s. Na figura 6.53 é apresentado a concentração de dióxido de carbono para uma temperatura de entrada do ar de 20 °C, para uma temperatura do ar exterior de 18 °C e para uma velocidade do ar de 1 e $0,5$ m/s.

As condições de Tin, Text, Var e CO₂ apresentam, respetivamente, a temperatura do ar interior, a temperatura do ar exterior, a velocidade do ar e a concentração de dióxido de carbono.

Através dos resultados obtidos verifica-se que a concentração de dióxido de carbono junto à zona de respiração dos ocupantes é mais elevada. Na zona não ocupada a concentração de dióxido de carbono apresenta um valor sensivelmente igual à concentração do ambiente exterior.

Para além disso, em algumas situações, é visível que as isolinhas representadas na zona de respiração dos ocupantes aproximam-se das condutas de exaustão colocadas no teto da sala multifunções. Dessa forma, reduz a dispersão dos contaminantes pela sala.

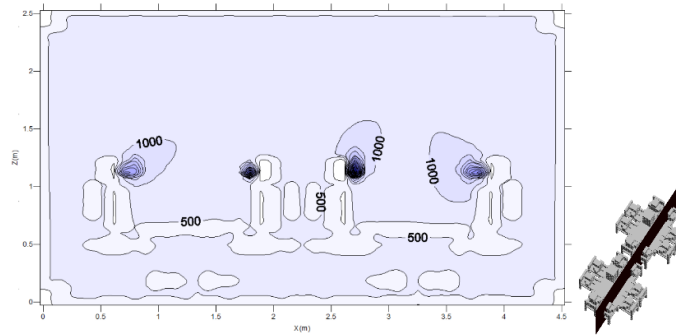


Figura 6.50: Concentração de CO₂ num plano longitudinal, Y=1,5 m. Situação I em condições de verão (T_{in}=25 °C, T_{ext}=28 °C, Var=1 e 0,5 m/s).

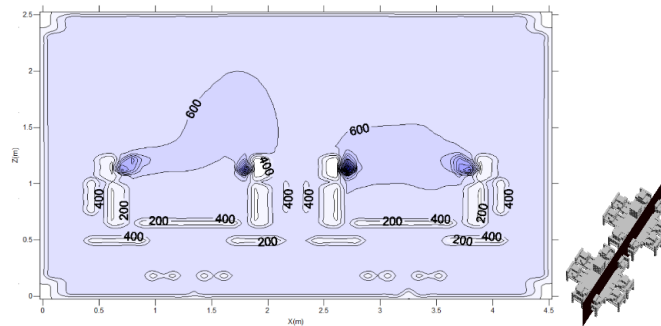


Figura 6.51: Concentração de CO₂ num plano longitudinal, Y=1,5 m. Situação II em condições de verão (T_{in}=25 °C, T_{ext}=38 °C, Var=1 e 0,5 m/s).

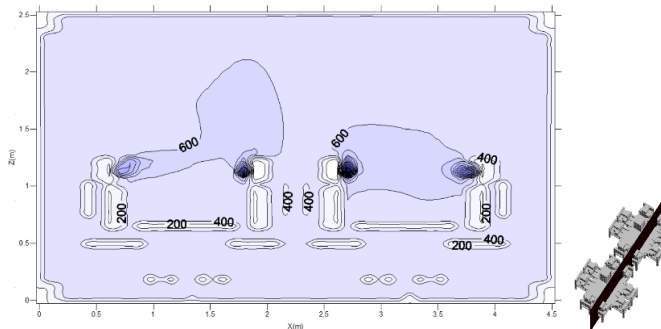


Figura 6.52: Concentração de CO₂ num plano longitudinal, Y=1,5 m. Situação I em condições de inverno (T_{in}=20 °C, T_{ext}=8 °C, Var=1 e 0,5 m/s).

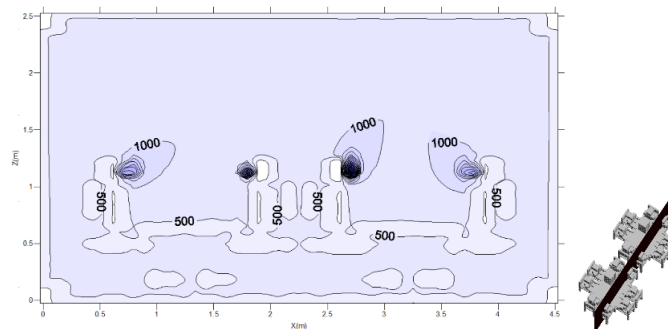


Figura 6.53: Concentração de CO₂ num plano longitudinal, Y=1,5 m. Situação II em condições de inverno (T_{in}=20 °C, T_{ext}=18 °C, Var=1 e 0,5 m/s).

6.1.5. Índice de distribuição do ar (ADI)

O valor do ADI é baseado nos níveis de conforto térmico, da qualidade do ar e da eficiência da ventilação.

Na tabela 6.5 é apresentado o valor de ADI, em condições de verão, para uma temperatura de entrada do ar de 25 °C, para uma temperatura do ar exterior de 28 °C e para uma velocidade do ar de 1 e 0,5 m/s. A tabela 6.6 corresponde ao método do conforto adaptativo do índice aPMV para as mesmas condições de verão.

Em condições de verão, para uma temperatura de entrada do ar de 25 °C, para uma temperatura do ar exterior de 38 °C e para uma velocidade do ar de 1 e 0,5 m/s, é observado o valor de ADI na tabela 6.7. É apresentado o valor do ADI através do método do conforto adaptativo, aPMV, na tabela 6.8 para as mesmas condições de verão.

Em condições de inverno o valor do ADI é apresentado na tabela 6.9 para uma temperatura de entrada do ar de 20 °C, para uma temperatura do ar exterior de 8 °C e para uma velocidade do ar de 1 e 0,5 m/s. Na tabela 6.10, em condições de inverno, observa-se o valor do ADI para uma temperatura de entrada do ar de 20 °C, para uma temperatura do ar exterior de 18 °C e para uma velocidade do ar de 1 e 0,5 m/s.

Nas tabelas são, também, apresentados valores como a temperatura do ar na saída, temperatura do ar em torno dos ocupantes, a eficiência de remoção do calor, índice PPD, número de conforto térmico, concentração de dióxido de carbono, eficiência de remoção de contaminantes, percentagem de insatisfação com a qualidade do ar interior (PD) e número de concentração de ar.

Tabela 6.5: Valor do ADI e outros parâmetros para 16 ocupantes. Situação I em condições de verão (Tin=25 °C, Text=28 °C, Var=1 e 0,5 m/s).

Ocupantes	Temperatura de saída (°C)	Temperatura do ar em torno dos ocupantes (°C)	Eficiência de remoção de calor (%)	PPD (%) (conforto térmico)	Número de conforto térmico	CO ₂ na saída (mg/m ³)	Concentração de CO ₂ (mg/m ³)	Eficiência de remoção de contaminantes (%)	PD (%) (qualidade do ar)	Número de qualidade do ar	Índice de distribuição de ar (ADI)
1	26,97	27,66	74,07	23,40	3,17	689,43	1782,48	14,77	3,64	4,05	3,58
2	26,97	27,35	83,93	18,84	4,46	689,43	5452,97	3,82	3,64	1,05	2,16
3	26,97	28,31	59,43	26,90	2,21	689,43	2030,94	12,37	3,64	3,40	2,74
4	26,97	28,55	55,42	30,20	1,84	689,43	5961,62	3,47	3,64	0,95	1,32
5	26,97	27,93	67,20	23,02	2,92	689,43	2541,92	9,28	3,64	2,55	2,73
6	26,97	28,37	58,43	27,07	2,16	689,43	3940,35	5,51	3,64	1,51	1,81
7	26,97	28,61	54,54	29,19	1,87	689,43	2623,72	8,92	3,64	2,45	2,14
8	26,97	28,71	53,13	31,47	1,69	689,43	3147,62	7,15	3,64	1,96	1,82
9	26,97	28,11	63,37	25,00	2,54	689,43	1015,99	36,71	3,64	10,08	5,05
10	26,97	28,48	56,65	29,41	1,93	689,43	3092,02	7,31	3,64	2,01	1,97
11	26,97	28,81	51,62	30,44	1,70	689,43	4508,29	4,73	3,64	1,30	1,48
12	26,97	28,64	54,02	31,18	1,73	689,43	4080,22	5,29	3,64	1,45	1,59
13	26,97	27,50	78,61	17,27	4,55	689,43	3464,81	6,39	3,64	1,75	2,82
14	26,97	27,77	71,02	20,83	3,41	689,43	3411,01	6,51	3,64	1,79	2,47
15	26,97	27,57	76,62	18,93	4,05	689,43	2915,40	7,84	3,64	2,15	2,95
16	26,97	28,04	64,72	27,38	2,36	689,43	4574,73	4,65	3,64	1,28	1,74
Média	26,97	28,15	63,92	25,66	2,66	689,43	3409,01	9,04	3,64	2,48	2,40

Tabela 6.6: Valor do ADI através do método do conforto adaptativo do índice de aPMV e outros parâmetros para 16 ocupantes. Situação I em condições de verão (Tin=25 °C, Text=28 °C, Var=1 e 0,5 m/s).

Ocupantes	Temperatura de saída (°C)	Temperatura do ar em torno dos ocupantes (°C)	Eficiência de remoção de calor (%)	PPD (%) (conforto térmico)	Número de conforto térmico	CO ₂ na saída (mg/m ³)	Concentração de CO ₂ (mg/m ³)	Eficiência de remoção de contaminantes (%)	PD (%) (qualidade do ar)	Número de qualidade do ar	Índice de distribuição de ar (ADI)
1	26,97	27,66	74,07	10,71	6,92	689,43	1782,48	14,77	3,64	4,05	5,30
2	26,97	27,35	83,93	9,84	8,53	689,43	5452,97	3,82	3,64	1,05	2,99
3	26,97	28,31	59,43	11,29	5,26	689,43	2030,94	12,37	3,64	3,40	4,23
4	26,97	28,55	55,42	11,79	4,70	689,43	5961,62	3,47	3,64	0,95	2,12
5	26,97	27,93	67,20	10,64	6,31	689,43	2541,92	9,28	3,64	2,55	4,01
6	26,97	28,37	58,43	11,32	5,16	689,43	3940,35	5,51	3,64	1,51	2,80
7	26,97	28,61	54,54	11,64	4,69	689,43	2623,72	8,92	3,64	2,45	3,39
8	26,97	28,71	53,13	11,96	4,44	689,43	3147,62	7,15	3,64	1,96	2,95
9	26,97	28,11	63,37	10,98	5,77	689,43	1015,99	36,71	3,64	10,08	7,63
10	26,97	28,48	56,65	11,67	4,85	689,43	3092,02	7,31	3,64	2,01	3,12
11	26,97	28,81	51,62	11,82	4,37	689,43	4508,29	4,73	3,64	1,30	2,38
12	26,97	28,64	54,02	11,92	4,53	689,43	4080,22	5,29	3,64	1,45	2,57
13	26,97	27,50	78,61	9,51	8,27	689,43	3464,81	6,39	3,64	1,75	3,81
14	26,97	27,77	71,02	10,24	6,93	689,43	3411,01	6,51	3,64	1,79	3,52
15	26,97	27,57	76,62	9,86	7,77	689,43	2915,40	7,84	3,64	2,15	4,09
16	26,97	28,04	64,72	11,36	5,69	689,43	4574,73	4,65	3,64	1,28	2,70
Média	26,97	28,15	63,92	11,04	5,89	689,43	3409,01	9,04	3,64	2,48	3,60

Tabela 6.7: Valor do ADI e outros parâmetros para 16 ocupantes. Situação II em condições de verão (Tin=25 °C, Text=38 °C, Var=1 e 0,5 m/s).

Ocupantes	Temperatura de saída (°C)	Temperatura do ar em torno dos ocupantes (°C)	Eficiência de remoção de calor (%)	PPD (%) (conforto térmico)	Número de conforto térmico	CO ₂ na saída (mg/m ³)	Concentração de CO ₂ (mg/m ³)	Eficiência de remoção de contaminantes (%)	PD (%) (qualidade do ar)	Número de qualidade do ar	Índice de distribuição de ar (ADI)
1	27,36	27,81	83,91	29,72	2,82	690,13	1764,17	15,04	3,64	4,13	3,41
2	27,36	27,56	92,21	25,43	3,63	690,13	5826,84	3,57	3,64	0,98	1,88
3	27,36	28,46	68,20	32,99	2,07	690,13	2112,08	11,79	3,64	3,24	2,59
4	27,36	28,74	63,05	35,73	1,76	690,13	6014,53	3,45	3,64	0,95	1,29
5	27,36	28,14	75,14	30,16	2,49	690,13	2886,82	7,97	3,64	2,19	2,33
6	27,36	28,54	66,63	33,28	2,00	690,13	4196,37	5,14	3,64	1,41	1,68
7	27,36	28,78	62,36	34,61	1,80	690,13	2575,34	9,16	3,64	2,51	2,13
8	27,36	28,87	60,96	36,33	1,68	690,13	3163,92	7,14	3,64	1,96	1,81
9	27,36	28,23	72,86	31,69	2,30	690,13	928,02	44,42	3,64	12,19	5,29
10	27,36	28,59	65,64	34,72	1,89	690,13	2888,80	7,96	3,64	2,18	2,03
11	27,36	28,95	59,71	35,25	1,69	690,13	4197,83	5,14	3,64	1,41	1,55
12	27,36	28,78	62,27	36,11	1,72	690,13	4214,29	5,12	3,64	1,40	1,56
13	27,36	27,72	86,61	23,77	3,64	690,13	3559,46	6,21	3,64	1,71	2,49
14	27,36	27,91	80,85	27,07	2,99	690,13	3349,35	6,67	3,64	1,83	2,34
15	27,36	27,84	83,08	25,73	3,23	690,13	3671,03	6,00	3,64	1,65	2,31
16	27,36	28,27	72,03	33,89	2,13	690,13	4888,83	4,33	3,64	1,19	1,59
Média	27,36	28,32	72,22	31,66	2,37	690,13	3514,85	9,32	3,64	2,56	2,27

Tabela 6.8: Valor do ADI através do método do conforto adaptativo do índice de aPMV e outros parâmetros para 16 ocupantes. Situação II em condições de verão (Tin=25 °C, Text=38 °C, Var=1 e 0,5 m/s).

Ocupantes	Temperatura de saída (°C)	Temperatura do ar em torno dos ocupantes (°C)	Eficiência de remoção de calor (%)	PPD (%) (conforto térmico)	Número de conforto térmico	CO ₂ na saída (mg/m ³)	Concentração de CO ₂ (mg/m ³)	Eficiência de remoção de contaminantes (%)	PD (%) (qualidade do ar)	Número de qualidade do ar	Índice de distribuição de ar (ADI)
1	27,36	27,81	83,91	7,38	11,38	690,13	1764,17	15,04	3,64	4,13	6,86
2	27,36	27,56	92,21	7,23	12,75	690,13	5826,84	3,57	3,64	0,98	3,54
3	27,36	28,46	68,20	7,47	9,13	690,13	2112,08	11,79	3,64	3,24	5,44
4	27,36	28,74	63,05	7,54	8,36	690,13	6014,53	3,45	3,64	0,95	2,82
5	27,36	28,14	75,14	7,39	10,17	690,13	2886,82	7,97	3,64	2,19	4,72
6	27,36	28,54	66,63	7,48	8,91	690,13	4196,37	5,14	3,64	1,41	3,55
7	27,36	28,78	62,36	7,51	8,30	690,13	2575,34	9,16	3,64	2,51	4,57
8	27,36	28,87	60,96	7,56	8,07	690,13	3163,92	7,14	3,64	1,96	3,98
9	27,36	28,23	72,86	7,43	9,80	690,13	928,02	44,42	3,64	12,19	10,94
10	27,36	28,59	65,64	7,52	8,73	690,13	2888,80	7,96	3,64	2,18	4,37
11	27,36	28,95	59,71	7,53	7,93	690,13	4197,83	5,14	3,64	1,41	3,35
12	27,36	28,78	62,27	7,55	8,25	690,13	4214,29	5,12	3,64	1,40	3,41
13	27,36	27,72	86,61	7,17	12,08	690,13	3559,46	6,21	3,64	1,71	4,54
14	27,36	27,91	80,85	7,29	11,09	690,13	3349,35	6,67	3,64	1,83	4,51
15	27,36	27,84	83,08	7,24	11,47	690,13	3671,03	6,00	3,64	1,65	4,35
16	27,36	28,27	72,03	7,49	9,61	690,13	4888,83	4,33	3,64	1,19	3,38
Média	27,36	28,32	72,22	7,42	9,75	690,13	3514,85	9,32	3,64	2,56	4,64

Tabela 6.9: Valor do ADI e outros parâmetros para 16 ocupantes. Situação I em condições de inverno ($T_{in}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=8\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=1$ e $0,5\text{ m/s}$).

Ocupantes	Temperatura de saída ($^{\circ}\text{C}$)	Temperatura média corporal ($^{\circ}\text{C}$)	Eficiência de remoção de calor (%)	PPD (%) (conforto térmico)	Número de conforto térmico	CO_2 na saída (mg/m^3)	Concentração de CO_2 (mg/m^3)	Eficiência de remoção de contaminantes (%)	PD (%) (qualidade do ar)	Número de qualidade do ar	Índice de distribuição de ar (ADI)
1	21,93	23,56	54,27	5,21	10,41	692,31	1705,81	15,95	3,64	4,38	6,75
2	21,93	23,23	59,90	5,02	11,93	692,31	4320,28	5,03	3,64	1,38	4,06
3	21,93	25,05	38,31	7,55	5,08	692,31	2356,94	10,36	3,64	2,84	3,80
4	21,93	25,16	37,49	7,90	4,75	692,31	5352,69	3,96	3,64	1,09	2,27
5	21,93	23,83	50,52	5,23	9,67	692,31	3699,84	6,01	3,64	1,65	3,99
6	21,93	24,58	42,26	6,39	6,61	692,31	4314,80	5,04	3,64	1,38	3,02
7	21,93	25,37	36,03	8,34	4,32	692,31	2014,75	12,70	3,64	3,48	3,88
8	21,93	25,37	36,02	8,47	4,25	692,31	2769,74	8,47	3,64	2,33	3,14
9	21,93	23,76	51,42	5,32	9,67	692,31	645,23	100,00	3,64	27,45	16,29
10	21,93	24,62	41,86	6,65	6,29	692,31	2384,11	10,21	3,64	2,80	4,20
11	21,93	25,39	35,91	8,00	4,49	692,31	3160,23	7,23	3,64	1,98	2,98
12	21,93	25,56	34,77	9,05	3,84	692,31	3137,29	7,29	3,64	2,00	2,77
13	21,93	23,70	52,32	5,16	10,14	692,31	2989,21	7,73	3,64	2,12	4,64
14	21,93	23,70	52,21	5,13	10,18	692,31	2577,28	9,26	3,64	2,54	5,08
15	21,93	23,54	54,60	5,07	10,77	692,31	4401,12	4,93	3,64	1,35	3,82
16	21,93	24,90	39,48	7,58	5,21	692,31	4242,71	5,14	3,64	1,41	2,71
Média	21,93	24,46	44,84	6,63	7,35	692,31	3129,50	13,71	3,64	3,76	4,59

Tabela 6.10: Valor do ADI e outros parâmetros para 16 ocupantes. Situação II em condições de inverno ($T_{in}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=18\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=1$ e $0,5\text{ m/s}$).

