



**Mariana Francisco  
Morgado**

**Ergonomia ocupacional em contexto industrial:  
estudo do ambiente térmico**



**Mariana Francisco  
Morgado**

**Ergonomia ocupacional em contexto industrial:  
estudo do ambiente térmico**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial, realizada sob a orientação científica da Dra. Leonor da Conceição Teixeira, Professora Auxiliar do Departamento de Economia, Gestão e Engenharia industrial da Universidade de Aveiro e coorientação científica do Dr. Mário de Almeida Rodrigues Talaia, Professor Auxiliar do Departamento de Física da Universidade de Aveiro.

## **o júri**

presidente

Prof<sup>a</sup>. Doutora Helena Maria Pereira Pinto Dourado e Alvelos  
Professora Auxiliar da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor João Manuel Abreu dos Santos Baptista  
Professor Associado da Universidade do Porto

Prof<sup>a</sup>. Doutora Leonor da Conceição Teixeira  
Professora Auxiliar da Universidade de Aveiro (orientadora)

## agradecimentos

À professora doutora Leonor Teixeira pelo apoio incondicional, confiança e constante incentivo e motivação para o desenvolvimento de todo o trabalho. A sua supervisão foi crucial para alcançar o requinte e detalhe associados a todos os trabalhos conjuntos. Obrigada por me ter conduzido ao mundo da investigação.

Ao professor doutor Mário Talaia, professor visionário, dotado de um rigor científico, uma inteligência e experiência de vida contagiantes que permitiram enriquecer as nossas reuniões. Devo-lhe a si o entusiasmo pelo tema abordado na tese. Obrigada pela constante confiança e ajuda em todos os trabalhos conjuntos.

Ao meu orientador Rui Rodrigues da Bosch Termotecnologia pelo acolhimento, companheirismo, motivação, por me ter ensinado a pensar e a atuar em contexto industrial e, principalmente, pela constante confiança ao longo de todo o meu estágio.

Ao Diogo Costa, meu supervisor, pelo companheirismo, amizade, incentivo, ajuda e confiança ao longo de todo o estágio. Obrigada por teres acompanhado e monitorizado todos os meus passinhos pela Bosch Termotecnologia.

À restante equipa da produção, nomeadamente das bombas de calor, ao Nélson Simões, Ana Casal, Ricardo Cruz, José Oliveira, José Simões, Margarida Silva, Rogério Matos, António Lopes, Fernando Santos, Luís Diaz e João Carvalho.

À Catarina Santiago por todo o carinho, amizade, acompanhamento e motivação.

Aos estagiários da Bosch termotecnologia que partilharam esta experiência comigo.

Aos restantes colaboradores da Bosch Termotecnologia que me acompanharam nesta jornada e participaram neste projeto.

A toda equipa de Ifavidro que me é tão querida e todos os colaboradores que participaram neste projeto.

Ao meu pai, mãe e irmã pelo amor incondicional de todos os dias, inspiração e incentivo para seguir os meus sonhos!

Aos meus amigos e ao Hugo.

## palavras-chave

Ergonomia, Conforto Térmico, Ambiente Térmico, Sensação Térmica, *ITH*, *EsConTer*.

## resumo

Num contexto industrial de incerteza, extrema competitividade e constante mudança é cada vez mais importante perceber a relação entre o trabalhador e o seu ambiente de trabalho de forma a criar postos de trabalho providos de todas as condições para alcançar elevadas *performances*. Do ponto de vista da sustentabilidade, num contexto industrial, é desejável existirem ambientes térmicos de trabalho confortáveis, com o mínimo consumo de energia. O presente trabalho, orientado para a área de ergonomia e saúde ocupacional, tem como objetivo o estudo do ambiente térmico em dois contextos industriais distintos e o entendimento da reacções dos trabalhadores inseridos nesses ambientes. Os dois casos de estudo abordados são ambos susceptíveis a ambientes térmicos quentes desconfortáveis e tratados na região do *shop floor*, sendo o caso de estudo I desenvolvido na Bosch Termotecnologia e o caso de estudo II na Ifavidro. Nos dois casos usou-se a mesma metodologia, onde foram aplicados dois índices térmicos, o índice *EsConTer* e o *ITH*. Estes dois índices mostraram ser bastante concordantes, traduzindo de uma forma bastante fiável o padrão do ambiente térmico em cada um dos dois espaços. O índice *EsConTer* foi também aplicado ao estudo da sensação térmica dos trabalhadores revelando ser um bom preditor da sensação térmica dos trabalhadores, mesmo quando comparado com a plataforma de análise do conforto térmico *CBE Thermal Comfort tool* de acordo com a norma ASHRAE-55. Assim, sugere-se que a utilização do índice *EsConTer* aliado à plataforma *CBE Thermal Comfort Tool* poderá ser útil no entendimento da dinâmica do ambiente térmico de um espaço e ajudar o Departamento de Higiene e Segurança a definir estratégias de melhoramento do ambiente de trabalho.

**keywords**

Ergonomics, Thermal Comfort, Thermal Environment, Thermal sensation, *THI*, *EsConTer*.

**abstract**

Regarding the current climate of uncertainty, competitiveness and the constant changes in the industrial context, it is more and more important to understand the relationship between the workers and their work environment in order to create work stations provided with the required conditions to reach high performances. From a sustainable point of view, in an industrial context, it is also desirable to accomplish comfortable work thermal environments that use less energy as possible. This project, guided towards Ergonomics and Occupational Health aims to study the thermal environment in two different industrial inner spaces and the workers thermal sensation in these spaces. The case study I was developed in Bosch Termotecnologia and the case study II in Ifavidro, being both of them exploited in the shop floor and linked with warm thermal environments. The same methodology was applied to both case studies, where were used two thermal indexes, the *EsConTer* index and *THI*. These two indexes were in agreement, thereby demonstrating a reliable environment thermal pattern in each one of the spaces. The *EsConTer* index was also applied to workers thermal sensation study, still showing to be a good predictor of workers thermal sensation, even when compared to *CBE Thermal Comfort* tool, a thermal comfort analysis platform, in accordance with ASHRAE-55 norm. Thus, it is suggested that the usage of *EsConTer* index allied with *CBE Thermal Comfort tool*, could provide a useful and easier understanding of the thermal environment dynamics in an inner space, helping the Hygiene and Security Department to define work environment improvement strategies.

## ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	5
2. REVISÃO DA LITERATURA .....	9
2.1. ERGONOMIA.....	9
2.2. AMBIENTE TÉRMICO .....	11
2.3. SENSÇÃO TÉRMICA E CONFORTO TÉRMICO .....	14
2.4. STRESS TÉRMICO .....	28
2.5. ÍNDICES TÉRMICOS .....	32
3. ESTUDO EMPÍRICO .....	41
3.1. METODOLOGIA .....	41
3.2. CASO DE ESTUDO I- BOSCH TERMOTECNOLOGIA SA .....	43
3.2.1. DESCRIÇÃO DA EMPRESA .....	43
3.2.2. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA .....	46
3.2.3. RESULTADOS .....	48
3.3. CASO DE ESTUDO II- IFAVIDRO .....	60
3.3.1. DESCRIÇÃO DA EMPRESA .....	60
3.3.2. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA .....	63
3.3.3. RESULTADOS .....	64
3.4. DISCUSSÃO E COMPARAÇÃO DOS CASOS DE ESTUDO.....	75
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPETIVAS FUTURAS .....	87
5. BIBLIOGRAFIA .....	89

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Impacto do estudo do ambiente térmico numa organização.....	6
Figura 2 - Sensção de conforto .....	15
Figura 3 - Sensção térmica média de estudantes expostos a temperaturas iguais e valores de humidade relativa do ar diferentes (50%, 65%, 80%) .....	16
Figura 4 - Fatores que influenciam a sensção térmica humana .....	17
Figura 5 - Mecanismo do modelo adaptativo do conforto térmico .....	18
Figura 6 - Termorregulação humana .....	20
Figura 7 - Área corporal em função da altura e da massa de um indivíduo .....	23
Figura 8 - Número de passos e a variação da taxa de metabolismo .....	25
Figura 9 -Manequim térmico .....	27
Figura 10 - Zonas de conforto especificadas pela ASHRAE .....	27

Figura 11 - Escala sétima de sensação térmica de ASHRAE .....	28
Figura 12 - Avaliação da sensação térmica .....	28
Figura 13 - Avaliação da sensação térmica .....	28
Figura 14 - <i>Stress</i> térmico devido ao calor excessivo .....	30
Figura 15 - Aclimatização a ambientes de <i>stress</i> térmico quente .....	31
Figura 16 - Modelo <i>PMV-PPD</i> .....	34
Figura 17 - Escala de cores baseada na escala sétima de ASHRAE .....	35
Figura 18 - Diagrama da <i>W.M.O.</i> .....	39
Figura 19 - Divisão de termotecnologia do Grupo Bosch .....	44
Figura 20 - Hierarquia do departamento de produção .....	45
Figura 21 - <i>Layout</i> da área em estudo .....	47
Figura 22 - Circuitos e pontos de observação escolhidos .....	47
Figura 23 - Temperatura do ar (°C), 6 de Maio de 2013.....	48
Figura 24 - Humidade relativa do ar (%), 6 de Maio de 2013 .....	49
Figura 25 - Índice <i>EsConTer</i> , 6 de Maio de 2013 .....	49
Figura 26 - Índice <i>ITH</i> (°C), 6 de Maio de 2013 .....	50
Figura 27 - Temperatura do ar (°C), Zoom.....	51
Figura 28 - Humidade relativa do ar (%), Zoom.....	51
Figura 29 - Índice <i>EsConTer</i> , Zoom.....	51
Figura 30 - Índice <i>ITH</i> (°C), Zoom .....	52
Figura 31 - Índice <i>EsConTer</i> e os 5 postos de trabalho selecionados .....	52
Figura 32 - Índice <i>ITH</i> (°C) e os 5 postos de trabalho selecionados.....	53
Figura 33 - Temperatura do ar, 4 de Abril de 2013.....	54
Figura 34 - Humidade relativa do ar, 4 de Abril de 2013 .....	54
Figura 35 - Índice <i>EsConTer</i> , 4 de Abril de 2013.....	54
Figura 36 - Índice <i>ITH</i> , 4 de Abril de 2013 .....	55
Figura 37 - Género dos inquiridos nos 5 postos de trabalho em estudo .....	56
Figura 38 - Sensação térmica dos trabalhadores no turno da manhã, 6 de Maio de 2013.....	57
Figura 39 - Sensação térmica dos trabalhadores no turno da tarde, 6 de Maio de 2013.....	58
Figura 40 - Sensação térmica dos trabalhadores no turno da manhã, 8 de Maio de 2013.....	58
Figura 41 - Sensação térmica dos trabalhadores no turno da tarde, 8 de Maio de 2013.....	59
Figura 42 - Sensação térmica: prevista e do trabalhador .....	60
Figura 43 - <i>Showroom</i> da Ifavidro .....	61
Figura 44 - Organigrama da Ifavidro .....	61
Figura 45 - <i>Layout</i> do departamento fabril zona quente .....	62
Figura 46 - Pontos de observação .....	63
Figura 47 - Temperatura do ar (°C), 10 de Abril de 2014 .....	64

Figura 48 - Humidade relativa do ar (%), 10 de Abril de 2014.....	65
Figura 49 - Índice <i>EsConTer</i> , 10 de Abril de 2014.....	65
Figura 50 - Índice <i>ITH</i> (°C), 10 de Abril de 2014 .....	66
Figura 51 - Temperatura do ar (°C), Zoom.....	67
Figura 52 - Humidade relativa do ar (%), Zoom.....	67
Figura 53 - Índice <i>EsConTer</i> , Zoom.....	67
Figura 54 - índice <i>ITH</i> (°C), Zoom .....	68
Figura 55 - Índice <i>EsConTer</i> e os 8 postos de trabalho selecionados .....	68
Figura 56 - índice <i>ITH</i> (°C) e os 8 postos de trabalho selecionados.....	69
Figura 57 - Temperatura do ar (°C), 12 de Maio de 2014.....	70
Figura 58 - Humidade relativa do ar (%), 12 de Maio de 2014 .....	70
Figura 59 - Índice <i>EsConTer</i> , 12 de Maio de 2014 .....	70
Figura 60 - Índice <i>ITH</i> (°C), 12 de Maio de 2014 .....	71
Figura 61 - Relação entre o índice <i>EsConTer</i> e <i>ITH</i> .....	72
Figura 62 - Sensação térmica dos trabalhadores no turno da manhã, 9 de Maio de 2014.....	73
Figura 63 - Sensação térmica dos trabalhadores no turno da tarde, 9 de Maio de 2014.....	73
Figura 64 - Sensação térmica: prevista e do trabalhador .....	74
Figura 65 - Ambiente térmico da Bosch Termotecnologia, gráfico psicométrico .....	76
Figura 66 - Ambiente térmico da Ifavidro, gráfico psicométrico .....	77
Figura 67- <i>CBE Thermal comfort tool</i> para a região de maior desconforto (gráfico temperatura do ar) .....	78
Figura 68 - <i>CBE Thermal comfort tool</i> para a região de maior desconforto (gráfico temperatura do ar- humidade relativa do ar) .....	79
Figura 69 - <i>CBE Thermal comfort tool</i> para a 2ª região de maior desconforto (gráfico temperatura do ar) .....	79
Figura 70 - <i>CBE Thermal comfort tool</i> para a 2ª região de maior desconforto (gráfico temperatura do ar- humidade relativa do ar) .....	80
Figura 71 - <i>CBE Thermal comfortTool</i> (gráfico temperatura do ar) .....	81
Figura 72 - <i>CBE Thermal comfort tool</i> (gráfico temperatura do ar- humidade relativa do ar) .....	81
Figura 73 - <i>CBE Thermal comfort</i> (gráfico temperatura do ar) .....	82
Figura 74 - <i>CBE Thermal comfort tool</i> - (gráfico temperatura do ar - humidade relativa do ar) .....	82
Figura 75 - <i>CBE Thermal Comfort Tool</i> - tipos de atividades diferentes (diferentes metabolismos) 83	
Figura 76 - Ambiente térmico interno e externo da Bosch Termotecnologia SA.....	84
Figura 77 - Ambiente térmico interno e externo da Ifavidro.....	84
Figura 78 - Valores de sensação térmica recolhidos na Bosch Termotecnologia.....	85
Figura 79 - Valores de sensação térmica recolhidos na Ifavidro .....	85
Figura 80 - Tendências do isolamento do vestuário tendo em conta a temperatura do ar .....	86

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Sensibilidade provocada pelo movimento do ar .....	12
Tabela 2 - Valores de metabolismo associados à postura do ser humano .....	24
Tabela 3 - Valores de metabolismo associados à atividade do ser humano .....	24
Tabela 4 - Taxa metabólica para diferentes atividades .....	24
Tabela 5 - Resistência térmica do vestuário .....	26
Tabela 6 - Consequências do <i>stress</i> térmico .....	30
Tabela 7 - Variáveis do <i>PMV</i> .....	33
Tabela 8 - Valores dos limites do <i>ITH</i> .....	36
Tabela 9 - Interpretação do Índice <i>RSI</i> .....	36
Tabela 10 - Valores de referência para o índice <i>WBGT</i> .....	38
Tabela 11 - Áreas de atuação do grupo Bosch.....	43
Tabela 12 - Descrição dos postos de trabalho selecionados .....	53
Tabela 13 - Descrição dos postos de trabalho selecionados .....	69
Tabela 14 - Metabolismo (aproximado) associado a cada posto de trabalho .....	75

## 1. INTRODUÇÃO

Num mundo vincado pela globalização, caracterizado por uma sociedade cada vez mais consumista, exigente e inovadora, as questões ambientais têm sido alvo de grandes contestações e preocupações. As alterações climáticas são um problema da atualidade que têm como causa, por exemplo, as ações dos próprios seres humanos na tentativa de um crescimento exponencial da economia dos países. Não é por acaso que as estações do ano são cada vez mais rigorosas e que o nível médio das águas do mar e número de catástrofes naturais está a aumentar. Desde a revolução industrial que o nível de poluição tem vindo a aumentar. Este aumento deve-se, essencialmente, ao crescimento industrial dos países em desenvolvimento, onde segundo Emmanuel (2005) serão os países mais urbanizados do planeta terra (90%) entre 2004 e 2025, nomeadamente nas regiões tropicais e subtropicais. Estes países situados maioritariamente na área geográfica da Ásia ocidental-pacífico e do médio oriente são hoje intitulados como as grandes economias emergentes.

Estas alterações afetam o estilo e qualidade de vida dos seres humanos no que diz respeito à sua segurança e conforto. Neste sentido, têm sido desenvolvidas soluções a nível arquitetónico que asseguram a segurança dos seres humanos e que satisfaçam as necessidades de conforto e saúde dos mesmos.

No presente trabalho aborda-se o tema do conforto térmico, subjacente às áreas de Ergonomia e Saúde Ocupacional, que segundo Emmanuel (2005) começou a ser estudada por arquitetos e *designers* como consequência da urbanização.

A pertinência do tema reside no facto dos indivíduos/trabalhadores passarem a maior parte do seu tempo em ambientes laborais (Felix, Moura, Pereira & Tribess, 2010) e, por isso, na necessidade de entendimento das reações dos indivíduos e a sua adaptação a diferentes ambientes térmicos. Por sua vez, a importância deste tema ao nível industrial, nomeadamente no âmbito de estudos em postos de trabalho, acontece porque, como refere Pinto (2009) é crucial a existência de uma relação positiva na interação entre os trabalhadores e o seu ambiente laboral numa altura tão competitiva e vincada pela mudança.

De acordo com Bluysen et al. (2011), são vários os estudos que têm mostrado relações entre o conforto, saúde, controlo do ambiente de espaços interiores e a produtividade em ambientes de trabalho. Segundo Huizenga et al. (2006) a maior causa de insatisfação do ambiente de trabalho em escritórios é o desconforto térmico. Assim, o tema do conforto térmico tem alcançado terreno no campo da investigação no sentido de melhorar as condições de trabalho satisfazendo as necessidades de conforto dos trabalhadores.

Para além da componente humana, o estudo do conforto térmico tem uma grande relevância a nível económico, principalmente no que se refere à gestão do consumo energético. Citando

Castilla (2011) o consumo de energia nos edifícios corresponde a cerca de 40% da energia total consumida no planeta terra. Assim, de acordo com Liu et al. (2012) e Daum et al. (2011) um aspeto chave para reduzir o consumo de energia é perceber o comportamento e interação dos ocupantes de um espaço com o ambiente térmico a que estão expostos. Também segundo Chow et al. (2010) afirma que do ponto de vista da sustentabilidade dos edifícios é desejável o alcance de uma sensação térmica aceitável dos ocupantes de um espaço com o uso mínimo de energia. Neste sentido, é necessária uma boa aplicação e gestão de sistemas *HVAC* (*Heating, Ventilation and Air Conditioning*), que segundo os mesmos autores na maior parte dos casos são mal utilizados e implementados, bem como a existência de infraestruturas de edifícios idealizadas tendo em vista a diminuição dos consumos energéticos.

Assim, uma análise coerente do ambiente térmico associada à engenharia de gestão industrial assenta em três aspetos fundamentais. Em primeiro lugar, o conforto térmico é uma temática de saúde pública e por isso com preocupações nos indivíduos, o que leva à necessidade de assegurar o conforto térmico dos colaboradores no seu espaço de atuação (Rodrigues, 2007). Em segundo lugar, e inteiramente associado ao primeiro aspeto, o conforto térmico é fulcral para uma boa *performance* humana, isto é, um indivíduo em conforto térmico apresenta melhor rendimento. Por último, como já foi referido anteriormente, é essencial para a conservação energética, pois conhecendo os parâmetros termohigrométricos de um determinado espaço evitam-se desperdícios de energia (Lamberts, 2013).

Neste sentido, e em conformidade com o objetivo principal de uma indústria que se centra na geração de lucro, o estudo ergonómico do conforto térmico é considerado um aspeto fulcral para a melhoria contínua, visto que é uma ferramenta que permite aperfeiçoar o ambiente de trabalho, criando melhores condições para o desenvolvimento do mesmo.

Na Figura 1 pode observar-se como é que a análise do conforto térmico pode ser fulcral para o desempenho de uma empresa, do nosso ponto de vista.



Figura 1 - Impacto do estudo do ambiente térmico numa organização

Resumindo, o estudo do ambiente térmico é um conceito que surge no âmbito da Ergonomia, permitindo o controlo energético, o alcance de melhoria contínua e o incremento da produtividade.

A produtividade é alcançada a partir do conforto térmico e motivação dos trabalhadores, representando estes o recurso chave para o desenvolvimento das organizações, pois como já afirmava Henry Ford, “*you can take my factories, burn up my buildings, but give me my people and I'll build the business right back again*”. Assim, os trabalhadores deverão ser acarinhados e motivados de forma a sentirem-se parte integrante das empresas, contribuindo assim para o seu objetivo principal, a geração de lucro.

### **OBJETIVO PRINCIPAL**

Como foi referido na introdução, o conforto térmico e bem-estar dos trabalhadores são fulcrais para o sucesso e melhoria contínua de uma empresa. Neste sentido, a proposta desta dissertação é a implementação de uma ferramenta ergonómica que conduza a este objetivo, cuidando dos recursos que mais valor incrementam no sucesso da empresa, os seus recursos humanos, e contribuir para uma melhor gestão energética.

Assim, o presente trabalho, levado a cabo em dois contextos industriais distintos, caso de estudo I- Bosch Termotecnologia e caso de estudo II- Ifavidro, avaliará ambientes térmicos associados a diferentes contextos, mas ambos associados a ambientes térmicos suscetíveis a maior desconforto térmico quente.

Com isto, o método utilizado nos dois casos de estudo foi o mesmo e baseou-se num trabalho preliminar levado a cabo por Meles (2012), tendo como principal intuito a análise do ambiente térmico assentando em dois principais objetivos:

- Perceber a dinâmica do ambiente térmico no espaço de trabalho, identificando os postos de trabalho mais suscetíveis a desconforto térmico quente;
- Estudar a sensação dos trabalhadores afetos a esse espaço, ajudando as empresas a criarem melhores condições de trabalho.

Neste sentido, aplicaram-se dois métodos de estudo, o primeiro orientado para o estudo da dinâmica do ambiente térmico, baseado na recolha de parâmetros termohigrométricos e nos índices térmicos *ITH* e *EsConTer* e o segundo para o entendimento da sensação térmica dos trabalhadores, baseado numa escala de cores desenvolvida por Talaia & Simões (2009) que valoriza a escala sétima de sensação térmica de ASHRAE.

Para um melhor entendimento deste tema e do estudo empírico, o presente trabalho foi estruturado em quatro diferentes capítulos:

1. Introdução- Descrição das motivações e principais objetivos do trabalho;
2. Revisão da literatura- Introdução teórica aos principais conceitos do tema do ambiente térmico;

3. Estudo empírico- Apresentação, descrição, discussão e comparação dos casos de estudo;
4. Considerações finais e perspectivas futuras- Considerações e estratégias orientadoras para trabalhos futuros.

## **2. REVISÃO DA LITERATURA**

Este capítulo tem como objetivo a introdução teórica aos conceitos principais do tema do ambiente térmico que serão abordados nesta dissertação.

Neste sentido é iniciado com uma explicação do âmbito da aplicação das investigações desta temática, mostrando que o estudo do ambiente térmico está englobado na ciência de estudo do trabalho, a Ergonomia.

De seguida, focaliza-se detalhadamente nos conceitos básicos associados ao tema, os quais são divididos em 5 subcapítulos distintos:

- 2.1. Ergonomia;
- 2.2. Ambiente térmico;
- 2.3. Sensação térmica e conforto térmico;
- 2.4. *Stress* térmico;
- 2.5. Índices térmicos.

Pretende-se dar a conhecer, aos leitores, um pouco do que está a ser explorado nesta área e de que forma tem sido entendida esta temática no que diz respeito ao impacto direto com o indivíduo/trabalhador, no que concerne ao seu bem-estar, saúde, produtividade e desempenho.

Neste sentido, este capítulo é um pouco extenso pois apresenta um carácter informativo de modo a permitir uma rápida e geral consulta de conteúdos considerados por nós mais relevantes no que diz respeito ao estudo do conforto térmico.

### **2.1. ERGONOMIA**

Segundo Freire (1997) o trabalho caracteriza-se “como algo de abstrato, fugidio e ilusório que, não obstante, é impossível deixar de contemplar, tal a sua pertinência e tal a magnitude da sua presença e da sua função, na vida dos indivíduos e no funcionamento das sociedades”.

Tendo em conta vários autores, como por exemplo, Abranches (2005), Abranches & Mello (2002) e Mielnik (1976), a criatividade, socialização e estímulo da imaginação são também conceitos associados ao trabalho que permitem uma adaptação fácil e rápida às exigências, consequência da interação entre várias competências e capacidades humanas (experiência, fisiologia, psicologia, etc.).

O trabalho não consiste apenas na execução de movimentos e gestos simples, mas também na tomada de decisão e gestão, o que implica que o trabalhador tenha objetivos definidos e complexos a atingir (Pinto, 2009; Freire, 1997). Desta forma, o trabalho é entendido como uma atividade criada pelo ser humano que contempla a produção de um bem material, execução de

uma tarefa e/ou a prestação de um serviço tendo em vista um determinado resultado anteriormente definido que visa a obtenção de valor económico e utilidade social.

Segundo Wisner (1992), Ergonomia consiste na “adaptação do trabalho ao homem, utilizando dados antropométricos, fisiológicos e psicológicos (limitados àqueles que provêm da psicologia dita científica) para a conceção e melhoria do dispositivo de trabalho”, tendo em vista o máximo conforto, segurança, motivação e eficiência (Meles, 2012; Pinto, 2009).

De acordo com a *Internacional Ergonomics Association* (IEA, 2014) “cabe aos Ergonomistas ou aos responsáveis de Ergonomia contribuir para o planeamento da conceção e avaliação de tarefas e tipos de trabalho, para que os ambientes e sistemas sejam compatíveis com as necessidades, capacidades e limitações do homem”.

A Ergonomia foi direcionada para o estudo da fisiologia do trabalho, nomeadamente no que se refere ao consumo energético e à fadiga (Meles, 2012). Esta ciência sofreu algumas transformações ao longo das décadas tendo sido associada à produção de armamento durante a primeira guerra mundial (1914-1917), posteriormente à fadiga no trabalho, às condições gerais de trabalho (postura, ambiente térmico, carga manual, saúde, etc.) e à conceção e *design* dos postos de trabalho de forma a proporcionar um aumento do desempenho e saúde no trabalhador (Meles, 2012). Ao longo dos anos, tem sido do interesse de vários especialistas, nomeadamente de médicos, engenheiros, psicólogos, arquitetos, entre outros, visto ter um grande impacto na qualidade de vida dos trabalhadores, na redução de patologias e acidentes de trabalho, bem como no aumento da produtividade (Pinto, 2009).

Esta ciência pode ser classificada de acordo com o objeto, objetivo e contexto de intervenção. A Ergonomia do objeto divide-se em Ergonomia de produção e Ergonomia do produto. A primeira encontra-se relacionada com o estudo e adaptação das condições de trabalho às necessidades e a segunda com o conjunto de metodologias necessárias ao desenvolvimento de um determinado produto (Meles, 2012; Pinto, 2009). Segundo Breedveld & Dul (2005) um dos grandes problemas desta área é a sua aplicação em fases tardias do desenvolvimento do produto. Quanto ao objetivo podemos distinguir a Ergonomia de conceção e correção. A Ergonomia de conceção está associada à aplicação dos conhecimentos ergonómicos ao longo da criação de um processo ou produto, de forma a evitar situações de risco para a segurança, conforto e bem-estar do trabalhador enquanto a Ergonomia de correção, como o nome indica refere-se ao conjunto de medidas ergonómicas aplicadas a uma situação já existente de forma a melhorá-la (Meles, 2012; Pinto, 2009). A Ergonomia referente ao contexto de intervenção consiste na aplicação de medidas ergonómicas em diversos contextos, como indústrias, escolas, hospitais, transportes, entre outros (Meles, 2012).

Podem ainda distinguir-se Ergonomia pró-ativa e reativa. A Ergonomia reativa, segundo Pinto (2009) reage aos problemas tentando resolve-los depois de se terem manifestado enquanto a pró-ativa está associada ao estudo e análise dos métodos ergonómicos aquando da gestão, planeamento e tomada de decisão.

Neste sentido, constata-se que a Ergonomia tem uma aplicação vasta, adequando os métodos por ela estudados ao contexto e às necessidades, tendo em conta “a compreensão fundamental das interações entre os seres humanos e os outros componentes de um sistema e a conceção de teorias, de princípios, de métodos e de dados condicentes à melhoria do bem-estar dos homens e à eficiência global dos sistemas” (Pinto, 2009).

É também uma área de estudo que suporta a estratégia de negócio das empresas, mantendo-as competitivas (Dul & Neumann, 2009), pois como foi referido anteriormente, a Ergonomia assenta em objetivos sociais e económicos, sendo que os económicos estão relacionadas com a produtividade e desempenho de todo o sistema, englobando conceitos como volume do *output*, *lead time*, flexibilidade, qualidade, custos de operação, entre outros.

A grande problemática desta ciência é a falta de consideração do tema por parte de gestores, pois estes não associam a Ergonomia à eficiência da organização. Neste sentido têm sido desenvolvidos estudos que potenciam a aplicação dos conceitos ergonómicos em conjunto com a estratégia das empresas.

O estudo do ambiente térmico é um campo/área de estudo da Ergonomia que no presente caso de estudo se revela numa intervenção corretiva e reativa, uma vez que se pretende estudar a interação entre os trabalhadores e o ambiente térmico do sistema/local de trabalho onde se inserem, de forma a avaliar e melhorar o seu conforto térmico, segurança e bem-estar, maximizando a diminuição da fadiga e o incremento da produtividade.

## **2.2. AMBIENTE TÉRMICO**

Foi com os estudos de Fanger (1972) que a investigação do ambiente térmico ganhou relevo e surgiram mais seguidores no mundo da investigação, tanto na área da meteorologia, da medicina, da arquitetura, da engenharia, entre outras. Estas investigações abrangem diversos setores de estudo como por exemplo, indústrias, hospitais, escritórios e estabelecimentos de ensino. O presente trabalho foca-se no estudo do ambiente térmico no setor industrial.

O ambiente térmico consiste no conjunto de variáveis termohigrométricas que influenciam direta ou indiretamente o ser humano e o seu comportamento. Algumas destas variáveis são a temperatura do ar, a temperatura média radiante, a velocidade do ar e a humidade relativa do ar.

Os vários estudos desenvolvidos nesta área ergonómica têm o desígnio de perceber o impacto do ambiente térmico nos seres humanos e a sua relação no desempenho dos indivíduos no local de trabalho. De acordo com Cox (2005), um ambiente interno pode ser definido como saudável quando a combinação das propriedades físicas, químicas e biológicas não causa ou agrava nenhuma doença nos ocupantes do espaço e assegura um elevado nível de conforto dos mesmos para que possam desempenhar determinadas funções para as quais foi desenhado o espaço.

