



FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS
E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA MECÂNICA

Análise de Condições de Trabalho:

Stresse Térmico na Indústria Vidreira

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial

Autor

Diogo Curado Torres

Orientadores

Professor Doutor Divo Augusto Alegria Quintela

Professor Doutor Avelino Virgílio Monteiro de Oliveira

Júri

Presidente Professor Doutor **Cristóvão Silva**
Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

Vogal Professor Doutor **António Manuel Mendes Raimundo**
Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

Orientador Professor Doutor **Avelino Virgílio Monteiro de Oliveira**
Professor Adjunto no Departamento de Engenharia Mecânica
do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra

Coimbra, Abril, 2016

“Nada é permanente neste mundo cruel, nem mesmo os nossos problemas.”

Charlie Chaplin

À minha família.

Agradecimentos

Aos Professores Divo A. Quintela e A. Virgílio M. Oliveira pela disponibilidade demonstrada para me ajudar e esclarecer dúvidas.

Às empresas visitadas, que apesar de não poderem ser mencionadas, permitiram que este estudo fosse realizado.

Aos meus amigos, aqueles que sempre estiveram lá para mim, nos momentos bons e nos momentos menos bons.

A todas as pessoas que conheci enquanto estudante da Faculdade, por direta ou indiretamente terem contribuído para o meu crescimento pessoal e académico.

À minha família, por sempre ter acreditado em mim e me ter apoiado.

Por último mas não menos importante, queria agradecer aos meus pais, por todo o sacrifício, esforço e dedicação que tiveram ao longo destes anos para que tivesse a possibilidade de chegar aqui, a eles o meu mais sincero obrigado.

Resumo

O ser humano possui mecanismos termorreguladores capazes de manter o equilíbrio térmico. Contudo, em locais de trabalho com ambientes térmicos de temperaturas elevadas este equilíbrio pode ser perturbado, ocorrendo situações de stresse térmico, podendo levar a problemas de saúde e acidentes de trabalho.

O presente trabalho tem como objetivo estudar e analisar locais de trabalho sujeitos a elevadas temperaturas, nomeadamente a indústria vidreira, utilizando para isso o Índice de Bolbo Húmido e de Temperatura de Globo em que se baseia a Norma ISO 7243:1989 e o Índice de Sobrecarga Térmica Prevista em que se baseia a Norma ISO 7933:2004.

Para a realização das medições necessárias à utilização do Índice de Bolbo Húmido e de Temperatura de Globo é utilizado um equipamento próprio para o efeito.

Para a realização dos cálculos necessários à utilização do Índice de sobrecarga Térmica Prevista é utilizado um programa informático com um algoritmo próprio para a norma.

É feita uma apresentação e discussão dos resultados de onde se retiraram as devidas conclusões, sendo as mais importantes a diferença de resultados obtidos com os diferentes índices, nomeadamente o facto de com o Índice de Bolbo Húmido e de Temperatura de Globo apenas a Zona de Fabrico 3 se encontrar abaixo dos limites, enquanto com o Índice de Sobrecarga Térmica Prevista apenas a Zona de Fabrico 4 apresenta níveis preocupantes para o trabalhador.

Palavras-chave: Equilíbrio Térmico, Stresse Térmico, Índice de Bolbo Húmido e de Temperatura de Globo, Índice de Sobrecarga Térmica Prevista, Indústria Vidreira

Abstract

The human being has thermoregulatory mechanisms capable of maintaining the thermal balance. However, in workplaces with thermal environments of elevated temperatures this balance may be disturbed, taking to health problems and work accidents.

The present study aims to study and analyze workplaces subjected to high temperatures, such as the glass industry, making use of the Wet Bulb and Globe Temperature Index, in which the international standard ISO 7243: 1989 is based, and the Predicted Heat Strain Index, in which the international standard ISO 7933: 2004 is based.

To make the measurements required to apply the WBGT Index is used an appropriate equipment.

To make the necessary calculations of the PHS Index is used an informatics program with an algorithm related to the international standard.

Is made an analysis and discussion of the results from which is withdrew the conclusions, being the most important the difference of results obtained with the different indexes, namely the fact that with the Wet Bulb and Globe Temperature Index only the Manufacturing Zone 3 is below the limits, while with the Predicted Heat Strain Index only the Manufacturing Zone 4 presents concerning levels for the worker.

Keywords Thermal Balance, Thermal Stress, WBGT Index, PHS Index, Glass Industry

Índice

Índice de Figuras	v
Índice de Tabelas	vi
Simbologia.....	vii
Siglas	viii
1. Introdução.....	1
1.1. Objetivos.....	2
1.2. Síntese de Conteúdos	2
2. O Calor, Conforto Térmico e Stresse Térmico.....	3
2.1. O Calor.....	3
2.1.1. Patologias e alterações fisiológicas	3
2.1.2. Medidas preventivas para a exposição ao calor.....	5
2.2. Conforto Térmico e Stresse Térmico	7
2.2.1. Conforto térmico e variáveis que o influenciam	7
2.2.2. Stresse térmico e variáveis que o influenciam.....	8
3. Índices de Stresse Térmico	10
3.1. Temperatura de Bolbo Húmido e de Globo (WBGT)	10
3.1.1. Princípios e métodos de avaliação.....	10
3.2. Sobrecarga Térmica Prevista (PHS)	12
3.2.1. Princípios e métodos de avaliação.....	13
3.2.2. Principais etapas do cálculo.....	13
3.2.3. Cálculo da taxa de evaporação requerida (<i>E_{req}</i>), do humedecimento da pele requerido (<i>W_{req}</i>) e da taxa de sudação requerida (<i>Sw_{req}</i>)	16
3.2.4. Interpretação e análise da taxa de sudação requerida e determinação do tempo máximo limite de exposição admitido.....	17
4. Metodologia, Material Utilizado e Ensaio de Campo	20
4.1. Metodologia	20
4.2. Material Utilizado	21
4.2.1. Índice WBGT	21
4.2.2. Índice PHS.....	23
4.3. Ensaio de Campo	24
5. Apresentação e discussão de resultados	26
5.1. Índice WBGT.....	26
5.2. Índice PHS	28
5.2.1. Temperatura rectal.....	31
5.2.2. Perda de água total.....	31
5.2.3. Tempo máximo admissível.....	32
5.2.4. Humedecimento cutâneo	33
5.2.5. Taxa de Sudação	34
5.2.6. Débito evaporativo	35

6. Conclusões.....	36
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38
ANEXO A	40
ANEXO B	44
ANEXO C	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Representação esquemática das condições necessárias para a obtenção do conforto térmico	7
Figura 2 – Termómetro.....	9
Figura 3 – Anemómetro.....	9
Figura 4 – Higrómetro	9
Figura 5 – Aparelho 1219 da <i>Brüel & Kjaer</i>	21
Figura 6 – Conjunto de sensores de temperaturas: sensor de bolbo húmido natural (a), sensor de bolbo seco (b) e sensor de globo negro (c).....	21
Figura 7 – Posicionamento dos sensores de acordo com a tabela 3	22
Figura 8 – Layout da fábrica 1.....	24
Figura 9 – Layout da fábrica 2.....	25
Figura 10 – Valores WBGT médios obtidos e valores WBGT limite.....	26
Figura 11 – Resultados da temperatura rectal	31
Figura 12 – Resultados da perda de água total para 8h de trabalho	31
Figura 13 – Resultados dos diferentes tempos máximos admissíveis.....	32
Figura 14 – Resultados do humedecimento cutâneo	33
Figura 15 – Resultados das taxas de sudação	34
Figura 16 – Resultados do débito evaporativo	35

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Valores de metabolismo e valores de referência WBGT (adaptado de <i>ISO 7243:1989</i>)	11
Tabela 2 – Valores máximos dos critérios de seleção para o cálculo do tempo de exposição admissível.....	18
Tabela 3 – Altura normalizada para a colocação dos sensores.....	22
Tabela 4 – Valores de referência para validação do modelo PHS (adaptado da <i>ISO 7933:2004</i>).....	23
Tabela 5 – Dados de entrada para o programa de cálculo de PHS.....	28
Tabela 6 – Dados de saída resultantes do programa de cálculo de PHS	30

SIMBOLOGIA

Símbolo	Descrição	Unidades
A_{Du}	Área da superfície corporal de <i>DuBois</i>	m^2
C	Troca de calor por convecção	W/m^2
C_{res}	Troca de calor por convecção na respiração	W/m^2
c_e	Calor latente da evaporação de água	$J/kg \cdot ^\circ C$
c_p	Calor específico do ar a pressão constante	$J/kg \cdot ^\circ C$
D_{max}	Limite máximo para a perda de água do organismo	$W \cdot h/m^2$ ou g
dS_{eq}	Variação do calor armazenado no corpo humano	W/m^2
E	Troca de calor por evaporação	W/m^2
E_{max}	Débito evaporativo máximo	W/m^2
E_p	Débito evaporativo previsto	W/m^2
E_{req}	Débito evaporativo requerido	W/m^2
E_{res}	Troca de calor por evaporação na respiração	W/m^2
f_{cl}	Fator de área do vestuário	<i>adm</i>
h_{cdyn}	Coefficiente global de transferência de calor por convecção entre o vestuário e o ar envolvente	$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$
h_r	Coefficiente de transferência de calor por radiação entre a superfície exterior do vestuário e as superfícies envolventes	$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$
HR	Humidade relativa	%
I_{cl}	Isolamento térmico global do vestuário	<i>clo</i>
K	Troca de calor por condução	W/m^2
M	Taxa metabólica de produção de calor	W/m^2
p_a	Pressão parcial de vapor de água	<i>kPa</i>
$p_{sk,s}$	Pressão de saturação do vapor de água à temperatura da pele	<i>kPa</i>
R	Troca de calor por radiação	W/m^2
r_{req}	Eficiência do processo de evaporação requerida	<i>adm</i>
R_{tdyn}	Resistência total de evaporação entre a camada limite de ar e a pele	$m^2 \cdot kPa/W$
S	Calor armazenado no corpo	W/m^2

Sw_{max}	Taxa de sudação máxima	W/m^2
Sw_p	Taxa de sudação prevista	W/m^2
Sw_{req}	Taxa de sudação requerida	W/m^2
t_a	Temperatura do ar ambiente	$^{\circ}C$
t_{bhn}	Temperatura do bolbo húmido natural	$^{\circ}C$
t_{ex}	Temperatura do ar expirado	$^{\circ}C$
t_g	Temperatura do globo	$^{\circ}C$
t_r	Temperatura média radiante	$\backslash C$
$t_{re,max}$	Temperatura rectal máxima	$^{\circ}C$
t_{re}	Temperatura rectal	$^{\circ}C$
t_{sk}	Temperatura média da pele	$^{\circ}C$
V	Caudal mássico de ar da respiração	l/min
v_{ar}	Velocidade do ar	m/s
W	Trabalho mecânico externo	W/m^2
w	Fração equivalente da superfície da pele	adm
W_a	Humidade absoluta do ar inspirado	$kg_{\acute{a}gua}/kg_{ar\ seco}$
W_{ex}	Humidade absoluta do ar expirado	$kg_{\acute{a}gua}/kg_{ar\ seco}$
w_{max}	Humedecimento cutâneo máximo	adm
w_p	Humedecimento cutâneo previsto	adm
w_{req}	Humedecimento cutâneo requerido	adm
θ	Ângulo entre a direção do deslocamento e a direção do vento	$^{\circ}$

Siglas

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

ISO – International Organization for Standardization

PHS – Predicted Heat Strain

PHS calculator – Programa de cálculo do Predicted Heat Strain

WBGT – Wet Bulb Globe Temperature

WHO – World Health Organization

1. INTRODUÇÃO

Desde os tempos primórdios, o ser humano sempre viveu em ambientes em que ocorriam variações térmicas elevadas, havendo sempre necessidade de se adaptar. Assim, com o passar dos anos, este desenvolveu mecanismos no seu organismo que lhe permitiram sobreviver ao longo dos tempos. Um destes mecanismos é o termorregulador, que lhe permite manter uma temperatura constante apesar das variações térmicas ao seu redor. Este mecanismo atua consoante o esforço realizado para manter o equilíbrio térmico, sendo que o ser humano pode sentir conforto térmico caso não exista desequilíbrio, desconforto térmico caso o esforço para restaurar o equilíbrio seja baixo e stresse térmico caso o esforço seja elevado (WHO,1969).

O stresse térmico tem efeitos nefastos no ser humano, uma vez que perturba o equilíbrio térmico corporal. Um indivíduo em stresse térmico vê diminuídos os seus níveis de concentração, capacidade física e saúde, comprometendo assim a sua segurança e reduzindo a sua produtividade (Estrela,2013).

A indústria vidreira é uma das mais antigas indústrias portuguesas (séc. XVIII), sendo também uma das indústrias onde existe maior incidência de stresse térmico nos trabalhadores devido às elevadas temperaturas necessárias para a transformação do vidro.

Por tudo isto torna-se importante a realização deste estudo sobre as condições de stresse térmico na indústria vidreira, de modo a verificar as condições em que os trabalhadores se encontram e procurar medidas que minimizem ou eliminem esse stresse, contribuindo assim para uma melhoria das condições de trabalho e bem-estar dos trabalhadores.

1.1. Objetivos

O objetivo deste estudo é caracterizar o ambiente térmico na indústria vidreira portuguesa. Para tal, foram recolhidos e analisados os dados de oito zonas de fabrico.