Ocupantes	Temperatura de saída ($^{\circ}\text{C}$)	Temperatura média corporal ($^{\circ}\text{C}$)	Eficiência de remoção de calor (%)	PPD (%) (conforto térmico)	Número de conforto térmico	CO_2 na saída (mg/m^3)	Concentração de CO_2 (mg/m^3)	Eficiência de remoção de contaminantes (%)	PD (%) (qualidade do ar)	Número de qualidade do ar	Índice de distribuição de ar (ADI)
1	22,24	23,61	62,07	5,98	10,38	689,85	1779,29	14,84	3,64	4,07	6,50
2	22,24	23,17	70,72	5,26	13,44	689,85	5320,71	3,94	3,64	1,08	3,81
3	22,24	24,92	45,53	8,90	5,12	689,85	2219,96	11,04	3,64	3,03	3,94
4	22,24	25,15	43,53	9,65	4,51	689,85	5540,48	3,77	3,64	1,03	2,16
5	22,24	24,07	55,12	6,18	8,92	689,85	3093,28	7,32	3,64	2,01	4,23
6	22,24	24,80	46,72	8,12	5,75	689,85	4101,31	5,27	3,64	1,45	2,88
7	22,24	25,27	42,55	9,88	4,31	689,85	2551,17	9,26	3,64	2,54	3,31
8	22,24	25,35	41,89	10,26	4,08	689,85	2986,65	7,63	3,64	2,10	2,92
9	22,24	24,43	50,65	7,16	7,07	689,85	1072,50	33,16	3,64	9,10	8,02
10	22,24	25,01	44,74	9,05	4,94	689,85	3102,77	7,29	3,64	2,00	3,15
11	22,24	25,63	39,79	10,55	3,77	689,85	4535,35	4,70	3,64	1,29	2,21
12	22,24	25,41	41,44	10,74	3,86	689,85	4069,25	5,32	3,64	1,46	2,37
13	22,24	23,48	64,44	5,41	11,90	689,85	3306,68	6,76	3,64	1,86	4,70
14	22,24	23,92	57,21	6,04	9,47	689,85	3537,08	6,25	3,64	1,72	4,03
15	22,24	23,42	65,54	5,35	12,25	689,85	3127,05	7,23	3,64	1,98	4,93
16	22,24	24,34	51,67	7,82	6,61	689,85	4550,34	4,69	3,64	1,29	2,92
Média	22,24	24,50	51,48	7,90	7,27	689,85	3430,87	8,65	3,64	2,38	3,88

Através dos resultados obtidos das tabelas anteriores concluiu-se que:

- A eficiência de remoção de calor é mais elevada em condições de verão do que em condições de inverno. A eficiência de remoção de calor aumenta com o aumento da temperatura do ar exterior.

- A percentagem de pessoas insatisfeitas devido ao conforto térmico em condições de verão é mais elevada do que em condições de inverno. No entanto em condições de verão, aplicando o método do conforto adaptativo do índice aPMV os valores do índice aPPD apresentam percentagens de acordo com a ISO 7730 (2005)
- O número de conforto térmico tem valores mais elevados em condições de inverno do que em condições de verão. Diminui ligeiramente com o aumento da temperatura do ar exterior. Contudo, nas tabelas que apresentam os resultados do método de conforto adaptativo do índice de aPMV amentam significativamente em condições de verão. A situação II, em condições de verão, obteve o valor mais elevado do número de conforto térmico.
- A concentração de dióxido de carbono na zona de respiração, nas diferentes situações, apresenta valores semelhantes embora não sejam aceitáveis. No entanto, devido à concentração limite aceitável de 2250 mg/m³ apresentada no Decreto-Lei n.º 118/2013, de 4 de dezembro, os valores obtidos em alguns casos não se afastam muito. Os níveis da concentração de dióxido de carbono apresentados podem ser explicados pela elevada densidade de ocupação.
- A eficiência de remoção de contaminantes não varia muito, quer em condições de verão, quer em condições de inverno.
- A percentagem de pessoas insatisfeitas devido a qualidade do ar é, de uma forma geral, muito baixa, não ultrapassando os 5 %.
- O número da qualidade do ar, em condições de verão, é ligeiramente mais elevado para um valor da temperatura do ar exterior mais elevada, enquanto que em condições de inverno verifica-se o contrário.
- O valor do ADI, é mais elevado na situação II, em condições de verão (segundo o método de conforto adaptativo do índice aPMV) e na situação I, em condições de inverno, o que ronda os 4 valores. Nas restantes situações I e II em condições de verão e de inverno respetivamente aproximam-se desse valor.

6.1.6. Produção de energia

A radiação solar incidente no Algarve, apresentada na figura 6.54, corresponde a um valor alcançado em torno do meio-dia, com o painel voltado na direção do Sol a um ângulo de 30°, estando o mesmo completamente limpo de poeiras ou outros depósitos na sua superfície.

Na figura 6.54 é apresentado a radiação incidente solar em função do tempo, no Algarve, e a temperatura do ar externo em condições de verão e em condições de inverno. Ambas as figuras têm um pico de maior incidência por volta do 12 h.

Na figura 6.55 é apresentada a energia em condições de verão e de inverno em kWh/m², apresenta um pico de produção de energia por volta do 12 h e o valor dessa energia ronda os 0,03 kWh/m².

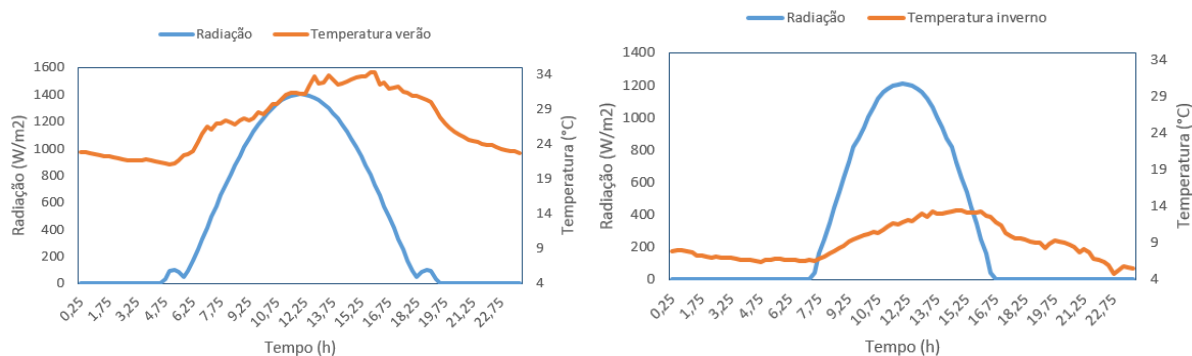


Figura 6.54: Radiação solar incidente no Algarve em kW/m² em condições de verão e inverno.

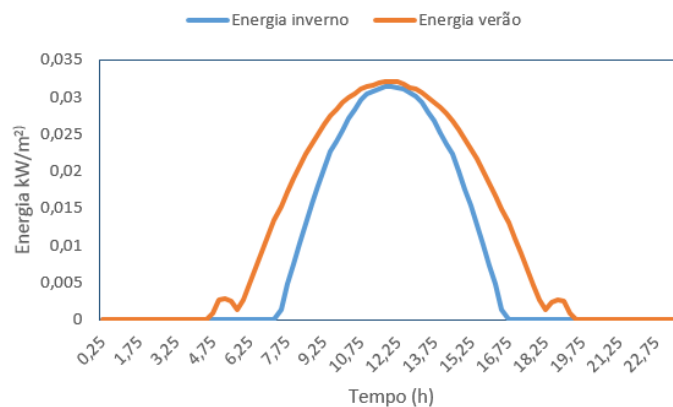


Figura 6.55: Produção de energia em kW/m² para condições de verão e inverno em função do tempo.

Na seguinte tabela 6.11 é apresentado o consumo de energia em condições de verão e de inverno usando o sistema de ventilação de condutas verticais com jatos horizontais. Os valores que apresentam um sinal negativo no consumo correspondem a situações em que é necessário a remoção de calor, ou seja, produção de frio.

Tabela 6.11: Consumos do sistema de ventilação para cada situação em condições de verão e inverno.

	Potência (kW)
Situação I verão (Tin=25 °C, Text=28 °C)	-2,08
Situação II verão (Tin=25 °C, Text=38 °C)	-9
Situação I Inverno (Tin=20 °C, Text=8 °C)	8,3
Situação II Inverno (Tin=20 °C, Text=18 °C)	1,38

Na tabela 6.12 são apresentados os resultados da área dos painéis fotovoltaicos para produzir a energia necessária para o sistema de ventilação implementado.

É considerado que o tempo de aquecimento em condições de inverno e o tempo de arrefecimento em condições de verão será de 6 h, ou seja, das 9 h às 15 h (em tempo solar verdadeiro). Estas 6 h correspondem à energia produzida sem armazenamento. Ao multiplicar o tempo de aquecimento ou arrefecimento, as 6 h, pelos os resultados da potência consumida do sistema temos a energia térmica em kWh para cada situação. É analisado também a energia produzida num dia em que a energia será armazenada em baterias ou injetado para a rede nas horas que não se verifique consumo e é calculada a área dos painéis fotovoltaicos necessários.

O coeficiente de performance (COP), ou seja, a eficiência de um sistema AVAC é a relação entre a energia elétrica e a energia térmica produzida, considerou-se COP=2,5 e obteve-se o valor para a energia elétrica gasta em kWh. A produção de energia foi obtida pelos resultados do gráfico 6.54 em que a soma da potência em função das 6 h no verão é 0,18 kWh/m² e no inverno 0,16 kWh/m². A produção de energia para um dia, em condições de verão, é de 0,27 kWh/m² e em condições de inverno é de 0,19 kWh/m².

Os resultados da energia elétrica gasta dividindo pela produção de energia obteve-se assim a área necessária dos painéis fotovoltaicos por m².

Tabela 6.12: Resultados da área dos painéis fotovoltaicos para a situação I e II em condições de verão e de inverno.

	Tempo (h)	Potência (kW)	Energia térmica (kWh)	COP AC	Energia elétrica gasta (kWh)	Produção energia em 6 h (kWh/m ²)	Painéis fotovoltaicos, para a produção de energia em 6 h (m ²)	Produção de energia num dia (kWh/m ²)	Painéis fotovoltaicos para a produção de energia num dia (m ²)
Situação I verão	6	-2,08	-12,48	2,5	5	0,18	28	0,27	19
Situação II verão	6	-9	-54	2,5	21,6	0,18	118	0,27	80
Situação I inverno	6	8,3	49,8	2,5	19,92	0,16	120	0,19	103
Situação II inverno	6	1,38	8,28	2,5	3,31	0,16	20	0,19	18

Os resultados obtidos mostram que a produção de energia (de aquecimento ou de arrefecimento) para as 6 h consideradas, requiere uma área de painéis fotovoltaicos bastante elevada em condições de temperatura do ar exterior mais elevada (condições de verão-situação II) e em condições de temperatura do ar exterior mais baixa (condições de inverno-situação I).

Na produção de energia durante o dia (com armazenamento) verifica-se que requer uma área menor do que na produção de energia em 6 h (sem armazenamento). No entanto para a

situação II (em condições de verão) e para a situação I (em condições de inverno) a área continua a ser bastante elevada.

A produção de energia em 6 h e a produção de energia durante o dia apresentam para a situação I (em condições de verão) e a situação II (em condições de inverno) uma área de painéis fotovoltaicos aceitáveis.

Os resultados apresentados para a situação II (em condições de verão) e para a situação I (em condições de inverno) indicam que é necessária uma área muito elevada. Logo, não é possível alimentar o sistema implementado com este tipo de tecnologia. O que se sugere a implementação de uma nova tecnologia ecológica, como a energia eólica, em conjunto com os painéis fotovoltaicos.

6.1.7. Resposta acústica interior

Na resposta acústica interior é considerado o percurso do som da fonte ao recetor. A fonte neste caso será a boca dos 16 ocupantes idosos, enquanto que o recetor será a orelha direita e a orelha esquerda.

Através do modelo da resposta acústica interior é possível desenvolver o percurso entre a fonte e o recetor, considerando as várias reflexões nas superfícies da sala.

Nas figuras 6.56 e 6.57 são apresentados os percursos da propagação do som das fontes para os recetores. É observado na figura 6.56 o percurso da primeira reflexão, onde existem no total 1013 percursos, enquanto que na figura 6.57 é representado a primeira e a segunda reflexão com um total de 3357 percursos.

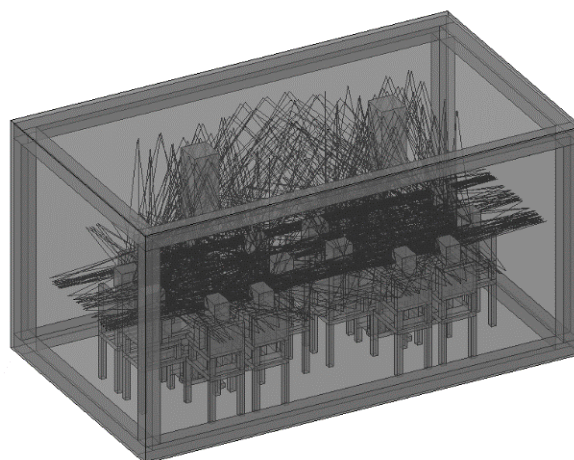


Figura 6.56: Percurso da propagação do som da primeira reflexão.

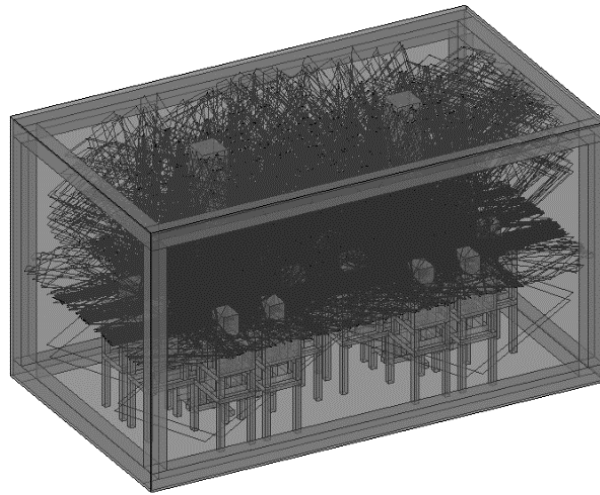


Figura 6.57: Percurso da propagação do som da primeira e segunda reflexão.

No cálculo do tempo de reverberação, para cada recetor, é utilizado uma regressão do nível de intensidade do som, usando uma equação exponencial. Na figura 6.58 a) considera-se o tempo de reverberação dos 16 ocupantes da fonte (boca) e o recetor (orelha esquerda) dos restantes 15 ocupantes. Na figura 6.58 b) apresenta-se os resultados do tempo de reverberação para a orelha direita.

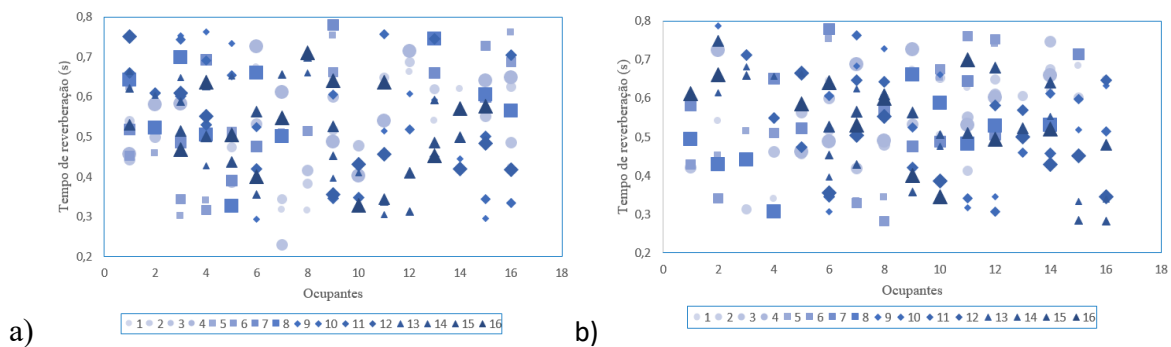


Figura 6.58: Cálculo do tempo de reverberação quando a fonte é localizada na boca dos 16 ocupantes e o recetor é localizado na orelha esquerda a) e na orelha direita b) dos 15 ocupantes.

Na figura 6.59 é apresentado um exemplo da filosofia utilizada no cálculo do tempo de reverberação, quando a fonte está localizada na boca do 5º ocupante (sentado na primeira mesa e entre as duas mesas da sala) e o recetor está localizado na orelha 6º ocupante (sentado na primeira mesa e entre as duas mesas).

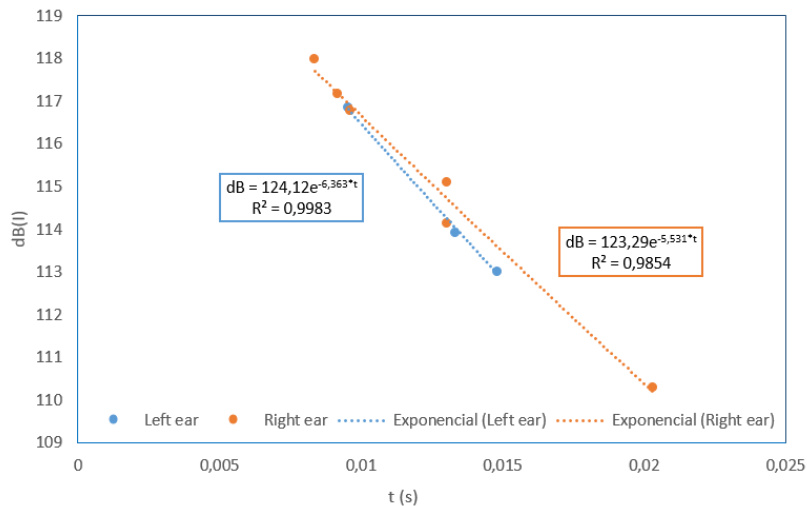


Figura 6.59: Evolução do nível de intensidade sonora quando a fonte está localizada na boca do 5º ocupante e o recetor está localizado nos ouvidos esquerdo e direito do 6º ocupante.

Em função dos resultados obtidos verifica-se que o tempo de reverberação altera ligeiramente em função da ocupação do espaço, da fonte e do recetor.

O tempo de reverberação varia entre 0,028865 s e 0,79383 s, para a orelha esquerda, e entre 0,028067 s e 0,78634 s para a orelha direita. O tempo de reverberação médio para a orelha esquerda é 0,53223 s, enquanto que para a orelha direita é 0,53289 s.

De acordo com o Decreto de lei nº 96/2008, 9 de Junho o tempo de reverberação sugerido, por um espaço escolar mobilado e não-ocupado é inferior a 0,454 s.

O tempo de reverberação calculado está perto do valor sugerido, no entanto, a fim de melhorar o valor calculado é sugerido considerar mais reflexões na simulação.