Segundo Khodakarami & Nasrollahi (2012); Felix et al. (2010) e Chow et al. (2010) as várias características termohigrométricas dos espaços interiores, nomeadamente, a temperatura do ar e a velocidade do ar podem afetar a saúde e conforto dos ocupantes de edifícios. Para além disso, de acordo com Yao et al. (2009) o espaço interior é influenciado pelo tempo atmosférico exterior, e neste sentido, para além do estudo do ambiente térmico interior de um espaço é também necessário o estudo do ambiente exterior que rodeia esse espaço.

### **TEMPERATURA DO AR**

A temperatura do ar (temperatura do termómetro seco),  $T_a$ , é um dos parâmetros mais importantes a analisar quando se avalia o ambiente térmico. Esta variável pode ser expressa em °K ou °C e consiste numa das variáveis que regula as trocas de calor no organismo humano (Rodrigues, 2007).

### **VELOCIDADE DO AR**

A velocidade do ar,  $v$ , é uma variável meteorológica que intervém também nas trocas de calor com o organismo humano e é expressa em m/s.

De acordo com Rodrigues (2007), na Tabela 1 são indicados alguns valores típicos da velocidade do ar associados a situações sentidas pelo ser humano.

Tabela 1- Sensibilidade provocada pelo movimento do ar

Velocidade do ar (m/s)	Situação
<0,30	Ausência de movimento
0,30 - 0,50	Brisa ligeira
0,50 - 1,50	Causa movimento do cabelo
>1,50	Sensação forte

A velocidade do ar é uma variável muito interessante no que diz respeito ao conforto térmico, visto que pode perturbar o ambiente do posto de trabalho, uma vez que afeta as perdas de calor por convecção e evaporação do corpo humano e pode até causar deslocações de papel numa secretária na presença de velocidades do ar superiores a 0,8 m/s (Chow et al., 2010).

## **TEMPERATURA MÉDIA RADIANTE**

A temperatura média radiante,  $T_r$ , depende da temperatura do termómetro de globo, da temperatura ambiente (ou temperatura do termómetro seco) e da velocidade do ar, sendo expressa em °K ou °C (Rodrigues, 2007).

A expressão usada segundo a norma ISO 7726 (2001) para o cálculo da temperatura média radiante é,

$$T_r = \sqrt[4]{(T_g + 273)^4 + 2,5 \cdot 10^8 (T_g - T_a) v^{0,6}} - 273 \quad (1)$$

onde  $T_g$  representa a temperatura do globo (°C),  $T_a$  a temperatura do ar (°C) e  $v$  a velocidade do ar (m/s).

## **HUMIDADE RELATIVA DO AR**

A humidade relativa do ar, HR, é um indicador meteorológico que consiste na relação entre a quantidade de vapor de água existente no ar à temperatura do ponto de orvalho e a quantidade de vapor de água que esse ar pode conter a uma determinada temperatura (Lamberts, 2013).

A partir do conhecimento da temperatura do ar, da temperatura do termómetro húmido e da pressão atmosférica é possível determinar a humidade relativa do ar (%) através da seguinte expressão (Rodrigues, 2007),

$$HR = \frac{100}{e(T_a)} \left[ e(T_w) - 0,79 \frac{p}{760} (T_a - T_w) \right] \quad (2)$$

onde  $e(T_a)$  representa a pressão parcial de vapor de água de saturação ( $P_a$ ) à temperatura do ar,  $T_a$  (°C),  $e(T_w)$  a pressão parcial de vapor de água de saturação ( $P_a$ ) à temperatura do termómetro húmido,  $T_w$  (°C) e  $p$  a pressão atmosférica (mmHg).

A humidade relativa varia assim entre 0%, ar seco, e 100%, ar saturado, sendo tanto maior quanto menor a capacidade do ar em absorver mais vapor de água (Chaves, 2009).

A psicometria é a área da termodinâmica que estuda a quantidade de vapor de água presente no ar húmido (ar seco mais vapor de água) (ASHRAE, 2001a).

O diagrama psicométrico representa graficamente as propriedades termodinâmicas do ar húmido. A ASHRAE (2001a) desenvolveu sete gráficos diferentes representativos de diferentes soluções, no que diz respeito a problemas com ar húmido. Os eixos destes gráficos apresentam como variáveis a temperatura do ar, a temperatura do termómetro húmido, a humidade relativa, entre outras. Em anexo (anexo 1) encontra-se como exemplo o gráfico 1 de ASHRAE que considera a temperatura do termómetro húmido, indicada nas linhas oblíquas, com valores entre os 0°C e cerca de 31,5°C, a humidade relativa do ar, indicada nas linhas curvas e com valores entre os 0%

e os 100% e a temperatura do ar, indicada nas linhas verticais com valores entre os 0°C e os 50°C) (ASHRAE, 2001a).

### **2.3. SENSAÇÃO TÉRMICA E CONFORTO TÉRMICO**

O ser humano tem uma percepção térmica a partir da sua sensação térmica, a qual gera uma reação do organismo ao ambiente a que está exposto (Yao et al., 2009).

A sensação térmica é transmitida pela temperatura da pele, a qual segundo Zingano (2001) é a temperatura de referência para a sensação de conforto térmico.

Segundo Castilla (2011) a sensação térmica do ser humano está relacionada com o balanço térmico do corpo humano, devendo o calor produzido pelo metabolismo ser igual ao calor dissipado pelo corpo humano.

O conforto térmico é uma sensação térmica muito subjetiva e complexa sendo por isso retratada como “uma sensação que não pode ser determinada com exatidão” (Leal & Neves, 2013). Segundo Emmanuel (2005) é uma reação complexa a um conjunto de parâmetros ambientais, podendo ser definida como a satisfação de um indivíduo quando exposto a um determinado ambiente térmico, ou seja, uma sensação térmica neutra (ASHRAE, 2001b; ASHRAE 55, 2004; Chow et al., 2010).

O conforto térmico varia bastante no que diz respeito a um espaço fechado e a um espaço aberto/exterior. As três razões destas diferenças são mencionadas por Peter (2002) como sendo psicológicas, fisiológicas e energéticas (balanço do corpo humano). No que diz respeito às razões psicológicas estas relacionam-se com as expectativas do ser humano (o porquê de estar num determinado local). As questões fisiológicas caracterizam-se pelo tempo de exposição ao ambiente. As razões energéticas caracterizam-se pela variação entre a temperatura média radiante e a temperatura do ar.

Cada indivíduo assume necessidades diferentes de conforto térmico, pois como afirmam Leal & Neves (2013) “a igualdade de valores de temperatura, humidade e velocidade do ar, apresentam para cada pessoa uma resposta distinta dependendo da suscetibilidade individual e do seu grau de aclimatização<sup>1</sup>”.

O conforto térmico depende, de vários fatores, como fatores ambientais, tais como a temperatura do ar, a humidade relativa do ar e de fatores pessoais que condicionam a sua resposta ao ambiente circundante, como físicos, psicológicos, fisiológicos, culturais, idade, altura, género e

---

<sup>1</sup> Aclimatização: é o estado resultante de um processo de adaptação fisiológica que aumenta a tolerância do indivíduo quando é exposto a um dado ambiente por um período de tempo suficientemente longo (Pinheiro, 2011).

hábitos alimentares. Por exemplo, um indivíduo que reside num ambiente tropical não tem a mesma sensação térmica de um indivíduo que habita numa região gelada (Chow et al., 2010).

Nestas circunstâncias, podemos afirmar que, o conforto térmico de trabalhadores e o impacto do ambiente de trabalho num local de exposição têm sido alvo de diversos estudos. O estudo realizado por Daum et al. (2011) mostra que o perfil de conforto térmico de uma pessoa singular em relação à temperatura do ar de um espaço pode ser muito diferente da de outros indivíduos expostos ao mesmo ambiente térmico, como é apresentado na Figura 2.

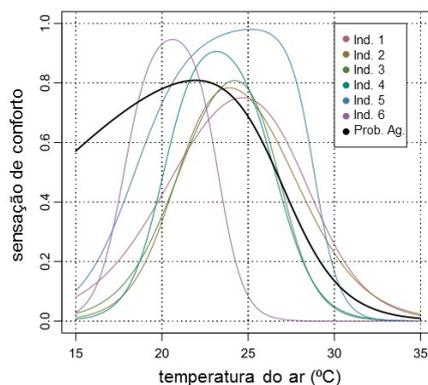


Figura 2 - Sensação de conforto [adaptada de Daum et al. (2011)]

No gráfico da Figura 2 a linha a “negro” (Prob. Ag.) representa a probabilidade de um conjunto de pessoas se sentir confortável. As linhas de cores representam a probabilidade de seis indivíduos, caracterizados pela sigla Ind.número de identificação, desse grupo se sentirem confortáveis a determinada temperatura. O eixo da ordenada corresponde à probabilidade de uma pessoa se sentir confortável (sensação de conforto) e o eixo da abcissa corresponde à temperatura do ar do interior do espaço.

A observação da Figura 2 mostra, inequivocamente, que os diferentes sujeitos apresentam diferentes picos de conforto e que as temperaturas do ar de maior conforto se encontram entre os 20°C e os 25°C.

Outro estudo, realizado por Chow et al. (2010) indica uma comparação média da sensação térmica de estudantes universitários num espaço com a mesma temperatura do ar, mas expostos a humidades relativas do ar diferentes (50%, 65% e 80%). A Figura 3 mostra a sensação térmica de estudantes para as condições termohigrométricas referidas anteriormente.

A partir do gráfico da Figura 3 pode observar-se que a humidade relativa não parece influenciar a sensação térmica dos inquiridos, uma vez que para valores de humidade relativa de 50%, 65%, e 80% e para a mesma temperatura a sensação térmica dos inquiridos não varia.

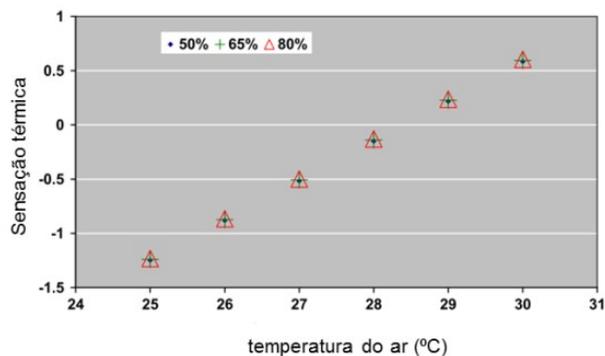


Figura 3 - Sensação térmica média de estudantes expostos a temperaturas iguais e valores de umidade relativa do ar diferentes (50%, 65%, 80%) [adaptada de Chow et al.(2010)]

Segundo a ASHRAE (2001b) e Talaia & Alves (2011) constata-se que os homens e as mulheres têm preferências de conforto térmico muito semelhantes. No entanto, devido às diferenças corporais e termorreguladoras as mulheres normalmente preferem ambientes térmicos mais quentes. Do nosso ponto de vista, o facto de as mulheres vestirem roupa mais fina e leve que os homens pode justificar de certa forma esta maior necessidade de aquecimento.

Tendo por base estas observações, é compreensível aceitar que a zona de conforto térmico seja definida em diferentes intervalos na literatura consultada visto que depende de componentes subjetivas e individuais ou quaisquer especificidades locais (Starling, Mendonça, Alsina & Monteiro, 2013) devendo por isso ser adequada ao organismo humano de acordo com as suas tarefas de trabalho e condicionalismos físicos (Leal & Neves, 2013).

De acordo com Liu et al. (2012) e Yao et al. (2009) os indivíduos ajustam-se aos estímulos ambientais de forma a manter e melhorar o seu bem-estar, tanto a nível psicológico, fisiológico e comportamental. Por considerarmos oportuno, estes três tipos de adaptação, fisiológica, comportamental e psicológica são descritos para uma melhor compreensão.

A adaptação fisiológica pode acontecer através da adaptação genética, isto é, de geração para geração, ou através de aclimatização. Alguns exemplos de adaptação fisiológica são a transpiração, vasoconstrição e a vasodilatação, uma vez que são fenómenos que permitem regular a temperatura interna do corpo (Yao et al., 2009). A Figura 4 representa algumas variáveis fisiológicas que afetam a regulação térmica do corpo humano e as trocas de energia sob a forma de calor entre o corpo humano e o meio exterior.

A adaptação comportamental consiste em ações com ou sem consciência em rotinas diárias como são exemplo a troca de roupa, a abertura de janelas e o consumo de bebidas quentes/frias. Neste tipo de adaptações podem distinguir-se três grupos de adaptações: as pessoais, que foram consideradas nos exemplos apresentados anteriormente, as tecnológicas, ligadas ao ato de ligar

ou desligar sistemas de aquecimento e as culturais, como a tradição espanhola de dormir a *siesta* na altura de maior calor do dia (Yao et al., 2009).

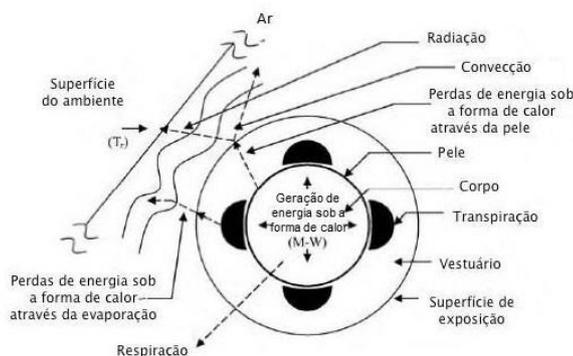


Figura 4 - Fatores que influenciam a sensação térmica humana [adaptada de Djongyang et al. (2010)]

Um estudo, realizado por Akimoto et al. (2010) avaliou o ambiente térmico de zonas de trabalho numa empresa durante 3 dias do verão de 2005, tendo em conta o domínio dos sistemas de climatização. A partir dos dados recolhidos pelos autores, estes observaram que os indivíduos apresentavam uma sensação térmica mais confortável quando detinham o controlo do sistema de climatização e uma sensação térmica de muito calor quando o sistema *HVAC* estava desligado. Quanto à sensação de conforto, observaram que esta diminuía com a falta de controlo no sistema de climatização.

A adaptação psicológica é a mais difícil de ser mensurada, estando relacionada com uma alteração de perceção ou reação a um estímulo sensorial devido a experiências térmicas pessoais do passado. Quando o corpo humano é exposto repetidamente a um determinado estímulo térmico tende a ficar menos sensível a esse estímulo.

Na Figura 5 encontra-se representado o modelo adaptativo para os seres humanos atingirem o conforto térmico e as eventuais adaptações acima descritas segundo Yao et al. (2009).

Chegámos à conclusão que tendo em conta estes cenários diversificados de expectativas e reações do ser humano, deve satisfazer-se o maior número de indivíduos/ trabalhadores num determinado espaço, de forma a criar, segundo Pinheiro (2011), um ambiente neutro, que permita o equilíbrio entre a produção de energia sob a forma de calor metabólico e as trocas de energia sob a forma de calor provenientes do ar em redor do indivíduo/ trabalhador.

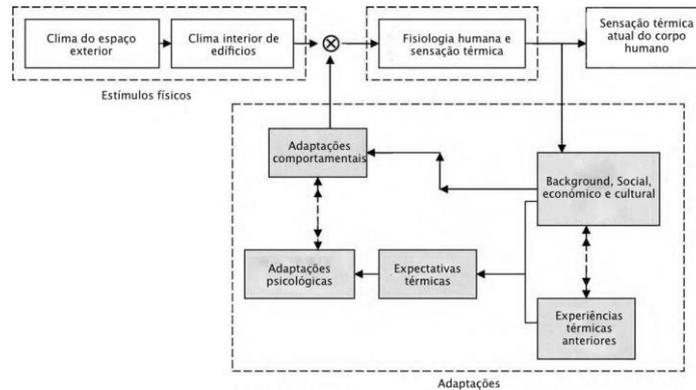


Figura 5 - Mecanismo do modelo adaptativo do conforto térmico [adaptada de Yao et al. (2009)]

## **REGULAÇÃO TÉRMICA HUMANA**

O corpo humano pode ser considerado uma máquina termodinâmica, onde ocorrem ganhos, perdas e transformações energéticas. O sistema termorregulador da temperatura corporal é vital para o conforto e saúde de um indivíduo (ASHRAE, 2001b).

Djongyang et al. (2010), afirmaram que os três índices de temperaturas comuns ao ser humano são 36,6°C, 37,0°C e 35,0°C, para a temperatura oral, retal e da pele, respetivamente.

Segundo Fanger (1972) a temperatura da pele associada a atividades sedentárias é de 33°C a 34°C e diminui com o aumento da atividade, contrariamente à temperatura interna do corpo humano, que aumenta.

O ser humano em condições normais de saúde e conforto mantém uma temperatura interna de aproximadamente (37,0±0,8)°C (Lopes, 2008; Zingano, 2001). Se as temperaturas internas forem inferiores a 28°C o corpo está suscetível a episódios de ataques cardíacos e arritmias podendo provocar a morte e com temperaturas superiores a 48°C são provocados danos irreversíveis no cérebro.

Sabe-se que o ser humano consegue manter a temperatura do organismo relativamente constante, ou seja, é homeotérmico, que significa de acordo com Pinheiro (2011) e Castilla (2011) que existe “balanço térmico, ou seja, equilíbrio entre a produção interna de calor devido ao metabolismo e à dissipação desse calor para o meio ambiente”.

É este sistema termorregulador e fisiológico que permite o equilíbrio do organismo a partir da dissipação e conservação de energia (Oliveira, Queiroz, Pagiola & Ferreira, 2010), sendo por isso essencial para o conforto e saúde.

A temperatura corporal é expressa no balanço térmico através da temperatura média da pele, considerando o corpo humano em estado estacionário através da expressão (ASHRAE, 2001b):

$$M-W = q_{sk} + q_{res} + S = (C+R+E_{sk}) + (C_{res}+E_{res}) + (S_{sk}+S_{cr}) \quad (3)$$

onde, M representa a produção de energia sob a forma de calor metabólico ( $W/m^2$ ), W o trabalho mecânico realizado ( $W/m^2$ ),  $q_{sk}$  as perdas de energia sob a forma de calor através da pele ( $W/m^2$ ),  $q_{res}$  as perdas de energia sob a forma de calor através da respiração ( $W/m^2$ ), S a energia sob a forma de calor armazenada no corpo ( $W/m^2$ ), C+R as perdas de energia sob a forma de calor sensível através da pele ( $W/m^2$ ),  $E_{sk}$  as perdas de energia sob a forma de calor por evaporação através da pele ( $W/m^2$ ),  $C_{res}$  as perdas de energia sob a forma de calor por convecção através da respiração ( $W/m^2$ ),  $E_{res}$  as perdas de energia sob a forma de calor por evaporação através da respiração ( $W/m^2$ ),  $S_{sk}$  a energia sob a forma de calor armazenado na pele ( $W/m^2$ ) e  $S_{cr}$  a energia sob a forma de calor armazenado no interior do corpo ( $W/m^2$ ).

A expressão (3) é, então, função de vários termos intermédios, nomeadamente o metabolismo e trabalho, a difusão de vapor (termo relacionado com a evaporação), a transpiração (termo relacionado com a evaporação), a respiração latente (termo relacionado com a respiração), a respiração sensível (termo relacionado com a respiração), a radiação (termo relacionado com a perda de energia sob a forma de calor por radiação - lei de Stefan-Boltzmann), a convecção (termo relacionado com a perda de energia sob a forma de calor por convecção) (Talaia, Teixeira & Morgado, 2014).

Segundo Hensen (1991) o sistema de termorregulação humana é muito complexo e apresenta muitos princípios de controlo. A Figura 6 representa algumas dessas características do sistema termorregulador humano.

Na Figura 6 as variáveis controladas dizem respeito a temperaturas internas do organismo (núcleo do corpo) e à temperatura da pele (revestimento corporal) (Djongyang et al., 2010). Estas variáveis são influenciadas por distúrbios térmicos internos (por exemplo calor gerado no interior do corpo devido à prática de exercício físico) e externos (ambientes térmicos quentes ou frios). Por sua vez, os distúrbios externos são detetados rapidamente pelos termorreceptores da pele, enquanto os distúrbios internos são detetados pelos termorreceptores internos do sistema arterial. A informação enviada pelos termorreceptores é recebida pelo hipotálamo [controlador do sistema termorregulador automático (adaptação fisiológica)] e deste é enviada uma mensagem de resposta à pele, músculos e outros órgãos (Rodrigues, 2007).

Quando as temperaturas corporais são mais elevadas que o *set point* (temperatura corporal normal de conforto), ocorre a vasodilatação, isto é, uma maior passagem de sangue. Contrariamente, quando as temperaturas são inferiores ao *set point* o fluxo de sangue diminui de forma a conservar o calor corporal (ASHRAE, 2001b). Rodrigues (2007) afirma que os mecanismos de regulação térmica são acionados como resposta a um “erro” de carga, isto é, quando a temperatura do núcleo é superior ou inferior a um determinado valor de referência. Os

sinais de carga positiva que chegam ao hipotálamo provêm dos neurónios sensíveis ao calor e os de sinal negativo dos neurónios sensíveis ao frio. Se os sinais de carga são de igual amplitude ao organismo, este encontra-se em neutralidade térmica (conforto térmico).

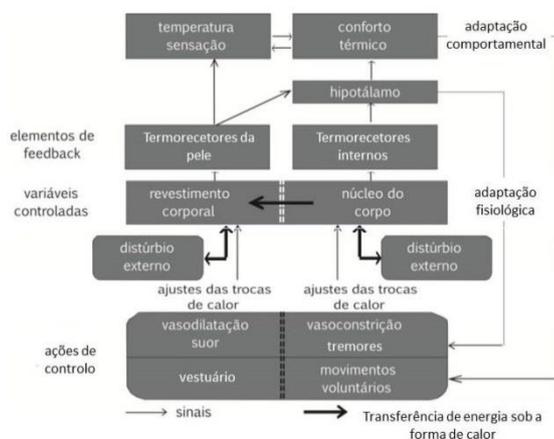


Figura 6 - Termorregulação humana [adaptada de Lamberts (2013)]

Para além da adaptação fisiológica, como já foi referido anteriormente, acontece também a adaptação comportamental, representada na Figura 6, como os movimentos voluntários, como por exemplo vestir/despir uma peça de roupa (vestuário).

Segundo Fanger (1972) as variáveis que mais influenciam o conforto térmico do ser humano são, a resistência térmica do vestuário, a temperatura do ar, a velocidade do ar e a pressão e vapor de água existente na atmosfera. No que diz respeito ao presente trabalho, as variáveis que vão ser estudadas ao nível das adaptações comportamentais são o vestuário e o metabolismo do ser humano.

### **TROCAS DE CALOR ENTRE O SER HUMANO E O AMBIENTE**

De acordo com Pinheiro (2011) “a geração de calor depende da atividade e a absorção ou dissipação de calor depende do tipo de roupa vestida e de um conjunto de variáveis ambientais”.

As trocas de calor efetuadas pelo organismo podem distinguir-se entre secas e húmidas. Estas trocas são úteis para o equilíbrio da temperatura do organismo e estão inteiramente ligadas com o processo termorregulador do organismo humano.

As trocas de calor secas consistem nas trocas térmicas que apenas envolvem a alteração de temperatura, como a convecção, condução e radiação. Zingano (2001) mostra que 75% da energia é dissipada por radiação e convecção.

- A convecção acontece quando o calor é transferido para o ambiente, devido à diferença térmica entre a pele/roupa do ser humano e o ar ambiente. A troca de calor por convecção

depende de três variáveis, da temperatura do ar, da velocidade do ar e do vestuário do ser humano (Pinheiro, 2011) e é facilitada quando a superfície do corpo está molhada, devido à maior capacidade térmica mássica da água (Rodrigues, 2007).

De acordo com Fanger (1972) e ASHRAE (2001b) a expressão da troca de calor entre o ser humano e o ambiente é dada por:

$$C = h_c F_{cl} (T_{cl} - T_a) \quad (4)$$

onde  $h_c$  representa o coeficiente de transferência de energia sob a forma de calor por convecção  $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ,  $F_{cl}$  o fator de área de vestuário (adimensional),  $T_{cl}$  a temperatura superficial do vestuário ( $^\circ C$ ) e  $T_a$  a temperatura do ar ( $^\circ C$ ).

De acordo com a ASHRAE (2001b)  $F_{cl} = A_{cl} / A_D$ , onde  $A_{cl}$  representa a área vestida da superfície do corpo humano ( $m^2$ ) e  $A_D$  a área da superfície do corpo nu de DuBois ( $m^2$ ). Quando o indivíduo está nu  $F_{cl} = 1$  e  $F_{cl} \cong 0$  quando existe uma grande quantidade de vestuário.

- A condução consiste na transferência de energia sob a forma de calor de um material para outro a partir do contacto direto. Isto acontece facilmente quando uma área do corpo humano está em contacto com uma superfície (Djongyang et al., 2010). Quando nos referimos ao organismo humano, na regulação da temperatura, “a energia sob a forma de calor é conduzida desde interior do corpo até à superfície (pele), através dos tecidos adjacentes, sendo posteriormente transferida para o vestuário ou o ar que está em contacto direto com a superfície do corpo” (Rodrigues, 2007). A condução de energia sob a forma de calor ocorre sempre no sentido de uma temperatura mais alta para uma temperatura baixa.
- A radiação segundo Rodrigues (2007) é o principal mecanismo de perda de energia sob a forma de calor pelo organismo. Sá (1999), mostra que a radiação consiste “na troca de calor direta entre a pele e vestuário do ser humano e as superfícies que o rodeiam devido a diferenças de temperatura entre a pele/vestuário e as superfícies”.

Um exemplo é a troca de calor radioativa, que consiste na “sensação de calor que sentimos quando a radiação solar incide na nossa pele” (Pinheiro, 2011).

Estas trocas de calor dependem de fatores como a temperatura das superfícies que rodeiam o ser humano e da roupa e são independentes da temperatura do ar. A radiação quando incide sobre um corpo pode ser parcialmente refletida, transmitida ou absorvida (Sá, 1999). Segundo ASHRAE (2001b) a quantidade de calor dissipado por um corpo vestido através de radiação é expressa por:

$$R = h_r F_{cl} (T_{cl} - T_r) \quad (5)$$

onde  $h_r$  representa o coeficiente de transferência de energia sob a forma de calor por radiação  $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ,  $F_{cl}$  o fator de área de vestuário (adimensional),  $T_{cl}$  a temperatura superficial do vestuário ( $^\circ C$ ) e  $T_r$  a Temperatura média radiante ( $^\circ C$ ).

As trocas de calor húmidas distinguem-se das trocas de calor secas porque envolvem uma mudança de estado e são feitas através da respiração, transpiração e evaporação.

- A respiração é o processo fisiológico pelo qual o organismo troca o dióxido de carbono por oxigénio no ambiente onde se insere. Quanto à troca de calor com o ambiente, a respiração consiste na energia sob a forma de calor que é trocada entre o organismo humano e o ambiente circundante devido à diferença de temperatura entre o ar inspirado e o ar expirado. Estas trocas dependem da temperatura e da humidade relativa do ar (Sá, 1999).
- Rodrigues (2007), afirma que a evaporação “é responsável por uma perda de energia de cerca de 20% a 80%, correspondendo o limite inferior a uma situação de repouso e limite superior a uma atividade de alta exigência física”.  
Este processo, quando associado ao organismo humano consiste no calor dissipado para o ambiente pela evaporação de água à superfície da pele, contribuindo para o arrefecimento do organismo (Sá, 1999). Estas trocas dependem fortemente da humidade relativa do ar.
- A transpiração consiste na eliminação de água do organismo humano por dissipação de água e outros componentes através da pele do ser humano. A produção de suor, mecanismo mais desenvolvido nos seres humanos do que em qualquer outro animal, é para Fanger (1972) o meio mais poderoso de arrefecimento da pele, aumentando as perdas de energia sob a forma de calor.

## **METABOLISMO**

Segundo Rodrigues (1978), o metabolismo consiste “no conjunto de processos bioquímicos que ocorrem no organismo quando este cria tecido vivo a partir de substâncias nutritivas básicas, transformando-as em energia”.

A taxa de metabolismo, representada pela letra  $M$ , significa a energia consumida/utilizada por um ser humano num determinado período de tempo ou a quantidade de calor por unidade de tempo produzida por unidade de área de pele. A taxa de metabolismo pode ser expressa em  $W/m^2$  ou em met. De acordo com a norma internacional ISO 7730 (2005) 1met corresponde a uma perda de energia sob a forma de calor de  $58W/m^2$ , estando associado ao estado de um indivíduo europeu

do sexo masculino em repouso com cerca de  $1,8\text{m}^2$  de área de superfície de pele [uma mulher europeia em média apresenta cerca de  $1,6\text{m}^2$  de área de superfície de pele (ASHRAE, 2001b)].

Podem distinguir-se dois tipos de metabolismo, o metabolismo de atividade, que resulta do esforço físico humano e da sua atividade e o metabolismo basal que é considerado um valor *standard* igual a  $45\text{W}/\text{m}^2$ , correspondendo ao estado de repouso do organismo, sem influências térmicas externas e com vestuário termicamente neutro (Meles, 2012; Pinheiro, 2011).

Em geral, as taxas de metabolismo associadas às mulheres são cerca de 30% inferiores à dos homens (ASHRAE, 2001b). No entanto, a atividade das pessoas consiste num conjunto diferente de atividades e períodos de descanso ao longo do dia.

A taxa de metabolismo varia tendo em conta vários fatores, como a atividade desempenhada por um indivíduo, o próprio indivíduo, as condições em que a atividade é desempenhada, entre outros (ASHRAE, 2001b). De acordo com as características individuais, o metabolismo depende da área corporal ( $\text{m}^2$ ). O valor da área corporal pode ser determinado usando a expressão de DuBois & DuBois (1916),

$$A=0,202h^{0,725}m_c^{0,425} \quad (6)$$

onde A representa a área ( $\text{m}^2$ ), h a altura do indivíduo (m) e  $m_c$  a massa corporal (kg).

A partir da expressão (6) construiu-se a Figura 7, para uma mais fácil leitura de valores de área corporal.

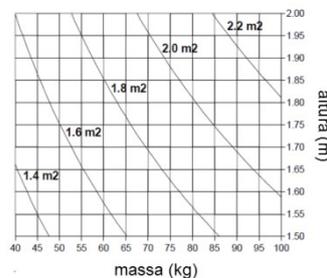


Figura 7 - Área corporal em função da altura e da massa de um indivíduo [adaptada de Pinheiro (2011)]

Para Candas (2000) a quantidade de calor produzida pelo metabolismo, resulta da taxa de ar ventilado e da diferença entre a concentração de ar inspirado e expirado pelos seres humanos. Em condições de atividade e de acordo com o mesmo autor, o calor metabólico produzido pode ser obtido através de,

$$M=M_b+M_p+M_a \quad (7)$$

onde M representa a quantidade de calor metabólico produzido na unidade e tempo e por unidade de área ( $\text{W}/\text{m}^2$ ),  $M_b$  o metabolismo basal ( $\text{W}/\text{m}^2$ ),  $M_p$  o valor de calor metabólico da postura do ser humano na unidade de tempo e por unidade de área ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) (ver Tabela 2) e  $M_a$  o valor de calor

metabólico correspondente à atividade na unidade de tempo e por unidade de área ( $W/m^2$ ) (ver Tabela 3).