Os resultados são analisados à luz de normas internacionais baseadas nos Índices Wet Bulb Globe Temperature (*ISO 7243:1989*) e Predicted Heat Strain (*ISO 7933:2004*).

A partir das análises efetuadas, pretende-se verificar a ocorrência de casos de stresse térmico, identificar as causas e indicar medidas corretivas e preventivas.

1.2. Síntese de Conteúdos

Esta dissertação encontra-se dividida em seis capítulos.

No primeiro capítulo procede-se ao enquadramento do tema e definem-se os objetivos da dissertação.

No segundo capítulo é abordado o tema do calor, patologias e alterações fisiológicas, medidas preventivas e conforto e stresse térmicos, bem como as variáveis que o influenciam.

No terceiro capítulo descrevem-se os índices WBGT e PHS.

No quarto capítulo apresenta-se a metodologia de medição, o material utilizado para efetuar as medições e a forma como é conduzido o ensaio de campo.

No quinto capítulo é feita a apresentação e análise dos resultados obtidos.

No sexto capítulo são apresentadas as conclusões do presente estudo.

2. O CALOR, CONFORTO TÉRMICO E STRESSE TÉRMICO

2.1. O Calor

O ser humano tem uma temperatura corporal interior média aproximadamente constante, próxima dos 37°C. Isto deve-se a mecanismos internos de autorregulação que controlam as trocas de calor entre o corpo e o meio ambiente. Quando este equilíbrio é perturbado o corpo reage de modo a restabelecê-lo.

O corpo humano apresenta quatro mecanismos de troca de calor com o meio ambiente:

- Condução;
- Convecção;
- Radiação;
- Evaporação.

Estes mecanismos afetam o equilíbrio corporal, sendo que a exposição ao frio e ao calor desencadeiam tremores e/ou transpiração de modo a repor o equilíbrio corporal. Quando o corpo é submetido a condições ambientais severas, os mecanismos internos de autorregulação perdem eficácia, surgindo assim alterações físicas e psíquicas que em casos extremos podem dar origem a danos irreversíveis.

2.1.1. Patologias e alterações fisiológicas

A exposição excessiva ao calor cria várias patologias no corpo humano. Assim, nos parágrafos seguintes descreve-se, de forma sucinta, as principais patologias e alterações fisiológicas resultantes da exposição ao calor que podem ser encontradas na norma ISO 12894:2001 relativa à supervisão médica de indivíduos expostos a condições extremas de calor e frio.

2.1.1.1. Golpe de calor

É considerado o principal problema de saúde associado ao calor, uma vez que resulta da combinação de elevadas temperaturas e esforço físico intenso. Esta combinação faz com que a capacidade dos mecanismos internos de termorregulação sejam afetados, impedindo o necessário arrefecimento corporal através da evaporação do suor e resultando na elevação da temperatura corporal acima de 41°C, levando a que a pessoa possa desmaiar e não receba o auxílio necessário, podendo em casos extremos levar a danos cerebrais ou até mesmo à morte.

2.1.1.2. Cãibras de calor

São espasmos musculares graves, normalmente na zona das pernas, braços e abdómen, resultantes da perda excessiva de líquidos e sódio, decorrentes da uma atividade física intensa em ambientes quentes.

2.1.1.3. Síncope de calor

Ocorre após um longo período de imobilização em ambientes quentes, levando à concentração sanguínea na circulação venosa da pele e dos músculos, o que faz com que o cérebro não receba oxigénio suficiente, podendo provocar tonturas, vertigens, náuseas e desmaios.

2.1.1.4. Esgotamento por desidratação

Quando não há uma reposição de água no organismo suficiente para compensar a perda de água por transpiração, ocorre o esgotamento por desidratação. Um indivíduo aclimatado consegue sobreviver mais dias sem ingerir líquidos do que um indivíduo não aclimatado, sendo que este tempo diminui consoante aumentam as condições térmicas em que se encontra.

2.1.1.5. Esgotamento por depleção salina

Ocorre quando a reposição de sal no organismo é insuficiente para compensar as perdas resultantes da exposição a temperaturas elevadas e do esforço físico intenso. Num ambiente quente e em situações de esforço físico intenso, um indivíduo pode perder grandes quantidades de cloreto de sódio através da transpiração, levando à depleção salina caso certos limites sejam ultrapassados, sendo os limites menores e as perdas maiores em indivíduo não aclimatados.

2.1.1.6. Outros efeitos do calor

Para além dos efeitos mencionados anteriormente, é possível ainda haver deficiência de suor, que pode provocar sensações de calor, esgotamento e aumento repentino do ritmo cardíaco, erupções cutâneas, que podem ocorrer em qualquer parte do corpo mas têm maior incidência nas zonas húmidas (axilas, virilhas, entre outros), edemas de calor (dilatação dos pés e tornozelos) e hiperventilação de calor, que resulta da diminuição da concentração de dióxido de carbono na circulação arterial.

2.1.2. Medidas preventivas para a exposição ao calor

Para combater a prolongada exposição ao calor e aos seus efeitos, é possível tomar um conjunto de medidas para minimizar ou eliminar os seus efeitos. As medidas preventivas podem ser de três níveis: a nível das fontes de calor, a nível do ambiente de trabalho e a nível do indivíduo.

2.1.2.1. Fontes de Calor

Relativamente às fontes de calor, pode-se recorrer a sistemas de isolamento de modo a minimizar os ganhos associados às fontes de calor no interior do edifício.

2.1.2.2. Ambiente de trabalho

Relativamente ao ambiente de trabalho, em caso de o ar ambiente ter temperaturas elevadas, pode-se recorrer a sistemas de climatização e ventilação de modo a diminuir essas temperaturas, caso as temperaturas elevadas não sejam um requisito do processo produtivo.

2.1.2.3. Indivíduo

A nível no indivíduo, é possível tomarem-se vários tipos de medidas, as quais se descrevem, de forma resumida, nas secções seguintes.

2.1.2.4. Aclimação

Consiste da adaptação do organismo a ambientes de temperaturas elevadas. Um indivíduo não aclimatado apresenta maiores temperaturas da pele e rectal e menor transpiração. É portanto importante aclimatar um indivíduo de modo a que ele se adapte ao trabalho em ambientes quentes, devendo ser feita gradualmente. Após a aclimação, o indivíduo possui maior resistência ao calor, bem como uma otimização dos mecanismos de sudação.

2.1.2.5. Preparação Física

O trabalhador deve adotar uma boa preparação física de modo a ter uma maior resistência física ao desgaste elevado sentido por este, provocado pelo trabalho em ambientes térmicos quentes.

2.1.2.6. Limitação do tempo de exposição

O tempo de exposição deve ser limitado de modo a reduzir a sobrecarga térmica a que o trabalhador se encontra sujeito. O limite deve ser dado de acordo com as características físicas do trabalhador e ambientais do local de trabalho; contudo, estes limites são difíceis de definir uma vez que variam de indivíduo para indivíduo, nomeadamente as características físicas, a atividade realizada, o vestuário utilizado e a circulação de ar dentro do local de trabalho.

2.1.2.7. Exames médicos

Devem ser efetuados exames médicos antes da admissão de novos trabalhadores de modo a detetar problemas que possam existir em relação ao trabalho em ambientes térmicos quentes e realizar exames médicos periódicos nos trabalhadores de modo a monitorizar o seu estado de saúde, principalmente em trabalhadores mais velhos.

2.1.2.8. Equipamento de proteção individual

A adoção de equipamento de proteção individual protege o trabalhador do calor, evitando assim a sobrecarga térmica deste, favorecendo a manutenção do equilíbrio térmico corporal.

2.1.2.9. Ingestão de água e sal

De modo a compensar as perdas de água e sal decorrentes da transpiração, deve-se efetuar uma ingestão recorrente de água e sal de modo a repor os níveis que otimizem o processo de evaporação da pele, uma vez que a desidratação causada pela atividade laboral pode diminuir o seu desempenho.

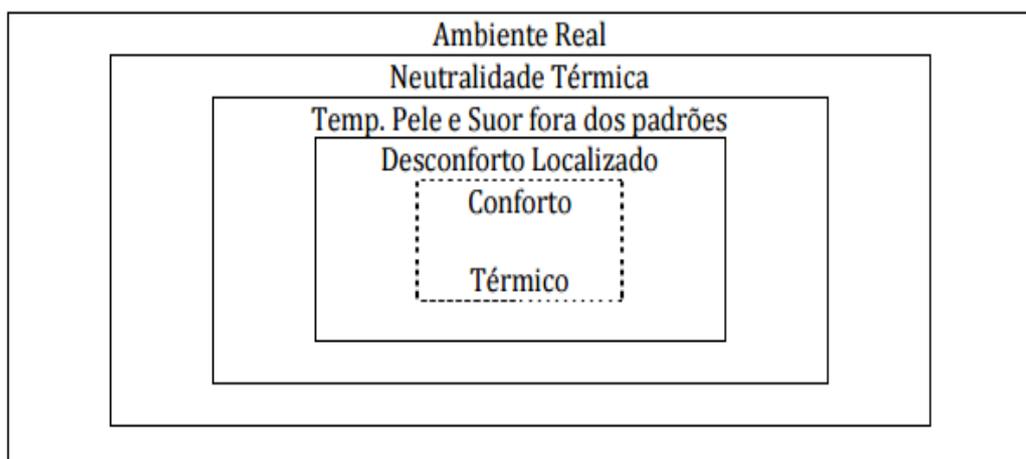
2.2. Conforto Térmico e Stresse Térmico

2.2.1. Conforto térmico e variáveis que o influenciam

Segundo o ANSI/ASHRAE Standard 55 (2013), o conforto térmico pode-se definir como “A condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico”.

O conforto térmico é afetado quando existe um desconforto localizado, tais como uma corrente de ar ou assimetria de radiação, o que leva a que a temperatura da pele e o suor saiam dos padrões, fazendo com que a neutralidade térmica com o ambiente envolvente se altere, deixando de existir conforto térmico. Este processo pode ser representado através da Figura 1.

Figura 1 – Representação esquemática das condições necessárias para a obtenção do conforto térmico
Fonte: (Lamberts, 2008)



Assim, são exigidas três condições para um indivíduo atingir o conforto térmico:

- Encontrar-se em equilíbrio térmico;
- A temperatura da pele, bem como a secreção de suor, encontrarem-se dentro dos limites indicados para a sua atividade;
- Não estar sujeito a desconforto localizado.

Para a grande maioria das pessoas, os limites de conforto térmico situam-se entre os 20 e os 25°C no que diz respeito à temperatura, e entre os 30 e os 70% no que diz respeito à humidade do ar. Quando estes limites são ultrapassados inicia-se o desconforto térmico e surge um mal-estar, diminuindo assim a apetência para o trabalho uma vez que poderá existir exaustão ou incapacidade por parte do trabalhador.

2.2.2. Stresse térmico e variáveis que o influenciam

O stresse térmico pode ser definido como “O estado psicofisiológico a que está submetida uma pessoa, quando exposta a situação ambientais extremas de frio ou calor” (Lamberts, 2008).

A condição de conforto ou stresse térmicos depende de seis fatores, sendo dois de carácter subjetivo (pois não dependem do meio ambiente), e quatro de carácter ambiental (pois dependem do meio ambiente).

Os fatores de carácter subjetivo são:

- Nível de atividade física da pele, M , (W/m^2);
- Isolamento térmico do vestuário, I_{cl} , (clo);

Os fatores de carácter ambiental são:

- Temperatura do ar, T_a , ($^{\circ}C$)
- Temperatura média radiante, t_r , ($^{\circ}C$)
- Velocidade do ar, V_{ar} , (m/s)
- Humidade relativa, HR, (%)

Nível de atividade física, M: A unidade é o W/m^2 de pele, podendo também ser medido em Met, sendo $1 \text{ Met} = 58,15 \text{ W/m}^2$. Está diretamente ligado a cada indivíduo, uma vez que corresponde à energia libertada sob a forma de calor durante um determinado período de tempo, sendo esta energia mínima durante o sono e máxima aquando da realização de atividades fisicamente exigentes. Varia normalmente entre os 46 W/m^2 e os 232 W/m^2 (0,8Met e 4Met) (Cardoso, 2013). A determinação da taxa metabólica deve ser feita de acordo com as especificações da norma *ISO 8996:2004*, podendo ser determinada a partir de tabelas de referência, através da medição do batimento cardíaco ou do consumo de oxigénio (Anexo A). Devido à natureza do índice WBGT, é suficiente estimá-la a partir das tabelas de referência.

Isolamento térmico do vestuário, Icl: A unidade é o clo, podendo também ser medida em $m^2 \cdot ^\circ C/W$, sendo $1 \text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2 \cdot ^\circ C/W$. Estes valores foram determinados através de manequins térmicos (Fanger,1970), estando presentes em tabelas na norma ISO 8996:2004. Varia normalmente entre 0 e 2 clo ($0 \text{ m}^2 \cdot ^\circ C/W$ e $0,310 \text{ m}^2 \cdot ^\circ C/W$) (Cardoso, 2013).

Temperatura do ar, T_a : A unidade é o $^\circ C$, podendo também ser medida em Fahrenheit e Kelvin. Corresponde à temperatura seca do ar, sendo que um aumento de $3,5 \text{ }^\circ C$ na pele em relação à temperatura corporal interna provoca uma sensação de desconforto térmico. Intervém nas trocas convectivas entre o indivíduo e o meio ambiente. Pode ser medida com um termómetro (Figura 2).