6.2. Salas comunicantes

As temperaturas das superfícies das salas comunicantes foram determinadas através de equações de balanço de energia aplicadas no espaço. Na tabela 6.13, mostra-se a temperatura dos corpos interiores, paredes laterais, teto e chão.

Tabela 6.13: Temperatura das superfícies das salas comunicantes.

	Verão		Inverno	
	Situação I Ti=25 °C, Text=28 °C	Situação II Ti=25 °C, Text=38 °C	Situação I Ti=20 °C, Text=8 °C	Situação II Ti=20 °C, Text=18 °C
Temperatura das superfícies interiores (°C)	26,39	26,61	21,07	21,29
Temperatura do Chão (°C)	26,57	27,44	20,15	20,99
Temperatura do Teto (°C)	26,82	28,92	18,48	20,49
Temperatura a Norte (°C)	26,66	27,98	19,55	20,81
Temperatura a Sul (°C)	26,66	27,98	19,55	20,81
Temperatura a Este(°C)	26,66	27,98	19,55	20,81
Temperatura a Oeste (°C)	26,66	27,98	19,55	20,81

6.2.1. Escoamento em torno dos ocupantes

No escoamento em torno dos ocupantes é possível observar, para as duas salas comunicantes, a temperatura do ar e a velocidade do ar em torno dos ocupantes nas situações I e II em condições de verão e de inverno para planos transversais e longitudinais. O plano transversal tem uma cota de $X=3,9$ m, o plano longitudinal para a sala de jantar tem uma cota de $Y=9,9$ m e na sala de convívio o plano longitudinal tem uma cota de $Y=4,05$ m.

As velocidades do ar nos jatos de entrada, quer em condições de verão e quer em condições de inverno, nas salas comunicantes correspondem a uma velocidade de ar de 0,66 m/s, 1,67 m/s e 0,3 m/s na sala de jantar e 2 m/s, 0,46 m/s e 1,67 m/s na sala de convívio.

Na figura 6.60 é apresentado o campo transversal da temperatura do ar e da velocidade do ar, no plano $X=3,9$ m, em condições de verão, para uma temperatura de entrada do ar de 25 °C e para uma temperatura do ar exterior 28 °C. É observado na figura 6.61, para as mesmas condições de verão, o campo longitudinal da temperatura do ar e da velocidade do ar, no plano $Y=9,9$ m, para a sala de jantar. E na figura 6.62 o campo longitudinal da temperatura do ar e da velocidade do ar, no plano $Y=4,05$ m, para a sala de convívio.

O campo transversal da temperatura do ar e da velocidade do ar, no plano $X=3,9$ m, é observado na figura 6.63, em condições de verão, para uma temperatura de entrada do ar de 25 °C e para uma temperatura do ar exterior 38 °C. O campo longitudinal da temperatura do ar e da velocidade do ar, no plano $Y=9,9$ m, da sala de jantar é apresentado na figura 6.64 para as mesmas condições de verão. Na figura 6.65, também para as mesmas condições de verão, é

apresentado o campo longitudinal da temperatura do ar e da velocidade do ar, no plano $Y=4,05$ m, para a sala de convívio.

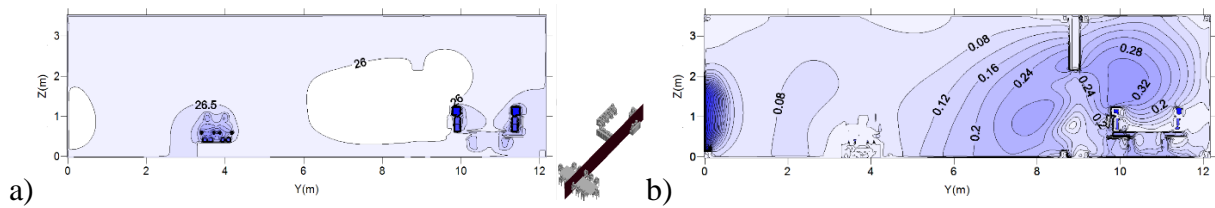
Em condições de inverno, para uma temperatura de entrada do ar de $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ e para uma temperatura do ar exterior $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ é apresentado na figura 6.66 o campo transversal da temperatura do ar e da velocidade do ar no plano $X=3,9$ m. Nas mesmas condições de inverno o campo longitudinal da temperatura do ar e da velocidade do ar, no plano $Y=9,9$ m da sala de jantar, é apresentado na figura 6.67. Na figura 6.68, é observado o campo longitudinal da temperatura do ar e da velocidade do ar, no plano $Y=4,05$ m, para a sala de convívio, nas mesmas condições de inverno.

Na figura 6.69 é apresentado o campo transversal da temperatura do ar e da velocidade do ar no plano $X=3,9$ m, em condições de inverno, para uma temperatura de entrada do ar de $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ e para uma temperatura do ar exterior $18\text{ }^{\circ}\text{C}$. É observado na figura 6.70 o campo longitudinal da temperatura do ar e da velocidade do ar, no plano $Y=9,9$ m, para a sala de jantar, nas mesmas condições de inverno. Por fim na figura 6.71 é apresentado o campo longitudinal da temperatura do ar e da velocidade do ar, no plano $Y=4,05$ m, para a sala de convívio nas mesmas condições de inverno.

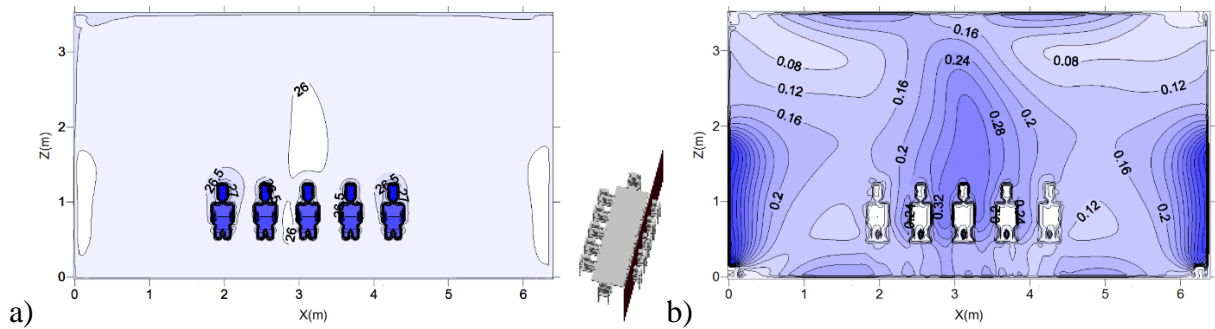
As variáveis T_{in} , T_{ext} e Var apresentam, respetivamente, a temperatura de entrada do ar, a temperatura do ar exterior e a velocidade do ar.

De acordo com os resultados obtidos, pode-se observar que a temperatura do ar apresenta o valor mais elevado em torno da ocupação. A temperatura do ar, em condições de verão, ronda os $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ em ambas as salas em torno dos ocupantes. Nas condições de inverno a temperatura do ar ronda os $22\text{ }^{\circ}\text{C}$, em ambas as salas, em torno dos ocupantes.

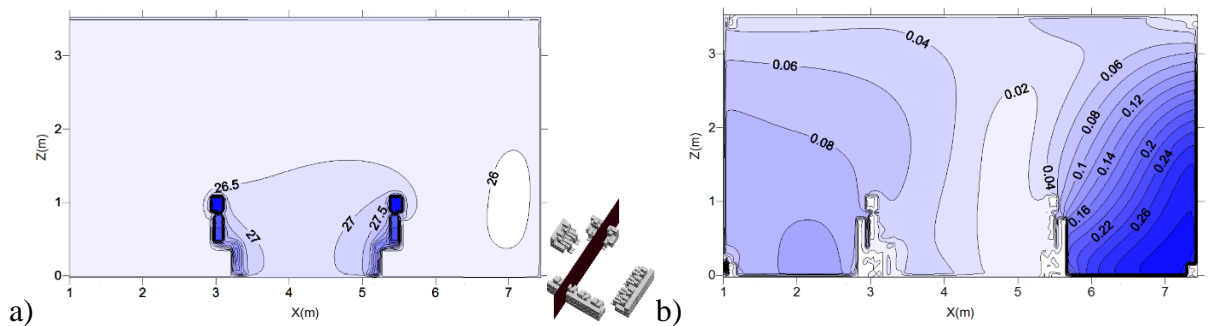
A velocidade do ar apresenta valores mais elevados na zona da saída dos jatos e na zona comunicante das salas. Na sala de convívio os valores são ligeiramente mais baixos que na sala de jantar. Este facto pode ser explicado pelo facto de a sala de jantar ter uma menor área do que a sala de convívio.



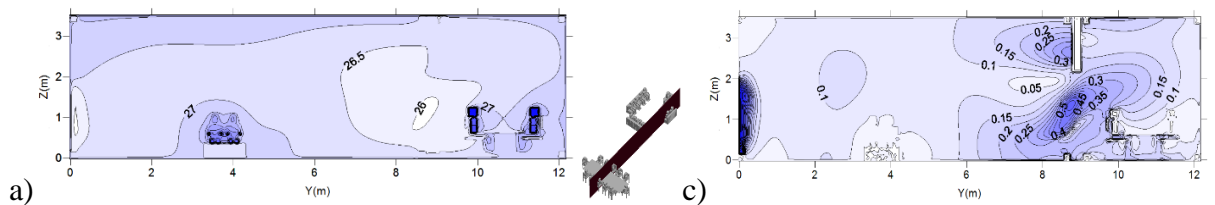
a) b)
 Figura 6.60: Campo de temperatura do ar a) e o campo da velocidade do ar b). Num plano transversal $X=3,9$ m, calculados através do modelo CFD, para a situação I em condições de verão ($T_{in}=25$ °C, $T_{ext}=28$ °C, $Var=0,66$ m/s, 1,67 m/s e 0,3 m/s para a sala de jantar e $Var=2$ m/s, 0,46 m/s e 1,67 m/s para a sala de convívio).



a) b)
 Figura 6.61: Campo de temperatura do ar a) e o campo da velocidade do ar b). Num plano longitudinal $Y=9,9$ m, calculados através do modelo CFD, para a situação I em condições de verão ($T_{in}=25$ °C, $T_{ext}=28$ °C, $Var=0,66$ m/s, 1,67 m/s e 0,3 m/s para a sala de jantar e $Var=2$ m/s, 0,46 m/s e 1,67 m/s para a sala de convívio).



a) b)
 Figura 6.62: Campo de temperatura do ar a) e o campo da velocidade do ar b). Num plano longitudinal $Y=4,05$ m, calculados através do modelo CFD, para a situação I em condições de verão ($T_{in}=25$ °C, $T_{ext}=28$ °C, $Var=0,66$ m/s, 1,67 m/s e 0,3 m/s para a sala de jantar e $Var=2$ m/s, 0,46 m/s e 1,67 m/s para a sala de convívio).



a) b)
 Figura 6.63: Campo de temperatura do ar a) e o campo da velocidade do ar b). Num plano transversal $X=3,9$ m, calculados através do modelo CFD, para a situação I em condições de verão ($T_{in}=25$ °C, $T_{ext}=38$ °C, $Var=0,66$ m/s, 1,67 m/s e 0,3 m/s para a sala de jantar e $Var=2$ m/s, 0,46 m/s e 1,67 m/s para a sala de convívio).

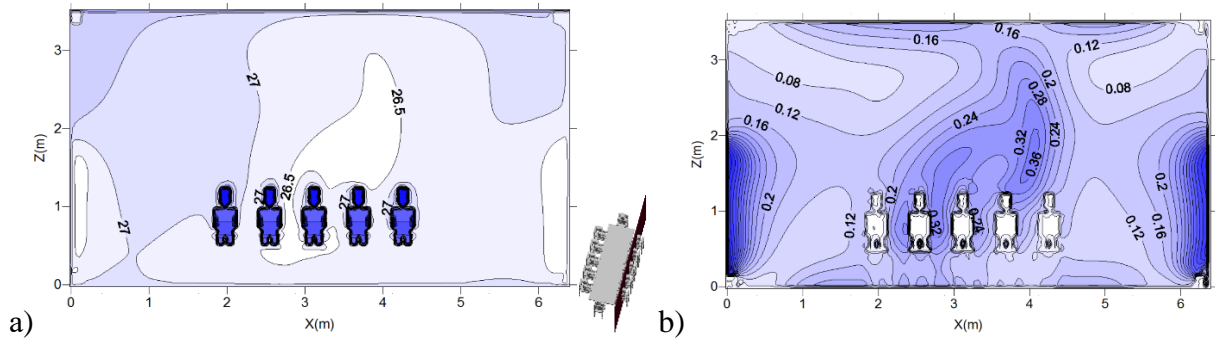


Figura 6.64: Campo de temperatura do ar a) e o campo da velocidade do ar b). Num plano longitudinal $Y=9,9$ m, calculados através do modelo CFD, para a situação I em condições de verão ($T_{in}=25$ °C, $T_{ext}=38$ °C, $Var=0,66$ m/s, 1,67 m/s e 0,3 m/s para a sala de jantar e $Var=2$ m/s, 0,46 m/s e 1,67 m/s para a sala de convívio).

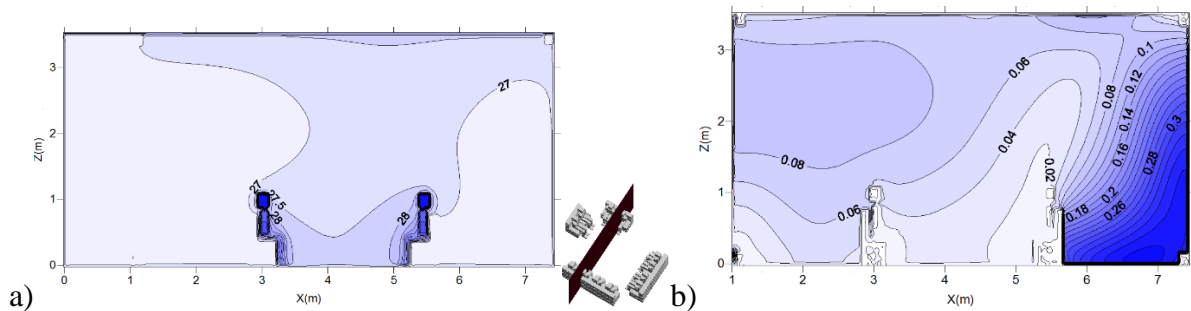


Figura 6.65: Campo de temperatura do ar a) e o campo da velocidade do ar b). Num plano longitudinal $Y=4,05$ m, calculados através do modelo CFD, para a situação I em condições de verão ($T_{in}=25$ °C, $T_{ext}=38$ °C, $Var=0,66$ m/s, 1,67 m/s e 0,3 m/s para a sala de jantar e $Var=2$ m/s, 0,46 m/s e 1,67 m/s para a sala de convívio).

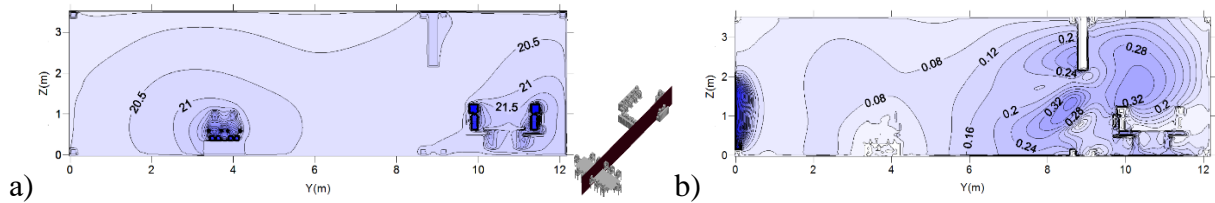


Figura 6.66: Campo de temperatura do ar a) e o campo da velocidade do ar b). Num plano transversal $X=3,9$ m, calculados através do modelo CFD, para a situação I em condições de verão ($T_{in}=20$ °C, $T_{ext}=8$ °C, $Var=0,66$ m/s, 1,67 m/s e 0,3 m/s para a sala de jantar e $Var=2$ m/s, 0,46 m/s e 1,67 m/s para a sala de convívio).

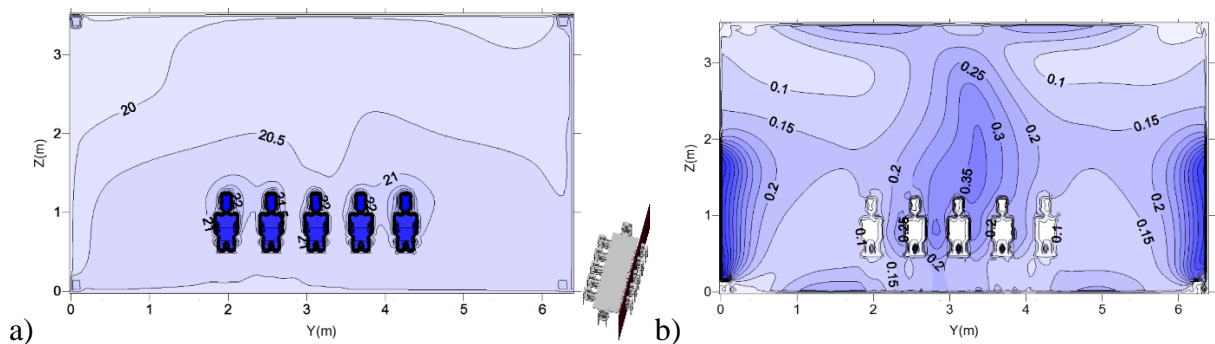


Figura 6.67: Campo de temperatura do ar a) e o campo da velocidade do ar b). Num plano longitudinal $Y=9,9$ m, calculados através do modelo CFD, para a situação I em condições de verão ($T_{in}=20$ °C, $T_{ext}=8$ °C, $Var=0,66$ m/s, 1,67 m/s e 0,3 m/s para a sala de jantar e $Var=2$ m/s, 0,46 m/s e 1,67 m/s para a sala de convívio).

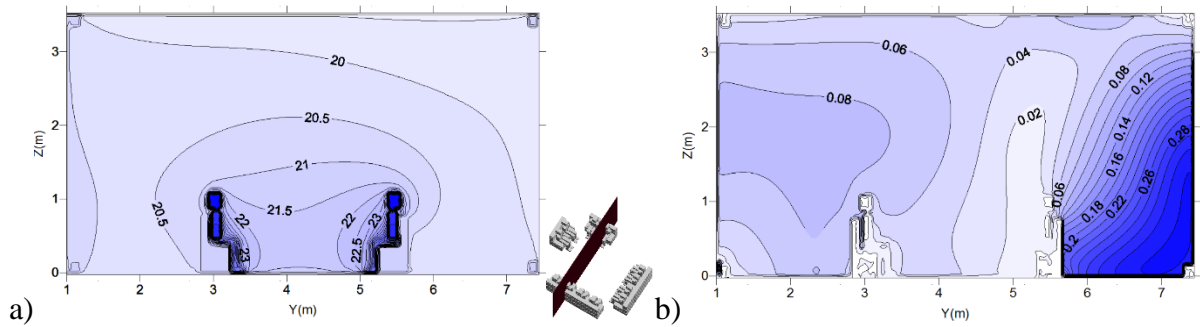


Figura 6.68: Campo de temperatura do ar a) e o campo da velocidade do ar b). Num plano longitudinal $Y=4,05$ m, calculados através do modelo CFD, para a situação I em condições de verão ($T_{in}=20$ °C, $T_{ext}=8$ °C, $Var=0,66$ m/s, $1,67$ m/s e $0,3$ m/s para a sala de jantar e $Var=2$ m/s, $0,46$ m/s e $1,67$ m/s para a sala de convívio).