Tabela 2- Valores de metabolismo associados à postura do ser humano [adaptada de Djongyang et al. (2010)]

Postura	Sentado	Agachado	Levantado	Levantado e inclinado
$M_p(W/m^2)$	10	20	25	30

Tabela 3- Valores de metabolismo associados à atividade do ser humano [(adaptada de Djongyang et al. (2010)]

Tipo de trabalho	$M_a(W/m^2)$		
	Leve	Mediano	Pesado
Mãos	10-22	22-34	34-46
Um braço	25-45	45-65	65- 85
Dois braços	55-75	75-95	95-115
Corpo	95-155	155-230	230-330

Para além da Tabela 2 e da Tabela 3, relativas ao metabolismo associado à postura e à atividade do ser humano, respetivamente, existem outras que retratam o metabolismo do ser humano de uma forma mais generalizada. A mais conhecida é a que está associada à norma ISO 7730 (2005) apresentada na Tabela 4 com alguns exemplos.

Tabela 4- Taxa metabólica para diferentes atividades [retirada de ISO 7730 (2005)]

Atividade	Metabolismo	
	$W/m^2$	met
Reclinado	46	0,8
Sentado, relaxado	58	1,0
Atividade sedentária (escritório, escola, etc.)	70	1,2
Fazer compras, atividades laboratoriais	93	1,6
Trabalhos domésticos	116	2,0
Caminhada num local plano a 2 km/h	110	1,9
Caminhada num local plano a 3 km/h	140	2,4
Caminhada num local plano a 4 km/h	165	2,8
Caminhada num local plano a 5 km/h	200	3,4

Por exemplo, uma pessoa que escreve 50% do seu tempo, que está sentada 25% do tempo e que se desloca em volta de um pequeno espaço durante 25% do seu tempo, de acordo com a expressão (7), a Tabela 2, a Tabela 3 e a Tabela 4 apresenta uma taxa de metabolismo média por unidade de área de cerca de  $0,50*70+0,25*58+0,25*110=77W/m^2$  (ASHRAE, 2001b).

No estudo de Akimoto et al. (2010) foi feita uma estimativa da variação média da taxa metabólica com o número de passos médios dados em cada hora, num período de oito horas de trabalho, a todos os trabalhadores de um escritório durante o verão de 2006, como se mostra na Figura 8.

A Figura 8 mostra que a taxa metabólica é sensivelmente proporcional com os passos dados até às 15h00. A partir desta hora verifica-se um acréscimo. Este valor justifica-se com o cansaço e

exaustão sentida pelos trabalhadores após um dia de trabalho. Segundo os mesmos autores, numa hora de trabalho os trabalhadores davam cerca de 300 ou mais passos, sendo a taxa metabólica média durante as horas de trabalho de 1,4 met. Foi também observado que o comportamento do trabalhador influencia a sua sensação térmica.

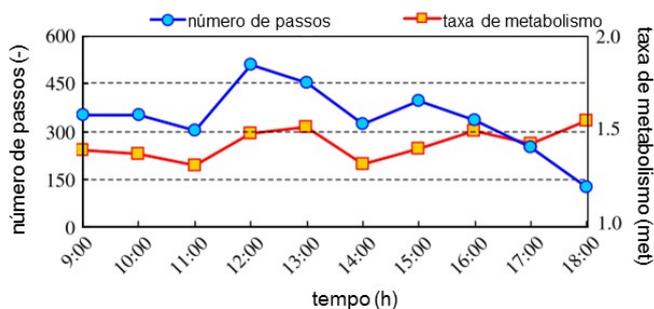


Figura 8 - Número de passos e a variação da taxa de metabolismo [adaptada de Akimoto et al. (2010)]

Outro grande fator pessoal que interfere com o metabolismo é a idade de um indivíduo, pois é certo que com o aumento da idade o metabolismo vai decrescendo gradualmente. No entanto, segundo vários estudos esta relação não parece afetar a sensação de conforto térmico entre jovens e idosos, visto que a menor perda de calor por evaporação associada aos idosos parece atenuar esta variação (ASHRAE, 2001b).

## VESTUÁRIO

A variável vestuário é bastante importante no estudo do conforto térmico, pois permite perceber a adequação do vestuário de trabalho face às condições do ambiente. Para além disso, é também um elemento de elevada importância no conforto térmico uma vez que regula as trocas de energia sob a forma de calor tal como a massa de suor do corpo humano com o meio ambiente (Huang, 2006).

Pinheiro (2011) afirma que “o vestuário funciona como isolante térmico, pois forma junto ao corpo uma camada de ar mais aquecido ou menos aquecido, conforme seja mais ou menos isolante, tendo em conta a sua adaptação ao corpo e a porção do corpo que cobre”. Não é por acaso que de acordo com as estações do ano e os diferentes locais do planeta terra estão associados diferentes hábitos em relação ao vestuário (ASHRAE, 2001b).

Para a análise da variável vestuário é avaliada a resistência térmica do vestuário que consiste no poder protetor do mesmo (Rodrigues, 2007). Esta variável é expressa em clo, sendo 1clo correspondente a  $0,155\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ , que representa, citando Rodrigues (2007), “a resistência térmica oferecida por cada  $0,155\text{m}^2$  do conjunto de roupa vestida, quando a pele coberta arrefece  $1^\circ\text{C}$ ”.

devido à transferência de energia sob a forma de calor de 1W para a superfície exterior da referida roupa”.

A resistência térmica do vestuário é dependente da temperatura do ar, do trabalho externo e das características do próprio vestuário. O trabalho externo segundo Fanger (1972) está relacionado com a taxa metabólica e depende da atividade/ movimento desenvolvido por um indivíduo. Assim, a resistência térmica do vestuário total usado por um indivíduo num espaço interior pode ser calculada usando a fórmula de Olsen (Ogbonna & Harris, 2008; ASHRAE, 2001b),

$$I_{cl} = \sum_i I_{clu,i} \quad (8)$$

onde,  $I_{cl}$  representa a resistência total oferecida pelo vestuário (clo) e  $I_{clu,i}$  a resistência de cada peça de roupa (clo).

Os valores da resistência térmica do vestuário podem ser consultados através de valores tabelados associadas à norma ISO 7730 (2005). Na Tabela 5 podem observar-se alguns exemplos desses valores.

Tabela 5 - Resistência térmica do vestuário [retirada de ISO 7730 (2005)]

Tipo do vestuário	Resistência térmica- Clo
Cuecas	0,03
Cuecas e sutiã	0,03
Meias	0,02
Camisola de manga comprida fina	0,30
Calças	0,25
Casaco fino	0,25
Sapatos	0,04
Lenço	0,05
Polo	0,20
Calças finas	0,20
Camisola grossa	0,35

Para além dos valores indicados na Tabela 5, para a determinação da resistência térmica do vestuário, há a possibilidade de se usar um manequim térmico, como se mostra na Figura 9. O manequim térmico consiste num instrumento que mede fluxos à escala humana e permite avaliar o calor dissipado pelo corpo humano (Djongyang et al., 2010). Este tipo de instrumento tem sido bastante desenvolvido desde 1945, sendo hoje em dia multifuncional e aplicado em diversas áreas de investigação para testar e desenvolver produtos, como por exemplo, para o desporto, indústria de construção, indústria automóvel, indústria têxtil (Wang, 2008).



Figura 9 - Manequim térmico [retirado de Djongyang et al. (2010)]

Como foi referido anteriormente, o tipo de vestuário usado pelos indivíduos varia também consoante as estações do ano. Neste sentido, a ASHRAE (2001b) especifica zonas de conforto para o verão e para o inverno associados a níveis de resistência térmica de 0,5clo e 0,9clo, respetivamente. A Figura 10 mostra um diagrama psicrométrico que representa estas zonas de conforto impostas pela ASHRAE (2001b).

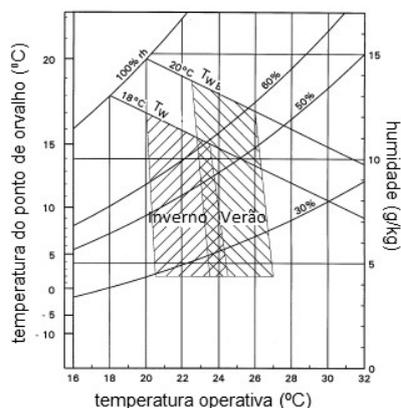


Figura 10 - Zonas de conforto especificadas pela ASHRAE [adaptada de ASHRAE (2001a)]

O diagrama psicrométrico da Figura 10, contempla a temperatura do ponto de orvalho (°C), representada no eixo da ordenada, a temperatura operativa (°C), representada no eixo da abcissa, a temperatura do termómetro húmido (°C), representada nas linhas oblíquas e a humidade relativa do ar (%), representada nas linhas curvas.

A temperatura do ponto de orvalho é de acordo com Rodrigues (2007) “a temperatura à qual uma quantidade de ar húmido precisa de ser arrefecida de forma a alcançar a saturação, mantendo a pressão e a razão de mistura constantes”. A humidade relativa é de 100% quando a temperatura do ar iguala a temperatura do ponto de orvalho. A temperatura operativa representa, segundo a mesma autora, “a temperatura uniforme de um ambiente radiante hipotético negro, onde um ocupante poderia trocar a mesma quantidade de calor por radiação e convecção que no ambiente real”.

## ESCALA SÉTIMA DE SENSAÇÃO TÉRMICA DE ASHRAE

A sensação térmica de um indivíduo pode ser facilmente avaliada através da escala sétima de sensação térmica criada pela ASHRAE (ASHRAE, 2001b), como mostra a Figura 11.

Esta escala é baseada no balanço térmico do corpo humano e representa a percepção térmica do ser humano em sete pontos: '+3' (extremamente quente), '+2' (quente), '+1' (moderadamente quente), '0' (neutro, confortável), '-1' (moderadamente frio), '-2' (frio) e '-3' (extremamente frio).



Figura 11 - Escala sétima de sensação térmica de ASHRAE [adaptada de ASHRAE (2001b)]

Muitos têm sido os estudos que utilizam esta escala para avaliar a sensação térmica dos trabalhadores. A Figura 12 e Figura 13 são exemplos disso, consistindo em partes de inquéritos, na forma original, feitos aos trabalhadores, em estudos.

乙部 Part B - 熱感覺回饋 Feedback of Thermal Sensation

日期: 16<sup>th</sup> August, 2007 組別: M6 坐位: 1  
Date: 16<sup>th</sup> August, 2007 Group: M6 Seat: 1

每一情況中，選出您的熱感覺。  
For each condition, please tick off the box indicating your thermal sensation.

情況 Condition	-3 好凍 Cold	-2 凍 Cool	-1 涼 Slightly cool	0 舒適 Neutral	+1 微 熱 Slightly warm	+2 熱 Warm	+3 好熱 Hot

Figura 12 - Avaliação da sensação térmica [retirada de Chow et al. (2010)]

2.2 Overall Thermal Comfort Sensations AT THE MOMENT (Please tick **ONLY ONE** box)

Much too cool	Too Cool	Comfortably Cool	Just Comfortable	Comfortably warm	Too Warm	Much too Warm
<input type="checkbox"/>						

Figura 13 - Avaliação da sensação térmica [retirada de Liu et al. (2012)]

## 2.4. STRESS TÉRMICO

De acordo com os especialistas da temática, é consensual que o *stress* térmico seja considerado o oposto do conforto térmico, ou seja, o estado de um indivíduo de insatisfação quando exposto a ambientes térmicos extremos de frio ou calor (Meles, 2012). O desconforto térmico pode ser sentido em todas as partes do corpo de forma homogênea ou pode ser sentido em apenas uma ou várias zonas do corpo humano (ASHRAE, 2001b). Estas condições podem ser sentidas devido ao

mau projeto de um espaço e ao uso inadequado de equipamentos/sistemas de ventilação e climatização.

As condições de *stress* térmico reduzem os índices de produtividade e aumentam os comportamentos de risco e a probabilidade de acidentes de trabalho (Riniolo & Schmidt, 2006). No entanto, o corpo humano, quando exposto a estes dois tipos extremos de ambientes desencadeia ações de regulação adequadas a partir do sistema termorregulador do organismo e através do nosso comportamento, como já foi apresentado na adaptação fisiológica, comportamental e psicológica.

Os mecanismos humanos mais comuns que permitem responder a esta regulação são os vasos sanguíneos, a segregação de suor e a termogênese. As ações comportamentais mais frequentes para combater o desconforto são a mudança de vestuário, mudança de atividade, mudança de postura ou local, abertura/fecho de uma janela, abandono de um espaço, ligar/desligar de um sistema de ventilação ou protestar.

No presente trabalho abordar-se-á com detalhe um ambiente térmico quente e as reações do corpo humano quando exposto a esse ambiente, no entanto, considera-se oportuno neste capítulo abordar os dois tipos de *stress* térmico extremos, de frio e de calor.

### **STRESS TÉRMICO QUENTE**

Djongyang et al. (2010) mostraram que o desconforto térmico quente começa quando o calor humano não pode ser dissipado para o ambiente, isto é, quando a temperatura ambiente é superior à temperatura corporal.

De acordo com Meles (2012) “o *stress* térmico ocorre quando os parâmetros ambientais, o nível de vestuário e o nível de metabolismo interagem e provocam um aumento gradual da temperatura interna corporal”.

A tolerância a ambientes quentes varia consoante a sensibilidade à temperatura, as perdas de energia sob a forma de calor através da transpiração e a movimentação da energia sob a forma de calor através do sangue desde o interior do corpo humano até à superfície da pele (ASHRAE, 2001b).

Um dos mecanismos mais importantes na tolerância a ambientes quentes é a transpiração. Na prática, para haver evaporação do suor é necessário ceder energia, suscitando que a temperatura interna corporal possa diminuir.

A Figura 14 representa um resumo dos processos envolvidos no *stress* térmico devido ao calor excessivo sentido.

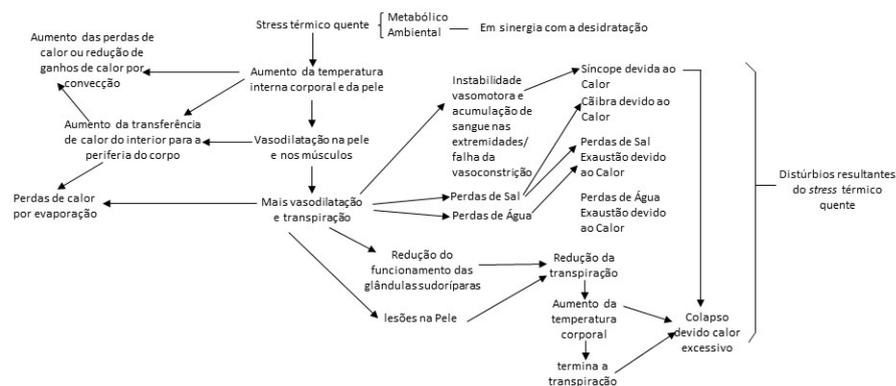


Figura 14 - Stress térmico devido ao calor excessivo [adaptada de ASHRAE (2001b)]

Parsons (2003) refere que o desconforto provocado por ambientes demasiado quentes têm impacto no comportamento, na performance cognitiva, no rendimento e desempenho profissional e na vitalidade do corpo humano.

Alguns sintomas provocados por ambientes demasiado quentes são (Araújo, Arezes & Braga, 2013; Meles, 2012; Pinheiro, 2011; ASHRAE, 2001b),

- dificuldade no processamento de informação no cérebro;
- alterações psicossensoriais;
- inquietação e perda de concentração;
- sonolência;
- aumento do suor;
- aumento da temperatura superficial da pele;
- tonturas;
- desmaios.

Em casos de ambientes quentes mais extremos podem ocorrer doenças com carácter complexo, nomeadamente, do foro psicológico, cardiovascular entre outras. Estas constituem uma importante causa de absentismo e de incapacitação para o desenvolvimento eficiente do trabalho, ou mesmo levar à morte. A Tabela 6 representa alguns exemplos de risco para a saúde humana devido à exposição a este tipo de ambientes.

Tabela 6- Consequências do stress térmico [retirada de Meles (2012)]

Designação	Descrição	Consequências
Choque térmico/hipertermia	Subida contínua da temperatura	Convulsões e alucinações (Temperaturas entre os 42°C e 45°C), morte
Colapso Térmico	Aumento acentuado da pressão arterial	Vertigens, tonturas, transpiração muito intensa, dores de cabeça muito fortes
Desidratação	Perda de água excessiva	Convulsões e alucinações, coma (42°C -45°C), morte
Desmineralização	Perda de sais não compensada	Convulsões e alucinações, coma (42°C -45°C), morte

Apesar de todos os problemas indicados na Tabela 6, a aclimatização a ambientes quentes é possível, como mostra um estudo de Robinson et al. (1943, citado por ASHRAE (2001b)), representado na Figura 15. Os autores mostraram resultados a uma exposição de cinco indivíduos a um ambiente térmico com uma temperatura do ar de 40°C e uma humidade relativa de 23%, durante 6 dias.

A Figura 15 mostra que há um decréscimo da frequência cardíaca, da temperatura retal e da temperatura da pele, ao longo dos seis dias. Segundo a ASHRAE (2001b) a aclimatização pode ser atingida a partir da exposição a este tipo de ambientes durante um período de 100 minutos por dia de trabalho, em que 30% ocorre após o primeiro dia, 50% após três dias e 95% após 6-7 dias.

Segundo a ASHRAE (2001b) trabalhar regularmente em ambientes quentes pode melhorar a eficiência cardiovascular, a secreção de suor e a conservação de sódio.

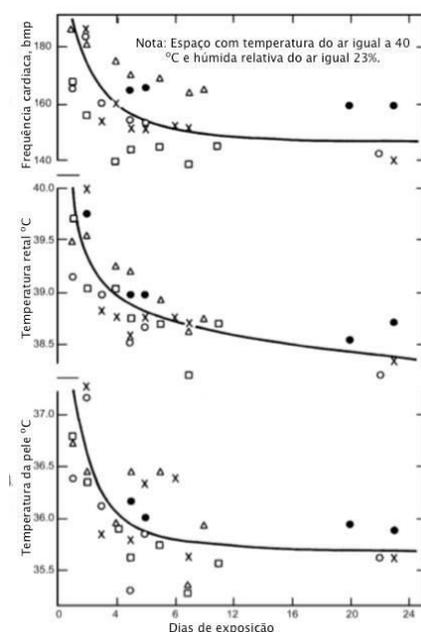


Figura 15 - Aclimatização a ambientes de stress térmico quente [adaptada de ASHRAE (2001b)]

### **STRESS TÉRMICO FRIO**

Segundo a ASHRAE (2001b) o desempenho do ser humano quando exposto a ambientes extremos de frio depende da capacidade de manter o balanço térmico do corpo. Uma diminuição da temperatura interna do corpo inferior a 35°C ameaça a perda da regularização da temperatura do corpo e inferior a 28°C é considerada crítica para a sobrevivência do ser humano. No caso da temperatura média da pele, a sensação de desconforto começa a partir da temperatura de 31°C,

sendo que aos 30°C começam os tremores devido ao frio, atingindo o limite aos 25°C, isto com uma atividade sedentária (ASHRAE, 2001b). Os casos extremos de temperaturas anormalmente baixas pode levar à hipotermia, isto é, uma diminuição da temperatura corporal que impossibilita o funcionamento normal do organismo humano.

A reação de tremer de frio ocorre quando a vasoconstrição não consegue prevenir a contínua perda de energia sob a forma de calor, tornando-se então a melhor defesa contra o frio. Esta reação é desencadeada pela baixa temperatura interna do corpo, baixa temperatura da pele, rápida mudança da temperatura da pele ou pela combinação destes três fatores. Os tremores são normalmente precedidos por tensões musculares e por arrepios causados por contrações musculares na pele (ASHRAE, 2001b).

As correntes de ar são identificadas como um dos fatores mais perturbadores dos locais de trabalho e estão associadas a ambientes frios, pois quando um indivíduo sente uma corrente de ar normalmente procura/anseia por temperaturas mais elevadas (ASHRAE, 2001b).

Para uma boa proteção a ambientes frios é necessária a adequação do vestuário e do calçado, bem como o desempenho de uma atividade associada a maiores taxas metabólicas, a ingestão de alimentos com gordura e de líquidos quentes (Meles, 2012).

Makinen et al. (2006) e Meles (2012) referem que o *stress* térmico associado a temperaturas muito baixas leva a aumentos do tempo de resposta e do número de erros, afetando a aprendizagem, o raciocínio, a memória, a força e a própria saúde do indivíduo, podendo levar a:

- formação de frieiras;
- enregelamento (congelamento de tecidos);
- alteração circulatória do sangue;
- aumento da pressão arterial e pressão cardíaca;
- reumatismo

como mostram Sousa et al. (2005).

## **2.5. ÍNDICES TÉRMICOS**

O conforto térmico e a sensação térmica podem ser previstos de diferentes formas e dependem de diversos fatores pessoais e ambientais. Nesta abordagem são apresentados alguns índices térmicos, que tentam prever a sensação térmica de indivíduos/trabalhadores e caracterizar o ambiente térmico de um espaço.

De forma a prever a sensação térmica humana e o conforto térmico, são apresentados neste capítulo três índices: o índice *PMV*, o índice *PPD* e o índice *EsConTer*. No que diz respeito à caracterização do ambiente, são apresentados 5 índices ambientais, que como o nome indica, são

formados a partir da combinação de dois ou mais parâmetros ambientais numa só variável (ASHRAE, 2001b). Estes índices são: o *ITH*, o *RSI*, a temperatura equivalente, o *WBGT* e o diagrama de conforto/desconforto da organização mundial de meteorologia (*W.M.O.*).

### **PMV- PREDICTED MEAN VOTE**

Este índice foi desenvolvido por Fanger nos anos setenta, através de experiências laboratoriais em divisões climatizadas, com o intuito de obter um modelo que analisasse o conforto térmico do ser humano dentro de um espaço interior, baseado no balanço térmico do corpo humano e nas teorias da termorregulação (Castilla et al., 2011; Talaia et al., 2014).

O *PMV* pretende estimar o valor médio de conforto térmico de uma amostra de indivíduos expostos a determinadas condições térmicas durante um longo período de tempo, utilizando a escala sétima de sensação térmica de ASHRAE (Castilla et al., 2011; ASHRAE, 2001b). A sua aplicação é recomendada apenas quando os parâmetros termohigrométricos e pessoais estão dentro de certos intervalos (Lamberts, 2002; ASHRAE, 2001b).

O índice *PMV* valoriza as variáveis indicadas na Tabela 7, nomeadamente a taxa de metabolismo por unidade de área corporal, isolamento do vestuário, temperatura do ar, temperatura média radiante, velocidade do ar e humidade relativa do ar. A temperatura do ar, a temperatura média radiante e a velocidade do ar são variáveis que podem ser mensuradas a partir de sensores e aparelhos digitais. A taxa de metabolismo por unidade de área e o isolamento do vestuário são determinadas a partir de tabelas de valor *standard*.

Tabela 7- Variáveis do PMV [retirada de Castilla et al. (2011)]

Parâmetros	Símbolo	Intervalo	Unidade
Taxa de metabolismo	M	0,8-4	met (W/m <sup>2</sup> )
Isolamento do vestuário	I <sub>cl</sub>	0-2	clo (m <sup>2</sup> °C/W)
Temperatura do ar	T <sub>a</sub>	10-30	°C
Temperatura média radiante	T <sub>r</sub>	10-40	°C
Velocidade do ar	v	0-1	m/s
Humidade relativa do ar	HR	30-70	%

O valor do *PMV* é atribuído numa escala de sete pontos, de acordo com a escala de sensação térmica de ASHRAE: -3 (gelado); -2 (frio); -1 (fresco); 0 (neutro); +1 (ligeiramente quente); +2 (quente); +3 (muito quente) e é traduzido pela seguinte expressão:

$$PMV=[0,303 \exp(-0,036M)+0,028]L \quad (9)$$

onde  $M$  a taxa de metabolismo por unidade de área ( $W/m^2$ ) e  $L$  representa a carga térmica do corpo humano<sup>2</sup> ( $W/m^2$ ).

De forma a garantir o conforto térmico, muitos investigadores afirmam que o índice  $PMV$  deverá ser nulo, isto é,  $PMV=0$  (Liang & Du, 2005).

### **PPD- PREDICTED PERCENTAGE DISSATISFIED**

O  $PPD$  está relacionado com o índice  $PMV$ . O índice  $PPD$  expressa a percentagem de indivíduos que estão insatisfeitos com um certo ambiente térmico e é determinado por:

$$PPD=100-95\exp[-(0,03353PMV^4 + 0,2179PMV^2)] \quad (10)$$

Apesar de se esperar que o  $PMV$ , numa situação ótima seja igual a zero, isto é 100% da população inserida num determinado ambiente térmico está satisfeita (combinando parâmetros termohigrométricos e pessoais ótimos), este cenário é impossível, uma vez que a sensação térmica é um conceito muito subjetivo, dependendo das características do indivíduo (Castilla et al., 2011; Liang & Du, 2005). Assim, o  $PPD$  surge como auxiliar do  $PMV$ , representando a população insatisfeita afeta a um determinado ambiente térmico.

O Modelo  $PMV-PPD$  é largamente usado e aceite para a avaliação e conceção de condições de conforto, estando representado na Figura 16 (ASHRAE, 2001b).

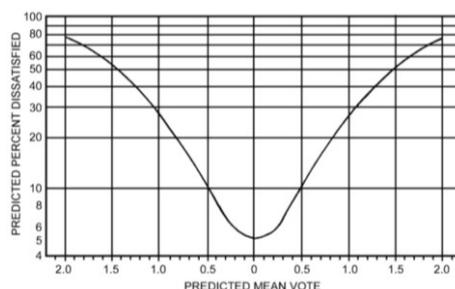


Figura 16 - Modelo  $PMV-PPD$  [retirado de ASHRAE (2001b)]

Na Figura 16 pode observar-se que um  $PPD$  de 10% corresponde a um  $PMV$  de  $\pm 0,5$  (zona de conforto), isto é, para um  $PMV$  com este intervalo 10% da população está insatisfeita. Para um  $PMV$  correspondente a 0, cerca de 5% da população está insatisfeita (ASHRAE, 2001b).

Segundo a ISO 7730 (2006), os valores máximos admissíveis para os índices  $PMV$  e  $PPD$  podem ser divididos pelas seguintes categorias:

---

<sup>2</sup> Carga térmica do corpo humano- diferença entre a produção interna de calor e a perda de calor para o ambiente atual, para uma pessoa hipoteticamente com valores de conforto no que diz respeito à temperatura média da pele e à taxa de transpiração, com o nível de atividade atual (ASHRAE, 2001b).

- categoria A se  $PPD < 6\%$  e  $-0.2 < PMV < +0.2$ ;
- categoria B se  $PPD < 10\%$  e  $-0.5 < PMV < +0.5$ ;
- categoria C se;  $PPD < 15\%$  e  $-0.7 < PMV < +0.7$ .

De acordo com Yao et al. (2009), a grande vantagem do *PMV-PPD* baseado no balanço térmico reside no facto de considerar um conjunto alargado de parâmetros físicos, o ambiente interno de um espaço, a atividade humana e o isolamento do vestuário. Por outro lado, é limitativo por não considerar fatores climáticos, económicos, sociais, expectativas e comportamentos adaptativos.

### **ÍNDICE ESCONTER**

O Índice *EsConTer* foi desenvolvido por Talaia & Simões (2009) e tem estado presente em inúmeras conferências nacionais e internacionais. Tem sido reconhecido o seu valor no que diz respeito a uma previsão muito próxima da sensação térmica humana.

Este índice utiliza uma escala de cores baseada na escala sétima de sensação térmica de ASHRAE, valorizando a sensação térmica do indivíduo/trabalhador. A Figura 17 representa a escala de cores utilizada por este índice.



Figura 17 - Escala de cores baseada na escala sétima de ASHRAE

Tal como a escala sétima de sensação térmica de ASHRAE, esta escala de cores e consequentemente o resultado deste índice está associado a um intervalo de valores de sensação térmica que varia entre -3 e +3. Ambos estes valores apresentam sensações extremas (*stress* térmico extremo) de frio e de calor, respetivamente, tal como na escala valorizada por ASHRAE e por opção estão associados às cores “azul escuro” e “vermelho escuro”. Os valores intermédios correspondem a outras sensações térmicas na escala, sendo que o valor 0, correspondente a uma sensação de conforto térmico está associado à cor “amarela”, que está equidistante a ambos os extremos explicados.

O índice *EsConTer* considera para efeitos de cálculo a temperatura do ar e a temperatura do termómetro húmido e a sua expressão tem o aspeto,

$$EsConTer = -3,75 + 0,103 (T_a + T_w) \quad (11)$$

onde  $T_a$  representa a temperatura do ar ( $^{\circ}C$ ) e  $T_w$  a temperatura do termómetro húmido ( $^{\circ}C$ ).

## ÍNDICE TEMPERATURA-HUMIDADE

O índice temperatura-humidade, *ITH*, conhecido por índice de desconforto foi desenvolvido por Thom (1959) e posteriormente modificado por Nieuwolt (1977).

De acordo com Emmanuel (2005) o *ITH* consiste na combinação da temperatura do ar e da humidade relativa do ar, e é calculado a partir de,

$$ITH = 0,75T_a + T_a \left( \frac{HR}{500} \right) \quad (12)$$

Onde  $T_a$  representa a temperatura do ar (°C) e HR a humidade relativa do ar (%).

A Tabela 8 indica os limites para o *ITH* de acordo com Emmanuel (2005).

Tabela 8- Valores dos limites do *ITH* [retirado de Emmanuel (2005)]

<i>ITH</i>	
$21\text{ °C} \leq ITH \leq 24\text{ °C}$	100% dos indivíduos estão termicamente confortáveis
$24\text{ °C} < ITH \leq 26\text{ °C}$	50% dos indivíduos estão termicamente confortáveis
$ITH > 26\text{ °C}$	100% dos indivíduos estão termicamente desconfortáveis

## ÍNDICE RELATIVO DE PRESSÃO [RSI – RELATIVE STRAIN INDEX]

O índice *RSI*, *Relative Strain Index*, é um índice térmico que tal como o índice *ITH* permite perceber o efeito do conforto térmico nas pessoas mas tem em conta particularmente o efeito da resistência térmica e do balanço da radiação (Emmanuel, 2005).

Segundo Emmanuel (2005), o índice *RSI* para um “indivíduo *standard*”, isto é, um homem com 25 anos de idade, saudável, aclimatizado, com roupa de trabalho, com uma taxa de produção de calor interno por unidade de área de  $100\text{W/m}^2$ , exposto a uma velocidade do ar de  $1\text{m/s}$ , e sem estar sujeito a radiação solar é traduzido pela expressão:

$$RSI = \frac{(T_a - 21)}{(58 - e)} \quad (13)$$

onde  $T_a$  representa a temperatura do ar (°C) e  $e$  a pressão parcial de vapor de água (hPa).

Segundo o mesmo autor o índice *RSI* pode ser interpretado fisicamente de acordo com a Tabela 9.