Figura 2 – Termómetro
(<http://www.femto.es/>)



Temperatura média radiante, t_r : A unidade é o $^\circ C$, podendo também ser medida em Fahrenheit e Kelvin. É a temperatura de um espaço fechado imaginário e uniforme em que a transferência de calor radiante a partir do corpo do indivíduo para esse espaço é igual à transferência de calor deste no espaço em questão. Pode ser estimada a partir de medições efetuadas com um sensor de globo negro, que será descrito mais à frente.

Velocidade do ar, V_{ar} : A unidade é o m/s. É uma grandeza vetorial, uma vez que é definida pela sua velocidade e direção. O seu aumento ou diminuição causa o aumento ou diminuição das trocas convectivas entre o indivíduo e o meio ambiente devido à alteração do coeficiente de transferência de calor. Pode ser medida com um anemómetro (Figura 3).

Figura 3 – Anemómetro
(<http://tpmequipos.com>)



Humidade relativa, %: Exprime-se em %, pois é a relação entre a pressão de vapor do ar (medida em pascal) e a pressão de vapor do ar obtida em condições de equilíbrio ou saturação sobre uma superfície de água líquida, ou seja, é a relação entre a quantidade de água existente no ar (humidade absoluta) e a quantidade máxima que poderia haver à mesma temperatura (ponto de saturação). Pode ser medida com um higrómetro (Figura 4).

Figura 4 – Higrómetro
(<https://www.pce-instruments.com>)



3. ÍNDICES DE STRESSE TÉRMICO

3.1. Temperatura de Bolbo Húmido e de Globo (WBGT)

O índice WBGT é o índice em que se baseia a norma *ISO 7243:1989*, e é um índice que tem como principal objetivo avaliar de maneira rápida em ambientes industriais o stresse térmico a que os trabalhadores estão sujeitos devido a uma excessiva exposição ao calor, durante um período representativo da sua atividade. Não pode ser aplicado quando:

- O trabalhador está exposto a temperaturas elevadas durante um curto período de tempo;
- O trabalhador realiza atividade física intensa pontualmente;
- As temperaturas do meio envolvente se encontram próximas da zona de conforto.

3.1.1. Princípios e métodos de avaliação

O stresse térmico a que um indivíduo está sujeito depende do calor interno produzido pela atividade física realizada combinado com as características térmicas do meio envolvente, resultando assim numa troca de calor entre ambos.

O índice WBGT resulta da medição de três parâmetros:

- Temperatura do bolbo húmido natural (T_{bhn});
- Temperatura do globo (T_g);
- Temperatura do ar ou temperatura de bolbo seco (T_a).

A maneira como são utilizados os parâmetros varia consoante o local em que são realizadas as medições.

No interior de edifícios e no exterior de edifícios sem exposição solar é utilizada a equação:

$$WBGT = 0,7 \times T_{bhn} + 0,3 \times T_g \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (1)$$

No exterior de edifícios com exposição solar é utilizada a equação:

$$WBGT = 0,7 \times T_{bhn} + 0,2 \times T_g + 0,1 \times T_a \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (2)$$

Existem sempre variações nos valores medidos, devendo-se utilizar no cálculo do índice WBGT os valores médios resultantes das medições realizadas num determinado período de tempo.

Uma vez calculado o índice WBGT, este deve ser comparado com os valores de referência da Tabela 1.

Tabela 1 – Valores de metabolismo e valores de referência WBGT (adaptado de ISO 7243:1989)

Classe de Metabolismo	Taxa metabólica, M		Valores limite de WBGT			
	Relativo à unidade de superfície de pele [W/m ²]	Total (para uma área média de superfície de pele de 1,8 m ²) [W]	Pessoa aclimatada ao calor [°C]		Pessoa não aclimatada ao calor [°C]	
0 (repouso)	M < 65	M < 117	33		32	
1	65 < M < 130	117 < M < 234	30		29	
2	130 < M < 200	234 < M < 360	28		25	
			Sem movimento de ar sensível	Com movimento de ar sensível	Sem movimento de ar sensível	Com movimento de ar sensível
3	200 < M < 260	360 < M < 468	25	26	22	23
4	M > 260	M > 468	23	25	18	20

Nota: Valores limite de exposição para os quais a maioria dos indivíduos pode ser exposta sem efeitos nocivos para estes, sobre determinadas condições: temperatura rectal menor ou igual a 38°C, vestidos normalmente ($I_{cl} \approx 0,6 clo$), fisicamente aptos para a atividade designada e em boa condição médica.

Depois de recolhidos os dados, procede-se à sua análise e comparam-se com os valores de referência da Tabela 1. Caso os valores sejam superiores pode-se proceder a uma de duas opções:

- Reduzir o stresse térmico através da adoção de medidas apropriadas (diminuição da carga de trabalho, duração do tempo de exposição, redução do calor do meio envolvente);
- Caso não seja possível, proceder a uma análise mais detalhada do stresse térmico usando métodos mais elaborados mas que são também mais demorados e difíceis de aplicar.

3.2. Sobrecarga Térmica Prevista (PHS)

O índice PHS (Predicted Heat Strain) é o índice em que se baseia a norma *ISO 7933:2004* e tem como principal objetivo proporcionar informação mais detalhada sobre o stresse térmico a que um trabalhador poderá estar sujeito no seu local de trabalho. Surge devido ao facto de a norma *ISO 7243:1989* ser uma norma muito abrangente que apenas dá ênfase às temperaturas a que ao trabalhador se encontra sujeito, à taxa metabólica e ao vestuário utilizado, descurando outros aspetos, nomeadamente:

- A influência do vestuário nas trocas convectivas e evaporativas;
- A relação causa/efeito entre o vestuário e os movimentos;
- O aumento da temperatura interna consoante a atividade desempenhada;
- A previsão da temperatura da pele;
- A perda máxima de água;
- A duração da exposição máxima permitida.

Assim, podemos afirmar que a norma *ISO 7933:2004* é uma versão melhorada da norma *ISO 7243:1989*, uma vez que, além dos fatores externos ao corpo humano, tem também em consideração os fatores internos deste, tais como a temperatura retal ou a perda de água, permitindo assim uma melhor compreensão deste e a aplicação de medidas preventivas e corretivas para a saúde do trabalhador.

3.2.1. Princípios e métodos de avaliação

Este método avalia o balanço térmico do corpo em função de parâmetros de dois tipos:

- Parâmetros individuais do trabalhador, nomeadamente:
 - Nível de atividade física (taxa metabólica), M , (W/m^2);
 - Isolamento térmico das roupas utilizadas, I_{cl} , (clo);

- Parâmetros físicos característicos do ambiente, nomeadamente:
 - Temperatura do ar, T_a , ($^{\circ}C$)
 - Temperatura média radiante, t_r , ($^{\circ}C$)
 - Velocidade do ar, V_{ar} , (m/s)
 - Pressão parcial do vapor de água, p_a , (kPa)

De referir que os parâmetros físicos característicos do ambiente são estimados de acordo com a norma *ISO 7726:1988*, enquanto a nível dos parâmetros individuais do trabalhador a taxa metabólica é estimada de acordo com a norma *ISO 8996:2004* e o isolamento térmico do vestuário é estimado de acordo com a norma *ISO 9920:2007*.

3.2.2. Principais etapas do cálculo

- **Equação geral do balanço térmico:**

O balanço térmico pode ser traduzido pela equação:

$$M - W = C_{res} + E_{res} + K + C + R + E + S \quad [W/m^2] \quad (3)$$

Verifica-se que a diferença entre o calor interno produzido (M) e o trabalho mecânico externo (W) é igual à soma de todas as restantes trocas de calor entre o corpo e o meio envolvente, nomeadamente por convecção (C_{res}) e evaporação (E_{res}) através da respiração, e por condução (K), convecção (C), radiação (R) e evaporação (E) através da pele, e eventualmente pelo calor armazenado no corpo (S).

- **Trabalho Mecânico Externo, (W)**

Na maioria das situações industriais, o trabalho mecânico externo, W [W/m^2], é em muitas situações mínimo, podendo ser desprezado.

- **Trocas de calor na respiração por calor sensível, (C_{res})**

As trocas de calor na respiração por calor sensível, C_{res} [W/m^2], podem ser estimadas a partir de:

$$C_{res} = 0,072 \times c_p \times V \times \frac{t_{ex} - t_a}{A_{Du}} \quad [W/m^2] \quad (4)$$

em que c_p [$J/(kg \cdot ^\circ C)$] representa o calor específico a pressão constante do ar, V [L/min] o caudal mássico da respiração, t_{ex} [$^\circ C$] a temperatura do ar expirado, t_a [$^\circ C$] a temperatura do ar atmosférico e A_{Du} [m^2] a área de superfície corporal de DuBois.

- **Trocas de calor na respiração por evaporação, (E_{res})**

As trocas de calor na respiração por evaporação, E_{res} [W/m^2], podem ser estimadas a partir de:

$$E_{res} = 0,072 \times c_e \times V \times \frac{W_{ex} - W_a}{A_{Du}} \quad [W/m^2] \quad (5)$$

em que c_e [$J/(kg \cdot ^\circ C)$] representa o calor latente de evaporação de água, W_{ex} [$kg_{\text{água}}/kg_{\text{ar seco}}$] a humidade absoluta do ar expirado e W_a [$kg_{\text{água}}/kg_{\text{ar seco}}$] a humidade absoluta do ar inspirado.

- **Trocas de calor por condução, (K)**

As trocas de calor por condução, K [W/m^2], não são diretamente tidas em conta uma vez que as trocas de calor por condução entre a superfície da pele e um objeto sólido são quantitativamente equivalente às trocas de calor por convecção e radiação que ocorreriam se a superfície da pele não estivesse em contato com qualquer objeto sólido.

- **Trocas de calor por convecção, (C)**

As trocas de calor por convecção entre a superfície da pele e o meio envolvente podem ser estimadas a partir de:

$$C = h_{cdyn} \times f_{cl} \times (t_{sk} - t_a) \quad [W/m^2] \quad (6)$$

em que $h_{cdyn}[W/(m^2 \cdot ^\circ C)]$ representa o coeficiente de transferência de calor por convecção dinâmico entre a superfície da pele e o ar ambiente e que tem em conta as características do vestuário e os movimentos corporais e do ar, $f_{cl}[adm]$ o fator de área do vestuário e $t_{sk}[^\circ C]$ a temperatura média da pele.

- **Trocas de calor por radiação, (R)**

As trocas de calor por radiação entre a superfície da pele e o meio envolvente, R $[W/m^2]$, podem ser estimadas a partir de:

$$R = h_r \times f_{cl} \times (t_{sk} - t_r) \quad [W/m^2] \quad (7)$$

em que $h_r [W/(m^2 \cdot ^\circ C)]$ representa o coeficiente de transferência de calor por radiação entre a superfície da pele e o ar ambiente e que tem em conta as características do vestuário e os movimentos corporais e do ar e $t_r[^\circ C]$ a temperatura média radiante.

- **Troca de calor por evaporação, (E)**

A troca de calor máxima por evaporação na superfície da pele é atingida quando a superfície da pele se encontra completamente humedecida, $E_{max} [W/m^2]$, podendo ser estimada a partir de:

$$E_{max} = \frac{p_{sk,s} - p_a}{R_{tdyn}} \quad [W/m^2] \quad (8)$$

em que $p_{sk,s} [kPa]$ representa a pressão de saturação do vapor de água à temperatura da pele, $p_a [kPa]$ a pressão parcial do vapor de água do ar ambiente e $R_{tdyn} [m^2 \cdot kPa/W]$ a resistência total à evaporação entre a superfície da pele e a camada limite do ar ambiente.

Caso a pele se encontre apenas parcialmente humedecida, a troca de calor por evaporação é dada pela equação 9:

$$E = w \times E_{max} \quad [W/m^2] \quad (9)$$

em que $w[adm]$ representa a fração equivalente da superfície da pele que pode ser considerada totalmente humedecida.

- **Armazenamento de calor, (S)**

O armazenamento de calor no corpo $S [W/m^2]$, é dado pela soma algébrica de todos os fluxos de calor definidos anteriormente.

3.2.3. Cálculo da taxa de evaporação requerida (E_{req}), do humedecimento da pele requerido (W_{req}) e da taxa de sudação requerida (Sw_{req})

A equação geral do balanço térmico (equação 3), face ao que foi descrito acima, pode ser reescrita:

$$E + S = M - W - C_{res} - E_{res} - C - R \quad [W/m^2] \quad (10)$$

- **Taxa de evaporação requerida, (E_{req})**

A taxa de evaporação requerida, (E_{req}) [W/m^2], representa a troca de calor através do processo de evaporação na superfície da pele, assegurando a manutenção do equilíbrio térmico corporal, fazendo com que não ocorra armazenamento de calor no corpo, logo pode-se assumir que $S = 0 [W/m^2]$. Assim, da equação 10 resulta:

$$E_{req} = M - W - C_{res} - E_{res} - C - R - dS_{eq} \quad [W/m^2] \quad (11)$$

Em que $dS_{eq} [W/m^2]$ representa o armazenamento de calor acumulado.

- **Armazenamento de calor acumulado, dS_{eq}**

A temperatura corporal tende sempre a subir para um valor estacionário ($t_{cr,eq}$) [$^{\circ}C$], pois é função do metabolismo e está diretamente ligado à potência aeróbia máxima do indivíduo, sendo esse valor estacionário atingido de forma exponencial com o tempo. Assim, o armazenamento de calor associado a esse aumento (dS_{eq}) [W/m^2], não contribui para o aparecimento de suor, devendo por isso ser retirado da equação do balanço térmico.