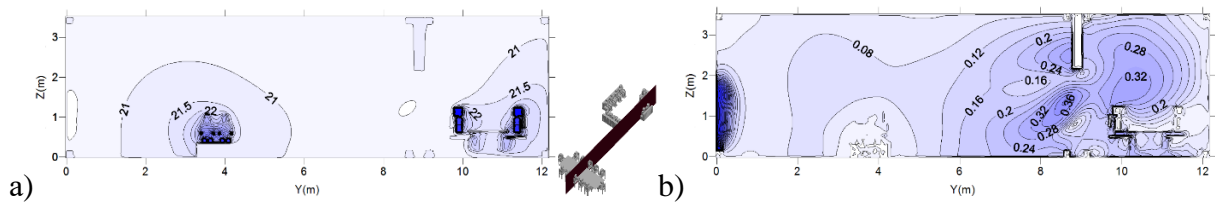


Figura 6.69: Campo de temperatura do ar a) e o campo da velocidade do ar b). Num plano transversal $X=3,9$ m, calculados através do modelo CFD, para a situação I em condições de verão ($T_{in}=20$ °C, $T_{ext}=18$ °C, $Var=0,66$ m/s, $1,67$ m/s e $0,3$ m/s para a sala de jantar e $Var=2$ m/s, $0,46$ m/s e $1,67$ m/s para a sala de convívio).

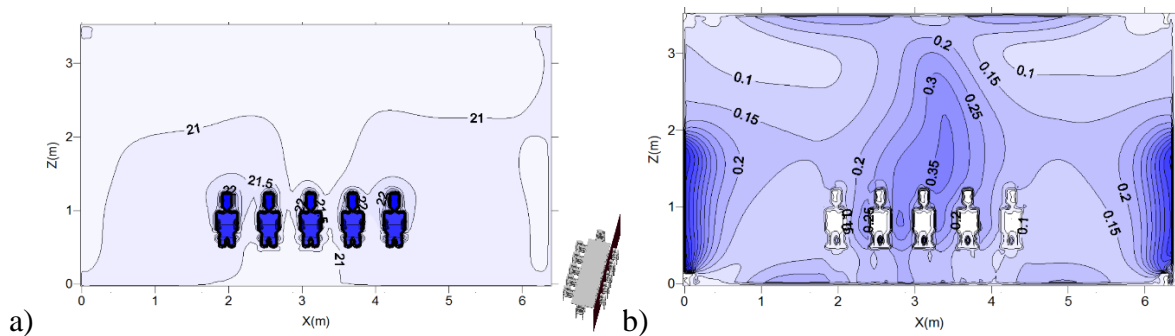


Figura 6.70: Campo de temperatura do ar a) e o campo da velocidade do ar b). Num plano longitudinal $Y=9,9$ m, calculados através do modelo CFD, para a situação I em condições de verão ($T_{in}=20$ °C, $T_{ext}=18$ °C, $Var=0,66$ m/s, $1,67$ m/s e $0,3$ m/s para a sala de jantar e $Var=2$ m/s, $0,46$ m/s e $1,67$ m/s para a sala de convívio).

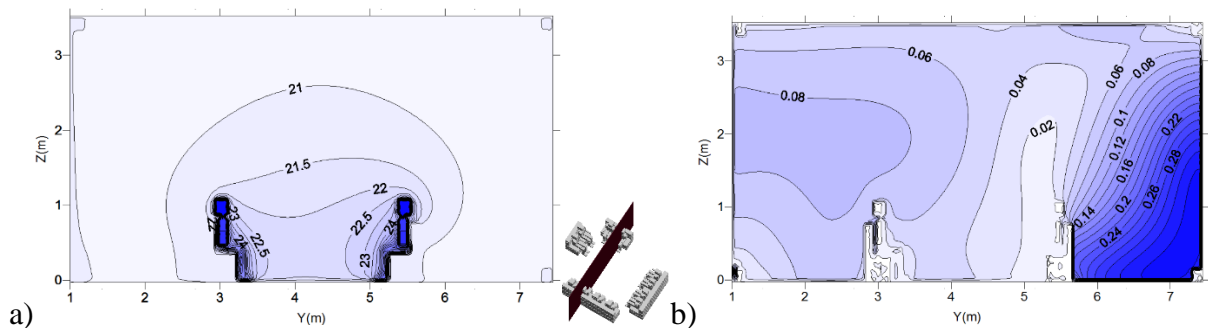


Figura 6.71: Campo de temperatura do ar a) e o campo da velocidade do ar b). Num plano longitudinal $Y=4,05$ m, calculados através do modelo CFD, para a situação I em condições de verão ($T_{in}=20$ °C, $T_{ext}=18$ °C, $Var=0,66$ m/s, $1,67$ m/s e $0,3$ m/s para a sala de jantar e $Var=2$ m/s, $0,46$ m/s e $1,67$ m/s para a sala de convívio).

6.2.2. Conforto térmico

Na avaliação do conforto térmico, nas salas comunicantes, são utilizados os parâmetros como a distribuição da temperatura do ar, velocidade do ar e temperatura da pele para os 24 ocupantes idosos em condições de verão e inverno. A distribuição da temperatura e da velocidade do ar são calculados no software CFD. O modelo HTC utiliza esses dados, como valores de entrada, nas simulações para obter valores como a temperatura da pele dos ocupantes nas diferentes secções do corpo como também do conforto térmico.

As velocidades do ar nos jatos de entrada, quer em condições de verão e quer em condições de inverno, nas salas comunicantes correspondem a uma velocidade de ar de 0,66 m/s, 1,67 m/s e 0,3 m/s na sala de jantar e 2 m/s, 0,46 m/s e 1,67 m/s na sala de convívio.

A distribuição da temperatura do ar em torno das diferentes secções do corpo humano é apresentada na figura 6.72, em condições de verão, para uma temperatura de entrada do ar de 25 °C e para uma temperatura do ar exterior 28 °C. A distribuição da velocidade do ar em torno das diferentes secções do corpo e a temperatura da pele são apresentadas respetivamente nas figuras 6.73 e 6.74 para as mesmas condições de verão anteriormente referidas.

Na figura 6.75 é apresentado a distribuição da temperatura do ar em torno das diferentes secções do corpo humano, para uma temperatura de entrada do ar de 25 °C e para uma temperatura de entrada do ar exterior 38 °C. A distribuição da velocidade do ar em torno das diferentes secções do corpo e a temperatura da pele são apresentadas respetivamente nas figuras 6.76 e 6.77 para as mesmas condições de verão anteriormente referidas.

A figura 6.78 apresenta a distribuição da temperatura do ar em torno das secções do corpo humano, em condições de inverno, para uma temperatura de entrada do ar de 20 °C e para uma temperatura do ar exterior 8 °C. A distribuição da velocidade do ar em torno das diferentes secções do corpo e a temperatura da pele são apresentadas respetivamente nas figuras 6.79 e 6.80 para as mesmas condições de inverno anteriormente referidas.

A distribuição da temperatura do ar é apresentada na figura 6.81, em condições de inverno, para uma temperatura de entrada do ar de 20 °C e para uma temperatura do ar exterior 18 °C. A distribuição da velocidade do ar, em torno das diferentes secções do corpo, para as mesmas condições de inverno observa-se na figura 6.82. A distribuição da temperatura da pele é apresentada para as mesmas condições de inverno na figura 6.83.

As variáveis Tin, Text e Var apresentam, respetivamente, a temperatura de entrada do ar, a temperatura do ar exterior e a velocidade do ar.

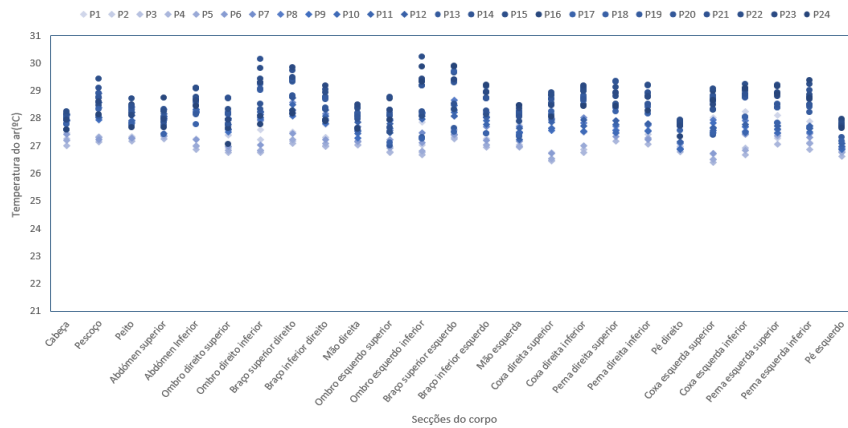


Figura 6.72: Distribuição da temperatura do ar em torno das diferentes secções do corpo dos 24 ocupantes. Situação I em condições de verão (Tin=25 °C, Text=28 °C, Var=0,66 m/s, 1,67 m/s e 0,3 m/s na sala de jantar e Var=2 m/s, 0,46 m/s e 1,67 m/s na sala de convívio).

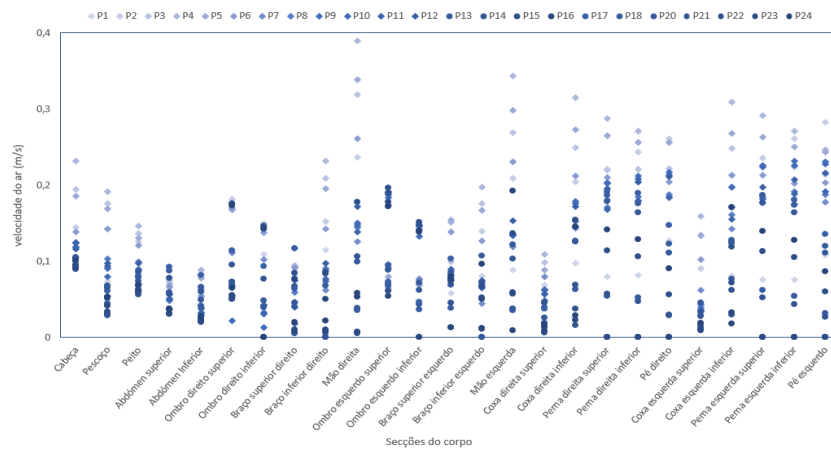


Figura 6.73: Distribuição da velocidade do ar em torno das diferentes secções do corpo dos 24 ocupantes. Situação I em condições de verão (Tin=25 °C, Text=28 °C, Var=0,66 m/s, 1,67 m/s e 0,3 m/s na sala de jantar e Var=2 m/s, 0,46 m/s e 1,67 m/s na sala de convívio).

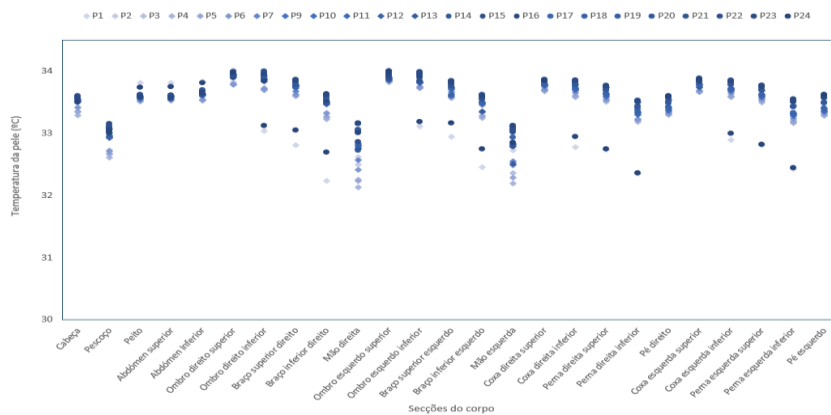


Figura 6.74: Distribuição da temperatura da pele em torno das diferentes secções do corpo dos 24 ocupantes. Situação I em condições de verão (Tin=25 °C, Text=28 °C, Var=0,66 m/s, 1,67 m/s e 0,3 m/s na sala de jantar e Var=2 m/s, 0,46 m/s e 1,67 m/s na sala de convívio).

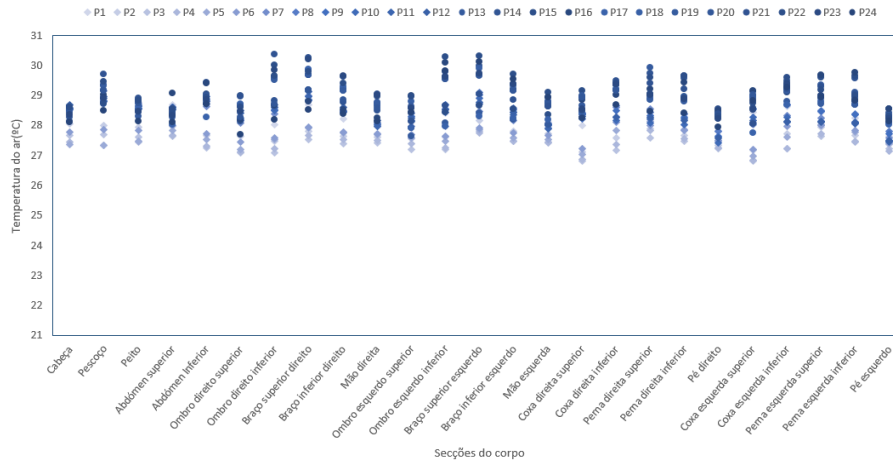


Figura 6.75: Distribuição da temperatura do ar em torno das diferentes secções do corpo dos 24 ocupantes. Situação II em condições de verão ($T_{in}=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=38\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=0,66\text{ m/s}$, $1,67\text{ m/s}$ e $0,3\text{ m/s}$ na sala de jantar e $Var=2\text{ m/s}$, $0,46\text{ m/s}$ e $1,67\text{ m/s}$ na sala de convívio).

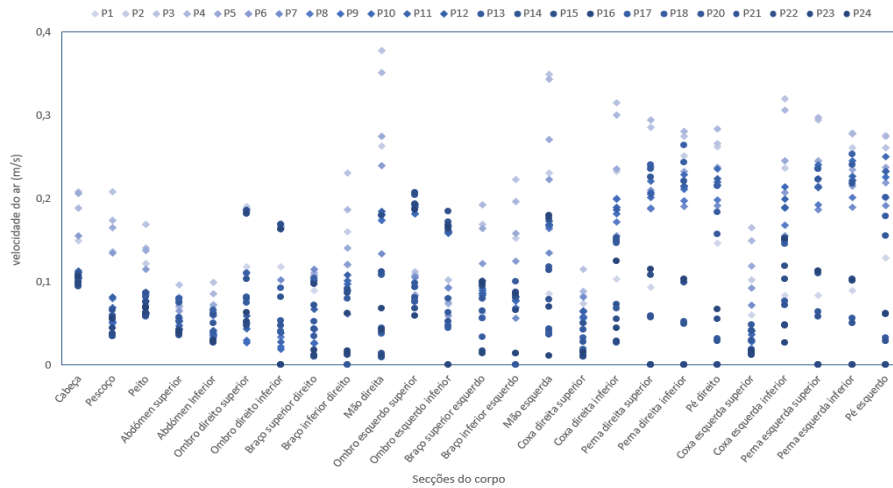


Figura 6.76: Distribuição da velocidade do ar em torno das diferentes secções do corpo dos 24 ocupantes. Situação II em condições de verão ($T_{in}=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=38\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=0,66\text{ m/s}$, $1,67\text{ m/s}$ e $0,3\text{ m/s}$ na sala de jantar e $Var=2\text{ m/s}$, $0,46\text{ m/s}$ e $1,67\text{ m/s}$ na sala de convívio).

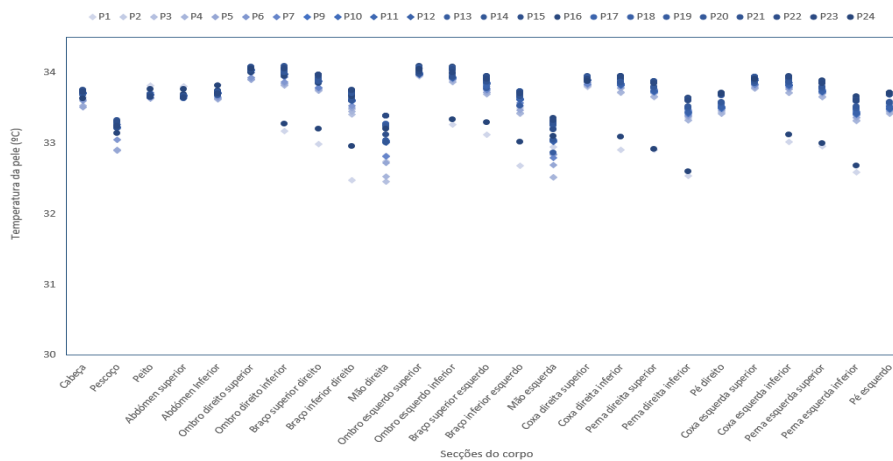


Figura 6.77: Distribuição da temperatura da pele em torno das diferentes secções do corpo dos 24 ocupantes. Situação II em condições de verão ($T_{in}=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=38\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=0,66\text{ m/s}$, $1,67\text{ m/s}$ e $0,3\text{ m/s}$ na sala de jantar e $Var=2\text{ m/s}$, $0,46\text{ m/s}$ e $1,67\text{ m/s}$ na sala de convívio).

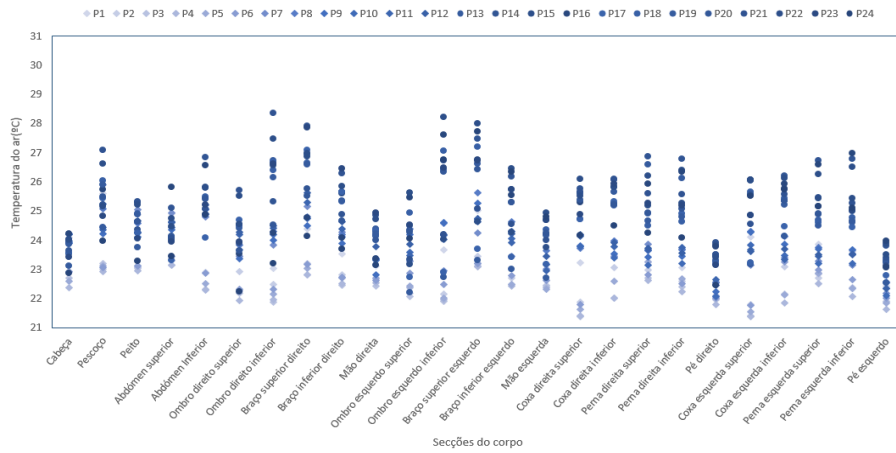


Figura 6.78: Distribuição da temperatura do ar em torno das diferentes secções do corpo dos 24 ocupantes. Situação I em condições de inverno ($T_{in}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=8\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=0,66\text{ m/s}$, $1,67\text{ m/s}$ e $0,3\text{ m/s}$ na sala de jantar e $Var=2\text{ m/s}$, $0,46\text{ m/s}$ e $1,67\text{ m/s}$ na sala de convívio).