Tabela 9- Interpretação do índice *RSI* [retirado de Emmanuel (2005)]

Valor do <i>RSI</i>	Interpretação
0,1	100% dos indivíduos confortáveis
0,2	75% dos indivíduos confortáveis
0,3	0% dos indivíduos totalmente confortáveis (valores acima do limite de conforto)
0,4	75% dos indivíduos desconfortáveis
0,5	100% dos indivíduos desconfortáveis

## TEMPERATURA EQUIVALENTE

A temperatura equivalente foi um conceito criado por Dufton (1932). Segundo Felix et al. (2010) a temperatura equivalente é uma forma de aglutinar todas as variáveis ambientais num único índice. Os mesmos autores definem esta temperatura como a temperatura de um ambiente imaginário com temperatura radiante média igual à temperatura do ar e com velocidade igual a zero, onde um indivíduo troca a mesma quantidade de calor por convecção e radiação que trocaria num ambiente real.

Bedford (1936) criou a seguinte expressão para traduzir este índice:

$$T_{eq}=0,522T_a+0,478T_r-0,01474\sqrt{v}(100-T_a) \quad (14)$$

onde  $T_{eq}$  representa a temperatura equivalente ( $^{\circ}\text{F}$ ),  $T_a$  a temperatura do ar ( $^{\circ}\text{F}$ ),  $T_r$  a temperatura média radiante ( $^{\circ}\text{F}$ ) e  $v$  a velocidade média do ar (pés/min).

Madsen, Olesen & Kristensen (1984) atualizaram a expressão de cálculo da temperatura equivalente, introduzindo o isolamento total do vestuário, como se pode observar nas expressões (15) e (16).

$$v \leq 0,1 \quad T_{eq}=0,5(T_a-T_r) \quad (15)$$

$$v > 0,1 \quad T_{eq}=0,55T_a+0,45T_r + \frac{0,24-0,75\sqrt{v}}{1+I_{cl}}(36,5-T_a) \quad (16)$$

onde  $T_{eq}$  representa a temperatura equivalente ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $T_a$  a temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $T_r$  a temperatura média radiante ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $v$  a velocidade média do ar (m/s) e  $I_{cl}$  o isolamento total do vestuário (clo).

## ÍNDICE WBGT

O índice *WBGT*, índice de temperatura do termómetro húmido e de temperatura do globo (*wet bulb globe temperature*) é um índice dos mais utilizados no que diz respeito à avaliação do conforto térmico e no estudo de ambientes industriais (Talaia & Gonçalves, 2014; Talaia et al., 2013; ASHRAE, 2001b).

O *WBGT* foi desenvolvido nos anos 50 pela Marinha dos Estados Unidos da América (Nunneley & Reardon, 2002) e é regularizado pela norma ISO 7243 (1989), sendo traduzido segundo as expressões,

- Para ambientes externos com radiação solar direta:

$$WBGT=0,7T_w+0,2T_g+0,1T_a \quad (17)$$

- Para ambientes internos sem radiação solar direta:

$$WBGT=0,7T_w+0,3T_g \quad (18)$$

onde  $T_w$  representa a temperatura do termómetro húmido ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $T_g$  a temperatura do globo ( $^{\circ}\text{C}$ ) e  $T_a$  a temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Em ambientes heterogéneos, onde os parâmetros termohigronómicos não são constantes em redor de um indivíduo, é necessário calcular este índice em três posições, na cabeça-  $WBGT_C$ , ao nível do abdómen-  $WBGT_A$  e nos tornozelos-  $WBGT_T$  (Talaia & Gonçalves, 2014).

A partir do conhecimento do  $WBGT$  e mediante comparação com valores de referência indicados na Tabela 10 é possível determinar o nível de *stress* térmico a que um indivíduo está sujeito.

Tabela 10- Valores de referência para o índice  $WBGT$  [retirado de Talaia & Gonçalves (2014)]

Taxa Metabólica M ( $\text{W.m}^2$ )	Trabalhador aclimatado $v \leq 1,5\text{m.s}^{-1}$	Trabalhador aclimatado $v \geq 1,5\text{m.s}^{-1}$	Trabalhador não aclimatado
Trabalho manual leve $65 < M \leq 130$	30,0	32,5	29,0
Trabalho braçal moderado $130 < M < 200$	27,8	30,5	25,7

Caso os valores do índice  $WBGT$  sejam superiores aos indicados na Tabela 10 e partindo do princípio que a tarefa do trabalhador não pode ser alterada, devem aplicar-se as seguintes estratégias (Meles, 2012):

- diminuir o tempo de permanência no local de trabalho;
- criar condições que permitam diminuir o índice  $WBGT$  local.

### **DIAGRAMA DE CONFORTO/DESCONFORTO DA ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE METEOROLOGIA**

O diagrama da organização mundial de meteorologia é segundo Meles (2012) uma boa ferramenta para avaliar a sensação térmica. Este diagrama encontra-se representado na Figura 18 e como o próprio nome indica foi desenvolvido pela organização mundial de meteorologia (*World Meteorological Organization – W.M.O.*) em 1987.

A grande vantagem desta ferramenta é o seu aspeto gráfico pois são indicadas estratégias de intervenção para melhorar o espaço e para além disso os *inputs* necessários à formação do mesmo, isto é, apenas são necessários valores de temperatura do ar e humidade relativa do ar, como se pode observar nos eixos do gráfico da Figura 18.

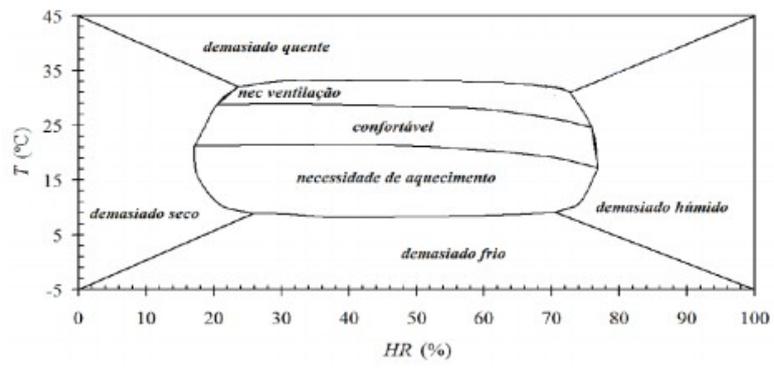


Figura 18 - Diagrama da W.M.O. [retirado de Meles (2012)]



### 3. ESTUDO EMPÍRICO

O presente capítulo, dedicado à descrição do trabalho prático, estuda o ambiente térmico de dois espaços industriais distintos com o objetivo de identificar os postos de trabalho termicamente mais vulneráveis; bem como estudar a sensação térmica dos trabalhadores sob as referidas condições de desconforto térmico.

O estudo das duas realidades industriais, caso de estudo I - Bosch Termotecnologia SA e caso de estudo II - Ifavidro, assenta nos mesmos pressupostos, isto é, seguem a mesma metodologia com o intuito de se perceber e comparar o comportamento do ambiente térmico em diferentes contextos e testar a adequação dos índices *ITH* e *EsConter*.

O presente capítulo está dividido em quatro subcapítulos:

- 3.1 Metodologia;
- 3.2 Caso de Estudo I - Bosch Termotecnologia SA;
- 3.3 Caso de estudo II – Ifavidro;
- 3.4 Discussão e comparação dos casos de estudo.

#### 3.1. METODOLOGIA

A metodologia aplicada nos casos de estudo pode ser dividida em duas partes: (i) identificação das zonas de trabalho termicamente mais vulneráveis; e (ii) análise da sensação térmica dos trabalhadores nesses postos de trabalho mais vulneráveis. Com a primeira parte pretende-se conhecer o padrão do ambiente térmico e conhecer zonas vulneráveis, enquanto que com a segunda parte se pretende analisar a sensação térmica dos trabalhadores afetos a esse ambiente térmico.

Para a identificação das zonas mais vulneráveis foram consideradas as seguintes etapas:

- Análise visual dos espaços industriais da empresa de forma a perceber como se poderia atuar.
- Análise dos *layouts* em formato papel e posteriormente desenho (traçado) dos roteiros e escolha das zonas de observação e recolha de dados.

As zonas de medição (pontos de recolha) foram escolhidas de forma a facilitar e guiar a recolha de dados, não havendo nenhum critério definido de seleção destes locais a não ser a intuição e a adequação ao trajeto de recolha ao espaço em questão.

- Recolha dos dados (medições) durante dois períodos do dia, de manhã (10h00) e à tarde (15h00-16h30), de forma a compreender a influência do ciclo diurno da radiação solar no ambiente térmico interior do espaço em estudo. Em cada período foram feitos inicialmente dois circuitos (circuito 1 e circuito 2) com sentidos opostos. A pertinência da execução

destes dois circuitos reside na tentativa de comprovar que o ambiente térmico da nave industrial não depende da opção do circuito. Em todas as zonas de recolha de dados foi utilizado um aparelho de medida e foram recolhidos valores de temperatura do ar e humidade relativa do ar.

- Recolha das cartas meteorológicas e gráficos relativos à temperatura do ar e humidade relativa do ar do site do Instituto Português do Mar e da Atmosfera- ipma (<http://www.ipma.pt/pt/>), por forma a autenticar os valores recolhidos nas zonas de observação exteriores ao espaço em estudo.
- Aplicação de dois índices, o *ITH* e o *EsConTer*, para a deteção das zonas termicamente mais vulneráveis a partir dos dados recolhidos nas zonas de observação. Estes índices foram representados através de algoritmos construídos em Matlab, que geraram mapas de cores representativos do ambiente térmico do espaço em estudo. Optou-se pela representação gráfica destes índices para facilitar a interpretação dos dados e apresentar de uma forma intuitiva os resultados com o intuito de perceber melhor a dinâmica do ambiente térmico no espaço.
- Com base nos mapas de cores gerados foram desenhadas, através da aplicação de zoom em Matlab, as áreas consideradas de maior desconforto térmico quente, ou seja, as áreas dos postos de trabalho termicamente mais vulneráveis no espaço em estudo.

Para a análise da sensação térmica dos trabalhadores foram considerados os postos de trabalho revelados anteriormente como os mais críticos e procederam-se às seguintes etapas:

- Nos postos de trabalho seleccionados foram recolhidos valores de temperatura do ar e humidade relativa do ar durante dois períodos do dia, manhã e tarde. Cada período do dia foi analisado em dois momentos, no período da manhã às 10h00 e 12h00 e no período da tarde às 14h30-15h00 e às 16h30-17h00.
- Ao mesmo tempo que foram feitas as medições foram questionados os trabalhadores, afetos aos postos de trabalho em estudo, com uma escala de cores baseada na escala sétima de sensação térmica de ASHRAE (utilizada no índice *EsConTer*). Para responder a este questionário, os trabalhadores apenas tinham que assinalar com uma cruz (X), o local que melhor correspondia à sua sensação térmica aquando a inquirição.

## 3.2. CASO DE ESTUDO I - Bosch Termotecnologia SA

### 3.2.1. DESCRIÇÃO DA EMPRESA

#### **Grupo Bosch**

O Grupo Bosch representa uma história de 125 anos de grandes sucessos e ambições. Foi fundado por Robert Bosch em 1886 em Estugarda, Alemanha, com a criação de uma oficina de Mecânica de precisão e Engenharia Elétrica.

Atualmente, cerca de 92% do capital da Robert Bosch GmbH pertence à fundação filantrópica Robert Bosh Stiftung GmbH e o restante é detido pela família Bosch e pela Robert Bosch GmbH (Bosch, 2011a).

O sucesso do grupo transcreve-se na forte inovação tecnológica e na procura incessante da melhoria contínua, investindo nos últimos dez anos mais de 30 milhões de euros em investigação e desenvolvimento –*invented for life*.

Destaca-se como o líder mundial no fornecimento de tecnologia e serviços, estando o Grupo Bosch representado pela Robert Bosch GmbH e mais de 350 subsidiárias e empresas regionais em 60 países, com cerca de 283.000 colaboradores.

*“We have a global-local presence: we are present wherever our partners need us, and that means we understand our customers and markets”* (Bosch, 2012).

Em Portugal, o grupo Bosch é um dos maiores empregadores industriais do país, com cerca de 3845 colaboradores e é representado pela Bosch Termotecnologia S.A., em Aveiro; a Bosch Car Multimedia Portugal S.A. em Braga; a Bosch Security Systems- Sistemas de Segurança S.A., em Ovar; a Robert Bosch SGPS S.A. e uma participação de 50% na filial da Bosch and Siemens Home Appliances Group (BSH), em Lisboa.

O Grupo Bosch atua em três setores de negócio, a tecnologia automóvel, a tecnologia para a indústria e a tecnologia de construção e produção de bens de consumo (ver Tabela 11). O setor automóvel corresponde a 59% das vendas do grupo.

Tabela 11- Áreas de atuação do grupo Bosch

Tecnologia Automóvel (UBK)	Tecnologia para a Indústria (UBI)	Tecnologia de construção e produção de bens de consumo (UBG)
DS - Diesel Systems CC - Chassis Systems Control ED - Electrical Drives SG - Starter Motors and Generators CM - Car Multimedia AE - Automotive Electronics AA - Automotive Aftermarket ZF - Steerings Systems (Affiliate)	DC - Drive and Control Technology PA - Packaging Technology SE- Solar Energy	TT- Thermotecnology (TT) PT- Power Tools (PT) ST- Security systems (ST) Households Appliances

A Bosch preocupa-se com os desafios futuros, apresentando como visão a melhoria da qualidade de vida, a aposta em tecnologia e *know-how* de ponta de forma a acompanhar as mudanças sentidas pela globalização e a diversidade cultural.

A missão do grupo assenta em três conceitos: BeQik (qualidade, inovação e orientação para o cliente), BeBetter (melhoria contínua, ser melhor que a concorrência) e BeBosch (atingir resultados; produtos de ponta no mundo). Estes três conceitos retratam a motivação do grupo para a melhoria contínua dos seus processos (CIP- *continuous improvement process*) e a garantia da satisfação dos seus clientes.

Como valores destacam-se a orientação para o futuro e para os resultados, a partir da definição de uma visão estratégica a longo prazo, caracterizada pelo desenvolvimento de tecnologia de ponta, inovação, desenvolvimento de processos cada vez mais eficientes e de qualidade; e a diversidade cultural, a qual é segundo o grupo uma das características que lhe confere maior vantagem competitiva para o sucesso mundial.

### **Bosch Termotecnologia S.A.**

A Bosch Termotecnologia S.A., denominada Vulcano, aquando a iniciação da sua atividade em 1977, em Cacia, Aveiro, surgiu com o contrato de licenciamento com a Robert Bosch para a transferência do *know-how* e tecnologia utilizada pelo grupo alemão no desenvolvimento de esquentadores Junkers (Bosch, 2011a). A empresa pertence, atualmente, na sua integridade ao grupo Bosch, e está incorporada na divisão de Termotecnologia do grupo (ver Figura 19) desde 1988. Esta divisão atua no desenvolvimento de sistemas de aquecimento, ventilação, ar condicionado, aquecimento doméstico de água e geração descentralizada de energia. A divisão desenvolveu 72 patentes em novas aplicações para novos produtos em 2012, investindo mais de 100 milhões de euros em I&D.

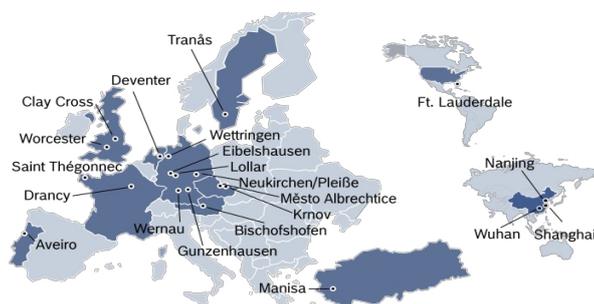


Figura 19 - Divisão de termotecnologia do Grupo Bosch [retirada de Bosch (2011b)]

Em 1983, a empresa, lança um esquentador de marca própria, a Vulcano, alcançando a posição de liderança de mercado nacional na produção de esquentadores no ano de 1985. No ano de 1988, o grupo Bosch adquire grande parte do capital da empresa, e esta adquire a posição de

líder europeu no mercado da produção de esquentadores em 1992. A partir de 1996, a empresa passa a ser o centro mundial de competências da Robert Bosch, no que diz respeito a equipamentos para o aquecimento doméstico de água.

A Bosch Termotecnologia S.A. em Aveiro está associada à produção de esquentadores, painéis solares, bombas de calor e caldeiras murais e às marcas Junkers, Vulcano, Bosch, e.l.m. Leblac e Worcesteer. São produzidos mais de 900 modelos de esquentadores e mais de 120 modelos de caldeiras murais, adequados a um público-alvo diversificado, com diferentes exigências, laureando os critérios de rigor, segurança e qualidade dos seus produtos (Meles, 2012).

Quanto à estrutura organizacional da empresa, esta encontra-se dividida em diversos departamentos, com responsabilidades, competências e funções específicas (Meles, 2012). No referente trabalho nomeia-se apenas o departamento de produção, por ser a subdivisão de realização do estágio que possibilitou a criação e desenvolvimento do presente trabalho.

### **Departamento de Produção**

O departamento de produção, como o nome indica, consiste no departamento responsável pelo processo de produção dos produtos da Bosch Termotecnologia S.A. O grande lema do departamento é a produção dos melhores produtos, dos produtos certos a tempo e horas, na quantidade requerida pelo cliente (Bosch, 2011a).

Hierarquicamente, caracteriza-se segundo a ordem demonstrada no organigrama da Figura 20. No total, considerando os responsáveis representados no organigrama e os trabalhadores da produção, o departamento é constituído por cerca de 547 pessoas.

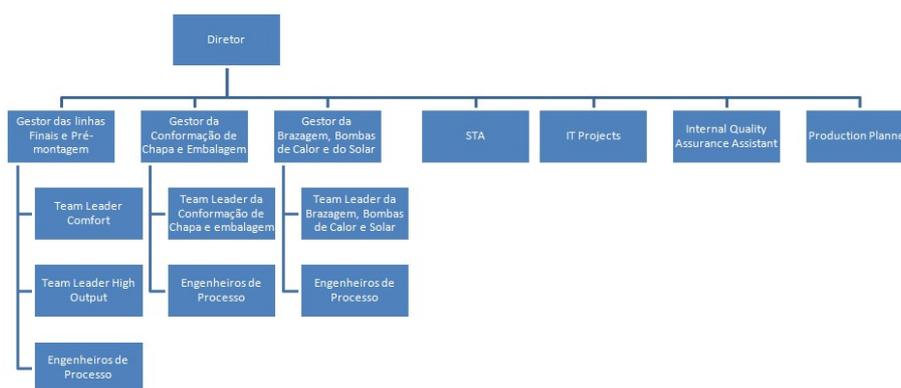


Figura 20 - Hierarquia do departamento de produção

A área da produção estudada para a realização deste trabalho é constituída pela produção das câmaras de combustão, os tubos de cobre, as bombas de calor e mais recentemente pelo solar.

A grande responsabilidade dos colaboradores do departamento é o sucesso do processo produtivo, a partir da aplicação e análise das ferramentas de melhoria contínua associadas ao *BPS- Bosch Production System* (ver anexo 2) e ao *TPM- Total Productive Maintenance* (ver anexo 3).

Na Produção é essencial a comunicação com transparência e união de todos os colaboradores no alcance dos objetivos, existindo uma forte preocupação na formação, orientação e motivação dos mesmos.

Para além disso, a gestão é sem dúvida um dos conceitos chave do departamento, pois é necessário monitorizar colaboradores, recurso e linhas de produção. O palco é o chão de fábrica e a orquestra, constituída pelos artistas (trabalhadores) e instrumentos (máquinas) deve estar sincronizada em perfeita harmonia para que os clientes, público, aplaudam entusiasmamente e se sintam satisfeitos e envolvidos com a privilegiada experiência dos produtos Bosch.

### **Engenharia de Processo**

O trabalho de um engenheiro de processo é fulcral para a sustentabilidade e sobrevivência da produção. É ele o responsável pelo bom funcionamento de todos os postos de trabalho, assegurando condições de trabalho aos trabalhadores e o correto funcionamento das ferramentas *BPS* e *TPM*. Outra das grandes funções do responsável de processo é a resolução de problemas, levando-o a ter uma visão ampla e ao mesmo tempo pormenorizada de toda a área onde atua, para que a sua prestação seja intuitiva, rápida e adequada.

### **3.2.2. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA**

A área de estudo do ambiente térmico da nave industrial selecionada para este estudo está representada na Figura 21, consistindo na área da produção de aproximadamente 2843m<sup>2</sup> que apresenta mais postos de trabalho com ambiente térmico quente (Meles, 2012). Tal facto é comprovado devido à existência de um maior número de postos de soldadura, fornos, banhos quentes, entre outros.

Com a definição da área em estudo, determinaram-se os pontos de observação de dados, totalizando 72 pontos de recolha. Estes 72 pontos de recolha coincidiram com os postes da infraestrutura existentes na fábrica como mostra a Figura 22 (do ponto 1 ao 72). Esta seleção foi feita, uma vez que era uma maneira fácil de orientação aquando a medição, isto é, os postes surgiram como guias do roteiro de recolha de dados.

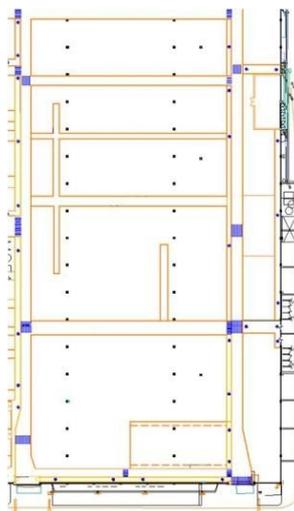


Figura 21 - Layout da área em estudo

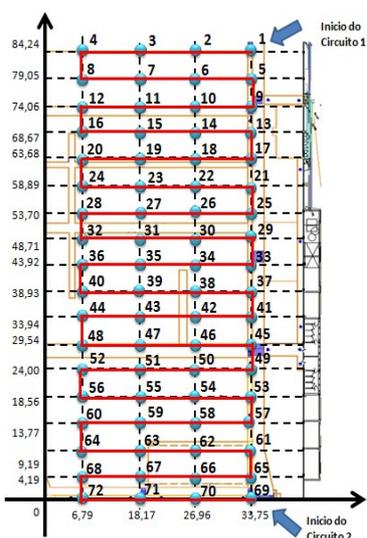


Figura 22 - Circuitos e pontos de observação escolhidos

Como foi referido no subcapítulo 3.1, em cada ponto de recolha recolheram-se valores de temperatura do ar  $T_a$  e humidade relativa do ar HR, usando o instrumento de medida 'Testo 435-4' com uma sonda Testo durante um período da manhã e um período da tarde.

Os dois circuitos escolhidos para o desenvolvimento deste trabalho estão representados na Figura 22, sendo o primeiro iniciado na posição 1 e finalizado na posição 69 e o segundo, efetuado imediatamente a seguir ao primeiro, iniciado na posição 69 e finalizado na posição 1. A realização destes dois circuitos, tal como já foi referido, prende-se com a necessidade de perceber a variação do ambiente térmico do espaço em estudo durante um determinado período de tempo. Cada circuito demorou cerca de uma hora a ser efetuado, por isso, tentou compreender-se se o ambiente térmico do espaço variava no tempo (neste caso num período de duas horas).

### 3.2.3. RESULTADOS

#### *Estudo do ambiente térmico*

Com a recolha dos valores de temperatura do ar e humidade relativa do ar foram construídos, a partir de algoritmos criados em Malab, gráficos de cores, como são exemplo os representados na Figura 23, Figura 24, Figura 25 e Figura 26. O eixo das ordenadas e das abcissas representam uma escala relativa ao espaço, isto é, a distância em metros. Do lado direito das figuras, uma tabela de cores está associada a valores da variável estudada, que cria um determinado padrão de cor.

A Figura 23 representa a variável temperatura do ar no espaço em estudo. Este gráfico, escolhido de forma arbitrária, é composto por informação recolhida num dia de estudo, o dia 6 de Maio de 2013, um dia de primavera. Esta figura representa o padrão para a temperatura do ar do momento de registo de dados, sendo que as linhas indicadas na mesma mostram como o espaço é influenciado pela temperatura do ar. Nos outros dias de estudo o padrão térmico do espaço mostrou-se igual ou muito semelhante, onde apenas variavam ligeiramente as linhas assinaladas devido à influência do ambiente externo. Neste sentido, a Figura 23 consegue representar de uma forma bastante fiável o que acontece todos os dias neste espaço.

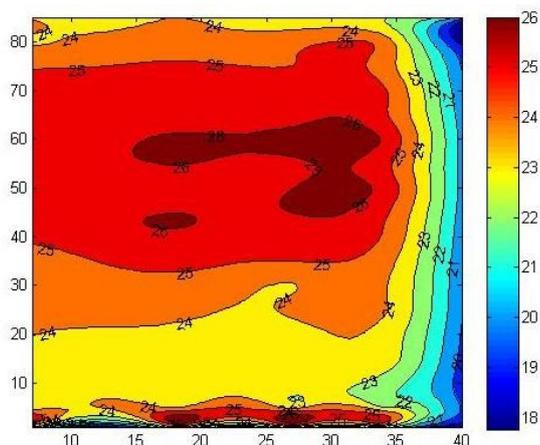


Figura 23- Temperatura do ar (°C), 6 de Maio de 2013

Neste gráfico as áreas assinaladas com cor “vermelho escuro” indicam as regiões com temperaturas mais elevadas. Assim, a Figura 23 sugere como zona mais crítica a região com registo de temperatura do ar mais elevado.

No entanto, a análise desta variável por si só mostra-se insuficiente, visto que a relação temperatura do ar e humidade relativa do ar é bastante importante para a perceção do ambiente térmico. A Figura 24, mostra para o mesmo dia, 6 de Maio de 2013, e igual momento de registo, a variável humidade relativa do ar no espaço em estudo.

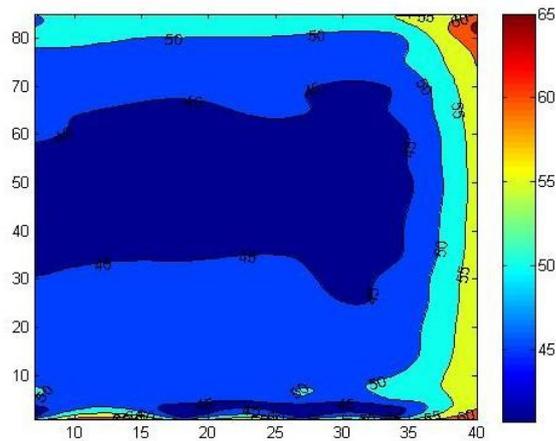


Figura 24 - Humidade relativa do ar (%), 6 de Maio de 2013

A partir da observação do gráfico da Figura 24 podemos concluir que a região com uma humidade relativa mais baixa corresponde à mesma região com temperatura do ar mais elevada, como era esperado. Quando a temperatura do ar aumenta regista-se uma diminuição da humidade relativa do ar, para espaços considerados fechados.

Assim, a zona suscetível a um maior desconforto, sugerida pela Figura 23 e Figura 24, corresponde à zona central da nave em estudo, suscitando conseqüentemente maior desconforto térmico em postos de trabalho aí localizados.

Aos dados registados foram aplicados os índices térmicos *EsConTer* e *ITH*. Os gráficos gerados com estes dois índices são representados na Figura 25 e Figura 26. Estes revelam-se muito concordantes no que diz respeito à área de maior vulnerabilidade térmica, a qual é apresentada entre os 40m e os 70 m no eixo dos yy e os 15m e os 35m no eixo dos xx, correspondendo à área de cor “vermelho mais escuro”. Esta zona mais vulnerável está associada a temperaturas do ar mais elevadas e a humidades relativas do ar mais baixas, como referido anteriormente.

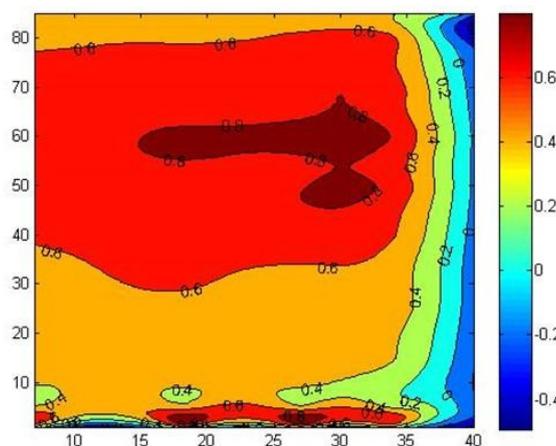


Figura 25- Índice *EsConTer*, 6 de Maio de 2013

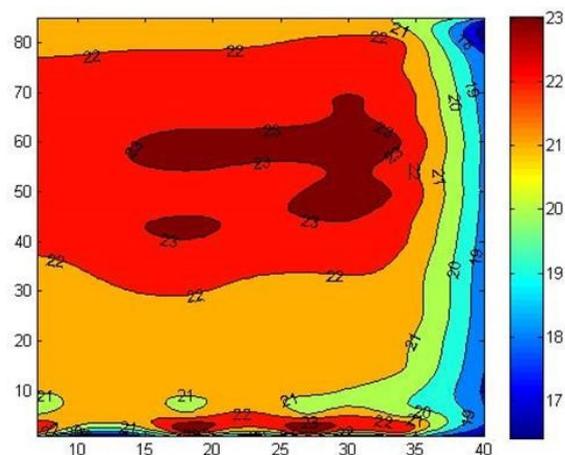


Figura 26- Índice *ITH* (°C), 6 de Maio de 2013

No que diz respeito ao índice *EsConTer*, representado na Figura 25, a área com maior desconforto térmico está associada a valores de cerca de 0,8. Segundo a escala de cores e as interpretações da mesma referidas no subcapítulo 2.5, os valores de conforto variam entre  $\pm 0,5$ , por isso, o valor 0,8, muito próximo de 1, está associado a um ambiente térmico moderadamente quente, representado no modelo *PMV-PPD*, como uma situação onde cerca de 20% da população está insatisfeita com as condições térmicas.

Relativamente ao índice *ITH*, como já referido, as áreas de maior desconforto térmico são as mesmas retratadas no índice anterior, no entanto, avaliadas segundo uma escala diferente. Neste índice os valores de maior desconforto térmico atingem os 23°C, o que significa, segundo os intervalos definidos no subcapítulo 2.5, que 100% dos indivíduos se encontram termicamente confortáveis. Segundo esta classificação, este cenário encontra-se dentro dos parâmetros considerados ótimos para o índice, no entanto, muito próximos do limite, 24°C, a partir do qual apenas 50% da população se encontra termicamente confortável.

Neste sentido, é plausível considerar que com estes dados a percentagem da população satisfeita nesta região pode variar entre 50% e 100%, mostrando concordância com o índice *EsConTer*, cuja estimativa de pessoas insatisfeitas ronda os 20%, segundo interpretações estimativas.

A esta zona, considerada a mais vulnerável [(10, 70); (10, 40); (35, 70); (35, 40)], foi aplicado o algoritmo de zoom mencionado na metodologia e obtiveram-se os gráficos representados na Figura 27, Figura 28, Figura 29 e Figura 30.

Com a visualização dos gráficos da Figura 29 e da Figura 30 pode observar-se com maior exatidão as zonas que suscitam desconforto térmico e perceber melhor a dinâmica do ambiente térmico nas zonas vulneráveis. A região que se encontra entre os 57m e 62m do eixo dos yy e entre os 28m e 32m do eixo dos xx, sugere uma zona de maior atenção para a Direção de Higiene e Segurança da empresa.