- **Humedecimento da pele requerido (w_{req})**

$$w_{req} = \frac{E_{req}}{E_{max}} \quad [W/m^2] \quad (12)$$

O humedecimento da pele requerido, (w_{req}) [W/m^2], representa a relação entre a troca de calor requerida por evaporação, E_{req} [W/m^2], e a troca de calor máxima por evaporação de suor da superfície da pele, E_{max} [W/m^2].

- **Taxa de sudação requerida (Sw_{req})**

$$Sw_{req} = \frac{E_{req}}{r_{req}} \quad [W/m^2] \quad (13)$$

A taxa de sudação requerida, (Sw_{req}) [W/m^2], representa a troca de calor por evaporação, tendo em conta a porção de suor que cai de acordo com a variação do humedecimento cutâneo localizado, e r_{req} [adm] representa a eficiência da evaporação requerida da sudação.

Nota: A taxa de sudação em W/m^2 representa a equivalência térmica da taxa de sudação expressa em gramas de suor por metro quadrado de superfície de pele e por hora. 1 W/m^2 corresponde a um fluxo de 1,47 $g/(m^2 \cdot h)$ ou 2,67 g/h para um indivíduo comum (1,8 m^2 de superfície corporal).

3.2.4. Interpretação e análise da taxa de sudação requerida e determinação do tempo máximo limite de exposição admitido.

A interpretação dos valores calculados por este método é baseada em quatro critérios: dois de stresse e dois de tensão.

Os critérios de stresse são:

- O humedecimento da pele máximo (w_{max}), em que o humedecimento da pele requerido (w_{req}) não pode exceder o humedecimento da pele máximo (w_{max});
- A taxa de sudação máxima (Sw_{max}), em que a taxa de sudação requerida (Sw_{req}) não pode exceder a taxa de sudação máxima (Sw_{max}).

Estes valores máximos são baseados no estado de aclimação do indivíduo.

Os critérios de tensão são:

- A temperatura rectal máxima ($t_{re,max}$), em que o aumento do valor da temperatura rectal deve ser limitada a um valor máximo, para no caso de existir um desequilíbrio do balanço térmico a probabilidade de ocorrerem efeitos patológicos seja limitada;
- A perda máxima de água (D_{max}), em que a perda de água deve ser restringida a um valor máximo, compatível com a manutenção do equilíbrio hidromineral do corpo, independentemente de se verificar ou não a existência de equilíbrio térmico.

A Tabela 2 indica-nos os valores máximos admissíveis dos critérios de seleção para o cálculo do tempo de exposição admissível para trabalhadores expostos a ambientes quentes.

Tabela 2 – Valores máximos dos critérios de seleção para o cálculo do tempo de exposição admissível

	Indivíduo aclimatado	Indivíduo não aclimatado
Humedecimento cutâneo máximo w_{max} [adm]	1,0	0,85
Taxa de sudação máxima	-----	-----
Sw_{max} [W/m^2]	$1,25(M - 32)A_{Du}$	$(M - 32)A_{Du}$
Sw_{max} [g/h]	$2,9 \times 1,25(M - 32)A_{Du}$	$2,9 \times (M - 32)A_{Du}$
Desidratação máxima e Perda de água	-----	-----
$D_{max\ 50}$ [% de massa corporal]	7,5	7,5
$D_{max\ 95}$ [% de massa corporal]	5	5
Limite máximo de temperatura rectal $t_{re,max}$ [°C]	38	38

É feita a distinção entre indivíduos aclimatados e não aclimatados, uma vez que os indivíduos aclimatados transpiram mais, mais cedo e com uma maior uniformidade na superfície da pele relativamente aos não aclimatados.

O humedecimento cutâneo máximo (w_{max} [adm]) tem o valor 1 para os indivíduos aclimatados e 0,85 para não aclimatados.

A taxa de sudação máxima para indivíduos não aclimatados, Sw_{max} , é dada por $Sw_{max} = (M - 32)A_{Du} [W/m^2]$ para intervalos entre 250 e 400 $[W/m^2]$ ou por $Sw_{max} = 2,9 \times (M - 32)A_{Du} [g/h]$ para intervalos entre 650 e 1000 $[g/h]$. Para indivíduos aclimatados a taxa de sudação máxima é em média superior 25%.

Na desidratação máxima e na perda de água são indicados valores para duas situações, admitindo-se num caso 50% da classe trabalhadora (trabalhador comum), e noutro 95% da classe trabalhadora (maioria dos trabalhadores). Uma desidratação de 3% aumenta a frequência cardíaca e a sensibilidade da transpiração, sendo portanto o valor limite máximo de desidratação admissível adotado na indústria (não se aplica para militares ou atletas uma vez que estes possuem formas de reidratação mais sofisticadas). Assumindo que um indivíduo tem a possibilidade de se reidratar livremente, para exposições entre 4 a 8 horas observa-se uma reidratação de 60% independentemente do suor produzido, e superior a 40% em 95% dos casos. Assim, a perda máxima de água fixa-se em 7,5% da massa corporal para indivíduos comuns (D_{max50}) e em 5% da massa corporal para 95% da classe trabalhadora (D_{max95}). Caso um indivíduo não possua água ao seu dispor, a perda máxima de água deve ser limitada a 3% da sua massa corporal.

O armazenamento de calor conduz a um aumento de temperatura interna, tendo em conta o aumento da temperatura da pele, fazendo com que ocorra o aumento da temperatura rectal. Assim, considera-se que o valor máximo que a temperatura rectal deve atingir é 38°C.

Face aos critérios e valores da tabela 2, o tempo máximo limite de exposição admitido, D_{lim} , é alcançado quando os valores da perda de água ou da temperatura rectal são atingidos.

Em caso de ocorrência de condensação (E_{max} negativo) ou de tempo de exposição inferior a trinta minutos, o método não é aplicável.

4. METODOLOGIA, MATERIAL UTILIZADO E ENSAIO DE CAMPO

4.1. Metodologia

O presente trabalho visa recolher e analisar dados relativos às condições térmicas a que um trabalhador da indústria vidreira se encontra sujeito. Para tal, foram utilizados dois índices: o Índice WBGT, baseado na Norma ISO 7243:1989, e o Índice PHS, baseado na Norma ISO 7933:2004.

No caso do índice WBGT, para se proceder à análise de dados, foram recolhidos dados usando o aparelho 1219 da *Briuel & Kjaer* de modo a obter os valores de temperatura do bolbo húmido natural (T_{bhn}), a temperatura do globo (T_g) e temperatura do ar (T_a). Posteriormente foram calculados os valores médios de WBGT e comparados com os valores de referência (tabela 1).

No caso do índice PHS, dada a complexidade do índice, recorreu-se ao auxílio de um programa em linguagem *Matlab*, desenvolvido por Estrela (2013), no âmbito da sua dissertação de mestrado.

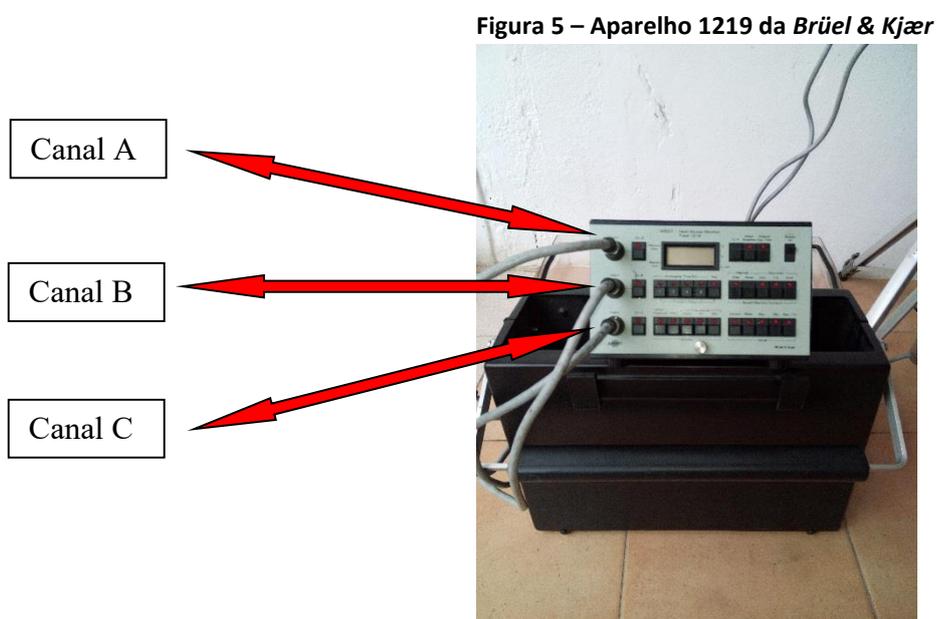
O programa contempla dois tipos de parâmetros: os parâmetros de entrada, que são introduzidos pelo utilizador, e os parâmetros de saída, que resultam dos cálculos efetuados pelo programa.

Os parâmetros de entrada e de saída podem ser consultados no anexo C.

4.2. Material Utilizado

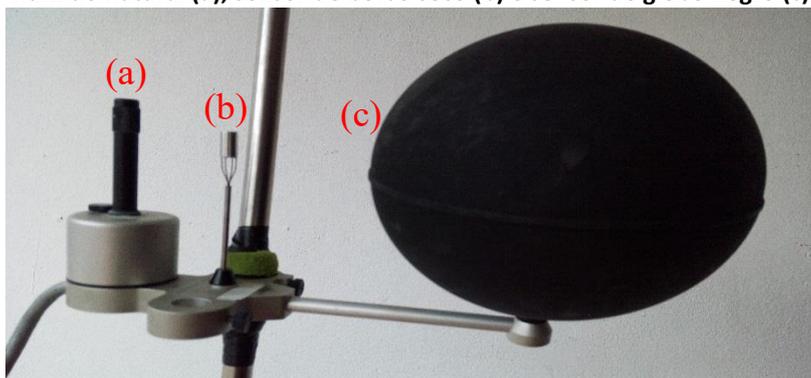
4.2.1. Índice WBGT

Na medição dos valores do índice WBGT foi utilizado o monitor de stresse térmico 1219 da *Brüel & Kjær*. Este aparelho serve para monitorizar os valores registados pelos sensores, nomeadamente a temperatura do bolbo húmido natural (T_{bhn}), a temperatura do globo (T_g) e temperatura do ar ou temperatura de bolbo seco (T_a), sendo os valores registados por três canais: A, B e C (Figura 5).



Cada um destes canais encontra-se ligado a um conjunto composto por três sensores, perfazendo um total de nove sensores (Figura 6). As especificações de cada sensor podem ser consultadas no Anexo B.

Figura 6 – Conjunto de sensores de temperaturas: sensor de bolbo húmido natural (a), sensor de bolbo seco (b) e sensor de globo negro (c)

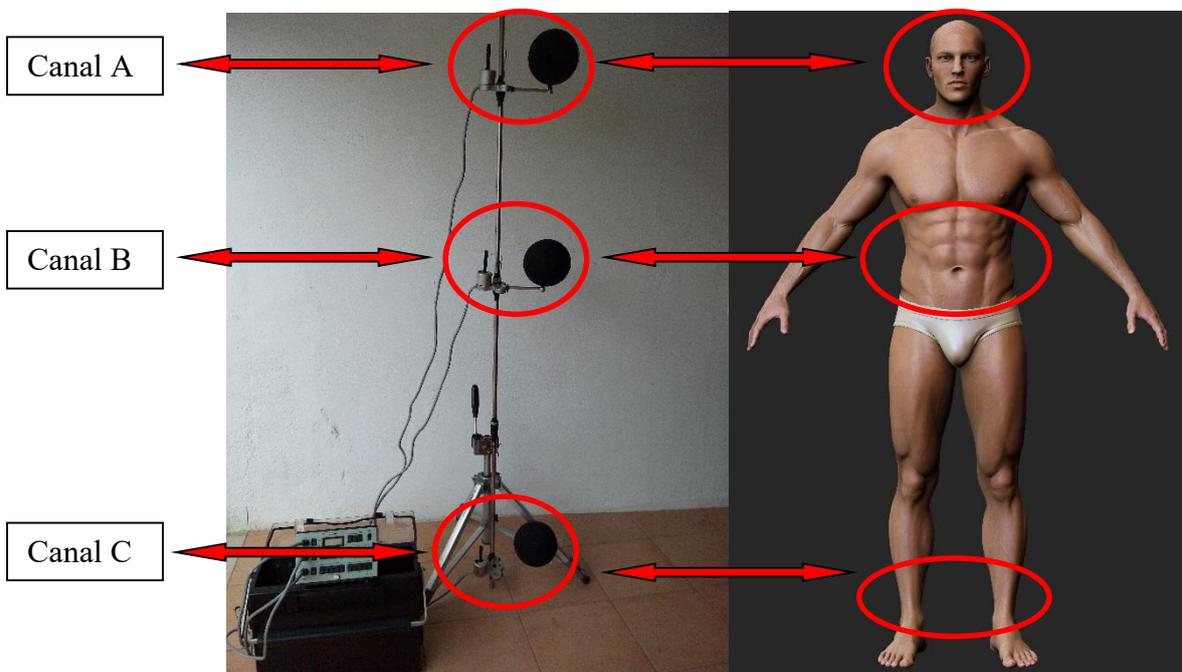


Cada canal encontra-se a uma altura normalizada, dependendo da posição do indivíduo (Figura 7):

Tabela 3 – Altura normalizada para a colocação dos sensores

	Indivíduo de pé [m]	Indivíduo sentado [m]
Canal A	1,7	1,1
Canal B	1,1	0,6
Canal C	0,1	0,1

Figura 7 – Posicionamento dos sensores de acordo com a tabela 3



Se existir homogeneidade do ambiente térmico (heterogeneidade inferior a 5%) a medição pode ser feita apenas ao nível do abdômen; caso contrário, a medição é feita a três níveis, sendo utilizada a média de cada nível, resultando na seguinte expressão:

$$WBGT = \frac{WBGT_{Canal A} + 2 \times WBGT_{Canal B} + WBGT_{Canal C}}{4} \quad (14)$$

4.2.2. Índice PHS

Para verificar o correto funcionamento do programa PHS calculator usado no índice PHS foram utilizados os valores de referência para validação do modelo apresentados na norma ISO 7933 (2004) e tabela 4.