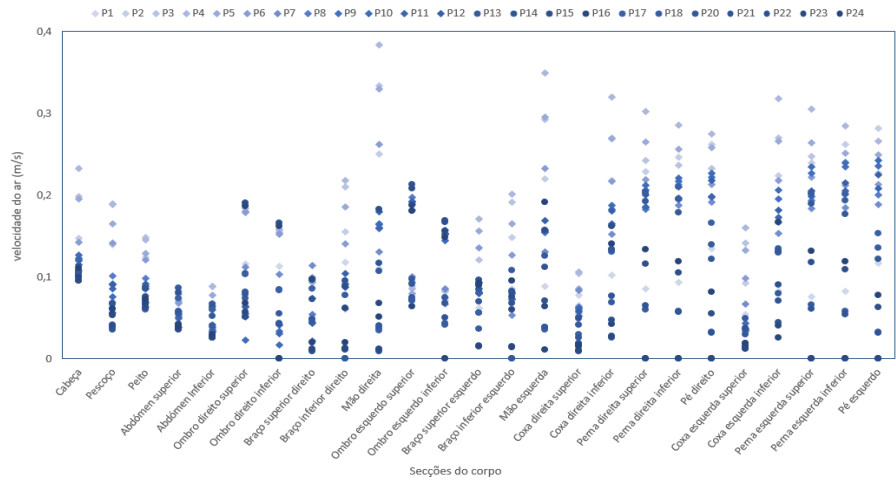


Figura 6.79: Distribuição da velocidade do ar em torno das diferentes secções do corpo dos 24 ocupantes. Situação I em condições de inverno ($T_{in}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=8\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=0,66\text{ m/s}$, $1,67\text{ m/s}$ e $0,3\text{ m/s}$ na sala de jantar e $Var=2\text{ m/s}$, $0,46\text{ m/s}$ e $1,67\text{ m/s}$ na sala de convívio).

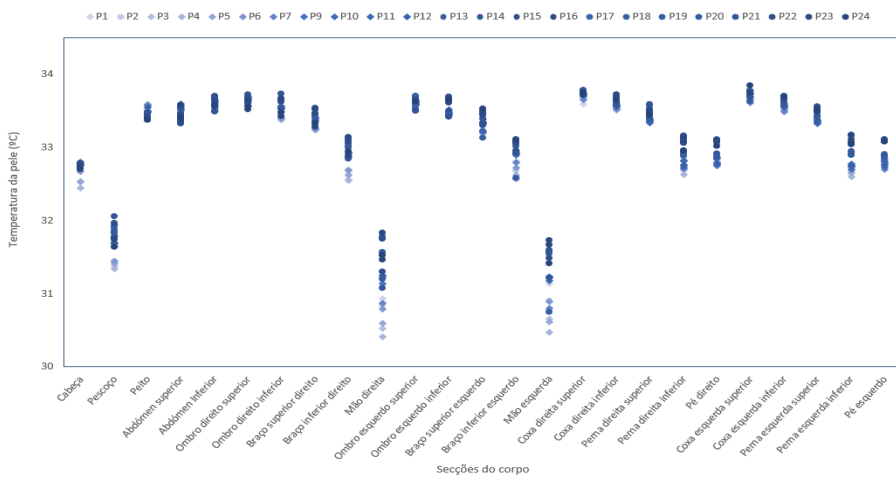


Figura 6.80: Distribuição da temperatura da pele em torno das diferentes secções do corpo dos 24 ocupantes. Situação I em condições de inverno ($T_{in}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=8\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=0,66\text{ m/s}$, $1,67\text{ m/s}$ e $0,3\text{ m/s}$ na sala de jantar e $Var=2\text{ m/s}$, $0,46\text{ m/s}$ e $1,67\text{ m/s}$ na sala de convívio).

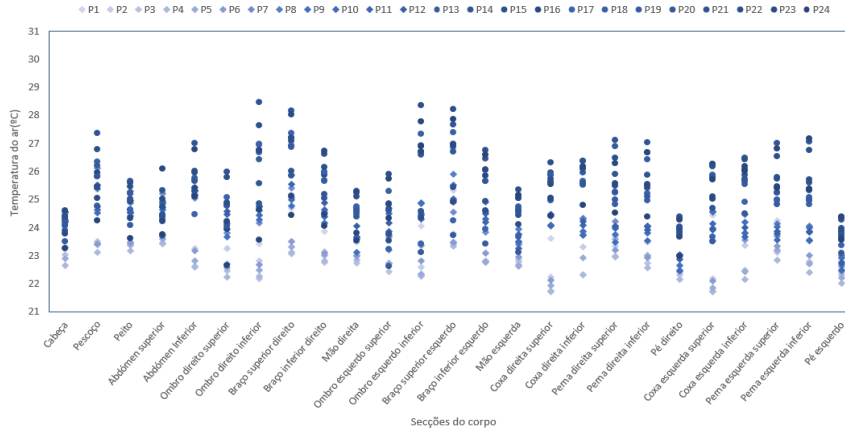


Figura 6.81: Distribuição da temperatura do ar em torno das diferentes secções do corpo dos 24 ocupantes. Situação II em condições de inverno ($T_{in}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=18\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=0,66\text{ m/s}$, $1,67\text{ m/s}$ e $0,3\text{ m/s}$ na sala de jantar e $Var=2\text{ m/s}$, $0,46\text{ m/s}$ e $1,67\text{ m/s}$ na sala de convívio).

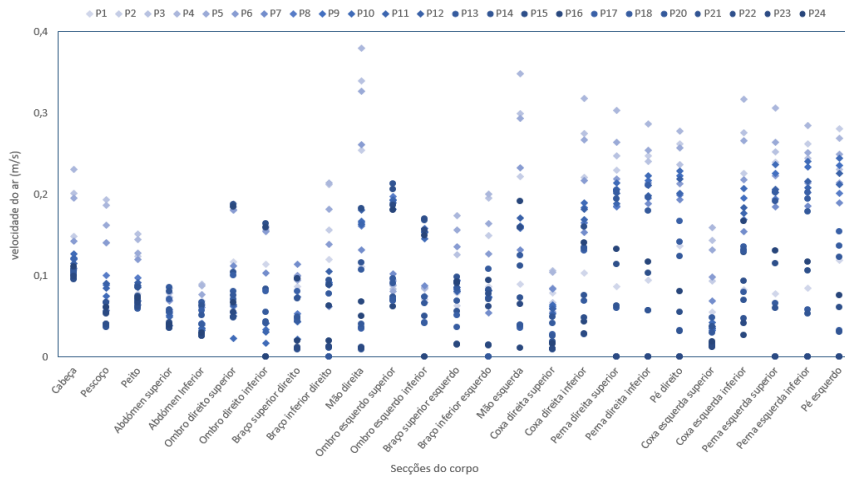


Figura 6.82: Distribuição da velocidade do ar em torno das diferentes secções do corpo dos 24 ocupantes. Situação II em condições de inverno ($T_{in}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=18\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=0,66\text{ m/s}$, $1,67\text{ m/s}$ e $0,3\text{ m/s}$ na sala de jantar e $Var=2\text{ m/s}$, $0,46\text{ m/s}$ e $1,67\text{ m/s}$ na sala de convívio).

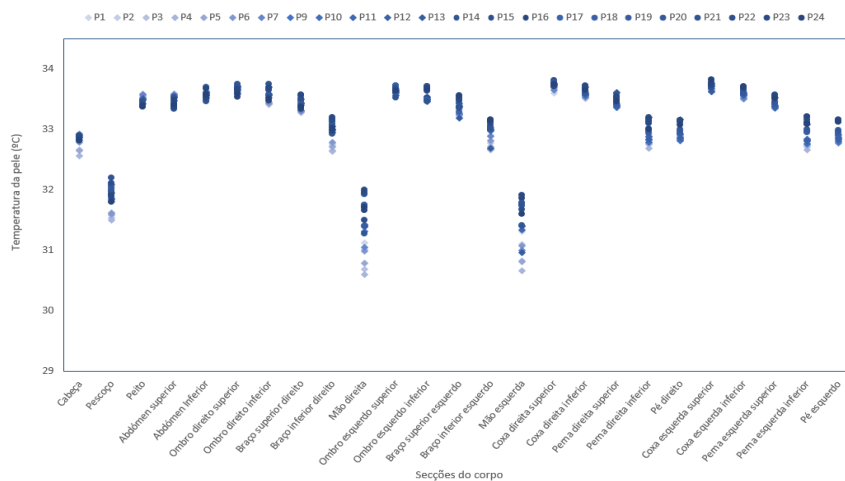


Figura 6.83: Distribuição da temperatura da pele em torno das diferentes secções do corpo dos 24 ocupantes. Situação II em condições de inverno ($T_{in}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=18\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=0,66\text{ m/s}$, $1,67\text{ m/s}$ e $0,3\text{ m/s}$ na sala de jantar e $Var=2\text{ m/s}$, $0,46\text{ m/s}$ e $1,67\text{ m/s}$ na sala de convívio).

Os resultados apresentados para a temperatura do ar, nas diferentes situações, verificam que a temperatura do ar, nas diferentes secções do corpo humano, é mais elevada em condições de verão do que em condições de inverno. Nas situações apresentadas, quer em condições de verão quer em condições de inverno, observa-se que os ocupantes da sala de convívio (numeração de 13 a 24) apresentam valores mais elevados do que os ocupantes da sala de jantar (numeração de 1 a 12).

A velocidade do ar apresentada, em condições de verão e de inverno, é semelhante em toda as situações. Observa-se que os ocupantes da sala de jantar, que apresenta a numeração de 1 a 12, tem uma velocidade do ar mais elevada do que os ocupantes da sala de convívio principalmente nos membros inferiores.

Em relação à temperatura da pele pode-se observar que as secções do corpo não protegidas pelo vestuário como as mãos e pescoço são as mais afetadas pelas diferentes condições de verão e de inverno. Nas situações em condições de inverno o valor da temperatura desce nas zonas não protegidas pelo vestuário.

São apresentados nas figuras 6.84 e 6.85, os valores do índice de PMV (Predicted Mean Vote) em condições de verão e o valor do índice de aPMV definido através do método do conforto adaptativo em condições de verão.

Na figura 6.84 é apresentado os valores do índice de PMV para os 24 ocupantes em condições de verão e inverno. Em condições de verão a temperatura de entrada do ar é de 25 °C, as temperaturas exteriores são de 28 °C (situação I) e de 38 °C (situação II). Em condições de inverno a temperatura de entrada do ar é de 20 °C, para temperaturas exteriores de 8 °C (situação I) e de 18 °C (situação II).

O índice do aPMV é apresentado na figura 6.85 para os 24 ocupantes em condições de verão, para temperatura de entrada do ar de 25 °C, para temperaturas exteriores de 28 °C (situação I) e de 38 °C (situação II).

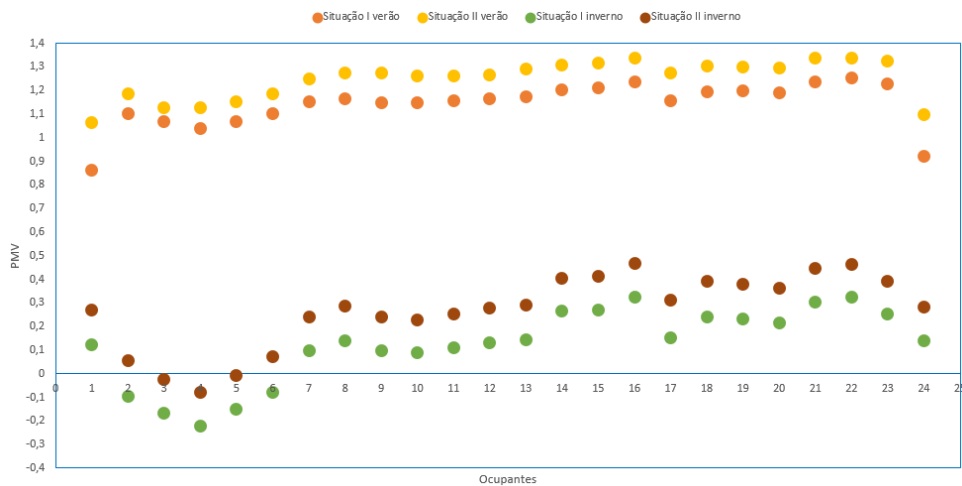


Figura 6.84: Valores do índice de PMV em condições de verão e inverno. Situação I em condições de verão ($T_{in}=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=28\text{ }^{\circ}\text{C}$), situação II em condições de verão ($T_{in}=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=38\text{ }^{\circ}\text{C}$) situação I em condições de inverno ($T_{in}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=8\text{ }^{\circ}\text{C}$) e situação II em condições de inverno ($T_{in}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=18\text{ }^{\circ}\text{C}$).

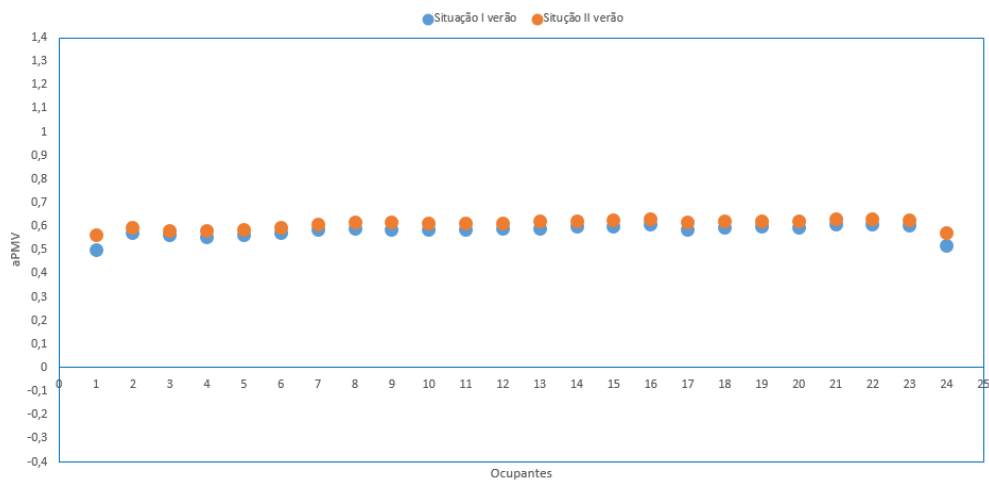


Figura 6.85: Valores do índice de aPMV do conforto adaptativo em condições de verão. Situação I em condições de verão ($T_{in}=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=28\text{ }^{\circ}\text{C}$), situação II em condições de verão ($T_{in}=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=38\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Os resultados do índice de PMV, em condições de inverno, apresentam valores aceitáveis para os 24 ocupantes das salas comunicantes. Nas situações I e II, em condições de verão, os valores apresentados não são aceitáveis.

Através método do conforto adaptativo do índice de aPMV, para as condições de verão, verifica-se uma grande melhoria. As condições são aceitáveis de acordo com a ISSO 7730 (2005).

6.2.3. Desconforto térmico

O desconforto térmico, nas duas salas comunicantes, é analisado através dos parâmetros de intensidade de turbulência do ar e o Risco de Resfriamento através do DR (*Draught Risk*).

As velocidades do ar nos jatos de entrada, quer em condições de verão e quer em condições de inverno, nas salas comunicantes correspondem a uma velocidade de ar de 0,66 m/s, 1,67 m/s e 0,3 m/s na sala de jantar e 2 m/s, 0,46 m/s e 1,67 m/s na sala de convívio.

A intensidade de turbulência do ar, em torno das diferentes secções do corpo dos 24 ocupantes, observa-se na figura 6.86, em condições de verão, para uma temperatura de entrada do ar de 25 °C e para uma temperatura do ar exterior 28 °C. O Risco de Resfriamento para as mesmas condições de verão é apresentado na figura 6.87.

Na figura 6.88 é apresentado a intensidade de turbulência do ar em torno das diferentes secções do corpo dos 24 ocupantes, em condições de verão, para uma temperatura de entrada do ar de 25 °C e para uma temperatura do ar exterior 38 °C. O Risco de Resfriamento, para as mesmas condições de verão, é observado na figura 6.89.

A figura 6.90, em condições de inverno, apresenta a intensidade de turbulência do ar em torno das diferentes secções do corpo dos 24 ocupantes para uma temperatura de entrada do ar de 20 °C e para uma temperatura do ar exterior 8 °C. Na figura 6.91 é observado o Risco de Resfriamento para as mesmas condições de inverno.

A intensidade de turbulência do ar em torno das diferentes secções do corpo dos 24 ocupantes, em condições de inverno, observa-se na figura 6.92 para uma temperatura de entrada do ar de 20 °C e para uma temperatura do ar exterior 18 °C. Nas mesmas condições de inverno, é apresentado na figura 6.93 o Risco de Resfriamento.

As variáveis Tin, Text e Var apresentam, respetivamente, a temperatura da entrada do ar, a temperatura do ar exterior e a velocidade do ar.

A intensidade de turbulência do ar em condições de verão e inverno é relativamente baixa e apresenta um valor inferior a 7%. Verifica-se que a intensidade de turbulência do ar é ligeiramente mais elevada nos membros superiores do que no tronco e nos membros inferiores.

O Risco de Resfriamento, em condições de inverno, apresenta valores mais elevados do que em condições de verão. As situações I e II, em condições de verão, apresentam valores semelhantes o que também se verifica nas situações I e II, em condições de inverno.

O valor do DR, em condições de verão, apresenta condições aceitáveis para a categoria A, enquanto que no inverno apresenta condições aceitáveis para a categoria B da ISO 7730

(2005). Contudo pode-se observar que na sala de jantar os ocupantes (numeração 1 a 12) têm uma percentagem mais elevada de Risco de Resfriamento em relação aos da sala de convívio).

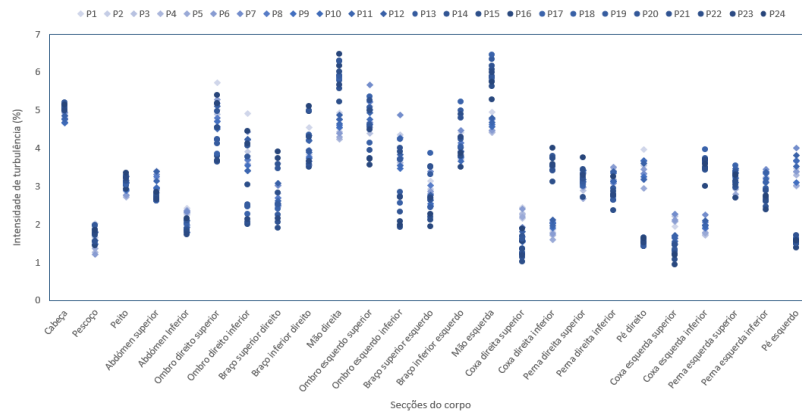


Figura 6.86: Intensidade de turbulência do ar em torno das secções do corpo dos 24 ocupantes. Situação I em condições de verão ($T_{in}=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=28\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=0,66\text{ m/s}$, $1,67\text{ m/s}$ e $0,3\text{ m/s}$ na sala de jantar e $Var=2\text{ m/s}$, $0,46\text{ m/s}$ e $1,67\text{ m/s}$ na sala de convívio).