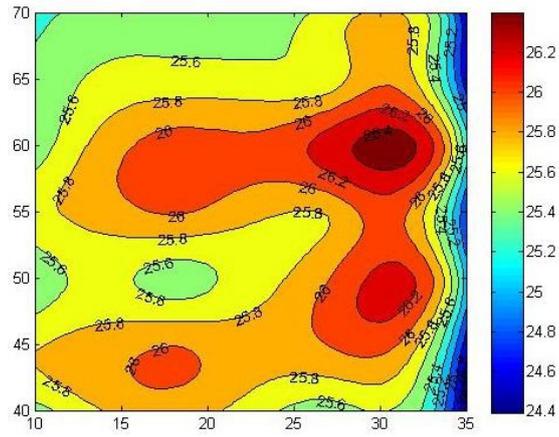


Figura 27 - Temperatura do ar (°C), Zoom

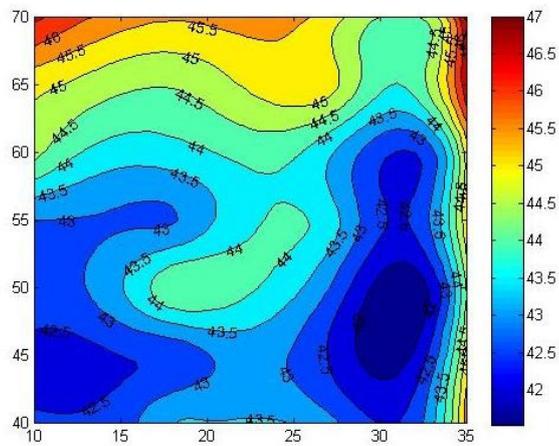


Figura 28 - Humidade relativa do ar (%), Zoom

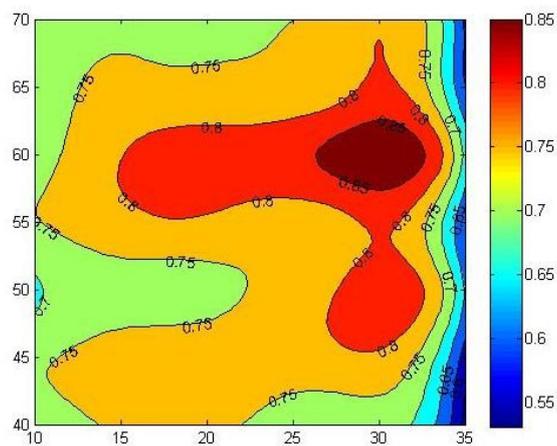


Figura 29- Índice *EsConTer*, Zoom

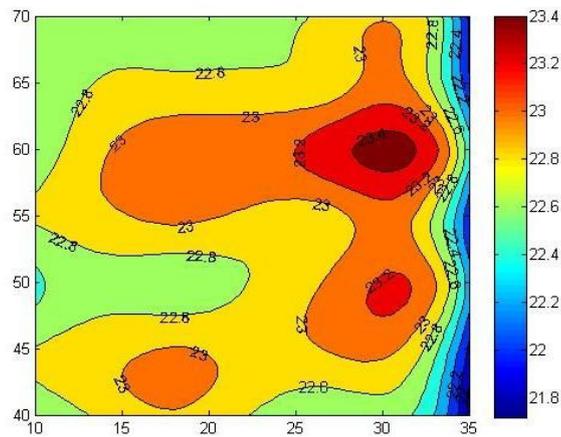


Figura 30- Índice *ITH* (°C), Zoom

Para além da zona referida anteriormente [(28,57);(28,62);(32,57);(32,62)], as restantes preenchidas pelas cores “vermelho” e “laranja”, são também zonas afetadas por algum desconforto térmico, segundo o *ITH*, com temperaturas iguais ou superiores a 23°C, como mostra a Figura 30.

De acordo com a Figura 29 que representa o índice *EsConTer*, pode considerar-se que as áreas de maior desconforto térmico são coincidentes com as indicadas pelo índice *ITH*, no entanto, todas as zonas com valores superiores a 0,5 são também consideradas zonas de ambiente quente.

De acordo com as conclusões atrás mencionadas, escolheram-se os postos de trabalho mais próximos das áreas representadas na Figura 29 e na Figura 30 como as mais críticas. Assim, tendo em conta estes resultados e observação *in situ* optou-se por selecionar cinco postos de trabalho mais próximos das regiões que suscitavam maior desconforto térmico para o estudo, como se pode visualizar na Figura 31 e na Figura 32.

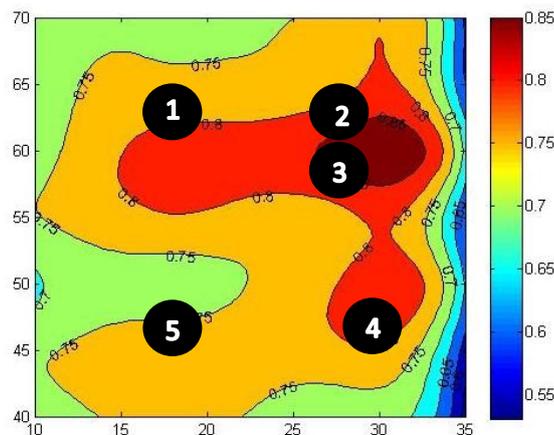


Figura 31 - Índice *EsConTer* e os 5 postos de trabalho selecionados

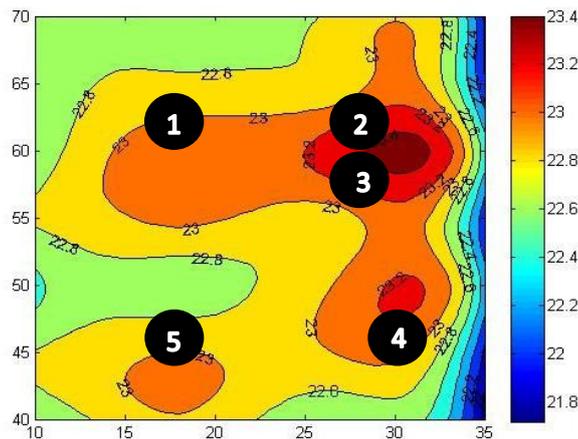


Figura 32 – Índice *ITH* (°C) e os 5 postos de trabalho selecionados

Os postos de trabalho 1 e 3 representados neste estudo foram também estudados por Meles (2012) durante o seu estudo exploratório na secção D, sendo denominados pela autora como posto 45 e 89/3, respetivamente. Tal facto mostra a coerência de valores entre ambos os trabalhos. Na Tabela 12, encontram-se sucintamente descritos os cinco postos de trabalho selecionados.

Tabela 12- Descrição dos postos de trabalho selecionados

Posto	Descrição
1	Posto soldadura manual
2	Soldadura automática
3	Entrada do forno
4	Montagem de peças- perto da região de banhos quentes
5	Zona de montagem de peças- perto da região de banhos quentes

Os resultados obtidos mostraram ainda, ao longo do trabalho, que os índices *EsConTer* e *ITH* são concordantes e o método do DMQ (Desvio Médio Quadrático) permitiu determinar um coeficiente de correlação de Pearson de 0,9634.

Neste sentido, pode-se concluir que os dois índices sugerem a mesma informação. Devido à facilidade de interpretação o índice *EsConTer* deve ser valorizado para o estudo de ambiente térmico.

No que diz respeito à variação do ambiente térmico no período da manhã (10h00) e no período na tarde (15h00) verificou-se que o ambiente térmico era condicionado pelo ciclo diurno do sol. Assim, a nave industrial apresentou um ambiente térmico mais quente durante a tarde devido ao efeito de estufa criado na nave, o que leva a um aumento gradual da temperatura interna após as 12h00.

Neste sentido, este estudo sugere que o ambiente interno da nave varia consoante as condições atmosféricas externas ao espaço. Por exemplo, quando comparamos o dia 6 de Maio de 2013 com o dia 4 de Abril de 2013, representado através dos gráficos da Figura 33, Figura 34, Figura 35 e Figura 36, verifica-se que os valores da temperatura interna do ar do dia 4 de Maio de 2013 são superiores.

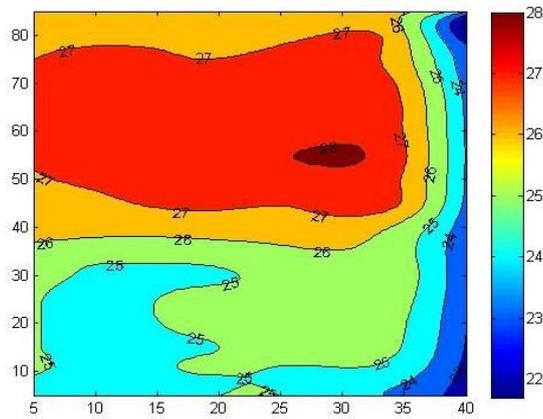


Figura 33- Temperatura do ar, 4 de Abril de 2013

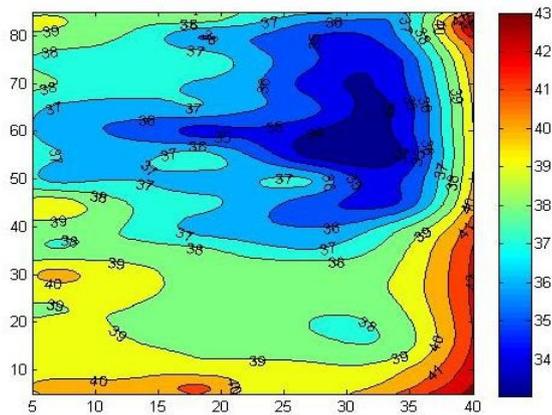


Figura 34- Humidade relativa do ar, 4 de Abril de 2013

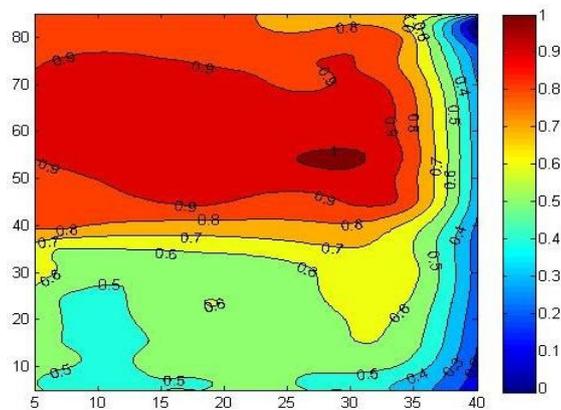


Figura 35- Índice EsConTer, 4 de Abril de 2013

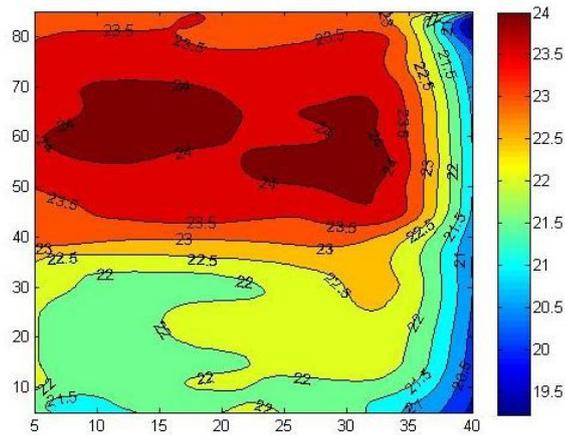


Figura 36- Índice *ITH*, 4 de Abril de 2013

No que diz respeito aos índices *EsConTer* e *ITH*, representados nas Figura 35 e na Figura 36, respetivamente, os valores são ligeiramente superiores aos do dia 6 de Maio de 2013. Esta diferença de padrão térmico no espaço interior em estudo justifica-se pela diferença dos ambientes externos nesses dois dias, pois ao dia 6 de Maio de 2013 está associado um valor do *EsConTer* exterior de -0,5, associado a uma temperatura do ar de 22°C e humidade relativa do ar de 64,9%, e ao dia 4 de Abril de 2013 de -0,1, associado a uma temperatura do ar de 22°C e a humidade relativa do ar de 45%.

O *EsConTer* exterior do dia 4 de Abril de 2013 sugere que o ambiente térmico externo no momento de medição era confortável, pois está muito próximo do valor 0 que sugere neutralidade. Já o dia 6 de Maio de 2013 apresentou um ambiente térmico exterior ligeiramente mais frio.

No dia 4 de Abril de 2013, os casos de maior desconforto térmico atingem os 24°C segundo o índice *ITH* e 1,0 considerando o *EsConTer*. Segundo a interpretação dos índices, nestas áreas de maior desconforto térmico, quando nos referimos ao *ITH* a percentagem de pessoas satisfeitas afetas a este ambiente térmico varia entre os 50% e os 100%. No que diz respeito ao índice *EsConTer*, este ambiente ligeiramente quente, apresenta uma percentagem de pessoas insatisfeitas de cerca de 25% a 28%. Assim, de acordo com o modelo *PMV-PPD*, estas regiões não são regiões de conforto, visto que não se encaixam em nenhuma das três categorias (A, B ou C) mencionadas no subcapítulo 2.5.

### **Estudo da sensação térmica dos trabalhadores**

Em cada um dos cinco posto escolhidos para a análise, indicados na Figura 31 e Figura 32, foi avaliada a sensação térmica dos trabalhadores. Para isso teve-se em consideração, como é referido na metodologia, a avaliação de dois turnos de trabalho, o turno da manhã (6h00 às 13h30)

e o da tarde (13h30 às 21h00), sendo cada um dos cinco postos avaliado duas vezes por turno, no turno da manhã às 10h00 e às 12h00 e no turno da tarde às 14h30 e às 16h30.

Em cada avaliação foi feita a recolha de valores de temperatura do ar e humidade relativa do ar com o instrumento de medida 'Testo 435-4' com a sonda Testo no interior e exterior da nave. No interior da nave os dois parâmetros termohigrométricos foram recolhidos em cada um dos cinco postos de trabalho ao mesmo tempo que eram questionados os trabalhadores.

Todos os cinco postos de trabalho seleccionados estão associados a fontes de calor, como zonas de soldadura, forno ou água quente, como foi descrito na Tabela 12, e para além disso, são também caracterizados por posições de trabalho em pé e um tipo de trabalho mediano, isto é, associado a um calor metabólico mínimo de aproximadamente  $93\text{W/m}^2$  ou 1,6met (Candas, 2000). Tendo em conta o género dos inquiridos a grande maioria é do género masculino (83%), como se mostra na Figura 37.

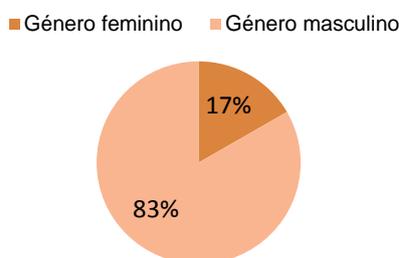


Figura 37 - Género dos inquiridos nos 5 postos de trabalho em estudo

No que diz respeito ao vestuário, o clo, calculado através da ISO 7730 (2005), variou entre 0,49clo e 0,69clo, sendo que a 80% dos inquiridos correspondia um clo igual a 0,54 que caracteriza a farda de trabalho dos trabalhadores do *shop floor* (polo de manga curta, calças e sapatilhas de biqueira de aço). Tendo em conta o género verificou-se que cerca de 80% das mulheres inquiridas apresentaram um clo cerca de 28% superior ao dos homens, devido ao uso de um casaco ou um polo de manga comprida, sugerindo o que foi referido por ASHRAE (2001b) e Talaia & Alves (2011), isto é, que as mulheres preferem ambientes mais quentes do que os homens.

A partir dos valores recolhidos de temperatura do ar e humidade relativa do ar e das respostas de sensação térmica dos trabalhadores foram gerados gráficos de forma a perceber a relação ambiente térmico-sensação térmica nos postos de trabalho. Os gráficos representados na Figura 38, Figura 39 Figura 40 e Figura 41 mostram a variação das sensações térmicas dos trabalhadores dos vários postos de trabalho ao longo do tempo, nos dois turnos estudados e em dois dias distintos, o dia 6 de Maio de 2013 que tem vindo a ser tratado com detalhe ao longo deste trabalho e o dia 8 de Maio de 2013. A escolha do tratamento destes dois dias foi completamente aleatória. Em todos os casos apenas se faz referência ao índice térmico *EsConTer*, para o estudo do ambiente interno da nave, o *EsConTer interior*, e para o estudo do

ambiente externo à nave, o *EsConTer* exterior, uma vez que anteriormente foi mostrado a concordância entre este índice e o *ITH* e porque para avaliar a sensação térmica dos colaboradores foi utilizada a escala de cores associada ao índice *EsConTer*.

Nos gráficos da Figura 38 e da Figura 39 está retratado o dia 6 de Maio de 2013, em cada um dos turnos, manhã e tarde, respetivamente. A denominação OP seguida de dois dígitos caracteriza cada trabalhador inquirido.

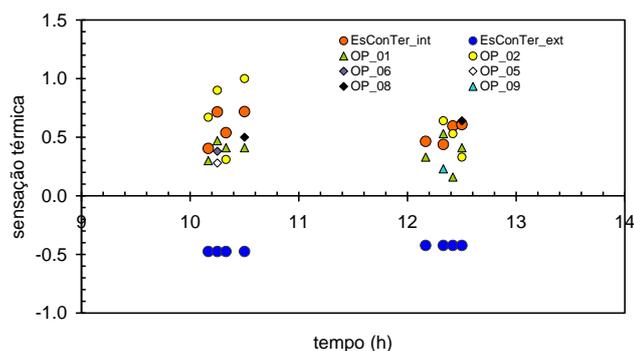


Figura 38- Sensação térmica dos trabalhadores no turno da manhã, 6 de Maio de 2013

No turno da manhã verifica-se que o ambiente externo à nave, representado pelo *EsConTer* exterior, não variou significativamente nas duas avaliações deste turno. Esta situação de não variação realça o que foi demonstrado anteriormente que o ambiente térmico não varia significativamente durante um curto espaço de tempo, também neste caso de duas horas. Assim, verificou-se também que o *EsConTer interior* se manteve em todos os casos com valores muito próximos ao longo deste período, entre 0,4 e 0,8 na primeira avaliação e de 0,4 a 0,6 na segunda avaliação. Esta variação pouco significativa do *EsConTer interior* acontece porque foi recolhida em cada um dos postos de trabalho e, por isso, condições e instrumentos de trabalho diferentes afetam de forma distinta o ambiente térmico em redor.

Por outro lado, também se verifica que o *EsConTer interior* é sempre superior ao *EsConTer exterior* devido ao isolamento da infraestrutura e a toda a dinâmica do espaço, seja ela de pessoas ou máquinas e ferramentas.

Em relação à sensação térmica, a observação do gráfico da Figura 38 mostra que em ambas as avaliações, 10h00 e 12h00, os valores de sensação térmica dos operadores estão muito próximos dos valores do *EsConTer interior*. É de realçar que seria certamente impossível obter todos os valores de sensação térmica dos trabalhadores coincidentes com os valores do *EsConTer interior* visto que como foi referido no subcapítulo 2.3 a sensação térmica de um indivíduo é muito particular, associada a diversos aspetos pessoais, e por isso diferente de pessoa para pessoa. Por exemplo, na primeira avaliação os valores da sensação térmica do trabalhador OP\_02 mostram-se particularmente distantes dos outros trabalhadores, mostrando uma sensação térmica mais quente

com valores próximos de 1,0, a qual realça a subjetividade inerente a esta variável e possivelmente a diferença da sensação térmica entre géneros, visto que neste caso se trata de um indivíduo do género masculino, que segundo o subcapítulo 2.3 e em concordância com Talaia & Alves (2011) preferem ambientes mais frios do que as mulheres.

No turno da tarde, representado na Figura 39 as mesmas considerações podem ser retiradas no que diz respeito à sensação térmica entre homens e mulheres, visto que os OP\_12 e OP\_15 são homens e o OP\_11 é uma mulher, mostrando sensações de maior conforto térmico em situações de maior desconforto térmico quente.

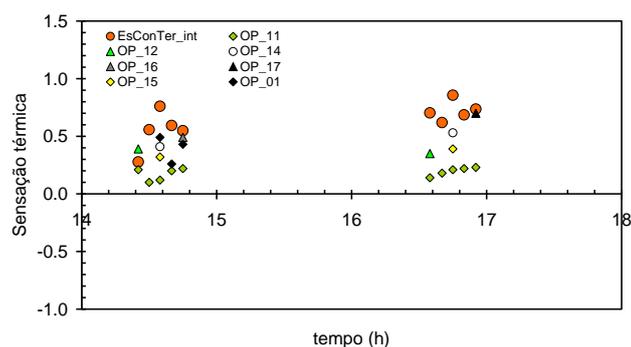


Figura 39- Sensação térmica dos trabalhadores no turno da tarde, 6 de Maio de 2013

O turno da tarde mostrou um ambiente térmico mais quente do que o turno da manhã, com particular realce no período das 16h30, associado ao efeito de estufa gerado no interior da nave.

A Figura 40 e Figura 41, associadas ao dia 8 de Maio de 2013, como esperado mostram informação semelhante, no entanto, com valores associados a um ambiente externo mais quente, representado por valores de *EsConTer* exterior mais próximos de zero.

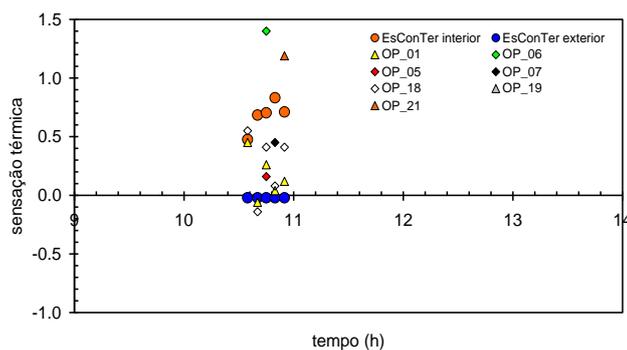


Figura 40- Sensação térmica dos trabalhadores no turno da manhã, 8 de Maio de 2013

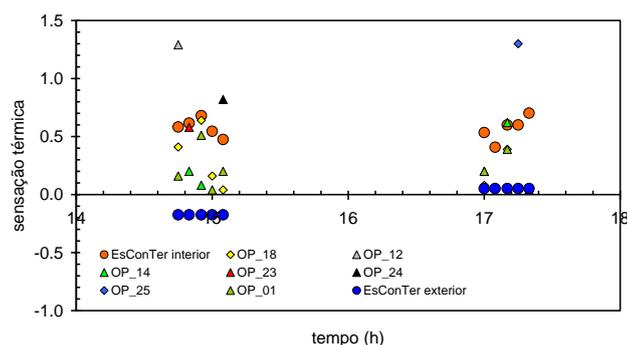


Figura 41- Sensação térmica dos trabalhadores no turno da tarde, 8 de Maio de 2013

No turno da manhã deste dia os valores de sensação térmica dos trabalhadores OP\_06 e OP\_21 foram um pouco distantes dos valores de sensação térmica registados pelos restantes trabalhadores, mostrando, mais uma vez, o grau de subjetividade da sensação térmica. O operador OP\_18 apresentou o registo de sensação térmica que mais se assemelha à sensação térmica prevista, isto é, mais próximo dos valores do índice *EsConTer* interior. Ainda, na Figura 40 pode observar-se a diferença da sensação térmica entre géneros, visto que o OP\_01 é do género feminino e o OP\_06 do género masculino.

No turno da tarde os valores do *EsConTer* exterior, aumentaram, no entanto, as condições internas do ambiente térmico da nave mantiveram-se muito semelhantes ao turno da manhã. Neste turno verificou-se ainda que a sensação térmica dos trabalhadores foi sempre muito próxima da prevista, *EsConTer* interior.

É importante referir que o índice térmico *EsConTer* faz uma previsão da sensação térmica de um indivíduo/trabalhador para um ambiente térmico. No entanto, esta previsão não permite avaliar a sensação térmica de um trabalhador quando num ambiente térmico um trabalhador altera o seu metabolismo.

A Figura 42 representa esta situação, isto é, uma linha de ajuste entre os valores determinados pelo índice *EsConTer* interior (sensação térmica prevista) e a sensação térmica dos trabalhadores (medida através da escala de cores), com um coeficiente de correlação de 0,964 (o índice *esconter* (sensação térmica prevista) parece traduzir bem a sensação térmica real dos trabalhadores).

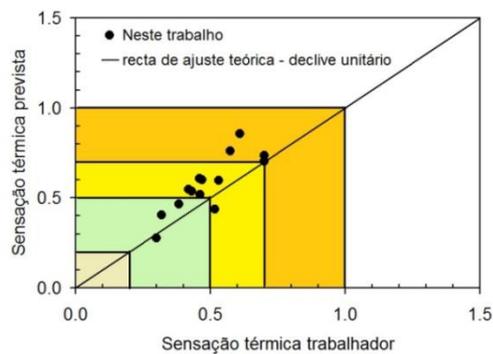


Figura 42- Sensação térmica: prevista e do trabalhador

Na Figura 42 é possível visualizar que até cerca de 0,5 os valores de sensação térmica dos trabalhadores se mantêm muito próximos da linha de ajuste e que a partir de 0,5, os valores reais de sensação térmica vão-se afastando da mesma, havendo uma maior dispersão, a qual é justificada pela subjetividade associada aos trabalhadores sob condições de maior desconforto térmico e alteração de metabolismo.

### 3.3. CASO DE ESTUDO II – IFAVIDRO

#### 3.3.1. DESCRIÇÃO DA EMPRESA

##### **IFAVIDRO**

A Ifavidro- Indústria de fabricação de vidro, Lda é uma das poucas empresas de vidro manual que ainda se encontra em funcionamento na zona da Marinha Grande, outrora conhecida como a “Terra do vidro” por causa do inglês Guilherme Stephens e irlandês João Beare que impulsionaram a criação da Real Fábrica de Vidros com o apoio do Marquês de Pombal. Hoje em dia o ramo industrial com maior exploração nesta área geográfica é o de moldes, no entanto, não é descurada a antiga fama da tradicional cidade vidreira.

A empresa foi criada no ano de 1989 por cinco sócios, com uma pequena instalação na zona da Marinha Grande com o intuito de produzir tulpas de vidro. Como as primeiras instalações não forneciam as condições necessárias para a laboração, no ano de 1997 a Ifavidro mudou-se para a Martingança, para a nave industrial com cerca de 4000m<sup>2</sup> de área coberta, onde ainda hoje exerce a sua atividade (Ifavidro, 2004).

Hoje em dia a Ifavidro é considerada uma PME (Pequena Média Empresa) e tem como principal atividade a produção manual e comercialização de cristalaria, sendo o seu produto vidro sódico ou cálcico decorativo transparente, como se mostra a título de exemplo na Figura 43.



Figura 43 - Showroom da Ifavidro

Atualmente apenas quatro dos cinco sócios fundadores exercem funções na gerência. O capital humano na empresa é representado por cerca de 70 trabalhadores nas mais diversas funções. A partir do organigrama que se mostra na Figura 44 podem observar-se as divisões hierárquicas da empresa. O presente trabalho vai incidir na área fabril zona quente, zona onde é produzido o vidro. O departamento fabril zona quente e o departamento fabril zona fria, são ocupados por 85% dos trabalhadores da empresa.

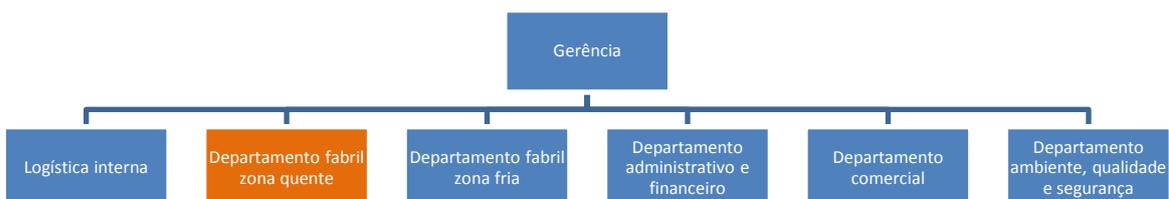


Figura 44 - Organigrama da Ifavidro

O fator de competitividade da empresa é definitivamente a qualidade do seu produto, no entanto, a flexibilidade de produção tanto ao nível do *design* do produto como da quantidade requerida é também uma aspeto bastante vantajoso.

No ano transato a faturação anual foi de cerca de 2 milhões e o volume de produção diário foi de aproximadamente de 3 a 4 toneladas de composição (matéria prima do vidro).

A Ifavidro tem vindo a afirmar-se no mercado internacional, sendo a fatia da produção correspondente às exportações cerca de 70%. Os produtos produzidos pela Ifavidro encontram-se espalhados um pouco por todo o mundo, no entanto destacam-se os continentes Europeu (Dinamarca, Espanha, Itália, França, Inglaterra, Alemanha, Finlândia, Letónia, Holanda, Suíça e Suécia) e Americano (Estados Unidos da América e Canadá) como as principais zonas de comercialização.

No que diz respeito ao mercado nacional, a produção da Ifavidro é representada pelos restantes 30%. Atualmente a empresa comercializa para este mercado ambientadores, castiçais e

garrafaria. No âmbito da garrafaria é de destacar a colaboração com a conhecida marca de vinhos do porto Symington<sup>3</sup>.

### **Departamento Fabril Zona Quente**

O departamento fabril zona quente é caracterizado pelo *layout* representado na Figura 45. Esta zona, de aproximadamente 551m<sup>2</sup> é considerada o “coração” da fábrica, uma vez que é composta pelo forno, local de produção da matéria-prima e das peças em vidro. Para além disso é vista também como a zona de maior desconforto térmico quente, devido às tarefas desenvolvidas no local.



Figura 45 - *Layout* do departamento fabril zona quente

O forno está dividido em três zonas: a zona de fusão, local onde todos os componentes entram em ebulição a uma temperatura de aproximadamente 1450°C; a zona de afinagem, local onde são retiradas as impurezas do vidro a uma temperatura de 1430°C e a zona de trabalho, local de colha de vidro a 1220°C, composto por quatro células de colha.

A cada célula de colha está associada uma equipa de trabalho, “obragens”, que retiram o vidro do forno e o trabalham. O vidro produzido é exclusivamente incolor, sendo o seu reaproveitamento de cerca de 96%.

A partir de um estudo levado a cabo pela Ifavidro, a empresa equacionou a hipótese de produzir vidro com cor, no entanto, não era viável, uma vez que, do desperdício, apenas se reaproveitava cerca de 58% e os custos de produção eram bem mais elevados, dado que era necessária a

---

<sup>3</sup> <http://www.symington.com/>

construção de um novo forno e conseqüentemente a deslocação de parte da mão-de-obra para esta produção.

Para além do forno, as arcas de recozimento (local onde são colocadas as peças de vidro com o intuito de passarem por um processo de arrefecimento gradual, para não partir/estalar, depois da sua produção) e a zona da prensa, corte a quente e solda, são também consideradas fontes de calor.

O processo de recozimento de uma peça tem a duração mínima de cerca de 2h00 e 50 min. Quando as peças entram na arca estão expostas a uma temperatura de cerca de 510°C.