Tabela 4 – Valores de referência para validação do modelo PHS (adaptado da ISO 7933:2004)

Parâmetros (unidades)	Exemplos de condições de trabalho									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Aclimatização	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Sim	Não	Não	Sim	Sim
Postura	De pé	De pé	De pé	De pé	Sentado	Sentado	De pé	De pé	De pé	De pé
t_a (°C)	40	35	30	28	35	43	35	34	40	40
p_a (kPa)	2,5	4	3	3	3	3	3	3	3	3
t_r (°C)	40	35	50	58	35	43	35	34	40	40
v_a (m/s)	0,3	0,3	0,3	0,3	1	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
M (W/m ²)	150	150	150	150	150	103	206	150	150	150
I_{cl} (clo)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	0,4	0,4
θ (°)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	90
Velocidade de deslocamento (m/s)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
t_{re} final (°C)	37,5	39,8	37,7	41,2	37,6	37,3	39,2	41	37,5	37,6
Perda de água (g)	6168	6935	7166	5807	3892	6763	7236	5548	6684	5379
$D_{lim tre}$ (min)	480	74	480	57	480	480	70	67	480	480
$D_{lim loss50}$ (min)	439	385	380	466	480	401	372	480	407	480
$D_{lim loss95}$ (min)	298	256	258	314	463	271	247	318	276	339

Após a introdução destes dados no programa, verificou-se através dos dados de saída a validade do programa, uma vez que estes respeitam a norma internacional, pois tinham uma precisão de +/- 0,1 °C para a temperatura rectal prevista, e de 1 % de erro para a perda de água.

4.3. Ensaio de Campo

Neste estudo foram analisados oito zonas de fabrico (ZF) de duas fábricas, sendo as zonas de fabrico de 1 a 4 pertencentes a uma fábrica (Figura 8) e as zonas de fabrico de 5 a 8 pertencentes a outra (Figura 9).

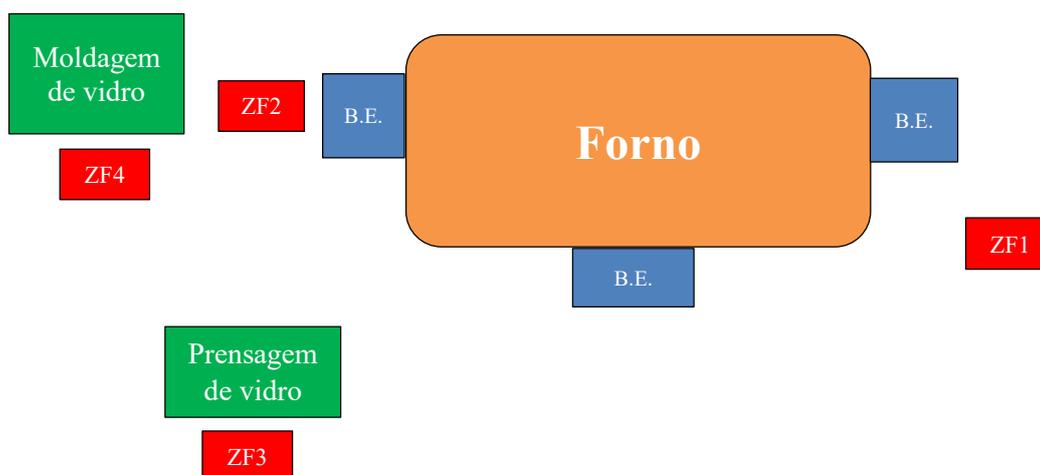
Todas as medições utilizadas neste estudo foram realizadas no local pelo próprio.

Devido às constantes e possíveis mudanças no que respeita às diferentes temperaturas, todos os locais foram analisados durante 60 minutos, tendo sido posteriormente utilizados os valores médios.

As medições efetuadas, devido à indisponibilidade das empresas, não foram realizadas nos dias mais quentes como seria desejável, tendo apenas sido possível controlar as horas de modo a efetuar as medições nas horas de maior calor.

De referir ainda que, de todas as empresas contactadas, apenas 2 responderam afirmativamente, não tendo sido possível efetuar uma análise mais abrangente.

Figura 8 – Layout da fábrica 1



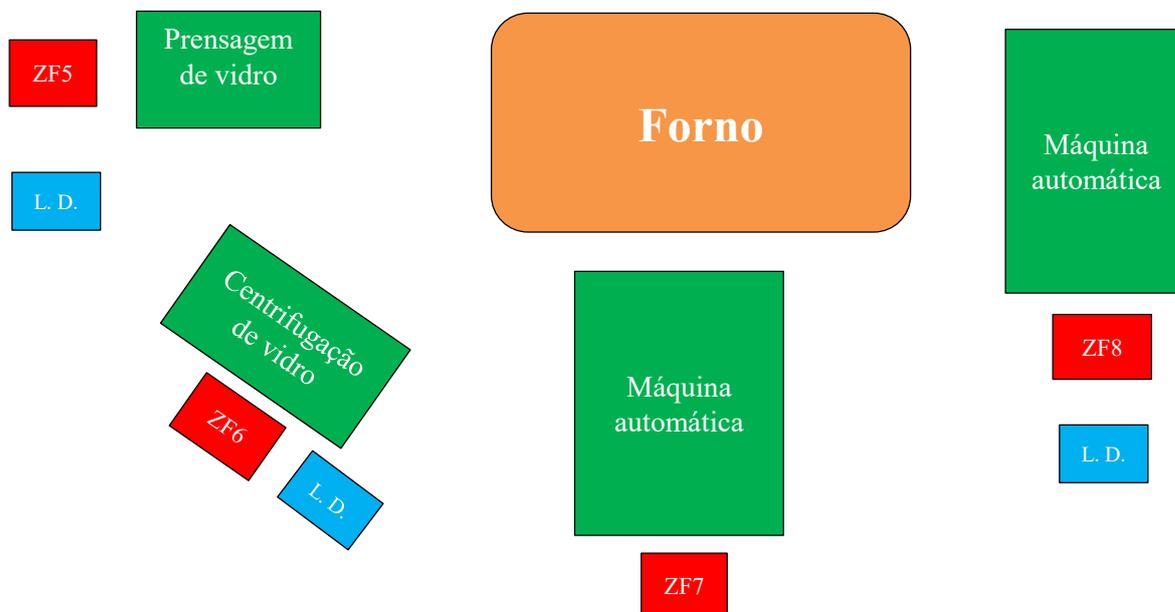
A zona de fabrico 1 (ZF1) localiza-se junto a uma boca de enforna (B.E.). O operário encontra-se de pé, realizando trabalho com os braços e tronco (taxa metabólica de nível 2), permanecendo sempre próximo à boca de enforna.

A zona de fabrico 2 (ZF2) localiza-se junto a outra boca de enforna. O operário encontra-se de pé, tendo como função transportar, com o auxílio de um tubo, bocados de vidro fundido até à máquina de moldagem de vidro junto da ZF4 (nível 1), permanecendo sempre junto à boca de enforna.

A zona de fabrico 3 (ZF3) localiza-se junto a uma máquina de prensagem de vidro. O operário encontra-se de pé, tendo como função apenas operar a máquina (nível 1), permanecendo sempre junto à máquina.

A zona de fabrico 4 (ZF4) localiza-se perto da boca de enforna da ZF2, servindo para moldar o vidro fundido vindo da ZF2. O operário encontra-se de pé e realiza-se trabalho intenso de braços e tronco (nível 3), permanecendo sempre junto à máquina.

Figura 9 – Layout da fábrica 2



A zona de fabrico 5 (ZF5) localiza-se junto a uma máquina manual de prensagem de vidro. O operário encontra-se de pé, tendo como função operar a máquina e transportar o material, com uma tenaz própria para o efeito, para um local de descarga (L.D.) localizado a 50 centímetros da máquina (nível 2), permanecendo sempre bastante perto da máquina.

A zona de fabrico 6 (ZF6) localiza-se junto a uma máquina centrífuga de vidro. O operário encontra-se de pé, tendo como função operar a máquina e transportar o material, com uma tenaz própria para o efeito, para um local de descarga (L.D.) localizado a 30 centímetros da máquina (nível 2), permanecendo sempre bastante perto da máquina.

A zona de fabrico 7 (ZF7) localiza-se junto a uma máquina automática de produção em série de garrafas. O operário encontra-se de pé, tendo como função verificar se a máquina funciona corretamente e garantir que não ocorrem paragens (nível 1), permanecendo sempre perto da máquina.

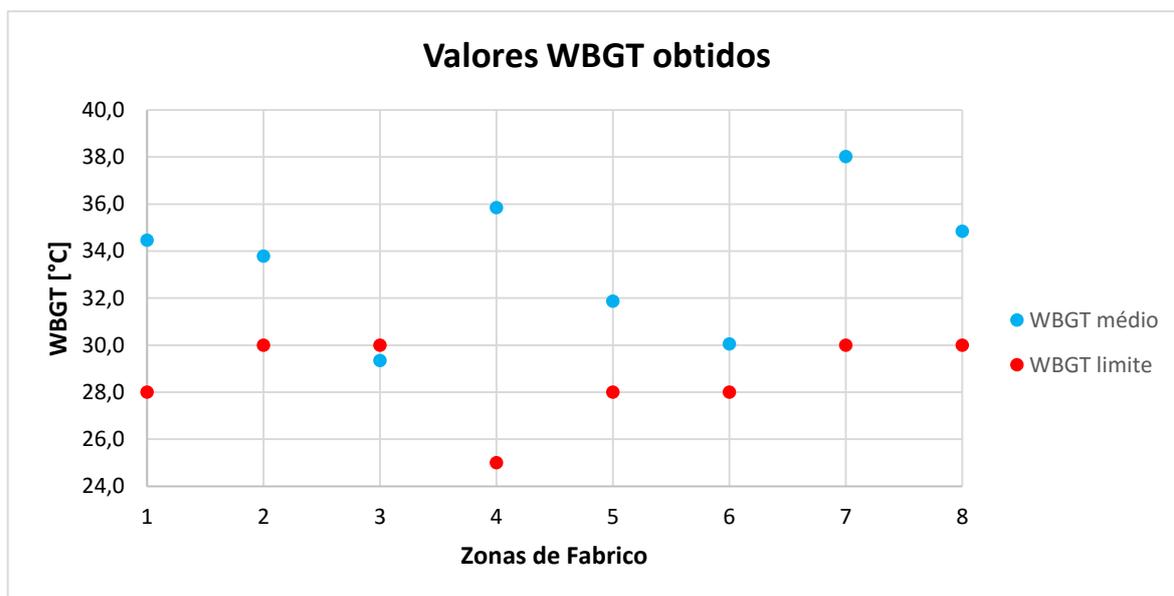
A zona de fabrico 8 (ZF8) localiza-se junto a uma outra máquina automática de produção em série de garrafas. O operário encontra-se de pé, tendo como função verificar se a máquina funciona corretamente e efetuar o transporte individual das garrafas, com uma tenaz própria para o efeito, para um local de descarga (L.D.) situado a 30 centímetros (nível 1), permanecendo sempre perto da máquina.

5. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

5.1. Índice WBGT

Depois de efetuadas todas as medições, e após aplicação do Índice WBGT, obtiveram-se os resultados apresentados na Figura 10:

Figura 10 – Valores WBGT médios obtidos e valores WBGT limite



A partir da Figura 10 verifica-se que, à exceção da zona de fabrico 3, todas as outras zonas apresentam valores de WBGT médios superiores aos valores de referência limite presentes na Norma *ISO 7243:1989*, pelo que constituem situações de risco para os trabalhadores. Verifica-se também que o posto de trabalho mais preocupante é o da ZF4, uma vez que se encontra mais de 10°C acima do valor limite estipulado pela norma.

- **Cálculo do Tempo de Repouso**

Uma vez que a maioria dos valores de WBGT obtidos se encontram acima dos valores limite, procedeu-se ao cálculo do tempo de repouso, que é dado pela fórmula:

$$WBGT_m = \frac{WBGT_{ZF_x} \times (T - T_r) + WBGT_r \times T_r}{T} \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (15)$$

em que $WBGT_m$ [$^{\circ}C$], representa o valor limite de WBGT para a classe em causa, $WBGT_{ZF_x}$ [$^{\circ}C$], o valor de WBGT ponderado na zona de fabrico escolhida, $WBGT_r$ [$^{\circ}C$], o valor de WBGT ponderado durante o repouso, T_r [min] o tempo de repouso e T [min] o tempo passado na zona de fabrico.