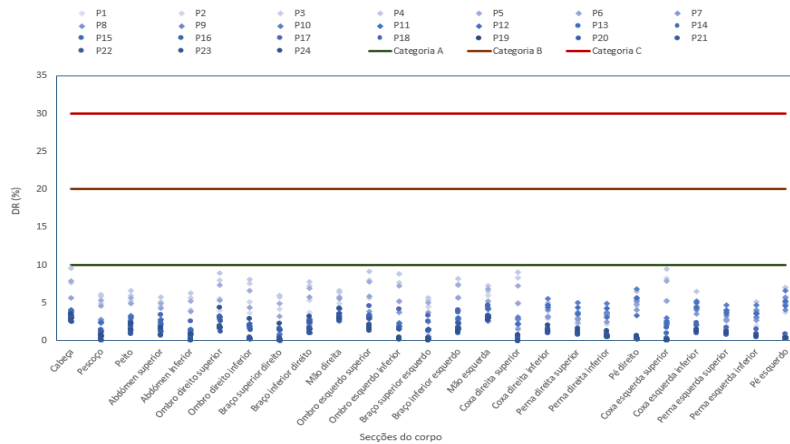


Figura 6.87: Risco de Resfriamento em torno das secções do corpo dos 24 ocupantes. Situação I em condições de verão ($T_{in}=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=28\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=0,66\text{ m/s}$, $1,67\text{ m/s}$ e $0,3\text{ m/s}$ na sala de jantar e $Var=2\text{ m/s}$, $0,46\text{ m/s}$ e $1,67\text{ m/s}$ na sala de convívio).

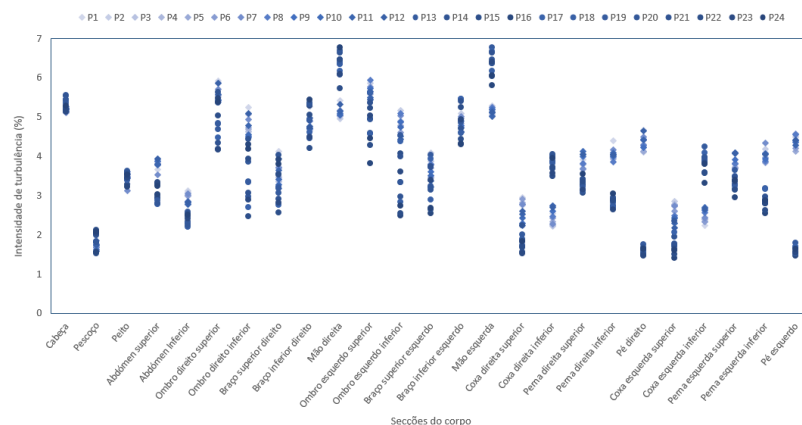


Figura 6.88: Intensidade de turbulência do ar em torno das secções do corpo dos 24 ocupantes. Situação II em condições de verão ($T_{in}=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=38\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=0,66\text{ m/s}$, $1,67\text{ m/s}$ e $0,3\text{ m/s}$ na sala de jantar e $Var=2\text{ m/s}$, $0,46\text{ m/s}$ e $1,67\text{ m/s}$ na sala de convívio).

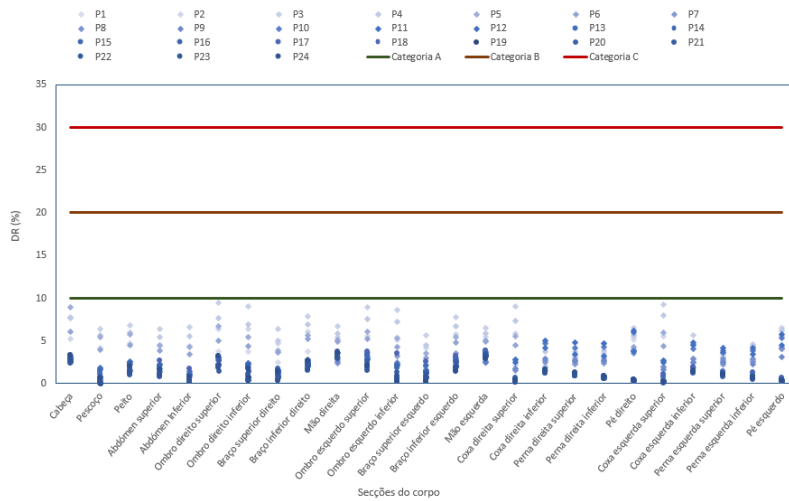


Figura 6.89: Risco de Resfriamento em torno das secções do corpo dos 24 ocupantes. Situação II em condições de verão ($T_{in}=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=38\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=0,66\text{ m/s}$, $1,67\text{ m/s}$ e $0,3\text{ m/s}$ na sala de jantar e $Var=2\text{ m/s}$, $0,46\text{ m/s}$ e $1,67\text{ m/s}$ na sala de convívio).

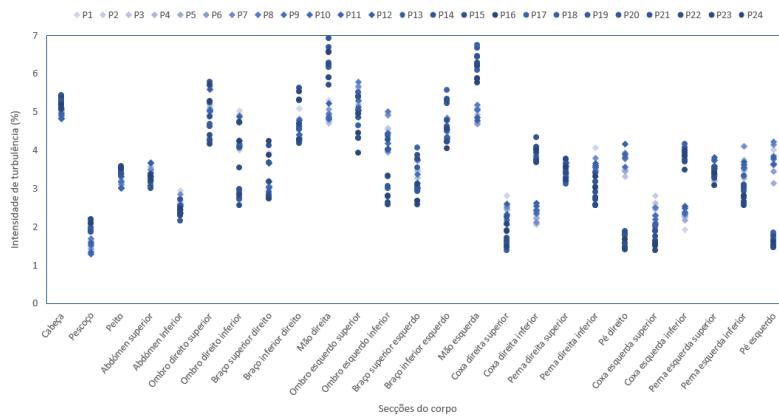


Figura 6.90: Intensidade de turbulência do ar em torno das secções do corpo dos 24 ocupantes. Situação I em condições de inverno ($T_{in}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=8\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=0,66\text{ m/s}$, $1,67\text{ m/s}$ e $0,3\text{ m/s}$ na sala de jantar e $Var=2\text{ m/s}$, $0,46\text{ m/s}$ e $1,67\text{ m/s}$ na sala de convívio).

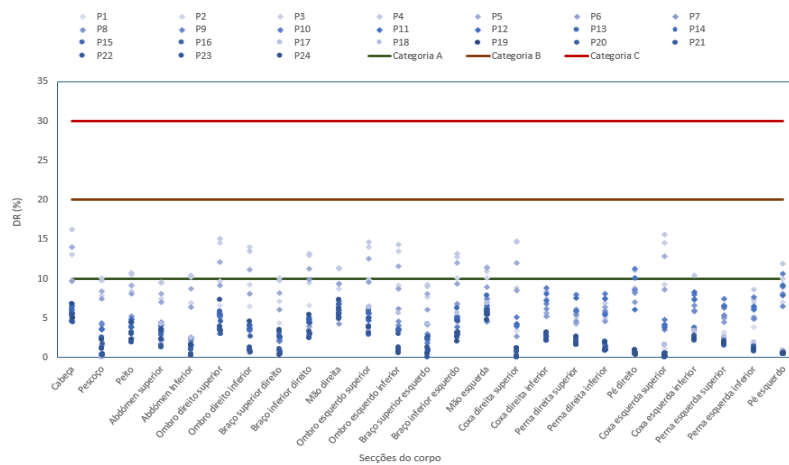


Figura 6.91: Risco de Resfriamento em torno das secções do corpo dos 24 ocupantes. Situação I em condições de inverno ($T_{in}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=8\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=0,66\text{ m/s}$, $1,67\text{ m/s}$ e $0,3\text{ m/s}$ na sala de jantar e $Var=2\text{ m/s}$, $0,46\text{ m/s}$ e $1,67\text{ m/s}$ na sala de convívio).

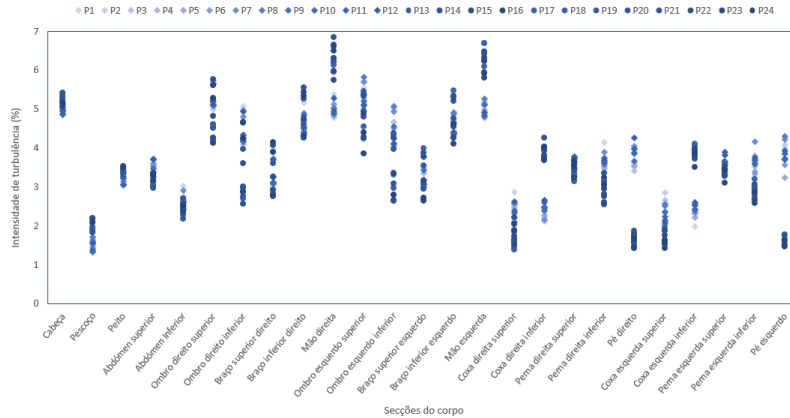


Figura 6.92: Intensidade de turbulência do ar em torno das secções do corpo dos 24 ocupantes. Situação II em condições de inverno ($T_{in}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=18\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=0,66\text{ m/s}$, $1,67\text{ m/s}$ e $0,3\text{ m/s}$ na sala de jantar e $Var=2\text{ m/s}$, $0,46\text{ m/s}$ e $1,67\text{ m/s}$ na sala de convívio).

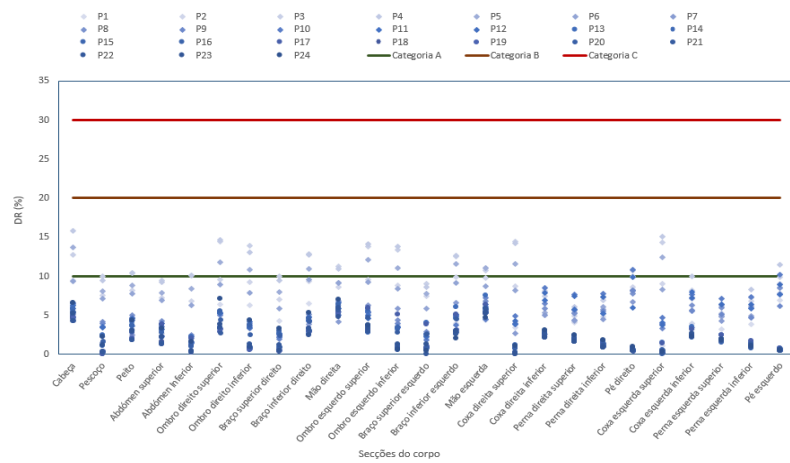


Figura 6.93: Risco de Resfriamento em torno das secções do corpo dos 24 ocupantes. Situação II em condições de inverno ($T_{in}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{ext}=18\text{ }^{\circ}\text{C}$, $Var=0,66\text{ m/s}$, $1,67\text{ m/s}$ e $0,3\text{ m/s}$ na sala de jantar e $Var=2\text{ m/s}$, $0,46\text{ m/s}$ e $1,67\text{ m/s}$ na sala de convívio).

6.2.4. Qualidade do ar

A qualidade do ar, nas salas comunicantes, é analisada através da concentração de dióxido de carbono obtida pelo plano transversal $X=3,9\text{ m}$.

As velocidades do ar nos jatos de entrada, quer em condições de verão e quer em condições de inverno, nas salas comunicantes correspondem a uma velocidade de ar de $0,66\text{ m/s}$, $1,67\text{ m/s}$ e $0,3\text{ m/s}$ na sala de jantar e 2 m/s , $0,46\text{ m/s}$ e $1,67\text{ m/s}$ na sala de convívio.

Em condições de verão, na situação I, é apresentada a concentração de dióxido de carbono na figura 6.94, para uma temperatura de entrada do ar de $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ e temperatura do ar exterior de $28\text{ }^{\circ}\text{C}$. A situação II é apresentada a concentração de dióxido de carbono na figura

6.95 para uma temperatura de entrada do ar de 25 °C e para uma temperatura do ar exterior de 38 °C.

A concentração de dióxido de carbono é observada na figura 6.96, em condições de inverno, para uma temperatura de entrada do ar de 20 °C e para uma temperatura do ar exterior de 8 °C. Na figura 6.97 é apresentado a concentração de dióxido de carbono para uma temperatura de entrada do ar de 20 °C e para uma temperatura do ar exterior de 18 °C.

As variáveis de T_{in} , T_{ext} , Var e CO_2 apresentam, respetivamente, a temperatura da entrada do ar, a temperatura do ar exterior, a velocidade do ar e a concentração de dióxido de carbono.

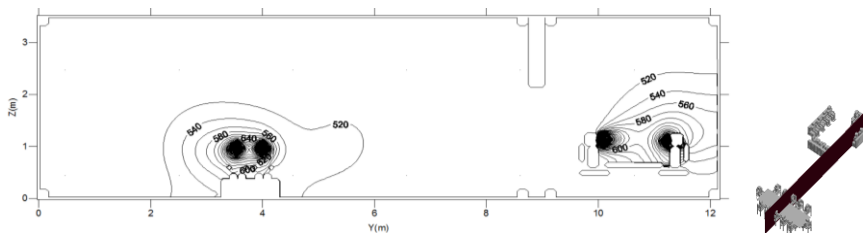


Figura 6.94 Concentração de CO_2 num plano transversal, $X=3,9$ m. Situação I em condições de verão ($T_{in}=25$ °C, $T_{ext}=28$ °C, $Var=0,66$ m/s, 1,67 m/s e 0,3 m/s na sala de jantar e $Var=2$ m/s, 0,46 m/s e 1,67 m/s na sala de convívio).

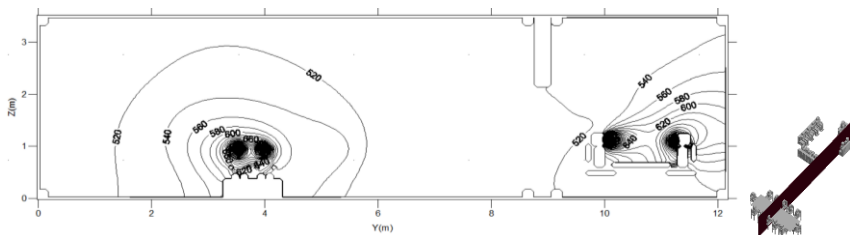


Figura 6.95: Concentração de CO_2 num plano transversal, $X=3,9$ m. Situação II em condições de verão ($T_{in}=25$ °C, $T_{ext}=38$ °C, $Var=0,66$ m/s, 1,67 m/s e 0,3 m/s na sala de jantar e $Var=2$ m/s, 0,46 m/s e 1,67 m/s na sala de convívio).

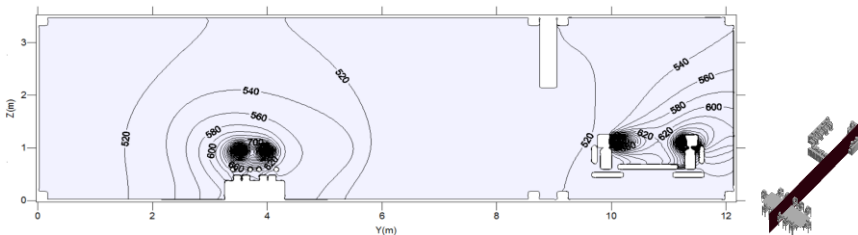


Figura 6.96: Concentração de CO_2 num plano transversal, $X=3,9$ m. Situação I em condições de inverno ($T_{in}=20$ °C, $T_{ext}=8$ °C, $Var=0,66$ m/s, 1,67 m/s e 0,3 m/s na sala de jantar e $Var=2$ m/s, 0,46 m/s e 1,67 m/s na sala de convívio).

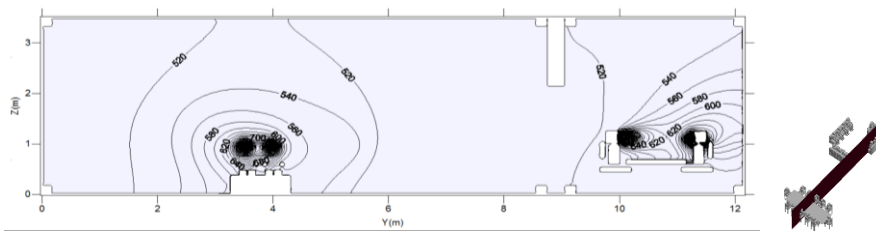


Figura 6.97: Concentração de CO_2 num plano transversal, $X=3,9$ m. Situação II em condições de inverno ($T_{in}=20$ °C, $T_{ext}=18$ °C, $Var=0,66$ m/s, 1,67 m/s e 0,3 m/s na sala de jantar e $Var=2$ m/s, 0,46 m/s e 1,67 m/s na sala de convívio).

A concentração de dióxido de carbono encontra-se mais elevada na zona de respiração dos ocupantes da sala de jantar e da sala de convívio. A concentração do dióxido de carbono é semelhante em todas as situações e pode-se observar que as isolinhas na sala de convívio aproximam-se do o teto, onde se encontra a exaustão.

6.2.5. Índice de distribuição do ar (ADI)

As tabelas seguintes apresentam os valores obtidos, para os 24 ocupantes, para condições de verão e de inverno nas salas comunicantes. Nas tabelas são apresentados valores da temperatura do ar de saída, temperatura do ar em torno dos ocupantes, a eficiência de remoção do calor, índice PPD, número de conforto térmico, dióxido de carbono, eficiência de remoção de contaminantes, percentagem de insatisfação com a qualidade do ar interior (PD), número de concentração de ar e o índice de distribuição do ar (ADI).

As velocidades do ar nos jatos de entrada, quer em condições de verão e quer em condições de inverno, nas salas comunicantes correspondem a uma velocidade de ar de 0,66 m/s, 1,67 m/s e 0,3 m/s na sala de jantar e 2 m/s, 0,46 m/s e 1,67 m/s na sala de convívio.

Em condições de verão, para uma temperatura de entrada do ar de 25 °C e uma temperatura do ar exterior de 28 °C é apresentado o valor de ADI na tabela 6.14. É apresentado o valor do ADI através do método de conforto adaptativo do índice aPMV na tabela 6.15 para as mesmas condições de verão.

Na tabela 6.16 é apresentado o valor de ADI, em condições de verão, para uma temperatura de entrada do ar de 25 °C e para uma temperatura do ar exterior de 38 °C. A tabela 6.17 corresponde ao método de conforto adaptativo do índice aPMV para as mesmas condições de verão.

Em condições de inverno, o valo do ADI, é apresentado na tabela 6.18 para uma temperatura de entrada do ar de 20 °C e para uma temperatura do ar exterior de 8 °C.

Na tabela 6.19, em condições de inverno, observa-se o valor do ADI para uma temperatura de entrada do ar de 20 °C e para uma temperatura do ar exterior de 18 °C.

Tabela 6.14: Valor do ADI e outros parâmetros para 24 ocupantes. Situação I em condições de verão (Tin=25 °C, Text=28 °C e Var=0,66 m/s, 1,67 m/s e 0,3 m/s na sala de jantar e Var=2 m/s, 0,46 m/s e 1,67 m/s na sala de convívio).