### 3.3.2. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

Após a visualização da área a estudar foram seleccionados, como mostra a Figura 46 os pontos de observação para a recolha de dados. Tal como no caso de estudo I a escolha destes pontos foi totalmente feita para guiar e facilitar a deslocação do observador, no entanto, não corresponde aos postes da estrutura do espaço, mas sim a regiões de fácil passagem/paragem. Os pontos de observação representados a cor “azul” consistem em recolhas efetuadas à volta do espaço a analisar, zona delimitada pelas linhas a cor “laranja”. Os pontos de observação 1, 9 e 10 são pontos de observação exteriores. Os pontos 36, 37, 38, 39 e 40, representados por círculos a cor “vermelha” são também postos de observação escolhidos anteriormente para serem testados, mas que devido à ausência de desconforto térmico se tornaram pontos de observação de auxílio para entender a dinâmica do ambiente térmico do espaço em estudo.

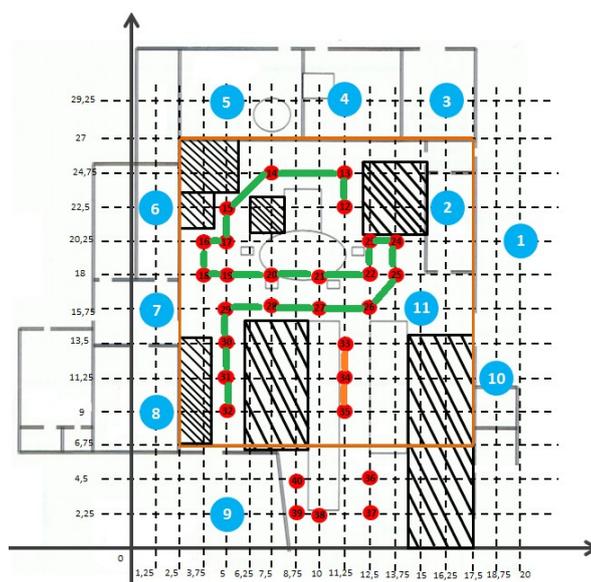


Figura 46 - Pontos de observação

Quanto aos circuitos efetuados, primeiro efetuou-se o circuito iniciado no trajeto a cor “verde”, do posto 1 para o ponto 32 e seguido do trajeto a cor “laranja”, do ponto 33 para o 35. O segundo

circuito efetuado imediatamente a seguir ao primeiro iniciou-se no trajeto a cor “laranja”, do ponto 35 para o 33, seguido do trajeto a cor “verde”, do ponto 32 para o 12. Esta metodologia apenas serviu para se compreender que os padrões térmicos da nave não dependem da orientação do circuito da recolha de dados.

Os valores recolhidos em cada ponto de observação foram gerados num aparelho de medida semelhante ao utilizado para o caso de estudo I, denominado ‘Center 317- temperature humidity meter’.

### 3.3.3. RESULTADOS

#### ***Estudo do ambiente térmico***

Após a recolha dos valores de temperatura do ar e humidade relativa do ar nos pontos de observação representados na Figura 46, foram gerados gráficos de cores relativos à temperatura do ar, à humidade relativa do ar e aos dois índices térmicos em estudo, o índice *EsConTer* e o índice *ITH*, como mostram a Figura 47, Figura 48, Figura 49 e Figura 50.

Todas estas figuras retratam um dia escolhido aleatoriamente, o dia 10 de Abril de 2014, que tal como no caso I, é representativo do padrão térmico do Departamento fabril- Zona quente da Ifavidro, visto que em todos os dias de medição o padrão térmico encontrado foi muito semelhante.

A Figura 47 representa o padrão da temperatura do ar no espaço em estudo. A região afetada por temperaturas do ar mais elevadas corresponde à área onde se encontra o forno, a qual devido à energia sob a forma de calor emitida corresponde à região onde se sente maior desconforto térmico.

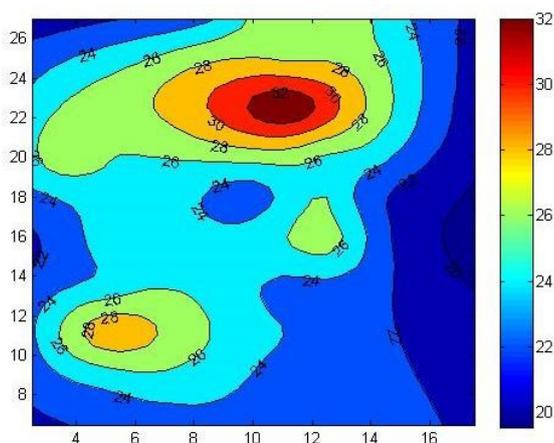


Figura 47 - Temperatura do ar (°C), 10 de Abril de 2014

Na Figura 48 está representado o gráfico que representa o padrão da humidade relativa do ar do espaço. Comparando este gráfico com o gráfico da Figura 47 observa-se que as regiões afetadas por temperaturas do ar mais elevadas correspondem às regiões com humidade relativa do ar mais baixa, como era esperado.

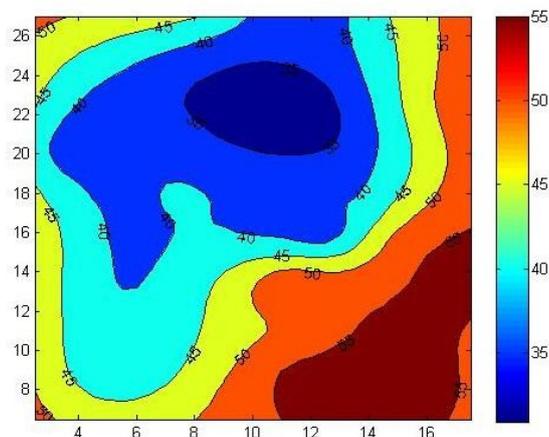


Figura 48 - Humidade relativa do ar (%), 10 de Abril de 2014

Os gráficos da Figura 49 e Figura 50 representam o padrão térmico do espaço interior em estudo segundo os dois índices térmicos usados neste trabalho, o *EsConTer* e o *ITH*. O índice *EsConTer* mostra-se de uma forma geral alto, sendo o valor mais alto registado de 1,8. Já eram esperados valores que pudessem sugerir algum desconforto térmico visto que nos dois gráficos anteriores os valores de temperatura do ar mostraram-se elevados e os de humidade relativa baixos. Destacam-se as linhas associadas aos valores de *EsConTer* mais elevado 1,6 a 1,8, correspondentes à zona do forno.

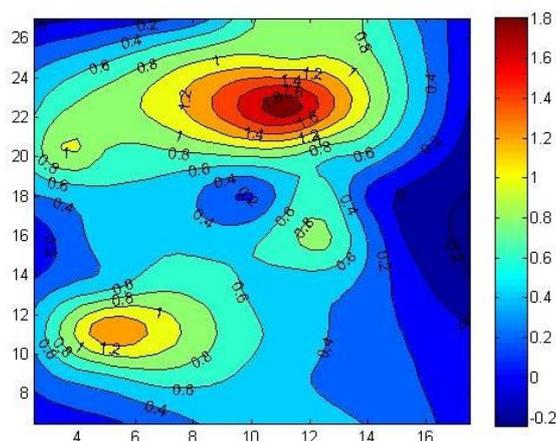


Figura 49 - Índice *EsConTer*, 10 de Abril de 2014

Tendo em conta a interpretação do índice *EsConTer*, referida no subcapítulo 2.5, os valores 0,4 a 1,2 sugerem algum desconforto térmico, nomeadamente acima de 0,5, pois está associado a sensações de moderado calor ou ambiente ligeiramente quente a passar para ambiente quente.

Segundo o modelo *PMV-PPD* a taxa de pessoas insatisfeitas neste intervalo pode variar entre 8% e 30%.

A Figura 50 representa o padrão térmico do espaço em estudo segundo o índice *ITH*, mostrando-se muito concordante com a Figura 49, representativa do padrão térmico segundo o índice *EsConTer*. Mais uma vez, e como era de esperar, os dois índices sugerem a mesma informação em termos de interpretação.

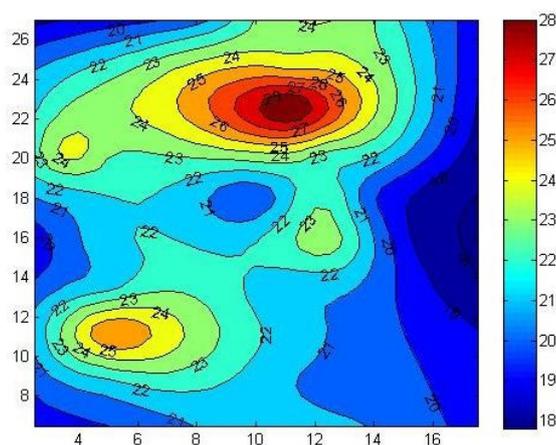


Figura 50 - Índice *ITH* (°C), 10 de Abril de 2014

Segundo a interpretação deste índice dos 24°C até aos 26°C cerca de 50% dos indivíduos estão confortáveis, abaixo dos 24°C até aos 21°C cerca de 100% da população encontra-se termicamente satisfeita e acima dos 26°C 100% da população está termicamente desconfortável. Se considerarmos a área mais central do espaço em estudo e a avaliação do índice *EsConTer*, verificamos que o padrão térmico se encontra maioritariamente entre os 21°C e os 25°C, ou seja, segundo as interpretações do índice numa área onde cerca de 50% a 100% da população está termicamente confortável.

Mais uma vez se comprova a concordância das interpretações tidas a partir da aplicação dos dois índices térmicos, sugerindo que mesmo em ambientes distintos (caso de estudo I e caso de estudo II) os dois índices se comportam da mesma maneira, oferecendo as mesmas preocupações para ser possível a aplicação de estratégias de intervenção.

Como referido na metodologia foi usado no programa Matlab uma opção de zoom nas regiões que sugeriam maior desconforto térmico, entre os 0m e os 14m do eixo dos xx e os 16m e os 24m do eixo dos yy, gerando os gráficos representados na Figura 51, Figura 52, Figura 53 e Figura 54, referentes ao mesmo dia de medições, 10 de Abril de 2014.

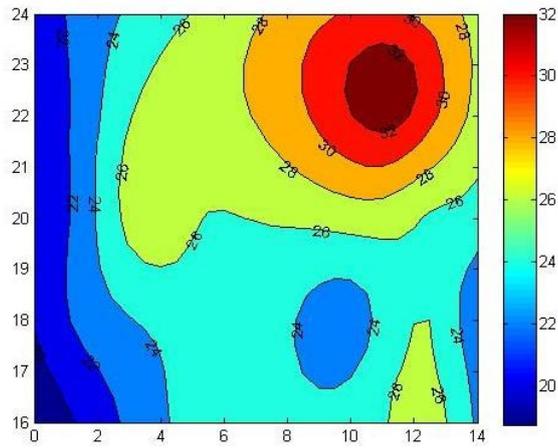


Figura 51 - Temperatura do ar (°C), Zoom

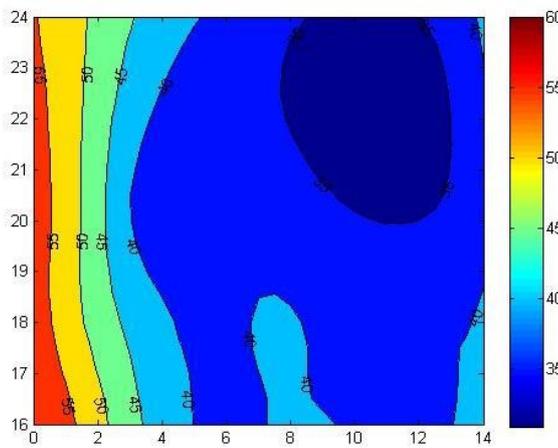


Figura 52 - Humidade relativa do ar (%), Zoom

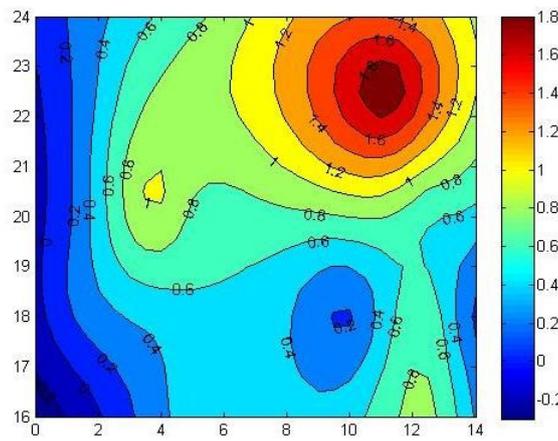


Figura 53 - Índice *EsConTer*, Zoom

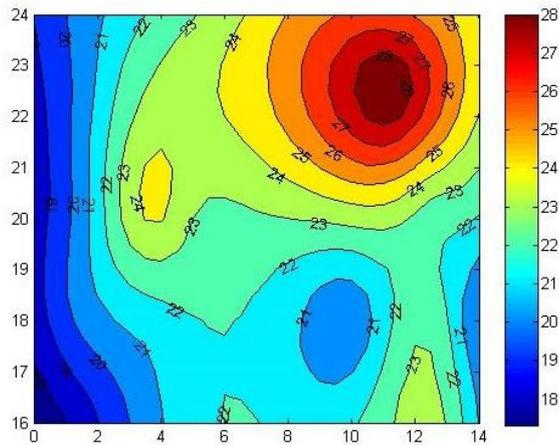


Figura 54 - índice *ITH* (°C), Zoom

A partir da visualização dos gráficos da Figura 51 e Figura 52 pode-se verificar mais uma vez o padrão das variáveis termohigrométricas em estudo, a temperatura do ar e a humidade relativa do ar, respetivamente, dos quais podem ser retiradas as mesmas ilações de que as regiões afetadas por temperaturas mais elevadas correspondem às regiões onde se registam valores de humidade relativa mais baixos.

A Figura 53 e Figura 54 retratam o padrão térmico do espaço segundo os dois índices térmicos em estudo, o *EsConTer* e o *ITH*, mostrando mais uma vez a grande concordância entre eles, visto que as linhas traçadas nos gráficos na região apresentada são praticamente coincidentes. A partir destas representações e da observação *in situ*, seguindo a metodologia, foram escolhidos oito postos de trabalho nas zonas que sugerem maior desconforto térmico. A Figura 55 e Figura 56 mostram a localização dos oito postos de trabalho, representados por um círculo a cor “preta” e numerados de 1 a 8.

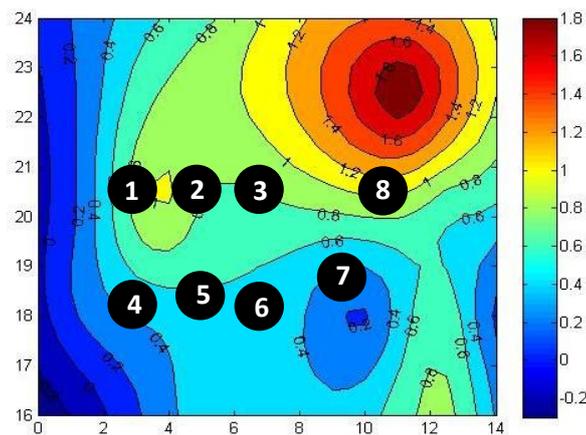


Figura 55 - Índice *EsConTer* e os 8 postos de trabalho selecionados

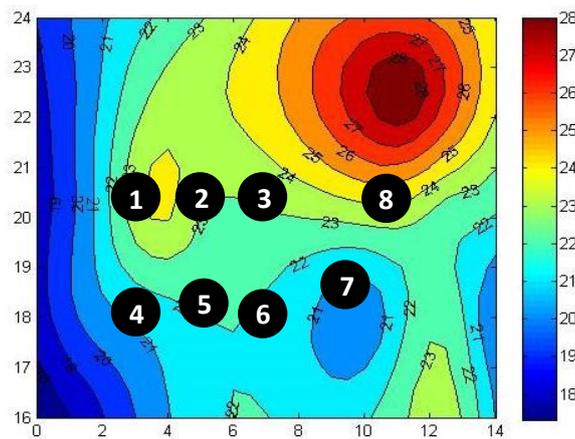


Figura 56 - índice *ITH* (°C) e os 8 postos de trabalho selecionados

Todos os postos de trabalho escolhidos estão próximos do forno ou fazem parte da zona de trabalho do mesmo. Nenhum dos postos de trabalho se encontra na região mais desconfortável, representada pelas cores “laranja”, “laranja escuro”, “vermelho” e “vermelho escuro”, uma vez que esta área corresponde à zona de fusão do forno. A Tabela 13 descreve sucintamente a função de cada um dos 8 postos de trabalho escolhidos.

Tabela 13- Descrição dos postos de trabalho selecionados

Posto	Descrição
1	Corte a quente
2	Prensa
3	Boca do forno 1 – recolha do vidro
4	Levar a cima
5	Prensa e corte a quente
6	Boca do forno 2 – recolha do vidro
7	Boca do forno 3 – recolha do vidro
8	Boca do forno 4 – recolha do vidro

Os resultados sugerem ainda, tal como no caso de estudo anterior, que o ambiente interno do espaço em estudo durante a tarde é mais quente que durante o período da manhã, não variando significativamente durante períodos curtos.

Se considerarmos o dia 12 de Maio de 2014, um dia com características semelhantes ao dia 10 de Abril de 2014, ao qual está associado uma temperatura do ar de cerca de 19,3°C e humidade relativa do ar de 42,5% e conseqüentemente um valor de *EsConTer* exterior de -0,4 e um valor de *ITH* exterior de 17,1°C, deparamo-nos com os padrões representados na Figura 57, Figura 58, Figura 59 e Figura 60.

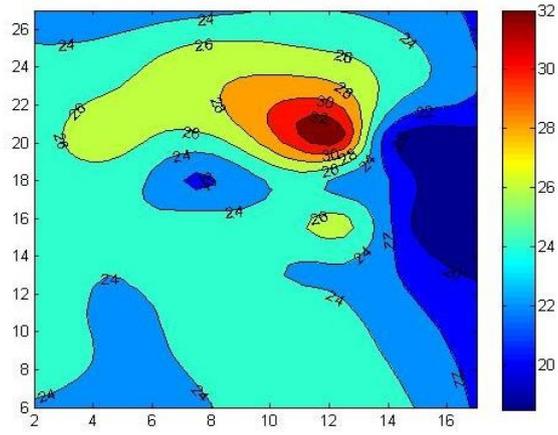


Figura 57 - Temperatura do ar (°C), 12 de Maio de 2014

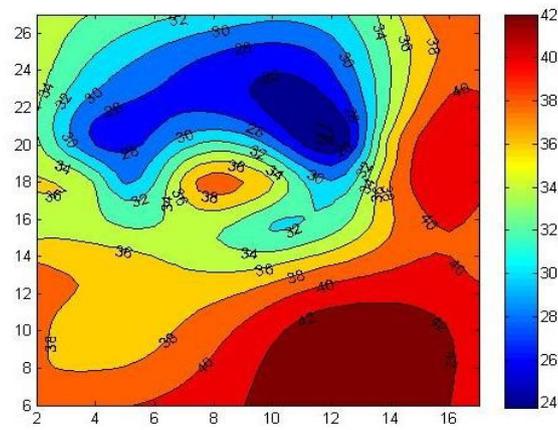


Figura 58 - Humidade relativa do ar (%), 12 de Maio de 2014

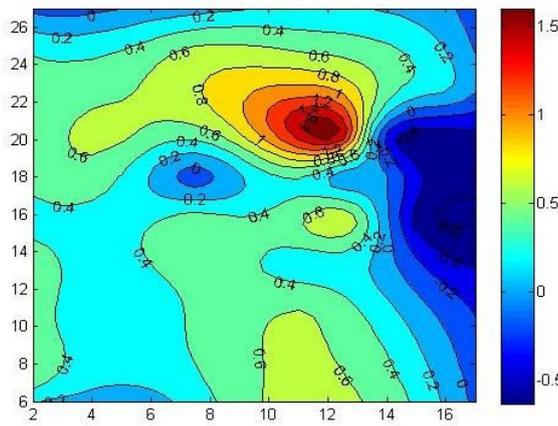


Figura 59 - Índice *EsConTer*, 12 de Maio de 2014

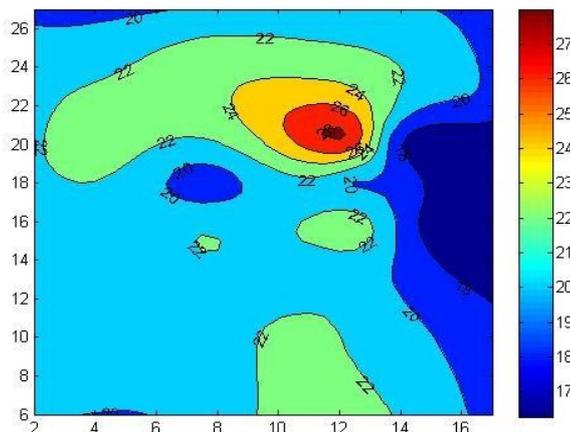


Figura 60 - Índice *ITH* (°C), 12 de Maio de 2014

De uma forma geral os gráficos representativos do dia 12 de Maio de 2014 são muito semelhantes aos gráficos associados ao dia 10 de Abril de 2014 porque sugerem as mesmas áreas de maior desconforto, bem como informação idêntica nas linhas térmicas representadas nos gráficos. É de realçar que para cada dia, verificam-se condições termohigrométricas diferentes, no entanto, os padrões obtidos são semelhantes.

No que diz respeito aos padrões da temperatura do ar e humidade relativa do ar obtidos nos dois dias pode verificar-se que a região delimitada entre os 16m e os 24 m no eixo dos yy e os 2m e os 14m no eixo dos xx é a região afetada por temperaturas do ar mais elevadas e humidade relativa do ar mais baixas e, por isso, considerada a zona que sugere maior desconforto térmico. Assim, também os dois índices térmicos sugerem esta área como a mais desconfortável. No dia 12 de Maio de 2013 é particularmente interessante verificar a diferença de linhas térmicas existentes nos gráficos dos índices *EsConTer* e *ITH*, representados na Figura 59 e Figura 60, respetivamente, situação que não aconteceu nos gráficos do dia 10 de Abril de 2014. Tal facto sugere que o índice *EsConTer* consegue mostrar de uma forma mais detalhada a dinâmica térmica de um ambiente. No entanto, como era esperado, os dois índices revelam-se muito concordantes e com se pode observar na Figura 61 a linha de tendência está associada a um coeficiente de correlação entre os dois índices térmicos de 0,9954, o que indica uma relação quase perfeita (muito próxima de 1) positiva entre estas duas variáveis. Este gráfico contempla toda a informação recolhida em todos os dias de medição, no que diz respeito aos valores medidos no interior do espaço em estudo.

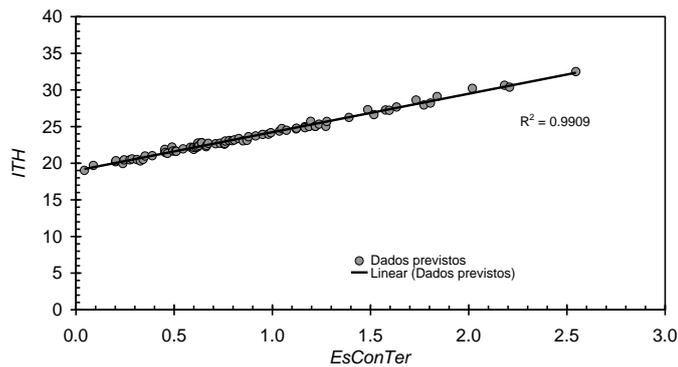


Figura 61 - Relação entre o índice *EsConTer* e *ITH*

### **Estudo da sensação térmica dos trabalhadores**

Em cada um dos oito postos de trabalho escolhidos para análise, representados na Figura 55 e Figura 56, foi avaliada a sensação térmica dos trabalhadores. Neste sentido, tal como é referido na metodologia, teve-se em consideração a avaliação de dois períodos, o período da manhã através do turno da manhã (05h30 às 12h30) e o da tarde através do turno da tarde (13h00 às 20h00). Cada turno foi avaliado duas vezes, o primeiro às 10h00 e 12h00 e o segundo às 15h00 e 17h00. Os gráficos da Figura 62 e Figura 63 indicam a sensação térmica prevista no ambiente térmico e a sensação térmica dos trabalhadores ao longo dos dois períodos, manhã e tarde, respetivamente, num dia de trabalho escolhido aleatoriamente, o dia 9 de Maio de 2014. Os valores de *EsConTer interior* e *exterior* dizem respeito à classificação do ambiente térmico interno e externo do espaço em estudo e os valores referentes aos trabalhadores, representados por *OP\_número* identificação, dizem respeito às sensações térmicas sentidas por cada trabalhador, recolhidas através do inquérito efetuado com a escala de cores.

A Figura 62, representativa da manhã de trabalho do dia 9 de Maio de 2014 sugere que o ambiente térmico interior do espaço aumentou ligeiramente do período das 10h00 para o período das 12h00 a partir da observação dos dados do *EsConTer interior*. No que diz respeito ao ambiente externo, representado pelo *EsConTer exterior*, este não se modificou ao longo deste período.

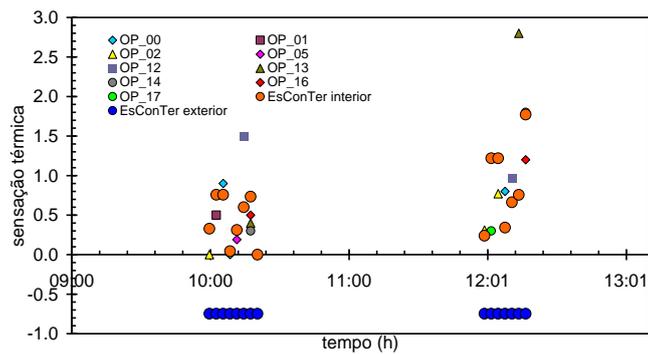


Figura 62 - Sensação térmica dos trabalhadores no turno da manhã, 9 de Maio de 2014

Os valores de sensação térmica dos trabalhadores mostraram-se muito concordantes com o ambiente térmico devido à proximidade de valores com o *EsConTer* interior, revelando um ligeiro aumento também no mesmo sentido do *EsConTer* interior na avaliação das 12h00. A observação da Figura 62 mostra que o OP\_12 na primeira avaliação (10h00) regista um valor de sensação térmica ligeiramente superior ao dos outros trabalhadores. Esta situação pode estar associada à aclimatização do trabalhador, uma vez que neste turno existe uma pausa de meia hora entre as 9h00 e as 9h30 e o trabalhador poderia não estar ainda aclimatizado ao posto de trabalho, visto que no momento de avaliação das 12h00 já apresenta um valor de sensação térmica muito próximo dos outros trabalhadores e do *EsConTer* interior.

Por outro lado, o trabalhador OP\_13, no momento de avaliação das 12h00 apresenta uma sensação térmica superior à dos restantes trabalhadores, mostrando mais uma vez o grau de subjetividade associado a esta variável, visto que neste caso, com a subida ligeira do ambiente térmico, este trabalhador se mostrou termicamente mais sensível que os restantes.

A Figura 63, representativa da tarde de trabalho do dia 9 de Maio de 2014, sugere que o ambiente da tarde variou significativamente em relação ao período da manhã, pois os valores do *EsConTer* interior são superiores.

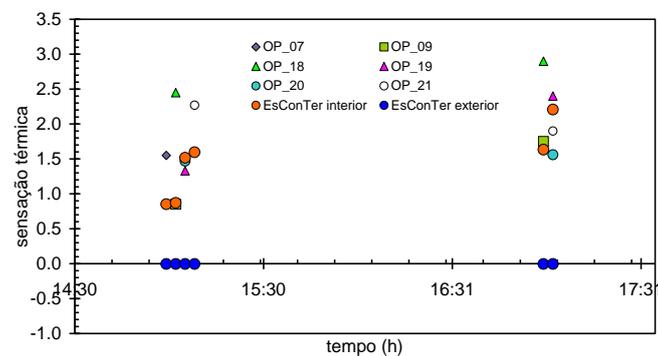


Figura 63 - Sensação térmica dos trabalhadores no turno da tarde, 9 de Maio de 2014

Quanto à sensação térmica dos trabalhadores, à semelhança do que aconteceu no turno da manhã, acompanhou o aumento do desconforto sentido no espaço variando no mesmo sentido ao longo do tempo. No gráfico da Figura 63 destaca-se principalmente o trabalhador OP\_18, que mostra ter sensações térmicas mais desconfortáveis que os restantes trabalhadores, sugerindo maior sensibilidade a um ambiente termicamente desconfortável, nomeadamente a ambientes quentes. Os restantes trabalhadores apresentaram sensações térmicas muito semelhantes ao *EsConTer* interior, ou seja, estão concordantes com a classificação do ambiente térmico.

A relação da sensação térmica dos trabalhadores com a sensação térmica prevista está representada na Figura 64. Neste caso, as sensações térmicas indiciam uma melhor correlação para valores próximos do neutro. À medida que o valor da sensação térmica aumenta, é natural, como já foi referido no caso de estudo I, que a sensação térmica dos trabalhadores se comece a distanciar da linha de ajuste (declive unitário).

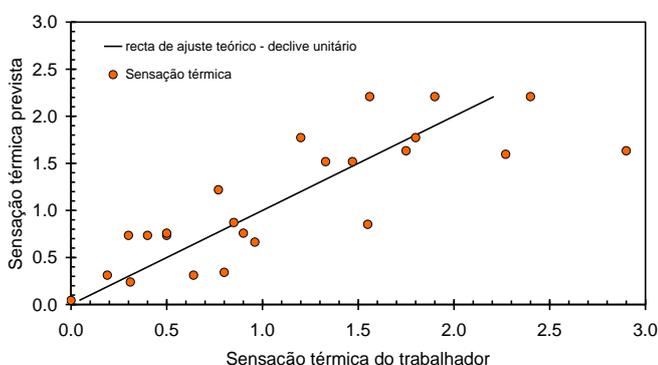


Figura 64 - Sensação térmica: prevista e do trabalhador

É de salientar que todos os trabalhadores inquiridos são na totalidade do género masculino e que o tipo de vestuário varia entre os 0,44clo e os 0,49clo (calções ou calças finas, cuecas, camisola de manga curta fina, sandálias ou sapatilhas e meias), uma vez que o tipo de roupa utilizada pelos trabalhadores é muito fina, devido à proximidade com o forno. Quanto ao metabolismo este varia consoante a atividade de cada posto de trabalho, sendo maior nos postos de trabalho associados à boca do forno, onde é colhido o vidro, uma vez que é necessário alguma resistência física para retirar a quantidade de vidro requerida, para além do maior desconforto térmico aí sentido. A Tabela 14 apresenta o metabolismo aproximado tendo em conta a atividade desenvolvida em cada um dos oito postos de trabalho selecionados.

Os postos de trabalho 3, 6, 7 e 8 dizem respeito à colheita do vidro na boca do forno, o 1, 2 e 5 estão associados a atividades medianas, a prensa e corte a quente, e o 4 ao trabalho designado “levar a cima” que consiste em levar a peça de vidro produzida e/ou cortada para uma das arcas de recozimento. De realçar que em todas as atividades desenvolvidas em cada um dos oito postos de trabalho, os trabalhadores fazem a sua atividade em pé.