Baixar o nível de atividade não significa o trabalhador estar parado, um trabalhador pode estar num local de trabalho de nível 2 e repousar no nível 1, simplesmente permite ao metabolismo recuperar mais rapidamente quando se dá a mudança de local de trabalho. Assim, dado que em todas as zonas de fabrico a classe de metabolismo mais baixa foi a de nível 1, definiu-se $WBGT_m = 30^{\circ}C$ uma vez que é o valor limite de WBGT para a classe de metabolismo 1. Definiu-se também $WBGT_r = 29,3^{\circ}C$ uma vez que foi o valor de WBGT médio mais baixo registado durante as medições, podendo portanto ser considerado um bom local de repouso. Definiu-se ainda $T = 60 min$ uma vez que os trabalhadores passavam os 60 minutos no mesmo local de trabalho.

Assim, uma vez que a ZF4 apresenta o maior valor de WBGT médio, calcula-se então o tempo de repouso para a ZF4:

$$WBGT_m = \frac{WBGT_{ZF4} \times (T - T_r) + WBGT_r \times T_r}{T} \quad (16)$$

$$30 = \frac{35,8 \times (60 - T_r) + 29,3 \times T_r}{60}$$

$$T_r = \frac{-348}{-6,5} = 53,53 \text{ min} \cong 54 \text{ min}$$

Verifica-se assim que, para que ocorra o repouso necessário à recuperação metabólica do trabalhador da ZF4, seria necessário repousar 54 minutos por cada 60 minutos de trabalho, sendo este valor inoportável e impossível de alcançar numa empresa.

Uma vez que o tempo de repouso atinge valores tão elevados apenas se procedeu ao cálculo para uma zona de fabrico, a título exemplificativo, pois quase todos os tempos de repouso dariam valores demasiado elevados, a menos que o repouso fosse efetuado num local com temperatura relativamente baixa.

Tendo em conta os resultados obtidos, e uma vez que existe uma grande sobrecarga térmica sobre os trabalhadores, é necessário proceder a uma análise mais detalhada destes e das condições de trabalho, passando-se assim à análise através do índice PHS.

5.2. Índice PHS

Uma vez que a maioria dos valores médios de WBGT se encontrava acima do limite de referência, procedeu-se à análise dos dados de acordo com o índice PHS. Ao aplicar este modelo é possível recolher informação mais detalhada, uma vez que apresenta características individuais do trabalhador e características térmicas do local de trabalho.

Após recolha dos dados, obteve-se a tabela 5.

Tabela 5 – Dados de entrada para o programa de cálculo de PHS

		Zonas de Fabrico							
Características		ZF1	ZF2	ZF3	ZF4	ZF5	ZF6	ZF7	ZF8
Dados do Trabalhador	Peso [kg]	70	70	70	70	70	70	70	70
	Altura [m]	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75
	Trabalhador aclimatado	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
	Posição de trabalho	De Pé	De Pé	De Pé	De Pé	De Pé	De Pé	De Pé	De Pé
	Existe uma boa reposição de água?	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
	Metabolismo [W/m^2]	165	100	165	230	165	165	100	100
	Isolamento térmico do vestuário [clo]	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,6
	Duração do período trabalho [h]	8	8	8	8	8	8	8	8
Dados do ambiente envolvente	Temperatura do ar exterior [°C]	20	22	24	24	19	20	21	22
	Temperatura de globo [°C]	38,7	40,3	32,0	38,2	37,3	33,3	39,9	37,4
	Pressão parcial do vapor de água [kPa]	2,34	2,64	2,98	2,98	2,2	2,34	2,49	2,64
	Humidade relativa [%]	76	69	61	59	69	66	63	61
	Velocidade do ar [m/s]	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
	Trabalho mecânico externo [W]	0	0	0	0	0	0	0	0

No que diz respeito aos dados do trabalhador:

- Foram tomados os valores padrão de Peso e Altura para a aplicação da norma;
- Foi selecionada a opção “Sim” na Aclimação e na Reposição de Água uma vez que todos os trabalhadores das respetivas zonas já desempenhavam essa função há mais de três meses e poderiam ingerir água sempre que quisessem;
- Todos os trabalhadores encontravam-se de pé durante as medições;

- No campo Metabolismo, foram utilizados os valores médios consoante o nível de atividade desempenhado;
- Relativamente ao Isolamento Térmico do Vestuário, existiam apenas dois conjuntos de vestuários nas zonas de fabrico analisadas pelo que, de acordo com a Norma *ISO 9920:2007*, os valores são:
 - 0,5, nas zonas em que o conjunto de vestuário consistia em cuecas, t-shirt, calções, meias e sapatos;
 - 0,6, nas zonas em que o conjunto de vestuário consistia em cuecas, t-shirt, calças, meias e sapatos;
- Consideraram-se as 8 horas de trabalho diário no campo Período de Trabalho;

No que diz respeito aos dados do local de trabalho:

- Nos campos Temperatura do Ar Exterior, Temperatura de Globo e Humidade Relativa, foram usados os valores medidos no local aquando da realização das medições do WBGT;
- No campo Pressão Parcial do Vapor de Água, foram utilizados valores de acordo com a Temperatura do Ar Exterior, valores estes que podem ser consultados na tabela A6 do anexo A;
- A Velocidade do Ar não foi medida devido à indisponibilidade do aparelho; contudo, adotou-se a velocidade de 0,2 m/s uma vez que é reconhecida como a velocidade limite perceptível ao ser humano que não lhe causa sensação de desconforto térmico;
- O Trabalho Mecânico Externo assume o valor “0” uma vez que este pode ser desprezado.

Após a introdução dos dados no programa de cálculo, obtiveram-se os valores da tabela 6:

Tabela 6 – Dados de saída resultantes do programa de cálculo de PHS

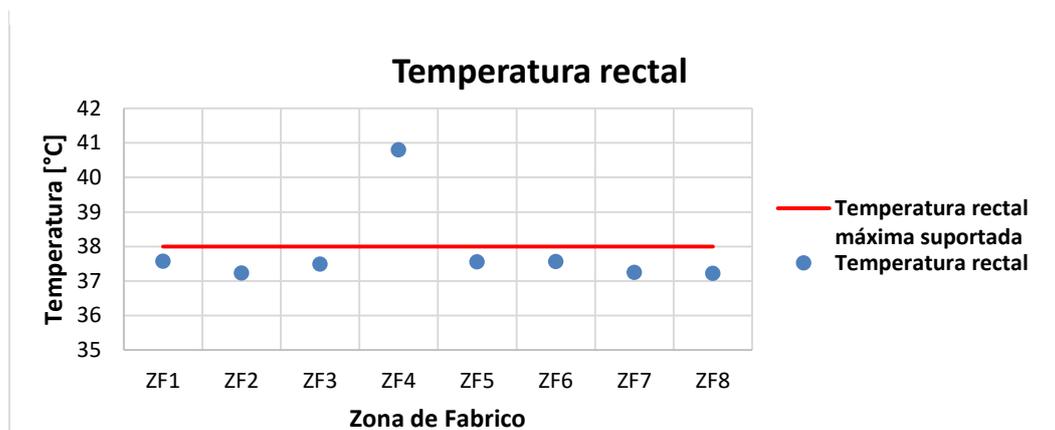
Parâmetro	Unidades	Zonas de Fabrico							
		ZF1	ZF2	ZF3	ZF4	ZF5	ZF6	ZF7	ZF8
Temperatura rectal prevista	°C	37,6	37,2	37,5	40,8	37,6	37,6	37,2	37,2
Duração de um período de trabalho	min	480	480	480	480	480	480	480	480
Perda de água	g	5346,2	3940,0	4967,6	9922,4	5242,6	3957,7	3602,5	3330,5
Tempo máximo admissível de exposição para armazenamento de calor	min	480,0	480,0	480,0	46,0	480,0	480,0	480,0	480,0
Tempo máximo admissível de exposição para perda de água, num trabalhador comum	min	472,0	480,0	480,0	259,0	480,0	480,0	480,0	480,0
Tempo máximo admissível de exposição para perda de água em 95% da população trabalhadora	min	320,0	428,0	343,0	176,0	326,0	427,0	467,0	480,0
Humedecimento cutâneo máximo	adm	1	1	1	1	1	1	1	1
Humedecimento cutâneo requerido	adm	0,8	0,8	0,9	1,0	0,8	0,7	0,8	0,8
Humedecimento cutâneo previsto	adm	0,8	0,8	0,9	1,0	0,8	0,7	0,8	0,8
Eficiência evaporativa	%	49,92	47,94	8,62	18,45	21,49	19,09	49,33	11,31
Sudação máxima	W/m ²	312,5	312,5	312,5	456,3	312,5	312,5	312,5	312,5
Sudação requerida	W/m ²	242,7	179,6	227,1	439,7	237,8	177,5	163,5	151,2
Sudação prevista	W/m ²	242,7	179,6	227,1	440,4	237,8	177,5	163,5	151,2
Débito evaporativo máximo	W/m ²	209,5	145,9	149,1	213,7	200,2	201,3	152,5	129,6
Débito evaporativo requerido	W/m ²	166,3	119,4	134,6	215,7	161,0	136,6	116,1	103,2
Débito evaporativo previsto	W/m ²	166,3	119,4	134,6	213,7	161,0	136,6	116,1	103,2

Com base nos valores da tabela 6, elaboraram-se os respetivos gráficos para uma melhor visualização dos resultados obtidos.

5.2.1. Temperatura rectal

A Figura 11 mostra-nos os resultados da temperatura rectal por zona de fabrico.

Figura 11 – Resultados da temperatura rectal

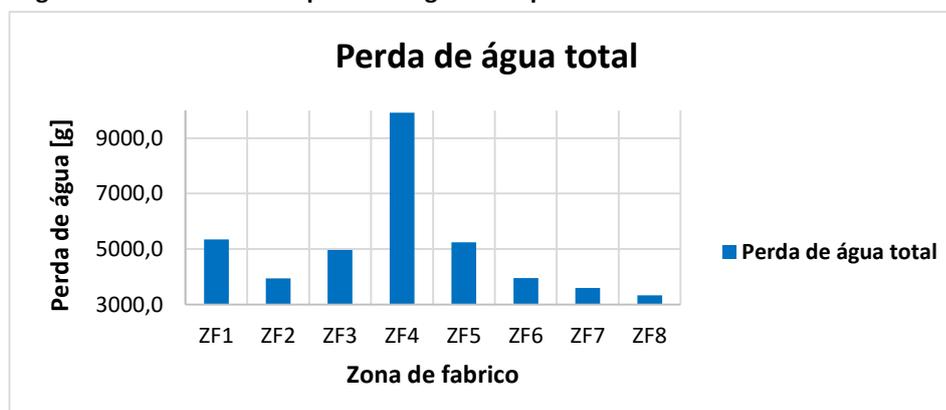


Podemos verificar que apesar de os outros valores estarem próximos da temperatura máxima rectal suportado, apenas a ZF4 se encontra acima do valor limite, com uma temperatura de 40,8 °C. Isto mostra-nos que quanto maior a severidade das condições do local, maior será a temperatura rectal, e consequentemente, maior será a tendência para ocorrer desequilíbrio térmico corporal.

5.2.2. Perda de água total

A perda de água corporal é um dos aspetos fundamentais a ter em conta quando se trabalha em ambientes térmicos quentes, uma vez que é necessário haver um equilíbrio entre as perdas de água e a água ingerida de modo a que não ocorra desidratação e se consiga manter o equilíbrio hidromineral fundamental ao bom funcionamento das funções fisiológicas (Figura 12).

Figura 12 – Resultados da perda de água total para 8h de trabalho

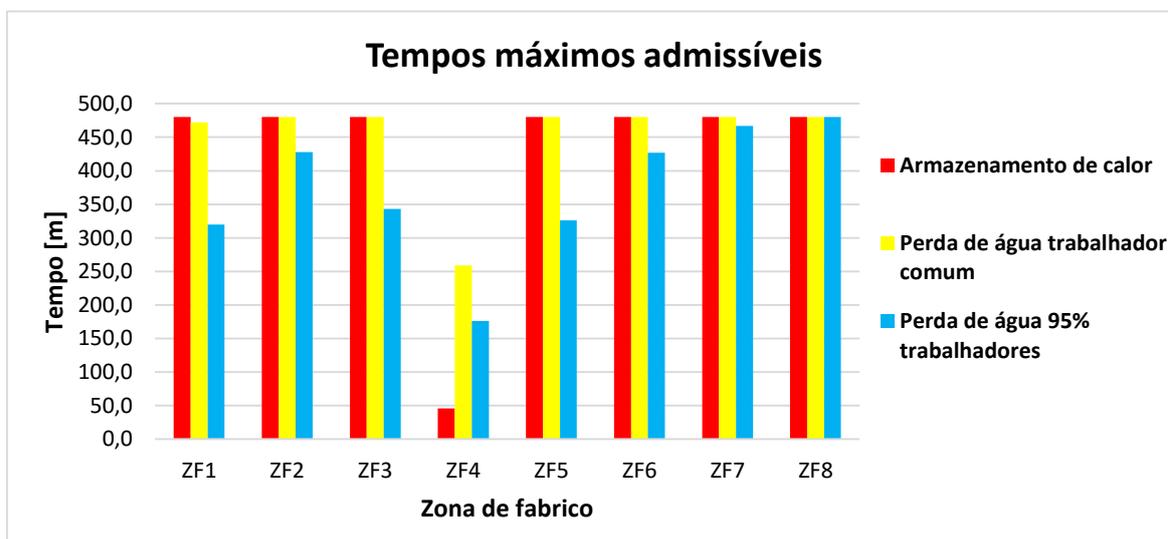


Assim, observando a Figura 12 em que é mostrado a perda de água total para as 8 horas de trabalho, verifica-se uma perda de água de 9922,4 gramas na ZF4, uma perda de água de 5346,2 gramas na ZF1 e uma perda de água de 3940 gramas na ZF2, sendo que estas zonas de fabrico têm taxas metabólicas de nível 3, 2 e 1 respetivamente, verificando-se também que quanto maior o nível de atividade e mais adversas forem as condições do meio envolvente, maior será a perda de água e, conseqüentemente, maior será a necessidade de reposição dos níveis hídricos de modo a restabelecer o equilíbrio hidromineral.