Ocupantes	Temperatura de saída (°C)	Temperatura do ar em torno dos ocupantes (°C)	Eficiência de remoção de calor (%)	PPD (%) (conforto térmico)	Número de conforto térmico	CO ₂ na saída (mg/m ³)	Concentração de CO ₂ (mg/m ³)	Eficiência de remoção de contaminantes (%)	PD (%) (qualidade do ar)	Número de qualidade do ar	Índice de distribuição de ar (ADI)
1	26,37	28,02	45,17	20,72	2,18	557,38	2588,98	2,75	1,88	1,46	1,78
2	26,37	27,26	60,42	30,58	1,98	557,38	1583,52	5,30	1,88	2,82	2,36
3	26,37	27,06	66,29	29,06	2,28	557,38	1820,92	4,34	1,88	2,31	2,30
4	26,37	26,94	70,54	27,76	2,54	557,38	1056,53	10,31	1,88	5,48	3,73
5	26,37	27,09	65,46	28,99	2,26	557,38	1997,57	3,83	1,88	2,04	2,15
6	26,37	27,22	61,39	30,51	2,01	557,38	1896,36	4,11	1,88	2,19	2,10
7	26,37	27,99	45,59	32,87	1,39	557,38	2867,36	2,42	1,88	1,29	1,34
8	26,37	27,96	46,09	33,47	1,38	557,38	1279,44	7,36	1,88	3,92	2,32
9	26,37	27,78	49,05	32,66	1,50	557,38	1084,43	9,82	1,88	5,22	2,80
10	26,37	27,78	49,16	32,73	1,50	557,38	1009,53	11,26	1,88	5,99	3,00
11	26,37	27,83	48,21	33,09	1,46	557,38	1081,84	9,86	1,88	5,25	2,76
12	26,37	28,02	45,21	33,56	1,35	557,38	1250,16	7,65	1,88	4,07	2,34
13	26,37	27,97	46,02	33,88	1,36	557,38	850,39	16,38	1,88	8,71	3,44
14	26,37	28,49	39,16	35,45	1,10	557,38	1005,95	11,34	1,88	6,03	2,58
15	26,37	28,47	39,30	35,83	1,10	557,38	1018,01	11,08	1,88	5,89	2,54
16	26,37	28,59	38,02	37,04	1,03	557,38	1217,29	8,00	1,88	4,25	2,09
17	26,37	27,88	47,47	33,15	1,43	557,38	1256,95	7,58	1,88	4,03	2,40
18	26,37	28,43	39,82	34,99	1,14	557,38	1133,09	9,06	1,88	4,82	2,34
19	26,37	28,45	39,56	35,15	1,13	557,38	1049,44	10,44	1,88	5,55	2,50
20	26,37	28,38	40,40	34,66	1,17	557,38	976,37	12,05	1,88	6,41	2,73
21	26,37	28,52	38,79	37,11	1,05	557,38	955,12	12,61	1,88	6,71	2,65
22	26,37	28,79	36,01	37,83	0,95	557,38	1046,55	10,50	1,88	5,58	2,31
23	26,37	28,45	39,61	36,60	1,08	557,38	1070,60	10,06	1,88	5,35	2,41
24	26,37	28,08	44,37	22,93	1,94	557,38	951,63	12,71	1,88	6,76	3,62
Média	26,37	27,98	47,55	32,53	1,51	557,38	1335,33	8,78	1,88	4,67	2,52

Tabela 6.15: Valor do ADI através do método de conforto adaptativo do índice aPMV. Situação I em condições de verão (Tin=25 °C, Text=28 °C e Var=0,66 m/s, 1,67 m/s e 0,3 m/s na sala de jantar e Var=2 m/s, 0,46 m/s e 1,67 m/s na sala de convívio).

Ocupantes	Temperatura de saída (°C)	Temperatura do ar em torno dos ocupantes (°C)	Eficiência de remoção de calor (%)	PPD (%) (conforto térmico)	Número de conforto térmico	CO ₂ na saída (mg/m ³)	Concentração de CO ₂ (mg/m ³)	Eficiência de remoção de contaminantes (%)	PD (%) (qualidade do ar)	Número de qualidade do ar	Índice de distribuição de ar (ADI)
1	26,37	28,02	45,17	10,22	4,42	557,38	2588,98	2,75	1,88	1,46	2,54
2	26,37	27,26	60,42	11,84	5,10	557,38	1583,52	5,30	1,88	2,82	3,79
3	26,37	27,06	66,29	11,62	5,70	557,38	1820,92	4,34	1,88	2,31	3,63
4	26,37	26,94	70,54	11,42	6,18	557,38	1056,53	10,31	1,88	5,48	5,82
5	26,37	27,09	65,46	11,61	5,64	557,38	1997,57	3,83	1,88	2,04	3,39
6	26,37	27,22	61,39	11,83	5,19	557,38	1896,36	4,11	1,88	2,19	3,37
7	26,37	27,99	45,59	12,16	3,75	557,38	2867,36	2,42	1,88	1,29	2,20
8	26,37	27,96	46,09	12,24	3,77	557,38	1279,44	7,36	1,88	3,92	3,84
9	26,37	27,78	49,05	12,13	4,04	557,38	1084,43	9,82	1,88	5,22	4,60
10	26,37	27,78	49,16	12,14	4,05	557,38	1009,53	11,26	1,88	5,99	4,93
11	26,37	27,83	48,21	12,19	3,96	557,38	1081,84	9,86	1,88	5,25	4,56
12	26,37	28,02	45,21	12,25	3,69	557,38	1250,16	7,65	1,88	4,07	3,88
13	26,37	27,97	46,02	12,29	3,74	557,38	850,39	16,38	1,88	8,71	5,71
14	26,37	28,49	39,16	12,49	3,13	557,38	1005,95	11,34	1,88	6,03	4,35
15	26,37	28,47	39,30	12,54	3,13	557,38	1018,01	11,08	1,88	5,89	4,30
16	26,37	28,59	38,02	12,69	3,00	557,38	1217,29	8,00	1,88	4,25	3,57
17	26,37	27,88	47,47	12,19	3,89	557,38	1256,95	7,58	1,88	4,03	3,96
18	26,37	28,43	39,82	12,43	3,20	557,38	1133,09	9,06	1,88	4,82	3,93
19	26,37	28,45	39,56	12,46	3,18	557,38	1049,44	10,44	1,88	5,55	4,20
20	26,37	28,38	40,40	12,39	3,26	557,38	976,37	12,05	1,88	6,41	4,57
21	26,37	28,52	38,79	12,70	3,05	557,38	955,12	12,61	1,88	6,71	4,53
22	26,37	28,79	36,01	12,79	2,82	557,38	1046,55	10,50	1,88	5,58	3,97
23	26,37	28,45	39,61	12,64	3,13	557,38	1070,60	10,06	1,88	5,35	4,10
24	26,37	28,08	44,37	10,63	4,17	557,38	951,63	12,71	1,88	6,76	5,31
Média	26,37	27,98	47,55	12,08	3,97	557,38	1335,33	8,78	1,88	4,67	4,13

Tabela 6.16: Valor do ADI e outros parâmetros para 24 ocupantes. Situação II em condições de verão (Tin=25 °C, Text=38 °C e Var=0,66 m/s, 1,67 m/s e 0,3 m/s na sala de jantar e Var=2 m/s, 0,46 m/s e 1,67 m/s na sala de convívio).

Ocupantes	Temperatura de saída (°C)	Temperatura do ar em torno dos ocupantes (°C)	Eficiência de remoção de calor (%)	PPD (%) (conforto térmico)	Número de conforto térmico	CO ₂ na saída (mg/m ³)	Concentração de CO ₂ (mg/m ³)	Eficiência de remoção de contaminantes (%)	PD (%) (qualidade do ar)	Número de qualidade do ar	Índice de distribuição de ar (ADI)
1	26,97	28,47	56,91	28,88	1,97	556,01	2373,53	2,99	1,88	1,59	1,77
2	26,97	27,74	72,06	34,56	2,08	556,01	1874,13	4,08	1,88	2,17	2,13
3	26,97	27,40	82,25	31,82	2,59	556,01	2405,17	2,94	1,88	1,56	2,01
4	26,97	27,37	83,09	31,75	2,62	556,01	2449,85	2,87	1,88	1,53	2,00
5	26,97	27,53	78,01	32,86	2,37	556,01	1532,31	5,43	1,88	2,89	2,62
6	26,97	27,75	71,83	34,53	2,08	556,01	1596,54	5,11	1,88	2,72	2,38
7	26,97	28,44	57,37	37,66	1,52	556,01	3009,46	2,23	1,88	1,19	1,34
8	26,97	28,51	56,15	39,02	1,44	556,01	1260,86	7,36	1,88	3,92	2,37
9	26,97	28,50	56,30	38,98	1,44	556,01	1052,64	10,14	1,88	5,39	2,79
10	26,97	28,40	57,99	38,40	1,51	556,01	1154,15	8,56	1,88	4,55	2,62
11	26,97	28,38	58,30	38,37	1,52	556,01	1250,83	7,46	1,88	3,97	2,46
12	26,97	28,44	57,31	38,54	1,49	556,01	1336,06	6,70	1,88	3,56	2,30
13	26,97	28,59	54,98	39,83	1,38	556,01	832,61	16,84	1,88	8,96	3,52
14	26,97	28,86	51,13	40,70	1,26	556,01	992,24	11,38	1,88	6,05	2,76
15	26,97	28,83	51,50	41,09	1,25	556,01	934,43	12,89	1,88	6,86	2,93
16	26,97	29,00	49,35	42,28	1,17	556,01	986,21	11,52	1,88	6,13	2,67
17	26,97	28,52	56,03	38,93	1,44	556,01	1080,63	9,65	1,88	5,13	2,72
18	26,97	28,89	50,68	40,45	1,25	556,01	959,89	12,18	1,88	6,48	2,85
19	26,97	28,84	51,44	40,21	1,28	556,01	954,03	12,34	1,88	6,56	2,90
20	26,97	28,82	51,68	40,05	1,29	556,01	909,98	13,66	1,88	7,27	3,06
21	26,97	28,87	50,97	42,15	1,21	556,01	934,87	12,88	1,88	6,85	2,88
22	26,97	28,95	49,98	42,14	1,19	556,01	1042,97	10,32	1,88	5,49	2,55
23	26,97	28,74	52,71	41,49	1,27	556,01	1303,42	6,97	1,88	3,71	2,17
24	26,97	28,44	57,41	30,44	1,89	556,01	1398,25	6,24	1,88	3,32	2,50
Média	26,97	28,43	58,98	37,71	1,60	556,01	1401,04	8,45	1,88	4,49	2,51

Tabela 6.17: Valor do ADI através do método de conforto adaptativo do índice aPMV. Situação II em condições de verão (Tin=25 °C, Text=38 °C e Var=0,66 m/s, 1,67 m/s e 0,3 m/s na sala de jantar e Var=2 m/s, 0,46 m/s e 1,67 m/s na sala de convívio).

Ocupantes	Temperatura de saída (°C)	Temperatura do ar em torno dos ocupantes (°C)	Eficiência de remoção de calor (%)	PPD (%) (conforto térmico)	Número de conforto térmico	CO ₂ na saída (mg/m ³)	Concentração de CO ₂ (mg/m ³)	Eficiência de remoção de contaminantes (%)	PD (%) (qualidade do ar)	Número de qualidade do ar	Índice de distribuição de ar (ADI)
1	26,97	28,47	56,91	11,59	4,91	556,01	2373,53	2,99	1,88	1,59	2,79
2	26,97	27,74	72,06	12,38	5,82	556,01	1874,13	4,08	1,88	2,17	3,55
3	26,97	27,40	82,25	12,01	6,85	556,01	2405,17	2,94	1,88	1,56	3,27
4	26,97	27,37	83,09	12,00	6,92	556,01	2449,85	2,87	1,88	1,53	3,25
5	26,97	27,53	78,01	12,15	6,42	556,01	1532,31	5,43	1,88	2,89	4,31
6	26,97	27,75	71,83	12,38	5,80	556,01	1596,54	5,11	1,88	2,72	3,97
7	26,97	28,44	57,37	12,77	4,49	556,01	3009,46	2,23	1,88	1,19	2,31
8	26,97	28,51	56,15	12,93	4,34	556,01	1260,86	7,36	1,88	3,92	4,12
9	26,97	28,50	56,30	12,93	4,35	556,01	1052,64	10,14	1,88	5,39	4,85
10	26,97	28,40	57,99	12,86	4,51	556,01	1154,15	8,56	1,88	4,55	4,53
11	26,97	28,38	58,30	12,85	4,54	556,01	1250,83	7,46	1,88	3,97	4,24
12	26,97	28,44	57,31	12,88	4,45	556,01	1336,06	6,70	1,88	3,56	3,98
13	26,97	28,59	54,98	13,03	4,22	556,01	832,61	16,84	1,88	8,96	6,15
14	26,97	28,86	51,13	13,13	3,89	556,01	992,24	11,38	1,88	6,05	4,86
15	26,97	28,83	51,50	13,17	3,91	556,01	934,43	12,89	1,88	6,86	5,18
16	26,97	29,00	49,35	13,31	3,71	556,01	986,21	11,52	1,88	6,13	4,77
17	26,97	28,52	56,03	12,92	4,34	556,01	1080,63	9,65	1,88	5,13	4,72
18	26,97	28,89	50,68	13,10	3,87	556,01	959,89	12,18	1,88	6,48	5,01
19	26,97	28,84	51,44	13,07	3,93	556,01	954,03	12,34	1,88	6,56	5,08
20	26,97	28,82	51,68	13,05	3,96	556,01	909,98	13,66	1,88	7,27	5,36
21	26,97	28,87	50,97	13,30	3,83	556,01	934,87	12,88	1,88	6,85	5,12
22	26,97	28,95	49,98	13,29	3,76	556,01	1042,97	10,32	1,88	5,49	4,54
23	26,97	28,74	52,71	13,22	3,99	556,01	1303,42	6,97	1,88	3,71	3,84
24	26,97	28,44	57,41	11,82	4,86	556,01	1398,25	6,24	1,88	3,32	4,02
Média	26,97	28,43	58,98	12,76	4,65	556,01	1401,04	8,45	1,88	4,49	4,33

Tabela 6.18: Valor do ADI e outros parâmetros para 24 ocupantes. Situação I em condições de inverno (Tin=20 °C, Text=8 °C e Var=0,66 m/s, 1,67 m/s e 0,3 m/s na sala de jantar e Var=2 m/s, 0,46 m/s e 1,67 m/s na sala de convívio).

Ocupantes	Temperatura de saída (°C)	Temperatura do ar em torno dos ocupantes (°C)	Eficiência de remoção de calor (%)	PPD (%) (conforto térmico)	Número de conforto térmico	CO ₂ na saída (mg/m ³)	Concentração de CO ₂ (mg/m ³)	Eficiência de remoção de contaminantes (%)	PD (%) (qualidade do ar)	Número de qualidade do ar	Índice de distribuição de ar (ADI)
1	20,62	24,09	15,10	5,30	2,85	558,27	2479,18	2,94	1,88	1,57	2,11
2	20,62	22,75	22,47	5,19	4,33	558,27	1661,73	5,02	1,88	2,67	3,40
3	20,62	22,49	24,73	5,58	4,43	558,27	1979,00	3,94	1,88	2,10	3,05
4	20,62	22,39	25,82	6,00	4,30	558,27	1009,80	11,43	1,88	6,08	5,11
5	20,62	22,62	23,56	5,47	4,31	558,27	1804,31	4,47	1,88	2,38	3,20
6	20,62	22,81	21,93	5,12	4,28	558,27	1912,92	4,12	1,88	2,19	3,06
7	20,62	24,14	14,89	5,19	2,87	558,27	2824,51	2,51	1,88	1,33	1,96
8	20,62	24,24	14,56	5,41	2,69	558,27	1295,06	7,33	1,88	3,90	3,24
9	20,62	23,97	15,52	5,19	2,99	558,27	1058,58	10,43	1,88	5,55	4,07
10	20,62	23,92	15,74	5,16	3,05	558,27	995,67	11,76	1,88	6,25	4,37
11	20,62	24,01	15,37	5,26	2,92	558,27	1124,41	9,33	1,88	4,96	3,81
12	20,62	24,20	14,68	5,35	2,74	558,27	1314,65	7,15	1,88	3,80	3,23
13	20,62	24,16	14,82	5,42	2,73	558,27	830,62	17,63	1,88	9,37	5,06
14	20,62	25,23	11,80	6,45	1,83	558,27	1019,44	11,22	1,88	5,97	3,30
15	20,62	25,05	12,21	6,51	1,88	558,27	971,35	12,36	1,88	6,58	3,51
16	20,62	25,41	11,41	7,21	1,58	558,27	1081,33	10,02	1,88	5,33	2,91
17	20,62	24,18	14,75	5,49	2,69	558,27	1201,74	8,30	1,88	4,42	3,45
18	20,62	24,97	12,41	6,21	2,00	558,27	1066,01	10,30	1,88	5,48	3,31
19	20,62	24,88	12,65	6,11	2,07	558,27	998,75	11,68	1,88	6,21	3,59
20	20,62	24,74	13,01	5,95	2,19	558,27	935,36	13,39	1,88	7,12	3,95
21	20,62	25,11	12,07	6,90	1,75	558,27	956,52	12,76	1,88	6,79	3,45
22	20,62	25,36	11,51	7,21	1,60	558,27	1040,45	10,78	1,88	5,73	3,02
23	20,62	24,69	13,16	6,31	2,09	558,27	1125,33	9,32	1,88	4,96	3,22
24	20,62	24,02	15,36	5,40	2,85	558,27	1030,75	10,98	1,88	5,84	4,08
Média	20,62	24,14	15,81	5,81	2,79	558,27	1321,56	9,13	1,88	4,86	3,48

Tabela 6.19: Valor do ADI e outros parâmetros para 24 ocupantes. Situação II em condições de inverno (Tin=20 °C, Text=18 °C e Var=0,66 m/s, 1,67 m/s e 0,3 m/s na sala de jantar e Var=2 m/s, 0,46 m/s e 1,67 m/s na sala de convívio).