Tabela 14- Metabolismo (aproximado) associado a cada posto de trabalho [cálculo baseado em Candás (2000)]

Posto	Metabolismo (W/m <sup>2</sup> - met)
1	93 - 1,6
2	93 - 1,6
3	145 - 2,45
4	87 - 1,45
5	93 - 1,6
6	145 - 2,45
7	145 - 2,45
8	145 - 2,45

### 3.4. DISCUSSÃO E COMPARAÇÃO DOS CASOS DE ESTUDO

Os dois casos de estudo apresentados neste trabalho, apesar de terem sido abordados em contextos industriais muito distintos no que diz respeito ao ramo de atividade, localização, infraestruturas, condições e ferramentas de trabalho mostraram resultados bastante interessantes e semelhantes.

Tendo em conta o estudo do ambiente interno dos dois espaços interiores, Bosch Termotecnologia e Ifavidro, realizado através da recolha de valores de temperatura do ar e humidade relativa do ar e posteriormente representado em gráficos de cores relativos aos índices térmicos *EsConTer* e *ITH* pode concluir-se que ambos os índices traduziram de forma espectável o padrão do ambiente térmico nos dois espaços evidenciando com clareza os locais onde efetivamente existe maior desconforto térmico e/ou *stress* térmico. O índice *EsConTer*, desenvolvido por Talaia e Simões (2009) mostrou-se sempre concordante com o índice *ITH* (Nieuwolt, 1977), muito utilizado pela comunidade científica. Neste sentido, sugere-se que o índice *EsConTer* que está concordante com o *ITH* seja valorizado em contexto industrial. Por outro lado, neste trabalho, o *EsConTer* mostrou, em algumas situações, um maior detalhe para os locais de maior desconforto térmico, como mostra o exemplo do dia 12 de Maio de 2014 da Ifavidro, com a vantagem de apresentar os resultados segundo a escala de sensação térmica de ASHRAE, transcrita sob a forma de uma escala de cores. Para além disso, a apresentação dos gráficos de cores permitiu também visualizar o padrão do ambiente térmico de uma forma mais intuitiva, tendo em conta a representação espacial, isto é, mostram dentro de um espaço quais são as áreas suscetíveis a maior desconforto e *stress* térmico.

Por considerarmos importante em termos de visualização construímos os gráficos da Figura 65 e Figura 66, usando o diagrama psicométrico. A Figura 65 mostra, a título de exemplo, os resultados obtidos para os dias 4 de Abril e 6 de Maio de 2013 na Bosch Termotecnologia.

Se o diagrama psicrométrico tivesse indicada a zona de conforto térmico e as zonas de desconforto térmico seria possível discutir os dados registados na empresa (este será um trabalho futuro a desenvolver).

A observação da Figura 65 permite concluir que as sensações térmicas registadas nos dois dias referidos anteriormente não representam coincidência. Cada dia é influenciado pelo ciclo diurno solar e pelas condições atmosféricas externas à nave. A cor “amarela” e os pontos a cor “vermelha” dizem respeito ao dia 6 de Maio de 2013 e a cor “azul claro” e os pontos a cor “azul escuro” representam o dia 4 de Abril de 2013.

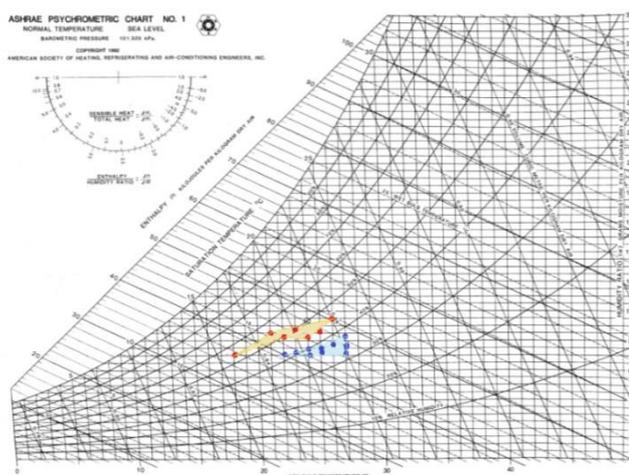


Figura 65 - Ambiente térmico da Bosch Termotecnologia, gráfico psicrométrico [adaptada de ASHRAE (2001a)]

A representação da Figura 65 sugere assim as características térmicas do espaço, mas de uma forma menos intuitiva, visto que não está associada ao *layout* do espaço nem à escala de sensação térmica de ASHRAE. No entanto, é possível verificar no dia 4 de Abril de 2013 que o espaço interior apresentava valores de humidade relativa do ar mais baixos, ou seja, o espaço estava sujeito a um ambiente térmico mais seco.

O gráfico representado na Figura 66, apresenta, para além do caso de estudo I, as características do ambiente térmico da Ifavidro sobrepostas, representadas pela cor e pontos de cor “verde”. O dia de medição representado neste gráfico é o dia 10 de Abril de 2014, que foi mostrado nos gráficos de cores da Figura 47 e Figura 48 no subcapítulo 3.3.3 referente ao caso de estudo II- Ifavidro. Neste caso, a área representada a cor “verde” quase se sobrepõe na totalidade aos dois casos apresentados anteriormente (caso de estudo I- Bosch Termotecnologia), sugerindo uma maior instabilidade do ambiente térmico, ou por outro lado, uma diferente variação do mesmo ao longo do espaço.

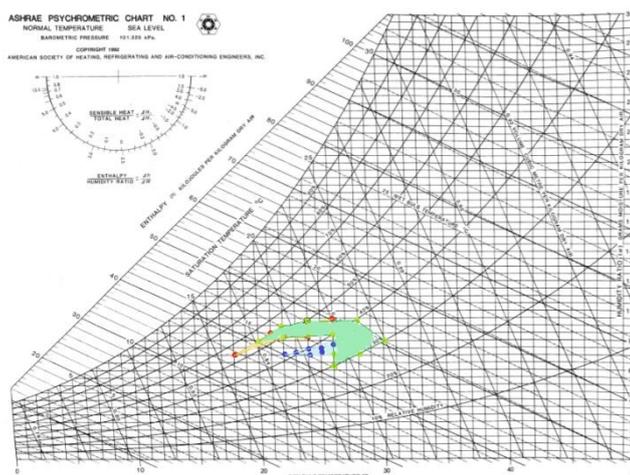


Figura 66 - Ambiente térmico da Ifavidro, gráfico psicrométrico [adaptada de ASHRAE (2001a)]

Estes gráficos psicrométricos efetivamente traduzem a realidade geral do ambiente térmico de um espaço, no entanto, não a apresentam de uma forma espacial, como sugerem os gráficos de cores do índice *EsConTer* de uma forma intuitiva. Para além, disso não têm em conta nenhuma característica dos indivíduos, seja relativa ao clo, metabolismo, entre outras.

O gráfico psicrométrico desenvolvido pela ASHRAE (2001b), representado no subcapítulo 2.3, na Figura 10 com a representação das zonas de conforto, para além dos valores da humidade relativa do ar, valoriza também a temperatura operativa, assim como, o isolamento do vestuário (clo, entre os 0,5 clo e 1clo) e o metabolismo (met, entre os 1 met e 1,3 met), no entanto, torna-se insuficiente devido às limitações estáticas, isto é, ao valores fixos do metabolismo e isolamento de vestuário e pelo facto de considerar que a temperatura média radiante é sempre igual à temperatura do ar (temperatura do termómetro seco) (Schiavon, Hoyt, & Piccioli, 2014). Neste sentido apenas se poderia aplicar no caso de estudo I, devido às limitações referidas do isolamento do vestuário e metabolismo.

Schiavon et al. (2014) desenvolveram uma plataforma designada *CBE Thermal Comfort Tool*, disponível gratuitamente no site <http://cbe.berkeley.edu/comforttool>, com o intuito de ser uma plataforma de cálculo e visualização do conforto térmico segundo a norma ASHRAE Standard 55, de forma a ajudar, por exemplo, *designers*, arquitetos, engenheiros para um melhor entendimento do conforto térmico aquando da tomada de decisão na criação/desenho de um espaço. Esta plataforma a partir da introdução de alguns *inputs*, como a temperatura do ar, a humidade relativa do ar, a temperatura média radiante, a velocidade do ar, a temperatura operativa, o metabolismo e o isolamento do vestuário associados a um indivíduo, desenha uma região num gráfico psicrométrico associada aos valores da zona de conforto tendo em conta valores introduzidos na plataforma. O círculo a vermelho com um ponto no centro sinaliza no gráfico a região associada aos dados introduzidos (ambiente térmico). Tendo em conta os dados recolhidos testou-se esta

aplicação com valores de humidade relativa do ar e temperatura do ar resultantes das medições efetuadas e inseriram-se também valores referentes ao isolamento térmico e metabolismo dos trabalhadores afetos ao espaço. Em todos os gráficos gerados por este programa foi considerada uma temperatura média radiante igual à temperatura do ar (temperatura do termómetro seco), uma vez que os gráficos psicrométricos relativos às zonas de conforto de ASHRAE (Figura 10 do subcapítulo 2.3) também o consideram. Esta plataforma não consegue simular de uma só vez o intervalo de valores recolhidos, por isso, optou-se por selecionar algumas regiões de maior desconforto associadas ao índice *EsConTer* para perceber se os gráficos da plataforma geram a mesma ou semelhante informação associada a este índice.

Para o caso de estudo da Bosch Termotecnologia optou-se por escolher duas regiões consideradas de maior desconforto térmico segundo o gráfico associado ao índice *EsConTer* representado na Figura 25 e onde estão localizados os cinco postos de trabalho escolhidos. A Figura 67 e Figura 68 representam a área a cor “vermelho escuro” da Figura 25 delimitada pela linha referente ao valor 0,8 na escala de sensação térmica de ASHRAE e associada à temperatura do ar de 26°C e à humidade relativa do ar de 45%. Como *inputs* inseriu-se o valor da temperatura do ar (igual à temperatura média radiante), 26°C, da humidade relativa do ar, 45%, do metabolismo e do isolamento térmico associados aos trabalhadores desse espaço, 1,6met e 0,54clo (farda de trabalho).



Figura 67 - CBE Thermal comfort tool para a região de maior desconforto (gráfico temperatura do ar)

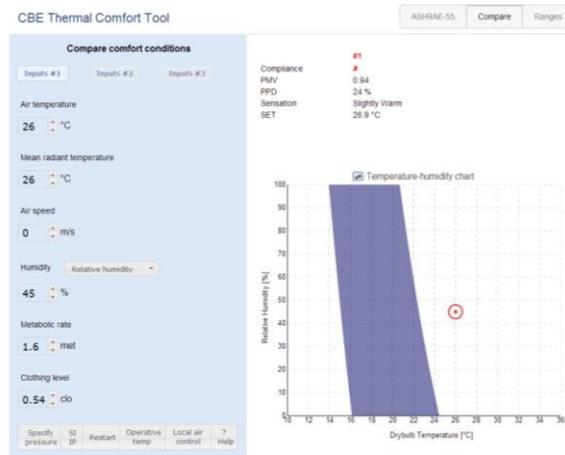


Figura 68 - CBE Thermal comfort tool para a região de maior desconforto (gráfico temperatura do ar- humidade relativa do ar)

Os resultados obtidos não estão de acordo com a ASHRAE Standard 55-2010, apresentando desconforto térmico quente associado ao valor de *PMV* de 0,94 (ligeiramente quente-*slightly warm*) e a uma percentagem de pessoas insatisfeitas de 24% (*PPD*). A região a cor “azul” representada nos dois gráficos diz respeito à região de conforto sugerida pela plataforma.

A Figura 69 e Figura 70 representam a área a cor “vermelho mais claro” da Figura 25 delimitada pela linha associado ao valor 0,6 na escala de sensação térmica de ASHRAE e associada à temperatura do ar de 25°C e à humidade relativa do ar de 45%. Da mesma forma, inseriram-se como *inputs* o valor da temperatura do ar (igual à temperatura média radiante), 25°C, da humidade relativa do ar, 45% e novamente os mesmos valores de metabolismo e isolamento térmico.

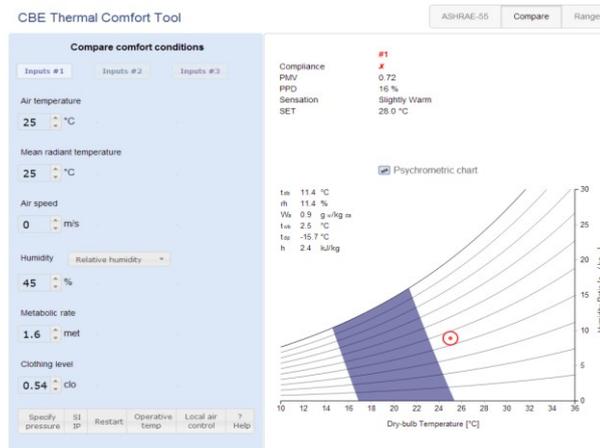


Figura 69 - CBE Thermal comfort tool para a 2ª região de maior desconforto (gráfico temperatura do ar)



Figura 70 - *CBE Thermal comfort tool* para a 2ª região de maior desconforto (gráfico temperatura do ar- humidade relativa do ar)

Os resultados destes gráficos mostraram que o ambiente térmico mais uma vez, e como era esperado, não está de acordo com a ASHRAE Standard 55-2010, apresentando desconforto térmico quente associado ao valor de *PMV* de 0,72 (ligeiramente quente-*slightly warm*) e a uma percentagem de pessoas insatisfeitas de 16% (*PPD*).

De acordo com as duas interpretações anteriores, a plataforma testada está de acordo com o índice *EsConTer*, facto que também já era esperado uma vez que se baseiam na mesma norma. É interessante visualizar como nos dois casos apresentados a informação registada é concordante com a do índice *EsConTer*, nomeadamente, quando visualizado o gráfico de zoom do mesmo, representado na Figura 29, onde a vista sobre o espaço é mais detalhada, sugerindo para o primeiro teste valores entre os 0,8 e os 0,85 e para o segundo entre 0,7 e 0,75.

Para o caso de estudo II- Ifavidro escolheram-se também duas das áreas onde se encontram os postos de trabalho seleccionados do dia 10 de Abril de 2014 para fazer o teste. Para os primeiros gráficos considerou-se a zona a cor “verde” da Figura 55 delimitada pelo valor 0,8 do índice *EsConTer*, onde estão localizados os postos de trabalho escolhidos número 2, 3 e 8. Neste sentido, inseriram-se como *inputs* o valor da temperatura do ar (igual à temperatura média radiante), 26°C, da humidade relativa do ar, 35% e do metabolismo e do isolamento térmico associados aos trabalhadores desse espaço, 1,6met (valor intermédio) e 0,44clo. Os gráficos representados na Figura 71 e Figura 72 apresentam os resultados da plataforma, considerando o ambiente térmico mais uma vez, e como era esperado, em desacordo com a ASHRAE Standard 55-2010, apresentando desconforto térmico quente associado ao valor de *PMV* de 0,77 (ligeiramente quente-*slightly warm*) e a uma percentagem de pessoas insatisfeitas de 17% (*PPD*).



Figura 71 - CBE Thermal comfortTool (gráfico temperatura do ar)

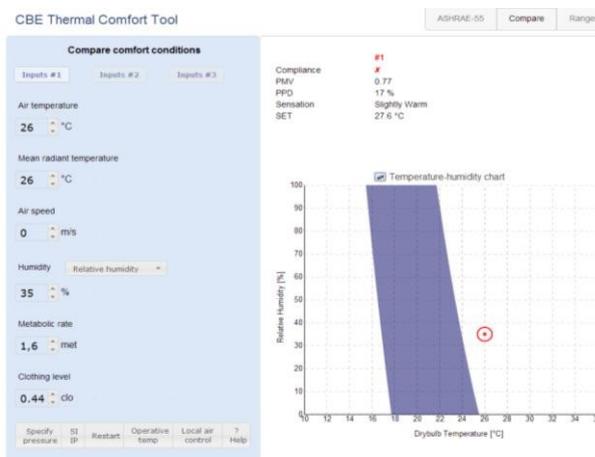


Figura 72 - CBE Thermal comfort tool (gráfico temperatura do ar- humidade relativa do ar)

No segundo caso considerou-se a zona a cor “azul” da Figura 55 delimitada pelo valor 0,4 do índice *EsConTer*, onde estão localizados os postos de trabalho escolhidos número 4, 5 e 6. Neste sentido, inseriram-se como *inputs* o valor da temperatura do ar (igual à temperatura média radiante), 24°C, da humidade relativa do ar, 35% e do metabolismo e do isolamento térmico associados aos trabalhadores desse espaço, 1,6met (valor intermédio) e 0,44clo. Os gráficos representados nas figuras Figura 73 e Figura 74 apresentam os resultados da plataforma, considerando o ambiente térmico de acordo com a ASHRAE Standard 55-2010, com valor de *PMV* de 0,30 (neutro) e por isso associado a uma percentagem de pessoas insatisfeitas de 7% (*PPD*).



Figura 73 - CBE Thermal comfort (gráfico temperatura do ar)

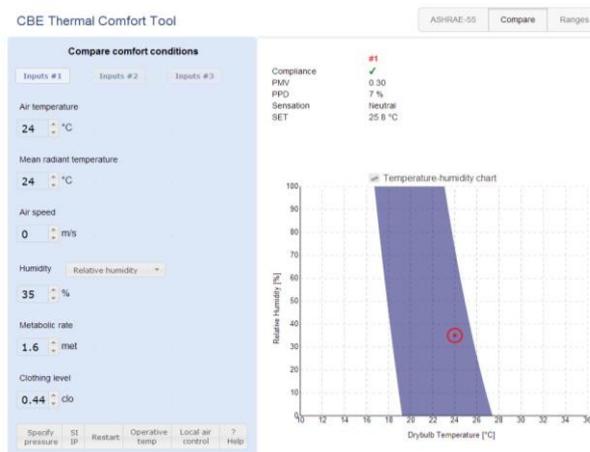


Figura 74 - CBE Thermal comfort tool (gráfico temperatura do ar -humidade relativa do ar)

Na gama de valores introduzidos neste segundo caso, existem postos de trabalho associados a tipos de trabalho muito distintos, e por isso a metabolismos distintos. A Figura 75 representa as zonas de conforto dos diferentes tipos de atividades, associadas a valores distintos de metabolismo, tendo em conta o mesmo ambiente. Esta situação em particular, mostra-nos que nesta região, associada aos valores introduzidos de temperatura do ar e humidade relativa do ar, diferentes metabolismos carecem de zonas de conforto distintas, como era esprado. Este tipo de situação não é representado detalhadamente no índice *EsConTer*, o que não é relevante para uma identificação do padrão do ambiente térmico, no entanto, para um estudo mais detalhado de um espaço, deve ter-se em conta toda esta análise. Neste sentido, sugere-se que esta plataforma seja útil na tomada de decisão, de forma a criar ambientes que satisfação o maior número de trabalhadores. Neste caso em particular, apenas a representação #2 e #3 estão na região de conforto, estando algumas das suas áreas intersetadas. O caso #1 retrata o trabalho da colha do vidro na boca do forno, a atividade mais desgastante da empresa. Nesta situação a solução

poderia consistir em adotar estratégias de intervenção para alterar o ambiente térmico existente representado pelo círculo a cor “vermelha”.

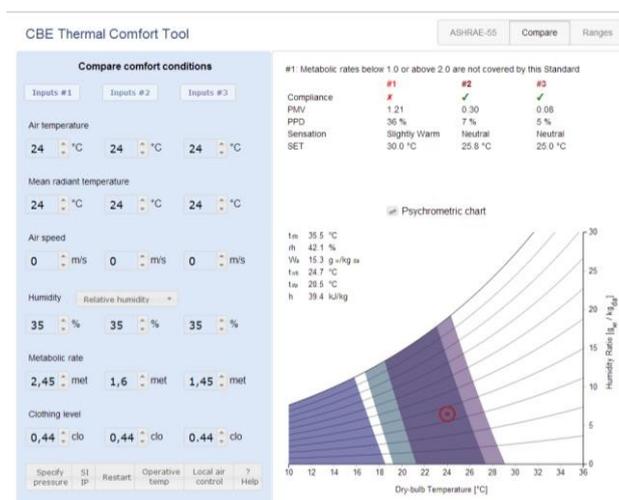


Figura 75 - CBE Thermal Comfort Tool- tipos de atividades diferentes (diferentes metabolismos)

Para além desta situação, tal como os resultados do caso de estudo I, para o caso de estudo II, a plataforma testada também parece estar de acordo com o índice *EsConTer*, sugerindo que efetivamente este índice traduz de forma eficiente o que se passa no interior de um espaço. No que diz respeito aos gráficos obtidos através da plataforma, uma vez que parecem concordantes com o índice *EsConTer* sugerem que a ferramenta *CBE Thermal Comfort Tool* possa ser útil para tomar decisões, não ao nível do padrão do ambiente térmico, devido à representação gráfica, mas para tentar encontrar soluções de maior conforto local.

Ainda referenciando o ambiente interno dos dois espaços, Bosch Termotecnologia e Ifavidro, realça-se que ao longo do tempo (dia) tenderam para ambientes quentes termicamente mais desconfortáveis, como sugerem a Figura 76 e Figura 77.

O ambiente da Ifavidro, como esperado, mostra-se mais inconstante devido às condições da infraestrutura e para além disso, também mostra ser mais quente devido ao ramo de atividade e tipo de tarefas desempenhadas nos postos de trabalho.

Observamos na Figura 76 e Figura 77 que o ambiente térmico exterior das duas empresas varia consoante os parâmetros meteorológicos exteriores. É de realçar que os dados foram recolhidos na primavera, daí a obtenção de valores de *EsConTer* exterior relativamente confortáveis. O *EsConTer* interior, tal como já foi referido, aumenta no mesmo sentido que o *EsConTer* exterior.

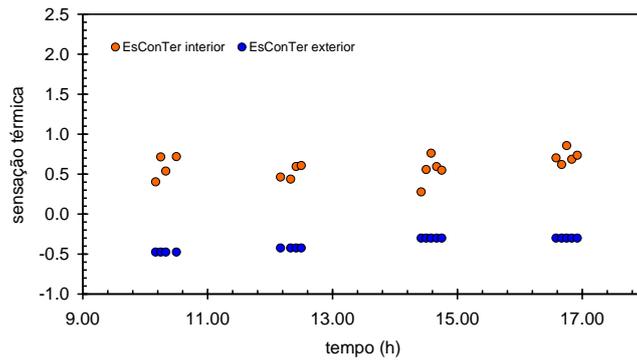


Figura 76- Ambiente térmico interno e externo da Bosch Termotecnologia SA

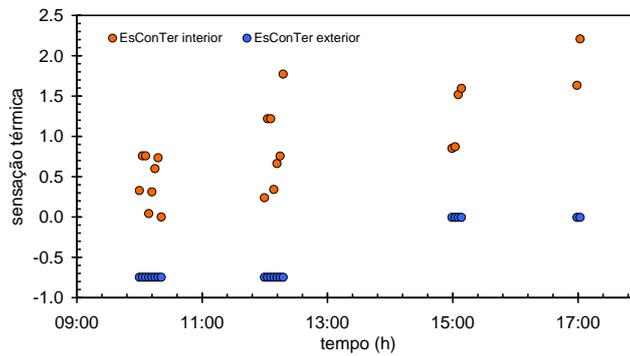


Figura 77- Ambiente térmico interno e externo da Ifavidro

Tendo em conta a sensação térmica recolhida dos trabalhadores nos diferentes postos de trabalho pode concluir-se que em todos os casos foi muito próxima do valor do *EsConTer*, dispersando-se mais a partir do valor 1 segundo a escala sétima de sensação térmica de ASHRAE devido ao grau de subjetividade dos trabalhadores quando experienciam maior desconforto e o seu metabolismo é alterado no tempo.

Como era esperado, o caso de estudo II –Ifavidro apresenta respostas de sensação térmica mais desconfortáveis que o caso de estudo I- Bosch Termotecnologia, como se pode observar na Figura 78 e Figura 79. Estes dois gráficos representam o número de vezes que se obtiveram respostas dentro dos limites assinalados nos gráficos, tendo em conta todas as respostas dos trabalhadores. No caso de estudo I- Bosch Termotecnologia, tendo em conta todas as respostas dos trabalhadores, a percentagem de respostas superiores a 0,5 foi de apenas 22%, enquanto que no caso de estudo II- Ifavidro foi cerca de 73%.

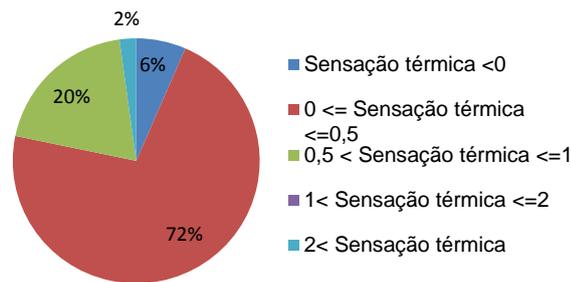


Figura 78- Valores de sensação térmica recolhidos na Bosch Termotecnologia

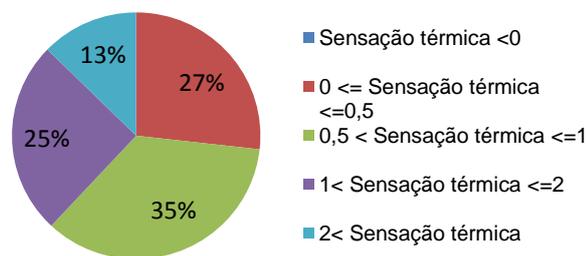


Figura 79- Valores de sensação térmica recolhidos na Ifavidro

No que diz respeito ao isolamento do vestuário, verifica-se também que os trabalhadores da Ifavidro apresentam vestuário associado a valores de clo mais baixos que os trabalhadores da Bosch Termotecnologia. Esta situação é aceitável e compreensível, uma vez que a Ifavidro está sujeita a ambientes térmicos que sugerem maior desconforto térmico como foi mencionado anteriormente.

A Figura 80, baseada nos estudos de Liu et al. (2012), representa a adaptação das pessoas ao vestuário tendo em conta o ambiente térmico. Este gráfico mostra a tendência do tipo de vestuário (clo) utilizado em cada uma das estações do ano. É unânime que temperaturas mais baixas são características do inverno e que temperaturas mais elevadas são características do verão, sendo os valores do clo associados a estas estações de cerca de 1,2clo e 0,4clo, respetivamente, sugerindo o que já era esperado, que temperaturas mais baixas estão associadas a roupas mais quentes (mais isoladas) e temperaturas mais elevadas estão associadas a roupas mais leves e finas. Por sua vez, nas estações de transição os valores do isolamento térmico variam entre os 0,8clo na primavera e os 0,6clo no outono. Os valores recolhidos, associados ao caso de estudo I- Bosch Termotecnologia estão representados por círculos a cor “verde”, mostrando uma resistência do vestuário em torno dos valores 0,5clo e 0,8clo, associados a temperaturas entre os 24°C e os 26°C. Os valores da resistência térmica associados ao caso de estudo II- Ifavidro, em concordância com o que tem sido referido são inferiores aos do caso de estudo I, variando entre

os 0,4clo e os 0,5clo, uma vez que estão também associados a temperaturas mais elevadas, entre os 24°C e os 28°C.

Os dois casos de estudo encontram-se dentro da região da primavera, em concordância com Liu et al. (2012), no entanto, os valores relativos à Ifavidro encontram-se também mais próximos da estação do verão, como esperado.

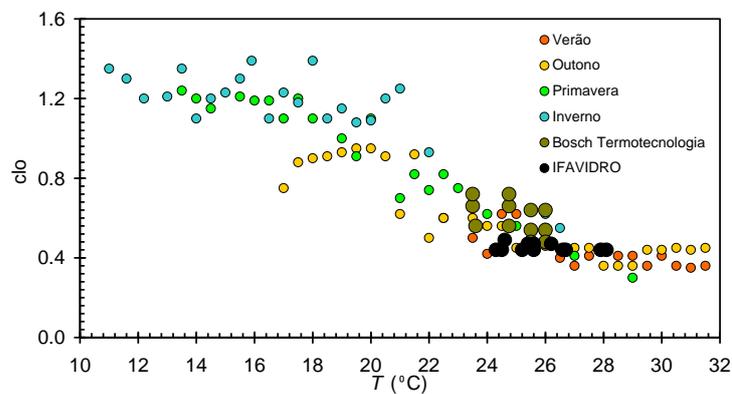


Figura 80- Tendências do isolamento do vestuário tendo em conta a temperatura do ar [adaptado de Liu et al. (2012)]

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS FUTURAS

Os resultados de ambos os casos de estudo sugerem que a aplicação do índice *EsConTer*, permite dar a conhecer de uma forma detalhada o padrão térmico de um espaço, uma vez que em todos os casos estudados se manteve concordante com os resultados obtidos pelo índice *ITH*. Por outro lado, o índice *EsConTer* tem a vantagem dos seus resultados serem valores correspondentes à escala sétima de sensação térmica de ASHRAE.

Uma vez que o índice *EsConTer* prevê uma sensação térmica muito próxima à sentida pelos trabalhadores, ao longo de todos os momentos de medição, sugere-se que seja aplicado para o conhecimento do padrão do ambiente térmico e para prever a sensação térmica de trabalhadores.

A representação do índice *EsConTer* em gráfico de cor associado ao *layout* da empresa revela-se uma forma muito intuitiva de analisar o espaço em estudo, pois cada região do espaço é ocupada por pessoas diferentes, a desenvolver tarefas diferentes com máquinas e/ou ferramentas diferentes e por isso é importante, para além do reconhecimento do tipo de ambiente térmico geral de um espaço (representado de forma mais teórica nos gráficos psicométricos), ter um conhecimento específico de todas as regiões espaço, pois nem sempre é necessário atuar num espaço completo, mas apenas numa região ou posto de trabalho específico.

Nos dois casos de estudo apresentados nesta dissertação não se conseguiu obter um padrão térmico específico para cada um dos postos de trabalho selecionados para o estudo devido à grande semelhança de ambientes térmicos de todos os postos, à diferença de respostas entre alguns trabalhadores do mesmo posto e à necessidade de uma recolha mais exaustiva de valores durante todos os meses do ano, de forma a perceber o comportamento e reação dos trabalhadores ao ambiente a que estão expostos. Assim, sugere-se que para casos futuros que avalie mais detalhadamente os postos de trabalho e se teste a plataforma *CBE Thermal Comfort Tool*, com o intuito de perceber se as áreas de conforto por ela representadas variam tendo em conta a necessidade efetiva de conforto dos utilizadores de um espaço e as suas características pessoais, nomeadamente em relação ao metabolismo e isolamento do vestuário. Para além disto, sugere-se que a metodologia utilizada seja abordada em ambiente térmicos frios de modo a compreender a sua aplicabilidade.

Em suma, a abordagem do ambiente térmico dos espaços selecionados e abordados mostrou ser suficiente e eficaz na identificação de zonas de maior desconforto térmico quente, sendo o índice *EsConTer* um índice térmico bastante versátil, sugerindo uma boa representação do padrão térmico de um espaço interior e por sua vez um bom preditor da sensação térmica de indivíduos, dado o seu valor estar associado à escala sétima de ASHRAE.

Os resultados obtidos nos dois espaços foram valorizados pelo Departamento de Higiene e Segurança de cada empresa. No futuro pensar-se-á na instalação de sensores devidamente

localizados nas naves estudadas de modo a conhecer e a interpretar ao longo do ano o padrão de sensação térmica esperado, de forma a implementar medidas que possam satisfazer as necessidades de conforto térmico dos trabalhadores, diminuindo a fadiga e aumentando índices de qualidade e produtividade.