5.2.3. Tempo máximo admissível

Os tempos máximos admissíveis indicam-nos o período de tempo que um trabalhador pode permanecer num determinado local sem que ocorra risco de desidratação. Após esse período é aconselhável fazer uma pausa, na medida em que a exposição prolongada a condições de stresse térmico aumentam a temperatura rectal, a perda de água e faz com que o risco de desidratação seja elevado (Figura 13).

Figura 13 – Resultados dos diferentes tempos máximos admissíveis



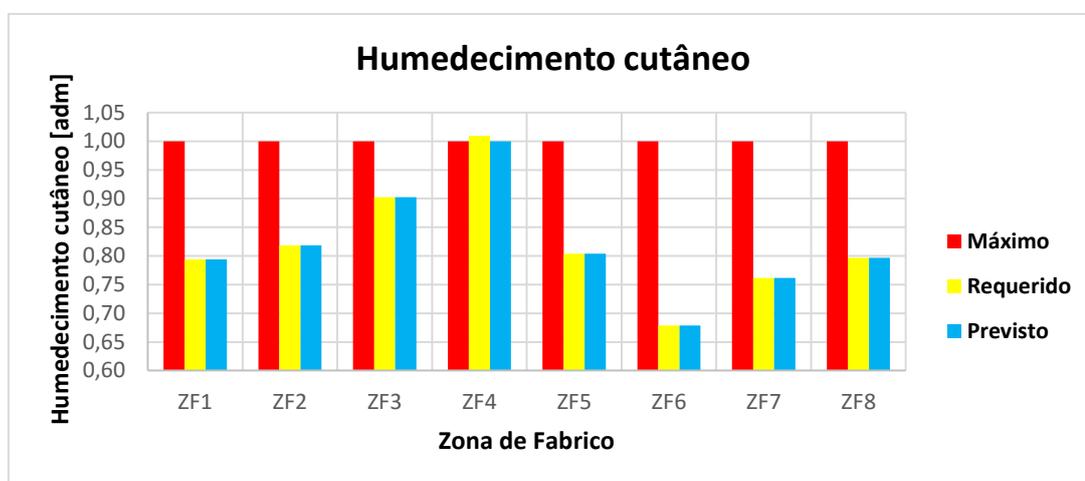
Assim, observando a Figura 13 em que estão representados o tempo máximo de armazenamento de calor, o tempo para que ocorra perda de água até um nível de 5% para o trabalhador comum e o tempo para que ocorra perda de água até um nível de 7,5% para 95% da classe trabalhadora, verifica-se que apenas a ZF4 necessita de realizar uma pausa ao fim de pouco tempo, enquanto nenhum dos outros necessita. Verifica-se também que o

trabalhador comum consegue trabalhar mais tempo sem fazer pausa. Isto acontece devido à amostra de 95% da classe trabalhadora ser maior que a do trabalhador comum, daí os tempos serem mais reduzidos.

5.2.4. Humedecimento cutâneo

O humedecimento cutâneo influencia a capacidade evaporativa da pele (Figura 14).

Figura 14 – Resultados do humedecimento cutâneo

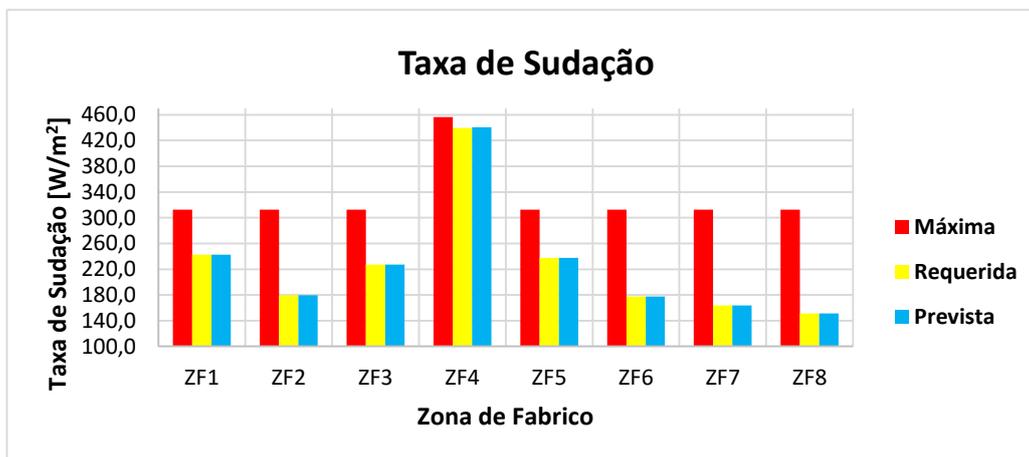


Observando a Figura 14, uma vez que todos os trabalhadores são aclimatados, verifica-se que o humedecimento cutâneo máximo é igual a 1. O humedecimento requerido é sempre inferior ao máximo, exceto na ZF4 em que é ligeiramente superior. Esta situação verifica-se quando o débito evaporativo requerido é superior ao débito evaporativo máximo, implicando que a pele esteja totalmente humedecida, esperando-se então uma eficiência evaporativa menor. De salientar também o humedecimento cutâneo de 0,9 na ZF3, pois apesar de ser um local de nível de atividade 1 encontra-se bastante próximo de uma fonte de calor, e o humedecimento cutâneo de 0,67 na ZF6, pois apesar de ser um local de nível de atividade 2 recebe muito menos calor. O humedecimento previsto é sempre inferior a 1, uma vez que a perda de calor por evaporação é limitada à camada de água superficial.

5.2.5. Taxa de Sudação

A taxa de sudação representa a quantidade de calor dissipada em forma de suor através do mecanismo de evaporação, de modo a assegurar o equilíbrio térmico (Figura 15).

Figura 15 – Resultados das taxas de sudação

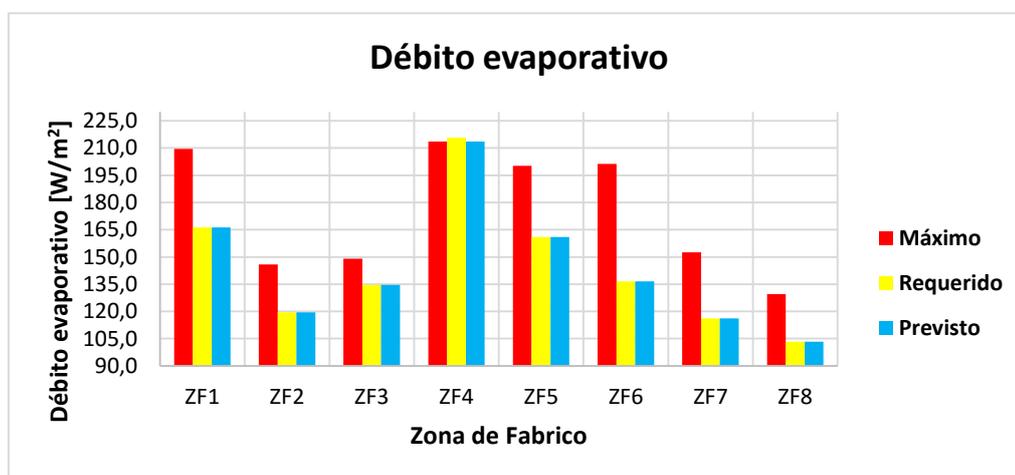


A Figura 15 mostra que as taxas de sudação requerida e prevista são inferiores à máxima, como seria de esperar. Verifica-se também que, à exceção da ZF4 que além de apresentar os valores de sudação mais elevados apresenta uma taxa de sudação requerida de $439,7 W/m^2$ e uma taxa de sudação prevista de $440,4 W/m^2$, em todas as restantes zonas a taxa de sudação requerida é igual à prevista. Isto significa que o sistema termorregulador não se consegue equilibrar, na medida em que o calor libertado é inferior ao gerado, havendo acumulação de calor e consequente aumento de temperatura corporal, sendo a ZF1 a apresentar as segundas taxas de sudação requerida e prevista mais elevadas com um valor de $242,7 W/m^2$ e a ZF8 a apresentar as taxas de sudação requerida e prevista mais baixas com um valor de $151,2 W/m^2$.

5.2.6. Débito evaporativo

O débito evaporativo representa a evaporação do suor na superfície da pele, sendo este o mecanismo que permite manter um balanço térmico constante entre o calor gerado e o calor libertado. Um débito evaporativo eficiente assegura a manutenção do equilíbrio térmico corporal, pois faz com que não ocorra armazenamento de calor ($S = 0$), e é máximo quando o humedecimento da superfície da pele é total. Depende das condições de trabalho, nomeadamente o vestuário, o nível de atividade, a humidade relativa do ar e a temperatura média radiante do local (Figura 16).

Figura 16 – Resultados do débito evaporativo



Observando a Figura 16 verifica-se que, com exceção da ZF4, em todas as zonas os débitos evaporativos requeridos e previstos se encontram abaixo do máximo, como seria de esperar. No caso da ZF4, uma vez que o débito evaporativo requerido é superior ao máximo, isto significa que a pele está completamente humedecida, apresentando um eficiência evaporativa menor. Nas restantes zonas, destaca-se a ZF1 com débitos requerido e previsto de $166,3 \text{ W/m}^2$ apresentando os segundos valores mais elevados e a ZF8 com débitos requerido e previsto de $103,2 \text{ W/m}^2$, apresentando os valores mais baixos.

6. CONCLUSÕES

O presente estudo teve por objetivo verificar as condições de trabalho atuais que os trabalhadores da indústria vidreira enfrentam no seu local de trabalho. Para isso procedeu-se à análise detalhada dos Índices WBGT (Norma *ISO 7243:1989*) e PHS (Norma *ISO 7933:2004*) e aplicaram-se estes dois índices aos locais de trabalho, tendo sido analisadas 8 zonas de fabrico distintas.

A partir da aplicação do Índice WBGT foi possível verificar que, à exceção da Zona de Fabrico 3, todas as outras apresentavam valores superiores aos limites definidos pelo índice, sendo portanto elevado o risco de ocorrência de stresse térmico.

Partindo da análise feita com o Índice WBGT, uma vez que este índice é pouco abrangente no que diz respeito a fatores além da temperatura, como o vestuário e movimentos, e tendo em conta os resultados obtidos, procedeu-se a uma análise mais detalhada dos locais de trabalho aplicando o Índice PHS, recorrendo ao programa de cálculo anteriormente desenvolvido para o efeito.

A partir da análise feita com o Índice PHS, verificou-se que, dos 8 locais analisados, apenas a ZF4 apresentava valores preocupantes em todos os domínios, sendo aconselhável a adoção de medidas urgentes uma vez que é um local de trabalho de elevado risco para a saúde dos trabalhadores.

Como medidas preventivas/redutoras de stresse térmico, aconselha-se a adoção de medidas a dois níveis: a nível dos trabalhadores e a nível das empresas.

A nível dos trabalhadores, aconselha-se a ingestão recorrente de água e o controlo da dieta, no que diz respeito à ingestão de sal, café, bebidas alcoólicas e alimentos ricos em gorduras saturadas, de modo a maximizar a evaporação e compensar a transpiração.

A nível das empresas, aconselha-se a implementação de sistemas de ventilação, a adoção de vestuário apropriado para as altas temperaturas, a rotatividade entre os diferentes locais de trabalho, a limitação do tempo de permanência no mesmo local de trabalho, o isolamento das máquinas e o fornecimento de formações sobre os riscos inerentes ao sector e medidas preventivas.

Salienta-se ainda o facto de as medições efetuadas, devido à indisponibilidade das empresas, não terem sido realizadas nos dias mais quentes, tendo apenas sido possível controlar as horas de modo a efetuar as medições nas horas de maior calor, sendo que os valores nos dias mais quentes seriam certamente mais elevados e haveria decerto mais locais de trabalho a ter em consideração.

De referir ainda a enorme dificuldade em encontrar empresas para a realização das medições necessárias inerentes a este trabalho, especialmente por parte das empresas de maior dimensão, tendo apenas 60% dado uma resposta, positiva ou negativa, e apenas respondido afirmativamente cerca de 16% das empresas contactadas.

Para trabalhos futuros, propõe-se a continuação desta análise através da adição de mais locais de trabalho, bem como de um estudo de melhorias a aplicar de modo a que se possa prevenir as situações de risco térmico, e ainda o estudo direto da relação entre a produtividade e o stresse térmico.