Ocupantes	Temperatura de saída (°C)	Temperatura do ar em torno dos ocupantes (°C)	Eficiência de remoção de calor (%)	PPD (%) (conforto térmico)	Número de conforto térmico	CO ₂ na saída (mg/m ³)	Concentração de CO ₂ (mg/m ³)	Eficiência de remoção de contaminantes (%)	PD (%) (qualidade do ar)	Número de qualidade do ar	Índice de distribuição de ar (ADI)
1	21,23	24,44	27,76	6,51	4,26	558,39	2487,87	2,94	1,88	1,56	2,58
2	21,23	23,13	39,44	5,07	7,78	558,39	1681,39	4,94	1,88	2,63	4,52
3	21,23	22,81	43,85	5,01	8,75	558,39	2031,13	3,81	1,88	2,03	4,21
4	21,23	22,68	45,97	5,12	8,97	558,39	1006,70	11,52	1,88	6,13	7,42
5	21,23	22,93	42,14	5,00	8,43	558,39	1808,51	4,46	1,88	2,37	4,47
6	21,23	23,16	39,04	5,11	7,64	558,39	1930,90	4,08	1,88	2,17	4,07
7	21,23	24,47	27,59	6,20	4,45	558,39	2785,43	2,55	1,88	1,36	2,46
8	21,23	24,55	27,07	6,70	4,04	558,39	1300,13	7,30	1,88	3,88	3,96
9	21,23	24,27	28,85	6,20	4,66	558,39	1054,52	10,53	1,88	5,60	5,11
10	21,23	24,21	29,29	6,09	4,81	558,39	991,96	11,87	1,88	6,31	5,51
11	21,23	24,30	28,64	6,32	4,53	558,39	1128,04	9,30	1,88	4,94	4,73
12	21,23	24,51	27,32	6,58	4,15	558,39	1325,90	7,07	1,88	3,76	3,95
13	21,23	24,50	27,37	6,77	4,04	558,39	826,18	17,90	1,88	9,52	6,20
14	21,23	25,50	22,40	8,40	2,67	558,39	1013,40	11,37	1,88	6,05	4,02
15	21,23	25,34	23,07	8,53	2,71	558,39	958,08	12,75	1,88	6,78	4,28
16	21,23	25,70	21,61	9,58	2,25	558,39	1052,68	10,56	1,88	5,62	3,56
17	21,23	24,59	26,84	7,01	3,83	558,39	1169,86	8,72	1,88	4,64	4,21
18	21,23	25,30	23,26	8,18	2,84	558,39	1045,14	10,71	1,88	5,70	4,03
19	21,23	25,21	23,67	8,00	2,96	558,39	986,81	11,99	1,88	6,38	4,34
20	21,23	25,08	24,24	7,76	3,12	558,39	929,92	13,58	1,88	7,22	4,75
21	21,23	25,43	22,71	9,17	2,48	558,39	954,64	12,84	1,88	6,83	4,11
22	21,23	25,63	21,91	9,52	2,30	558,39	1038,87	10,84	1,88	5,76	3,64
23	21,23	24,96	24,83	8,17	3,04	558,39	1139,20	9,13	1,88	4,86	3,84
24	21,23	24,32	28,52	6,65	4,29	558,39	1053,19	10,56	1,88	5,61	4,91
Média	21,23	24,46	29,06	6,99	4,54	558,39	1320,85	9,22	1,88	4,90	4,37

Através dos resultados obtidos verifica-se que:

- A eficiência de remoção de calor, para as situações em condições de verão e inverno, apresenta valores mais elevados para condições de verão. Estes valores aumentam em função do aumento da temperatura do ar exterior.
- A percentagem de pessoas insatisfeitas devido ao conforto térmico só é aceitável para as situações em condições de inverno. No entanto em condições de verão, aplicando o método de conforto adaptativo do índice aPMV para o índice de aPPD os valores da percentagem de pessoas insatisfeitas diminuíram significativamente.
- O número de conforto térmico tem valores mais elevados em condições de inverno do que em condições de verão. Na situação II, em condições de inverno, apresenta o valor mais elevado. Em condições de verão, situação I e II, os valores são relativamente baixos. No entanto através do método de conforto adaptativo do índice aPMV os valores em condições de verão, situação I e II, aumentam significativamente.
- A concentração de dióxido de carbono é aceitável quer para condições de verão quer para condições de inverno. Os valores apresentados, em todas as situações, estão dentro do limite aceitável (2250 mg/m^3) apresentado no Decreto-Lei n.º 118/2013, de 4 de dezembro.
- A eficiência de remoção de contaminantes não varia muito, quer em condições de verão, quer em condições de inverno. No entanto, em condições de inverno, os valores da eficiência de remoção de contaminantes sobe ligeiramente.
- A percentagem de pessoas insatisfeitas devido a qualidade do ar é, de uma forma geral, muito baixa, não ultrapassando os 2 %.
- O número da qualidade do ar em média não varia muito, quer em condições de verão, quer em condições de inverno.
- Finalmente, o valor do ADI, em condições de verão, é semelhante nas situações I e II e apresenta valores mais baixos em relação às condições de inverno. Através do método do conforto adaptativo do índice de aPMV os valores do ADI, em condições de verão,

aumentam e são semelhantes aos valores obtidos, em condições de inverno, na situação II.

6.2.6. Produção de energia

Nas salas comunicantes semelhante ao da sala multifunções, a radiação solar incidente no Algarve, apresentada corresponde a um valor alcançado em torno do meio-dia, com o painel voltado na direção do Sol a um ângulo de 30° com o plano horizontal.

Os gráficos apresentados na sala de multifunções são os mesmos usados neste caso em que a radiação incidente, em condições de verão e inverno, apresentam picos de produção de energia por volta das 12 h e o valor dessa energia ronda os 0,03 kWh/m².

Na tabela 6.20 é apresentado o consumo de energia das salas comunicantes para o sistema de ventilação de condutas verticais. Os valores que apresentam um sinal negativo no consumo correspondem a situações em que é necessário a remoção de calor, ou seja, produção de frio.

Tabela 6.20: Consumos do sistema de ventilação para cada situação em condições de verão e inverno.

	Potência (kW)
Situação I verão (Tin=25 °C, Text=28 °C)	-5,28
Situação II verão (Tin=25 °C, Text=38°C)	-22,9
Situação I Inverno (Tin=20 °C, Text=8 °C)	21,1
Situação II Inverno (Tin=20 °C, Text=18 °C)	3,52

Na tabela 6.21 é apresentado os resultados da área das células fotovoltaicas para produzir energia para este sistema de ventilação em salas comunicantes.

Semelhante às salas multifunções, o tempo de arrefecimento é 6 h em condições de verão (9 h às 15 h em tempo solar verdadeiro) e em condições de inverno é as mesmas 6 h para aquecer o espaço (9 h às 15 h em tempo solar verdadeiro). As 6h correspondem à energia produzida sem armazenamento e a energia durante o dia, também analisado, é armazenada em baterias ou injetado para a rede nas horas que não se verificou consumo e é calculada a área dos painéis fotovoltaicos necessários. A energia térmica consiste na multiplicação das 6 h pela potência obtida anteriormente. O coeficiente de performance (COP) é na mesma 2,5 e obteve-se o valor para a energia elétrica gasta em kWh. A produção de energia, em condições de verão, para 6 h é de 0,18 kWh/m² e em condições de inverno 0,16 kWh/m². A produção de energia

para um dia, em condições de verão, é de 0,27 kWh/m² e em condições de inverno é de 0,19 kWh/m².

Os resultados da energia elétrica gasta dividindo pela produção de energia obteve-se assim a área necessária dos painéis fotovoltaicos por m².

Tabela 6.21: Resultados da área dos painéis fotovoltaicos para a situação I e II em condições de verão e de inverno.

	Tempo (h)	Potência (kW)	Energia térmica (kWh)	COP AC	Energia elétrica gasta (kWh)	Produção energia em 6 h (kWh/m ²)	Área dos painéis fotovoltaicos, para a produção de energia em 6 h (m ²)	Produção de energia num dia (kWh/m ²)	Área dos painéis fotovoltaicos para a produção de energia num dia (m ²)
Situação I verão	6	-5,28	-31,68	2,5	12,67	0,18	69	0,27	47
Situação II verão	6	-22,9	-137,4	2,5	54,96	0,18	299	0,27	203
Situação I inverno	6	21,1	126,6	2,5	50,64	0,16	304	0,19	263
Situação II inverno	6	3,52	21,12	2,5	8,45	0,16	51	0,19	44

Através dos resultados obtidos verifica-se que a produção de energia para as 6 h (sem armazenamento) consideradas, requer uma área de painéis fotovoltaicos bastante elevada em condições de temperatura do ar exterior mais elevada (condições de verão-situação II) e em condições de temperatura do ar exterior mais baixa (condições de inverno-situação I).

Na produção de energia durante o dia (com armazenamento) verifica-se que requer uma área menor do que na produção de energia em 6 h. Contudo só a situação I (em condições de verão) e a situação II (em condições de inverno) apresentam uma área de painéis fotovoltaicos aceitáveis.

A área obtida para as diferentes situações é bastante elevada para implementar os painéis fotovoltaicos, o que se sugere, como referido nas salas multifunções a implementação de um sistema de energia eólica em conjunto com os painéis fotovoltaicos.

7. Conclusão

Nesta dissertação realizou-se um estudo sobre um sistema de ventilação de condutas verticais com jatos horizontais numa sala de multifunções e em salas comunicantes.

Analisou-se o escoamento em torno dos ocupantes, o nível de conforto e desconforto térmico local, a qualidade do ar, a distribuição do ar e a produção de energia do sistema. O tempo de reverberação é calculado unicamente na sala de multifunções por esta apresentar uma ocupação elevada e um espaço reduzido. O estudo destes dois casos é realizado através de softwares que simulam numericamente o escoamento interno, que simulam a resposta térmica do corpo humano e que simulam a resposta acústica interior.

As simulações realizaram-se em condições de verão e em condições de inverno. Considerou-se a situação I, em condições de verão, para uma temperatura de entrada do ar de 25 °C e para uma temperatura exterior do ar de 28 °C. Situação II, em condições de verão, para uma temperatura de entrada do ar de 25 °C e para uma temperatura do ar exterior 38 °C.

A situação I, em condições de inverno, para uma temperatura de entrada do ar de 20 °C e para uma temperatura exterior do ar de 8 °C. Na situação II, em condições de inverno, a temperatura de entrada do ar é de 20 °C e a temperatura exterior do ar é de 18 °C.

Através dos resultados obtidos pode-se concluir que o sistema de ventilação de condutas verticais com jatos horizontais, implementado na sala multifunções, é aceitável para níveis de conforto e desconforto local. Contudo, devido à elevada densidade de ocupação os níveis da concentração de dióxido de carbono ultrapassam o limite aceitável apresentada no Decreto-Lei n.º 118/2013 de 4 de dezembro.

Os valores obtidos pelo índice de distribuição do ar (ADI) são mais elevados na situação II, em condições de verão (segundo o método de conforto adaptativo do índice aPMV) e na situação I, em condições de inverno. Nestas situações foi obtido um índice de distribuição do ar (ADI) de 4 valores.

Em relação às salas comunicantes, o sistema de ventilação de condutas verticais com jatos horizontais, apresenta níveis de conforto térmico aceitáveis em condições de inverno e em condições de verão só através do método de conforto adaptativo do índice aPMV. O desconforto térmico é aceitável em condições de verão e de inverno, embora seja mais elevado para ocupantes da sala de jantar em relação aos ocupantes da sala de convívio. Esta diferença pode ser explicada através da área das salas, sendo que, a sala de convívio tem uma maior área

do que a sala de jantar. Logo, os ocupantes da sala de jantar estão mais próximos das condutas verticais e das velocidades de entrada do ar.

Ao contrário da sala multifunções os valores da concentração de dióxido de carbono estão dentro do limite aceitável, apresentada no Decreto-Lei n.º 118/2013 de 4 de dezembro, e a qualidade do ar é ligeiramente melhor que a da sala multifunções. Estes valores podem ser explicados pelo dimensionamento das salas e pela densidade de ocupação. A sala multifunções tem uma área muito inferior do que as salas comunicantes e a ocupação na sala é mais elevada.

No entanto, o valor mais elevado do índice de distribuição do ar (ADI) nas salas comunicantes é de 4 valores. As situações I e II, em condições de verão (através do método de conforto adaptativo do índice aPMV) e a situação II, em condições de inverno, são as que apresentam um índice de distribuição do ar (ADI) de 4 valores.

Relativamente à produção de energia para o sistema AVAC foram calculadas as áreas dos painéis fotovoltaicos necessárias para a produção de energia em 6 h sem armazenamento e a produção durante o dia com armazenamento.

Em ambas as salas, para a produção em 6 h e para a produção durante o dia, nas situações II (em condições de verão) e I (em condições de inverno) requerem uma área de painéis fotovoltaicos bastante elevada.

Concluiu-se que na situação I (em condições de verão) e na situação II (em condições de inverno) garantem condições de conforto térmico e de qualidade do ar nas salas multifunções e nas salas comunicantes sendo necessário, respetivamente, uma área de 19 m² e de 47 m² de painéis fotovoltaicos para uma produção de energia durante o dia.

Em relação aos resultados obtidos, na simulação da resposta acústica interior, verifica-se que o tempo de reverberação está perto do valor sugerido, no entanto, a fim de melhorar o valor calculado é sugerido considerar mais reflexões na simulação.

8. Bibliografia

Anderson, K., 2008. Classroom acoustics: a first step toward education for all. *J. Acoust. Soc. Am.* 124 (4), 2587–2587.

ANSI/ASHRAE Standard 55-2013, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.

Awbi, H.B. (1998). Energy efficient room distribution. *Renew Energy* 2:293 e 9.

Awbi, H.B., Gan, G. (1993) Evaluation of the overall performance of room air distribution. In: *Proceedings of indoor air*, vol. 3; pp. 283 e 8.

Cao, G., Awbi, H., Yao, R., Fan, Y., Sirén, K., Kosonen, R., Zhang, J. J. (2014). A review of the performance of different ventilation and airflow distribution systems in buildings. *Building and Environment*, 73, 171-186.

Carta Social (2010). Ministério da Solidariedade e da Segurança Social. Carta Social e Rede de Serviços e Equipamentos. Lisboa: MESS, 2010.

Castro, Rui M. G. (2002), *Introdução à Energia Fotovoltaica, Energias Renováveis e Produção Descentralizada*, IST, Edição 0, Novembro.

Charles, K. E. (2003). Fanger's thermal comfort and draught models.

Cheng, Y., Lin, Z. (2015). Experimental study of airflow characteristics of stratum ventilation in a multi-occupant room with comparison to mixing ventilation and displacement ventilation. *Indoor air*, 25(6), 662-671.

Chigot, P. (2005). Effects of sound in offices: subjective experience vs. objective assessment. *Facilities*, 23(3/4).152-63.

Cho, Y., Awbi, H. B., & Karimipannah, T. (2008). Theoretical and experimental investigation of wall confluent jets ventilation and comparison with wall displacement ventilation. *Building and Environment*, 43(6), 1091-1100.

Conceição EZE, Lúcio M^aMJR. (2006). Modelação das trocas radiactivas verificadas em indivíduos sentados em secretárias climatizadas. Conferência nacional de métodos

numéricos em mecânica dos fluidos e termodinâmica. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

Conceição, E. Z. E. Nunes, C. M. M., Sousa, M. T. S., Lúcio M^a. M. J. R. (2015). Development of a HVAC based in healthy eco-ventilation for Seniors, WIDER - Green Growing of SMEs - Innovation and Development in the Energy Sector in the Mediterranean Area: “Soluções eco-inteligentes para a população idosa” - II EU Roadshow, Bruxelas, 21 de Maio de 2015.

Conceição, E. Z. E., Lúcio, M^a M. J. R., Rosa, S. P., Custódio, A. L. V., Andrade, R. L. e Meira, M^a J. P. A.(2009). Evaluation of comfort level in desks equipped with two personalized ventilation systems in slightly warm environments", Building and Environment, Volume 45, Issue 3, pp. 601603.

Conceição, E. Z. E., Lúcio, M^a. 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^a. 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.

Conceição, E. Z. E., Sousa, M. T. S., Lúcio, M^a. M. J. R. (2015). Development and Implementation of High Density Occupied Spaces Grid Generation with Complex Geometry Used in Thermal Acoustical Study, Inter-noise 2016, Hamburgo, Alemanha, 21 a 24 de Agosto de 2016.

Conceição, E., Silva, M., Viegas, D., (1996) "Estudo das Condições de Conforto Ambiental no Habitáculo de Veículos de Transporte", Revista de Informação Técnica e Científica Indústria & Ambiente, N^o 8, Novembro de 1996, pág. 11-16.

Conceição, E.Z.E., Santiago, C.I.M., e Lúcio, M^aM.J.R. (2013). Numerical Study of the Internal Air Quality in Classrooms Equipped with Personalized Ventilation. Conference on Environment & Health Basel 2013.

Decreto-Lei nº 118/2013 de 4 de dezembro. Regulamento de desempenho energéticos de dos edifícios de comércio e serviços (RSECE). Diário da República, 1.ª Série — N.º 235.

Decreto-Lei nº 96/2008 de 9 de Junho. Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios. Diário da República, 1.ª Série — N.º110.

Fahrenbruch, Alan L., Bube, Richard H., (1983). *Fundamentals of Solar Cells: Photovoltaic Solar Energy Conversion*. Academic Press London 1983.

Fanger, P. O., Melikov, A. K., Hanzawa, H., & Ring, J. (1988). Air turbulence and sensation of draught. *Energy and buildings*, 12(1), 21-39.

Fanger, P.O. (1970). *Thermal comfort-analysis and applications in environmental engineering*. Danish Technical Press, Copenhagen.

Frontczak M., Wargocki P. (2010). International Centre for Indoor Environment and Energy, Department of Civil Engineering, Technical University of Denmark, Building 402, 2800 Kgs. Lyngby, Denmark.

Gan, G. (1995). Numerical investigation of local thermal discomfort in offices with displacement ventilation. *Energy and buildings*, 23(2), 73-81.

Hoof, J. (2008). Forty years of Fanger's model of thermal comfort: comfort for all?. *Indoor air*, 18(3), 182-201.

INE, (2015). *Envelhecimento da população residente em Portugal e na União Europeia*. Instituto Nacional de Estatística.

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*.

Janbakhsh, S., Moshfegh, B. (2014). Experimental investigation of a ventilation system based on wall confluent jets. *Building and Environment*, 80, 18-31.

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.
- Lee KS, Zhang T, Jiang Z, Chen Q. (2009). Comparison of airflow and contaminant distributions in rooms with traditional displacement ventilation and underfloor air distribution systems. *ASHRAE Trans*;115(2).
- Lee, C.K., Lam H.N. (2007). Computer modelling of displacement ventilation systems based on plume rise in stratified environment. *Energy Build* 39:427 e 36.
- Li, Y.G., Sandberg M., Laszlo F. (1992). Vertical temperature profiles in rooms ventilated by displacement: full-scale measurement and nodal modelling. *Indoor Air* 2:225 e 43.
- 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.
- Mumovic, D., Palmer, J., Davies, M., Orme, M., Ridley, I., Oreszczyn, T., Pearson, C. (2009). Winter indoor air quality, thermal comfort and acoustic performance of newly built secondary schools in England. *Building and Environment*, 44(7), 1466-1477.
- Oliveira, A. S., Almeida S. M. (2003) *Energias renováveis*. Vila Real: UTAD, 2003. - 108 p.; 30 cm. - (Didáctica. Ciências aplicadas; 223).
- Pinto M., Freitas V., Viegas J. (2007). Qualidade do ambiente interior em edifícios de habitação. *Engenharia e vida*, Setembro 2007, 38:34-43.
- Silva MCG. Measurements of Comfort in Vehicles, review article, *Measurements in Science and Technology* 13 (2002) R41-R60.
- Säteri, J. (2004). Performance Criteria of Buildings for Health and Comfort. *CIB REPORT*.
- Yao, R., Li, B., Liu, J. (2009). A theoretical model of thermal comfort – adaptive predicted mean vote (aPMV). *Building and Environment*, 44, pp. 2089-2096.

Yao, R., Liu, J., Li, B. (2010). Occupants' adaptive responses and perception of thermal environment in naturally conditioned university classrooms. *Applied Energy*, 87, pp. 1015-1022.

Zannin, P., Marcon, C. R. (2007). Objective and subjective evaluation of the acoustic comfort in classrooms. *Applied Ergonomics*, 38(5), 675-680.