## 5. BIBLIOGRAFIA

- Abranches, S. (2005). *A situação ergonómica do trabalho de enfermagem em unidade básica de saúde*. Universidade de São Paulo.
- Abranches, S. & Mello, R. (2002). The communicative expression of the meaning of work as used by undergraduate nursing students. In *Proceedings of the 8. Brazilian Nursing Communication Symposium*. São Paulo. Retrieved from <[http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=MSC000000052002000200043&lng=en&nrm=abn](http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC000000052002000200043&lng=en&nrm=abn)>
- Akimoto, T., Tanabe, S., Yanai, T. & Sasaki, M. (2010). Thermal comfort and productivity - Evaluation of workplace environment in a task conditioned office. *Building and Environment*, 45(1), 45–50. doi:10.1016/j.buildenv.2009.06.022
- Araújo, M. E., Arezes, P. & Braga, A. C. (2013). Working Memory in Moderate Thermal Environments : A Field Study. In *Sho'13-International Symposium on Occupational Safety and hygiene*. Guimarães, Portugal.
- ASHRAE. (2001a). Psychrometrics. In Englewood (Ed.), *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE Han.). Colorado 80112-5776 USA.
- ASHRAE. (2001b). Thermal Comfort. In *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (2001 ASHRA.). Colorado 80112-5776 USA: Englewood.
- ASHRAE 55. (2004). *Thermal environmental conditions for human occupancy*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- Bedford, T. (1936). The Warmth Factor in Comfort at Work. *Rep. Industry Health*, 76.
- Bluyssen, P. M., Aries, M. & van Dommelen, P. (2011). Comfort of workers in office buildings: The European HOPE project. *Building and Environment*, 46(1), 280–288. doi:10.1016/j.buildenv.2010.07.024
- Bosch. (2011a). *A Bosch em Portugal - 100 anos de Tecnologia para a vida: Bosch*.
- Bosch. (2011b). *Strong Brands Under a Shared Umbrella*.
- Bosch. (2012). Bosch: Corporate Presentation.
- Breedveld, P. & Dul, J. (2005). *The Position and Success of Certified European Ergonomists*. Erasmus University.
- Candas, V. (2000). *Techniques de l'Ingénieur, traité Génie énergétique*. Doc.BE 9 085.
- Castilla, M., Álvarez, J. D., Berenguel, M., Rodríguez, F., Guzmán, J. L. & Pérez, M. (2011). A comparison of thermal comfort predictive control strategies. *Energy and Buildings*, 43(10), 2737–2746. doi:10.1016/j.enbuild.2011.06.030
- Chaves, F. (2009). *Instalações e climatização e refrigeração - 1ª parte* (p. 47). Tomar, Portugal.
- Chow, T. T., Fong, K. F., Givoni, B., Lin, Z. & Chan, a. L. S. (2010). Thermal sensation of Hong Kong people with increased air speed, temperature and humidity in air-conditioned environment. *Building and Environment*, 45(10), 2177–2183. doi:10.1016/j.buildenv.2010.03.016
- Cox, C. (2005). *Health optimisation protocol for energy-efficient buildings* (pp. 1–16). Delft, The Netherlands: TNO.
- Daum, D., Haldi, F. & Morel, N. (2011). A personalized measure of thermal comfort for building controls. *Building and Environment*, 46(1), 3–11. doi:10.1016/j.buildenv.2010.06.011
- Djongyang, N., Tchinda, R. & Njomo, D. (2010). Thermal comfort: A review paper. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(9), 2626–2640. doi:10.1016/j.rser.2010.07.040

- DuBois, D. & DuBois, E. (1916). A formula to estimate the approximate surface area if height and weight be known. *Arch Intern Medicine.*, 17:863-71.
- Dufton, A. (1932). The Equivalent Temperature of a Room and Its Measurement. *Building Research Technical Paper*, London, 13.
- Dul, J. & Neumann, W. P. (2009). Ergonomics contributions to company strategies. *Applied Ergonomics*, 40(4), 745–52. doi:10.1016/j.apergo.2008.07.001
- Emmanuel, R. (2005). Thermal comfort implications of urbanization in a warm-humid city: the Colombo Metropolitan Region (CMR), Sri Lanka. *Building and Environment*, 40, 1591–1601. doi:10.1016/j.buildenv.2004.12.004
- Fanger, P. (1972). *Thermal Comfort* (2nd ed.). New York: McGraw-Hill.
- Felix, V. B., Moura, D., Pereira, M. L. & Tribess, A. (2010). Evaluation of thermal comfort in surgical environments using Fanger's method and equivalent temperatures. *Ambiente Construído*, 10, 69–78.
- Freire, J. (1997). *Variações sobre o tema trabalho*. Porto: Edições Afrontamento.
- Hensen, J. (1991). *On the thermal interaction of building structure and heating and ventilating system*. Eindhoven University of Technology.
- Huang, J. (2006). Thermal parameters for assessing thermal properties of clothing. *Journal of Thermal Biology*, 31, 461–466.
- Huizenga, C., Abbaszadeh, S., Zagreus, L. & Arens, E. (2006). Air Quality and Thermal Comfort in Office Buildings : Results of a Large Indoor Environmental Quality Survey. In *Proceedings of Healthy Buildings* (pp. 393–397). Lisbon.
- IEA. (2014). International Ergonomics Association. *What is Ergonomics- Definition*. Retrieved February 01, 2014, from <http://www.iea.cc/whats/index.html>
- Ifavidro. (2004). *Manual de Qualidade da Ifavidro*.
- ISO 7243. (1989). Hot environments- Estimation of the heat stress on working man, based on WBGT-index (wet bulb temperature). In *International Standardization Organization*. Geneva, Suisse.
- ISO 7726. (2001). *Ergonomics of the thermal environment- Instruments for measuring physical quantities* (British st.).
- ISO 7730. (2005). *Ergonomie des ambiances thermiques- Détermination analytique et interprétation du confort thermique par le calcul des indices PMV et PPD et par des critères de confort thermique local*. (International Standardization Organization, Ed.). Geneva, Suisse.
- ISO 7730. (2006). Ergonomics of thermal environment- Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of PMV and PPD indeces and local thermal comfort criteria.
- Khodakarami, J. & Nasrollahi, N. (2012). Thermal comfort in hospitals – A literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(6), 4071–4077. doi:10.1016/j.rser.2012.03.054
- Lamberts, R. (2002). *Conforto Térmico e Stress Térmico*. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil.
- Lamberts, R. (2013). Desempenho Térmico de edificações: Conforto Térmico. Retrieved from [http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/Aula 2 - Conforto termico\\_2013.pdf](http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/Aula 2 - Conforto termico_2013.pdf)
- Leal, A. & Neves, M. (2013). Study of Thermal Hot Environments: Contribution to a Technical Assessment. In *Sho'13- International Symposium on Occupational Safety and Hygiene* (pp. 187–188). Guimarães, Portugal.

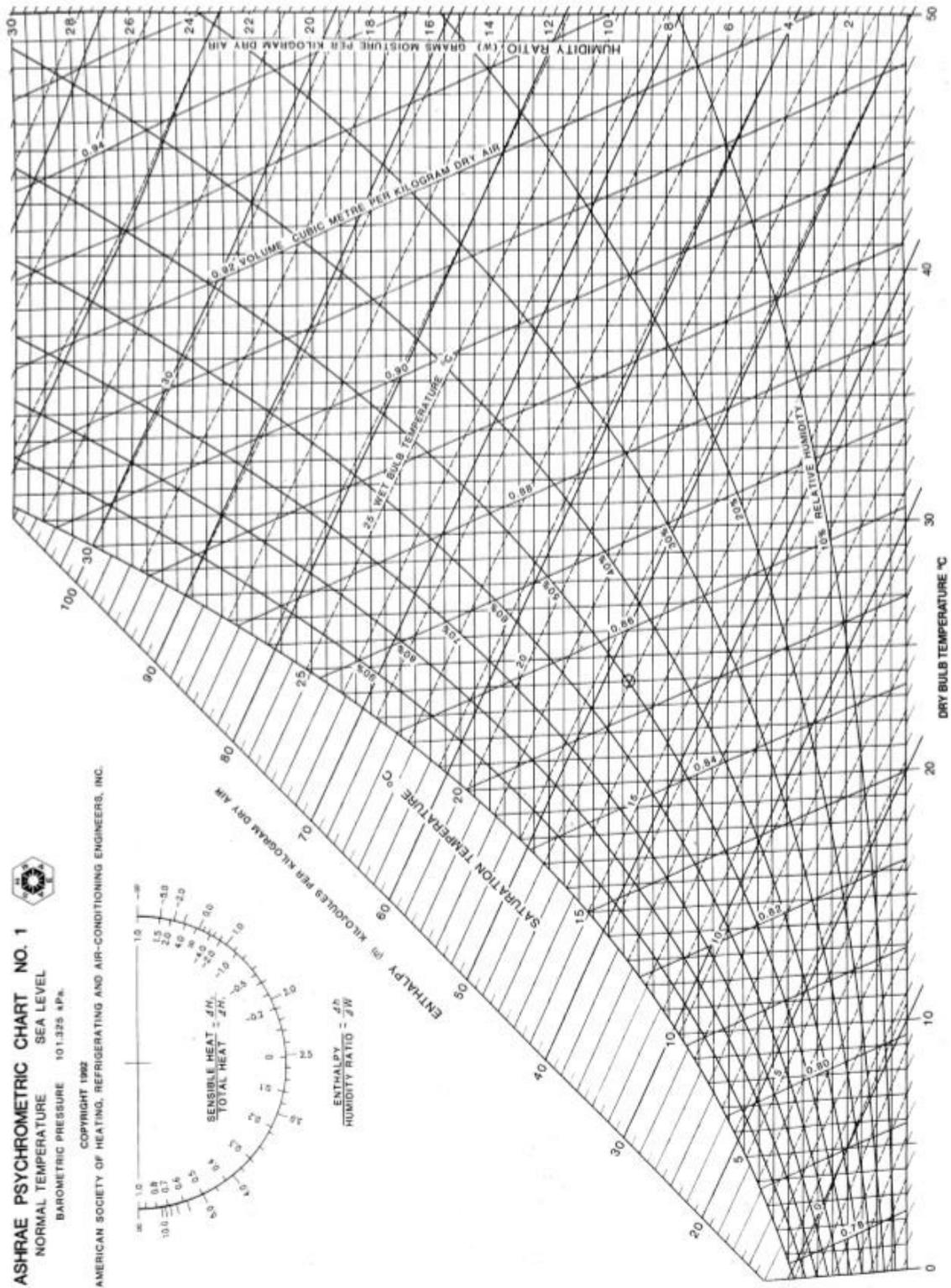
- Liang, J. & Du, R. (2005). Thermal Comfort Control Based on Neutral Network of HVAC Application. In *2005 IEEE Conference on Control Applications*. Toronto, Canada.
- Liu, J., Yao, R., Wang, J. & Li, B. (2012). Occupants' behavioural adaptation in workplaces with non-central heating and cooling systems. *Applied Thermal Engineering*, 35, 40–54. doi:10.1016/j.applthermaleng.2011.09.037
- Lopes, R. (2008). *Condições de conforto térmico na construção de edifícios*. Dissertação de mestrado. Universidade do Porto.
- Madson, T., Olesen, B. & Kristensen, N. (1984). Comparison Between Operative and Equivalent Temperature and Typical Indoor Conditions. *ASHRAE Transactions*, 90, 1077–1090.
- Mäkinen, T. M., Palinkas, L. a, Reeves, D. L., Pääkkönen, T., Rintamäki, H., Leppäluoto, J. & Hassi, J. (2006). Effect of repeated exposures to cold on cognitive performance in humans. *Physiology & Behavior*, 87(1), 166–76. doi:10.1016/j.physbeh.2005.09.015
- Meles, B. A. (2012). *Ergonomia Industrial e Conforto Térmico em postos de trabalho*. Dissertação de mestrado. Universidade de Aveiro.
- Mielnik, I. (1976). *Higiene Mental do Trabalho* (p. 186). São Paulo: Artes Médicas.
- Nieuwolt, S. (1977). *Tropical climatology*. London.
- Nunneley, S. A. & Reardon, M. J. (2002). *Prevention of heat illness*. Retrieved from [http://www.bordeninstitute.army.mil/published\\_volumes/harshEnv1/Ch6-](http://www.bordeninstitute.army.mil/published_volumes/harshEnv1/Ch6-)
- Ogbonna, A. C. & Harris, D. J. (2008). Thermal comfort in sub-Saharan Africa: Field study report in Jos-Nigeria. *Applied Energy*, 85(1), 1–11. doi:10.1016/j.apenergy.2007.06.005
- Oliveira, G., Queiroz, M., Pagiola, R. & Ferreira, W. (2010). Conforto térmico no ambiente de trabalho : avaliação das variáveis subjetivas da percepção do calor. In *SEGeT- VII Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia*. Rio de Janeiro.
- Parsons. (2003). *Human Thermal Environments: The Effects of Hot, Moderate and Cold Environments on Human Health, Comfort and Performance*. In Taylor & Francis (Eds.).
- Peter, H. (2002). Different aspects of assessing indoor and outdoor thermal comfort. *Energy and Buildings*, 34, 661–665.
- Pinheiro, I. P. T. (2011). *Conforto Térmico e Bem-Estar numa Superfície Comercial Isolada*. Dissertação de mestrado. Universidade do Porto.
- Pinto, A. M. P. (2009). *Análise ergonómica dos postos de trabalho com equipamentos dotados de visor em centros de saúde da administração regional de saúde do centro*. Dissertação de mestrado. Universidade de Coimbra.
- Riniolo, T. C. & Schmidt, L. A. (2006). Chronic heat stress and cognitive development: An exemple of thermal conditions influencing human development. *Developmental Review*, 26, 277–290.
- Rodrigues. (2007). *Conforto e Stress Térmico: uma Avaliação em Ambiente Laboral*. Dissertação de mestrado. Universidade de Aveiro.
- Rodrigues, B. (1978). A Bioclimatologia e a Produtividade Laboral. *Revista Do Instituto Nacional Meteorologia Geofísica* (Volume 1), 39–51.
- Sá, R. (1999). Introdução ao “stress” térmico em ambientes quentes. *TECNOMETAL*, 124.
- Schiavon, S., Hoyt, T. & Piccioli, A. (2014). Web application for thermal comfort visualization and calculation according to ASHRAE Standard 55. *Building Simulation*, 7, 321–334. doi:10.1007/s12273-013-0162-3
- Sousa, J., Silva, C., Pacheco, E., M., M., Araújo, M. & Fabelas, S. (2005). Acidentes de Trabalho e Doenças Profissionais em Portugal. In *Riscos Profissionais: factores e desafios*. Vila Nova de Gaia: CRP- Centro de Reabilitação Profissional de Gaia.

- Starling, Mendonça, V., Alsina, O. & Monteiro, L. (2013). Ergonomic Analysis at a Working Station Located in a Technology and Information Management Company from Sergipe, Brazil, Based on Temperature and Thermal Stress Level. In *Sho'13-International Symposium on Occupational Safety and Hygiene* (pp. 403–404). Guimarães, Portugal.
- Talaia, M. & Alves, J. (2011). A Condução e o Conforto Térmico na Segurança Rodoviária - Estudo de Percepção. In *6º Congresso Luso - Moçambicano de Engenharia e 3º Congresso de Engenharia de Moçambique Maputo*. Maputo.
- Talaia, M. & Gonçalves, S. (2014). Thermal indicators to evaluate the thermal feeling of the human being in an outside environment limited by atmospheric weather maps. In *International symposium on occupational safety and hygiene SHO2014- proceedings book* (pp. 444–446).
- Talaia, M., Meles, B. & Teixeira, L. (2013). Evaluation of the Thermal Comfort in Workplaces- a Study in the Metalworking Industry. In P. Arezes, J. S. Baptista, M. P. Barroso, P. Carneiro, P. Cordeiro, N. Costa, ... G. Perestrelo (Eds.), *Occupational Safety and Hygiene* (pp. 473–477). London: Taylor & Francis Group.
- Talaia, M. & Simões, H. (2009). Índices PMV e PPD na Definição da “performance” de um Ambiente. In *Livro de atas do V Encontro Nacional de Riscos e I Congresso Internacional de Riscos*. Coimbra, Portugal.
- Talaia, M., Teixeira, L. & Morgado, M. (2014). Detection of the thermal sensation in a workplace applying a color scale and the PMV index. In P. Arezes, J. S. Baptista, M. P. Barroso, P. Carneiro, P. Cordeiro, N. Costa, ... G. Perestrelo (Eds.), *Proceedings of the International Symposium on Occupational Safety and Hygiene* (pp. 438–440). Guimarães, Portugal: Sociedade Portuguesa de Segurança e Higiene Ocupacional.
- Thom, E. C. (1959). The Discomfort index. In *Weatherwise* (pp. 57–60). Boston.
- Wang, F. (2008). A Comparative Introduction on Sweating Thermal Manikin “ Newton ” and “ Walter .” In *7th International Thermal Manikin and Modelling Meeting*. Coimbra, Portugal.
- Wisner, A. (1992). A antropotecnologia. *Estudos Avançados*, 6(16). doi:10.1590/S0103-40141992000300003
- Yao, R., Li, B. & Liu, J. (2009). A theoretical adaptive model of thermal comfort – Adaptive Predicted Mean Vote (aPMV). *Building and Environment*, 44(10), 2089–2096. doi:10.1016/j.buildenv.2009.02.014
- Zingano, B. (2001). A discussion on thermal comfort with reference to bath water temperature to deduce a midpoint of the thermal comfort temperature zone. *Renewable Energy*, 23(1), 41–47. doi:10.1016/S0960-1481(00)00101-4

# ANEXOS

---

Anexo 1- Gráfico Psicrométrico nº1 de ASHRAE (2001)



## Anexo 2 – BPS: Bosch Production System

O *BPS*, *Bosch Production System*, é a base das operações e orientação dos processos. Designa-se como o design de processos logísticos e de produção de acordo com as necessidades do mercado e dos clientes. O sucesso do BPS depende da cooperação entre todas as partes envolvidas e prende-se com o alcance da satisfação do cliente e a criação de valor. Subjacentes a este conceito estão associados dois grandes aspetos, a produção *lean* (produção focada na redução de lead times, baixos custos e otimização dos processos) e a eliminação de desperdícios.

Os objetivos, os princípios e módulos apresentam-se como as três camadas do *BPS*. Os objetivos seguem o lema “*best in class*”, ou seja, a prática das melhores ações, processos, estratégias, equipamentos para a criação de um processo sustentável e rentável sem desperdícios.

A qualidade, o custo e o serviço de entrega são objetivos a ter em conta pelo *BPS* e que devem ser constantemente melhorados ao longo da cadeia de valor. A qualidade está relacionada com o objetivo “zero defeitos” que consiste na tentativa de uma produção perfeita, sem erros, de forma a diminuir o refugo, o retrabalho, falhas e valores ppm. O serviço de entrega é valorizado com o intuito de satisfazer os clientes, de modo a adequar os produtos à vontade e às necessidades dos mesmos, conseguindo tempos de entrega e tempos de percurso mais curtos, bem como a diminuição do tamanho dos lotes e redução de materiais acabados, semiacabados e matérias-primas. Por fim, os custos relacionam-se com o aumento da competitividade dos preços e também com a eliminação de desperdícios ao longo de todos os processos, investindo na redução dos custos de qualidade, custos de serviço, tempos em excesso e custos de material.

Os Princípios *BPS* são considerados os oito guias da produção *lean*, consistindo no sistema *pull* (sistema a puxar), orientação para o processo, qualidade perfeita, flexibilidade, standardização, eliminação de desperdícios e melhoria contínua, processos transparentes e envolvimento e delegação do poder aos colaboradores (*empowerment*).

O sistema *pull* (ver Figura 1) prende-se com o objetivo de produzir minimizando o stock e os desperdícios. Assim, a produção segundo esta filosofia só acontece se o cliente despoletar uma ação de produção, isto é, só se produz o que é requisitado pelo cliente.

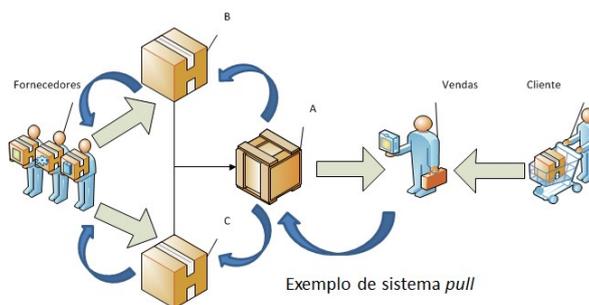


Figura 1- Sistema *Pull* [retirada de Daniel (2012)]

A orientação para o processo baseia-se na melhoria contínua dos processos, olhando para todas as suas dimensões, isto é, não olhando para cada posto individualmente, mas para o processo global. Assim, destaca-se a simplicidade e a velocidade do processo de produção de forma a beneficiar o cliente e minimizar os desperdícios ao longo do mesmo.

A qualidade perfeita premeia a prática “zero erros”, ou seja, ausência de falhas. O grande foco da Bosch é a perfeição de todas as suas atividades e ações, o que leva a que o processo produtivo esteja também adaptado para que seja concretizado com sucesso e da melhor forma. Neste sentido, destaca-se a ação de controlo dos processos para prevenir ocorrências denominadas como não conformes, criando medidas preventivas e ciclos de controlo rápidos para evitar erros repetidos.

A flexibilidade caracteriza-se como a capacidade de ajuste a constantes necessidades de mudança, necessária para reagir rapidamente aos novos requisitos impostos pelos clientes. Neste sentido, deverá ter-se uma estrutura adaptável e flexível na empresa, no que diz respeito aos equipamentos, ferramentas e colaboradores. Assim, os equipamentos da Bosch têm em atenção o ciclo de vida dos produtos, permitindo o desenvolvimento de constantes alterações sempre que se deseje no processo.

A standardização é relevante para a detenção de processos fiéis, mais flexíveis e para conferir estabilidade aos mesmos. Deste modo, são utilizados os processos, equipamentos ou métodos testados que consistam em casos de sucesso.

“*If you don't go forward, you go backward*” (Bosch, 2010), é o lema da melhoria contínua e eliminação de desperdícios, que significa que existe sempre oportunidade de melhoria. Este princípio apoia-se na standardização, mostrando que todos os processos deverão estar sob controlo e suscetíveis a correntes melhorias.

A transparência dos processos da Bosch confere uma completa divulgação e informação dos colaboradores referentes aos processos, dotando-os de uma maior compreensão dos mesmos e conseqüentemente uma melhor atuação. Assim, a transparência é sinónimo de uma melhor e constante otimização.

O envolvimento e delegação do poder aos colaboradores é fulcral para o desenvolvimento de todos os princípios anteriormente descritos. É com o *know-how* e criatividade dos mesmos que a Bosch alcança bons resultados, garantindo o sucesso da empresa.

São estes oito princípios *BPS* que conferem à Bosch: “*The right part, in the right quantity, in the right quality, at the right cost, at the right time, in the right place*” (Bosch, 2010).

Os módulos são considerados como ferramentas facilitadoras da implementação dos princípios *BPS*. Algumas destas ferramentas são o *TPM*, os *5S*, *VSD*, *Kanban*, entre outras.

### Anexo 3 – TPM: Total Productive Maintenance

O TPM, Total Productive Maintenance, é uma ferramenta baseada no TPS-Toyota Production System, mas adequada e centrada no ambiente e necessidades do Grupo Bosch. Esta ferramenta tem como objetivo o aproveitamento de todo o potencial dos colaboradores e a utilização eficaz dos equipamentos e da maquinaria da fábrica (ver Figura 2).

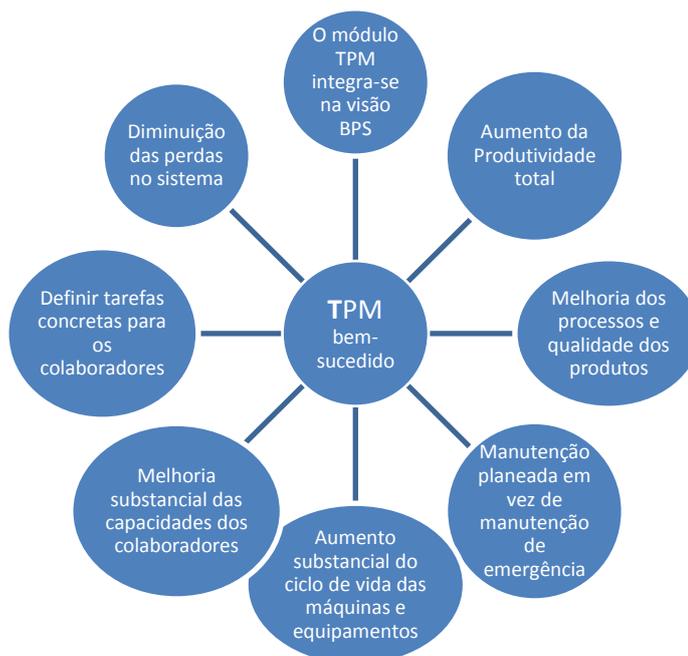


Figura 2 - Objetivos TPM [adaptado de Bosch (2010)]

Esta ferramenta focaliza-se em alguns princípios BPS, nomeadamente a standardização, a transparência, a flexibilidade, a melhoria contínua, a qualidade perfeita e o envolvimento dos colaboradores (Bosch, 2010).

O modelo TPM é standard da Bosch e pretende definir tarefas e atividades de manutenção preventiva e global para máquinas e equipamentos existentes com o objetivo de prevenir paragens não programadas e reduzir interrupções anteriormente programadas. Estas tarefas e atividades são desenvolvidas por equipas de produção e pessoal da manutenção local e central.

O TPM estabelece como metas os seguintes conceitos: zero avarias; zero efeitos e zero acidentes.

Como é evidenciado na Figura 3 este modelo assenta em 4 pilares: a eliminação dos principais problemas, manutenção autónoma, manutenção planeada e planeamento de novos equipamentos e o CIP.

O primeiro pilar, a eliminação dos principais, propõe que se assuma uma posição que vise a melhoria contínua, que elimine desperdícios, sendo por isso necessário um controlo sistemático

dos processos de forma a detetar as causas dos problemas e investir constantemente no aperfeiçoamento dos mesmos.

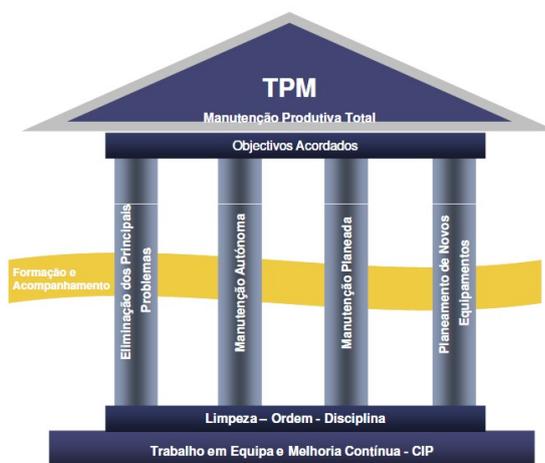


Figura 3 - Casa TPM [retirada de Bosch (2010)]

O segundo pilar, a manutenção autónoma, tem como objetivo a realização de todas as atividades de rotina, no que diz respeito a manutenções (limpezas, melhorias, lubrificações, inspeções, testes, ajustes, marcações, correções, standardizar, etc.) e reparações (substituição de peças de utilização, execução de pequenas reparações) por uma equipa de colaboradores formada para estas responsabilidades. É de notar que a partir destas ações os defeitos das máquinas e equipamentos são imediatamente reconhecidos e por sua vez corrigidos com segurança e rapidez (Bosch, 2010).

A manutenção planeada, ou seja, o terceiro pilar, tem como principal objetivo a manutenção rotineira dos equipamentos, o aumento do seu ciclo de vida através de medidas contínuas de manutenção e a redução das paragens não planeadas.

O último pilar, planeamento de novos equipamentos, tem como objetivo facilitar a manutenção, a acessibilidade e a utilização das instalações e equipamentos na fase de planeamento e aquisição. Neste sentido considera-se fulcral ter em atenção o *know-how* do colaborador da produção e da manutenção, pois é uma valiosa contribuição na recolha de requisitos para novas máquinas e equipamentos.

Associado a estes pilares destaca-se um grande leque de ferramentas que são aplicadas para o alcance dos objetivos *TPM*.

O *CIP*, *continuous improvement process*, consiste no processo de melhoramento contínuo de todas as áreas envolvendo a participação de todos os colaboradores com o objetivo de alcançar as metas definidas. Este baseia-se em sete critérios base (Bosch, 2010):

- Liderança- os líderes em cada área aplicam a melhoria contínua;
- Processo- melhoramento contínuo dos standards;

- Continuidade- confronto regular com o CIP nas reuniões;
- Melhoramento- alcance de melhorias mensuráveis e notificáveis;
- Áreas/setores- potencial de melhoramento em todas as áreas de trabalho;
- Envolvimentos dos colaboradores- colaboradores são considerados a fonte de melhoramento dos processos;
- Alcance dos objetivos- suporte do sucesso da empresa a longo prazo através do melhoramento contínuo.

É no critério 2, processo, que se destaca a ferramenta *Point-CIP*. O *Point CIP* é um processo de gestão para a deteção e eliminação permanente de problemas críticos na produção e logística (Bosch, 2010). Neste sentido este processo de gestão apresenta diversas ferramentas de suporte e controlo destes problemas, preocupando-se com:

- Standardização: Consiste na descrição de uma sequência de atividades, consistindo na forma mais simples, eficaz e segura de fazer as coisas. (Bosch, 2010).
- Sistema de reação rápido: este elemento é retratado pelos *response limits*, que são normalmente indicadores de desempenho e são utilizados para controlar sistematicamente a deteção de um desvio ou problema e categorizá-los.
- Comunicação regular: Suporta o processo de resolução de problemas através da discussão de todos os desvios em relação ao *standard*, confirmando medidas corretas e nomeando responsáveis para a resolução de problemas.
- Resolução sustentável de problemas: É usado quando as causas do problema não são muito claras, assim é desenvolvida uma FRP, folha de resolução de problemas, no sentido de perceber essas causas e definir medidas de ação.
- Confirmação de processo: é uma atividade que é desenvolvida frequentemente e permite confirmar que o processo está a ser desenvolvido de acordo com o *standard* pelos colaboradores, sendo ao mesmo tempo um momento de receção de sugestões dos colaboradores.

Em cada célula/linha é destacado um *team leader* que é responsável pela resolução de problemas e é ele que gere a linha e comunica com os seus superiores. Todas as manhãs está agendada uma reunião de *Point-CIP* a uma hora definida onde o *team leader* expõe aos participantes da reunião o que sucedeu no dia anterior e relata o estado atual da linha/célula. Durante esta reunião é analisado o quadro *Point-CIP* e são apresentados essencialmente três indicadores, o OEE, os PPMS e o M1.

O quadro *Point-CIP* é uma ferramenta composta por diversas secções e informação relativa à eficiência e eficácia da célula/linha. De uma forma geral os quadros *Point-CIP* apresentam informação relativa aos três indicadores mencionados anteriormente, no entanto a informação presente nos mesmos varia tendo em conta as métricas definidas para cada área.