Em geral, os objetivos a que este trabalho se propunha foram atingidos, isto apesar de todas as condicionantes e dificuldades que sempre iam aparecendo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANSI/ASHRAE Standard 55 (2013), *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*.
- Cardoso, D. (2013), *Estudo de Técnicas de Medida de Temperaturas de Globo*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica na especialidade de Energia e Ambiente, Departamento de Engenharia Mecânica Coimbra.
- Estrela, T.F.C. (2013), *Avaliação de Ambientes Térmicos Quentes*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica na especialidade de Equipamentos e Sistemas Mecânicos, Departamento de Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Coimbra.
- Fanger, P. O. (1970), *Thermal Comfort Analysis and Applications in environmental Engineering*. McGraw-Hill, New York.
- ISO 7243:1989 (1989). *Hot Environments – Estimation of the Heat Stress on Working Man, Based on the WBGT – index (Wet Bulb Globe Temperature)*. International Standard, Second Edition, Genève.
- ISO 7726:1998 (1998). *Ergonomics of the Thermal Environment – Instruments for Measuring Quantities*. International Standard, Genève.
- ISO 7933:2004 (2004). *Ergonomics of the Thermal Environment – Analytical Determination and Interpretation of Heat Stress using Calculation of the Predicted Heat Strain*. International Standard, Final Draft, Genève.
- ISO 8996:2004 (2004). *Determination of Metabolic Rate*. International Standard, Final Draft, Genève.

- ISO 9920:2007 (2007). *Ergonomics of the Thermal Environment – Estimation of Thermal Insulation and Water Vapour Resistance of a Clothing Ensemble*. International Standard, Final Version, Genève.
- ISO 12894:2001 (2001). *Ergonomics of the Thermal Environment - Medical Supervision of Individuals Exposed to Extreme Hot or Cold Environments*. International Standard, Genève.
- Lamberts, R.; Xavier, A.; Goulart, S. (2008). *Conforto Térmico e Stress Térmico*. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil.
- World Health Organization (WHO), (1969). *Health factors involved in working under conditions of heat stress*, Technical Report Series, no. 412, Genève.
- [Http://www.femto.es/](http://www.femto.es/), acessido a 15 de Maio de 2015.
- [Http://www.kollarandor.com/gallery/1/imgL61en.html](http://www.kollarandor.com/gallery/1/imgL61en.html), acessido a 10 de Junho de 2015.
- [Https://www.pce-instruments.com](https://www.pce-instruments.com), acessido a 15 de Maio de 2015.
- [Http://tpmequipos.com](http://tpmequipos.com), acessido a 15 de Maio de 2015.

ANEXO A

Este anexo apresenta as tabelas com os valores de referência para o cálculo da taxa metabólica e dados de um indivíduo padrão, assim como do cálculo da pressão parcial do vapor de água, sendo todas adaptadas da Norma ISO 8996:2004.

Tabela A1 - Níveis para a determinação da taxa metabólica

Nível	Método	Exatidão	Inspeção no local de trabalho
1 (Triagem)	1A: Classificação de acordo com a ocupação	Informação generalizada Elevado risco de erro	Não necessária, mas é necessária informação sobre equipamentos e organização do trabalho
	1B: Classificação de acordo com a atividade		
2 (Observação)	2A: Avaliação de grupos de tabelas	Grande risco de erro Exatidão: $\pm 20\%$	Necessário estudo de tempos e movimentações
	2B: Tabelas para atividades específicas		
3 (Análise)	Medição dos batimentos cardíacos sob determinadas condições	Risco médio de erro Exatidão: $\pm 10\%$	Necessário um estudo para um período representativo
4 (Experiência)	4A: Medição do consumo de oxigénio	Erros dentro dos limites da exatidão das medições dos tempos e movimentos Exatidão: $\pm 5\%$	Necessário um estudo dos tempos e movimentos
	4B: Método de águas duplamente marcadas		Não necessária, mas atividades de descanso devem ser avaliadas
	4C: Calorimetria direta		Não necessária

Tabela A2 - Classificação da Taxa metabólica (W/m^2 de pele) em função do tipo de atividade

Nível	Taxa metabólica média [W/m^2 de pele]	Exemplos
Repouso	65 (55 a 70)	Sentado; de pé em descanso.
Atividade baixa	100 (70 a 130)	Trabalho manual leve; trabalho de mãos e braços com pequenas ferramentas de bancada; montagem ou triagem de materiais leves; operar com máquinas ou com ferramentas de baixa potência.
Atividade moderada	165 (130 a 200)	Trabalho de braços ou tronco; trabalhar com martelo pneumático; montagem de tratores; manuseamento intermitente de material moderadamente pesado; empurrar ou puxar carrinhos leves ou de mão; andar a uma velocidade de 4 km/h a 5 km/h.
Atividade elevada	230 (200 a 260)	Trabalho intenso de braços ou tronco; carregar material pesado; trabalhar com martelo; corte de árvores com motosserra; cavar; andar numa velocidade entre 5 km/h e 6 km/h.
Atividade muito elevada	290 (> 260)	Trabalho muito intenso num ritmo rápido; trabalhar com machado; trabalhar com pá ou cavar; escalar, movimentar em rampas ou escadas; andar rápido em passos pequenos; correr; andar numa velocidade superior a 7 km/h.

Tabela A3 – Taxa metabólica (W/m^2) em função da área de corpo envolvida e da intensidade de trabalho para determinada parte do corpo

Áreas do corpo envolvidas	Trabalho		
	Leve	Médio	Pesado
Ambas as mãos	65	85	95
Uma mão	100	120	140
Ambos os braços	135	150	165
Todo o corpo	190	255	345

Tabela A4 - Taxa metabólica (W/m^2 de pele) em função de atividade específica

Tipo de atividade		Taxa metabólica	
Repousar		40	
Descansar sentado		55	
Descansar em pé		70	
Caminhar	Em terreno plano sem carga	2 km/h	110
		3 km/h	140
		4 km/h	165
		5 km/h	200
	Em terreno plano com carga	10 kg a 4 km/h	185
		30 kg a 4 km/h	250
	Subir sem carga	Terreno com inclinação 5°	180
		Terreno com inclinação 15°	210
		Terreno com inclinação 25°	300
	Subir a 4 km/h e com uma carga de 20 kg	Terreno com inclinação de 15°	270
		Terreno com inclinação de 25°	410
	Descer a 5 km/h e sem carga	Terreno com inclinação de 5°	135
		Terreno com inclinação de 15°	140
		Terreno com inclinação de 25°	180

Tabela A5 - Dados relativos a um indivíduo padrão

	Homem	Mulher
Altura [m]	1,75	1,7
Peso [kg]	70	60
Área superficial de corpo DuBois [m²]	1,8	1,6
Idade [anos]	30	30

Tabela A6 – Pressão parcial do vapor de água [kPa] para temperaturas entre 10 °C e 37° (passo de 1°C), adaptado de ISO 8996:2004.

Temperatura [°C]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	1,23	1,32	1,40	1,50	1,60	1,70	1,82	1,94	2,06	2,20
20	2,34	2,49	2,64	2,81	2,98	3,17	3,36	3,56	3,78	4,0
30	4,24	4,49	4,75	5,03	5,32	5,62	5,94	6,27	-	-

Tabela A7 - Taxa metabólica (W/m^2) em função de atividade específica

Tipo de atividade			Taxa metabólica
Subir escadas	Subir uma escada com inclinação de 70º com velocidade média de 11,2 m/min	Sem carga	290
		Com carga de 20 kg	360
Empurrar ou puxar porta paletes	Velocidade 3,6 km/h	Empurrar: 12 kg	290
		Puxar: 16 kg	375
Empurrar empilhador	Velocidade 4,5 km/h	Com carga 100 kg	230
Manusear um martelo com as duas mãos, com uma massa de 4,4 kg, 15 golpes por minutos			290
Trabalhos de carpintaria	Serrar à mão		220
	Utilizar máquina de serrar		100
	Utilizar uma plaina de mão		300
Colocação de tijolos	5 tijolos por minuto		170
Aparafusar			100
Cavar um buraco			290
Trabalhar com ferro	42 golpes/min		100
	60 golpes/min		190
Trabalhar com maquinaria	leve		100
	moderada		140
	alto		210
Trabalhar com uma ferramenta de mão	leve		100
	moderado		160
	alta		230

ANEXO B

Este anexo apresenta as características dos sensores utilizados no índice WBGT, de acordo com a Norma ISO 7243:1989.

Sensor de temperatura do bolbo húmido natural (T_{bhn})

O sensor de temperatura do bolbo húmido natural tem como objetivo prever o efeito da evaporação do suor na superfície da pele (Figura A1). A extremidade do sensor é revestida por uma mecha de algodão humedecido e não deve existir ventilação forçada no local. Quando ocorre evaporação da água do algodão o sensor arrefece, fazendo com que a temperatura registada seja inferior à temperatura do ar. Quanto maior a diferença de temperaturas, maior será o potencial de dissipação de calor por evaporação.



Figura A1 – Sensor de temperatura do bolbo húmido natural

De acordo com a Norma ISO 7243:1989, o sensor deve estar de acordo com as seguintes características:

- Forma da parte sensível do sensor: cilíndrica.
- Diâmetro externo da parte sensível: 6 mm \pm 1 mm.
- Comprimento do sensor: 30 mm \pm 5 mm.
- Intervalo de medição: 5 °C a 40 °C.
- Precisão de medição: \pm 0,5 °C.
- Toda a parte sensível do sensor deverá encontrar-se envolvida por uma mecha branca de um material altamente absorvente de água (por exemplo algodão).
- O suporte do sensor deve ter um diâmetro de 6 mm e 20 mm, devendo estar cobertos pela mecha, de forma a reduzir a condução de calor do suporte para o sensor.
- A mecha deverá ser tecida em forma de manga e ajustada de uma maneira precisa sobre o sensor. O facto de a mecha se encontrar muito apertada ou com demasiada folga é determinante na precisão de medição.
- A mecha deverá ser mantida perseverantemente limpa.
- A parte inferior da mecha deverá estar imersa num reservatório de água destilada. O comprimento livre da mecha deve ser de 20 mm a 30 mm.

- O reservatório deverá ser concebido de maneira a que a temperatura da água no seu interior não sofra o efeito radiação térmica do meio envolvente.

Sensor de temperatura de ar seco (T_a)

A temperatura de bolbo seco influencia os processos de transferência de calor por convecção (natural ou mista) e evaporação. É necessário quantificá-la uma vez que em determinadas situações a temperatura de globo poderá sobrestimar a influência da radiação direta (Figura A2).

De acordo com a Norma ISO 7243:1989, o sensor pode ter qualquer forma, desde que tenha em conta que deve estar protegido da radiação por um aparelho que não impeça a circulação natural do ar através deste. O intervalo de medição do sensor de temperatura de bolbo seco é de 10°C a 60°C com uma precisão de $\pm 1^\circ\text{C}$.



Figura A2 - Sensor de temperatura do ar seco

Sensor de temperatura do globo negro (T_g)

O sensor de temperatura de globo negro tem como objetivo medir as trocas de calor por radiação entre o indivíduo e o meio que o rodeia. O sensor de temperatura encontra-se posicionado no centro de um globo de cobre revestido exteriormente por tinta preto-mate (Figura A3). A temperatura de globo é influenciada pela temperatura de bolbo seco do ar, temperatura média radiante e velocidade do ar.



Figura A3 - Sensor de temperatura do globo negro

De acordo com a Norma *ISO 7243:1989*, o sensor deve estar de acordo com as seguintes características:

- Diâmetro: 150mm.
- Coeficiente médio de emissividade: 0,95 (globo de superfície preto mate).
- Espessura: o mais fina possível.
- Intervalo de medição: 20°C a 120°C.
- Precisão de medição: de 20 a 50°C, precisão de $\pm 0,5^\circ\text{C}$; de 50 a 120°C, precisão de $\pm 1^\circ\text{C}$

ANEXO C

Este anexo apresenta os parâmetros de entrada e os parâmetros de saída do programa PHS Calculator.

Tabela A8 - Parâmetros de entrada do programa de cálculo do índice PHS

	Descrição	Unidade
Dados do Trabalhador	Peso	<i>kg</i>
	Altura	<i>m</i>
	Trabalhador aclimatado [Sim; Não]	-
	Posição de trabalho [Sentado; De pé; Agachado]	-
	Existe uma boa reposição de água? [Sim; Não]	-
	Metabolismo	<i>W/m²</i>
	Isolamento térmico do vestuário	<i>clo</i>
	Duração do período trabalho	<i>h</i>
Dados do ambiente envolvente	Temperatura do ar	<i>°C</i>
	Temperatura do globo	<i>°C</i>
	Pressão parcial do vapor de água	<i>kPa</i>
	Velocidade do ar	<i>m/s</i>
	Trabalho mecânico externo	<i>W</i>
Direção de deslocamento do Trabalhador [Sim; Não]		<i>°</i>
Velocidade de deslocamento do Trabalhador [Sim; Não]		<i>m/s</i>

Tabela A9 – Parâmetros de saída do programa de cálculo do índice PHS

Descrição	Unidade
Temperatura rectal (Tre)	<i>°C</i>
Perda de água (SWtotg)	<i>g</i>
Tempo máximo de exposição admissível para armazenamento de calor (Dlimtre)	<i>min</i>
Tempo máximo de exposição admissível para desidratação em 50 % (Dlimloss50)	<i>min</i>
Tempo máximo de exposição admissível para desidratação em 95% (Dlimloss95)	<i>min</i>
Humedecimento cutâneo máximo (Wmax)	<i>adm</i>
Humedecimento cutâneo requerido (Wreq)	<i>adm</i>
Humedecimento cutâneo previsto (Wp)	<i>adm</i>
Taxa de sudação máxima (SWmax)	<i>W/m²</i>
Taxa de sudação requerida (SWreq)	<i>W/m²</i>
Taxa de sudação prevista (SWp)	<i>W/m²</i>
Débito evaporativo máximo entre a pele e o ambiente (Emax)	<i>W/m²</i>
Débito evaporativo requerido (Ereq)	<i>W/m²</i>
Débito evaporativo previsto (Ep)	<i>W/m²</i>