

TÍTULO: Introdução ao “stress” térmico em ambientes quentes

AUTORIA: Ricardo Sá (Edifícios Saudáveis, Lda)

PUBLICAÇÕES: TECNOMETAL n.º 124 (Setembro/Outubro de 1999)

Enquadramento do tema

A temperatura interior do nosso corpo é, como todos sabemos, aproximadamente constante – 37 °C. Pelo contrário, as condições térmicas do meio que nos rodeia são muito variáveis. Para sobreviver, o homem, como aliás todos os animais ditos de “sangue quente” (aves e mamíferos), desenvolveu mecanismos que lhe permitem manter a temperatura interior do corpo constante apesar das variações térmicas exteriores: os arrepios devido ao “frio” e a transpiração quando está “calor” são dois mecanismos de controlo de temperatura sobejamente conhecidos. Embora o “frio” ou o “calor” sejam noções que não estão apenas relacionadas com o ambiente térmico – em presença de um ambiente térmico semelhante, a mesma pessoa pode experimentar uma sensação de frio se estiver com pouca roupa e/ou com um nível de actividade muito reduzido ou uma sensação de calor se estiver muito agasalhado e/ou com uma actividade física intensa – é óbvio que quando mais extremas forem as condições térmicas maior será o esforço necessário para manter o corpo a 37 °C. Dependendo do grau de esforço necessário à manutenção da nossa temperatura interior podem ocorrer três situações:

- **situação de conforto térmico:** a manutenção da temperatura interior do nosso corpo não implica qualquer esforço significativo;
- **situação de desconforto térmico:** apesar de o esforço necessário para manter a temperatura interior do corpo constante ser reduzido existem ainda assim condições locais – correntes de ar, contacto com superfícies quentes ou frias, etc. – que impedem que se fale de uma situação de conforto térmico;
- **situação de tensão térmica (“stress térmico”):** a manutenção da temperatura interior do corpo exige um esforço significativo, que para além de interferir com a capacidade de concentração e de realização de trabalho pode ainda obrigar a limitar o tempo máximo de exposição às condições térmicas que originam a situação de tensão térmica.

Em ambientes industriais é frequente a ocorrência de situações de “stress térmico”, nomeadamente devido a um calor excessivo. Nestas situações a concentração e a capacidade física dos trabalhadores é afectada, o que naturalmente irá comprometer a produtividade da empresa e, não menos importante, irá criar condições favoráveis à ocorrência de acidentes de trabalho.

Com este artigo pretende-se abordar, de uma forma muito simples e resumida, a problemática do “stress térmico” em ambientes industriais,

nomeadamente no que diz respeito a situações de “muito calor”, nitidamente mais frequentes no contexto industrial português.

Índices de “stress” térmico

Um trabalhador em presença de uma situação de “stress” térmico experimentará, numa primeira fase, uma vaso-dilatação e um aumento do ritmo cardíaco aos quais se seguirá a activação das glândulas sudoríparas com o conseqüente aumento da taxa de sudação. Só em casos extremos em que estes mecanismos não sejam suficientes para manter o equilíbrio térmico do nosso corpo, é que se verificará um aumento da temperatura corporal (ver caixas 1 e 2).

O método mais rigoroso para avaliação do nível de “stress” térmico seria, evidentemente, a medição dos indicadores fisiológicos de “stress” (taxa de sudação, nível de desidratação, temperatura corporal, etc.). Atendendo a que existem estudos que quantificam os valores máximos admissíveis para estes indicadores (caixa 2), seria fácil, em cada caso, identificar se se estava numa situação de perigo ou não. Contudo, como facilmente se compreende, a medição destes indicadores não é, salvo raras excepções, implementável. Assim sendo, foi necessário criar indicadores que permitissem avaliar o nível de “stress” térmico a que um trabalhador está sujeito em função da sua actividade física e das condições térmicas do meio que o rodeia – temperatura do ar e das superfícies, velocidade do ar e humidade relativa (caixa 1). Estes indicadores são normalmente designados por **índices de “stress” térmico**.

A pesquisa e desenvolvimento de índices de “stress” térmico data do princípio do século, tendo sofrido um grande incremento na sequência da II Guerra Mundial. Existem actualmente mais de 30 índices de “stress” térmico diferentes embora grande parte deles tenha já caído em desuso. Nos nossos dias, o índice de “stress” térmico mais utilizado é o WBGT (“Wet Bulb Globe Temperature”) que poderá ser traduzido por “Índice de Temperatura de Bolbo Húmido e de Temperatura de Globo”. Este índice, desenvolvido nos anos 50 pela Marinha de Guerra dos EUA baseia-se na medição de duas temperaturas distintas, a saber:

- **Temperatura natural de bolbo húmido:** temperatura medida por um termómetro “normal” cuja extremidade sensora é revestida por algodão húmido. A evaporação da humidade do algodão arrefece o sensor pelo que a sua temperatura é sempre inferior à do ar. Quanto maior for a diferença entre a temperatura medida por este sensor e a temperatura do ar maior será o potencial de dissipação de calor por evaporação (figura 1).

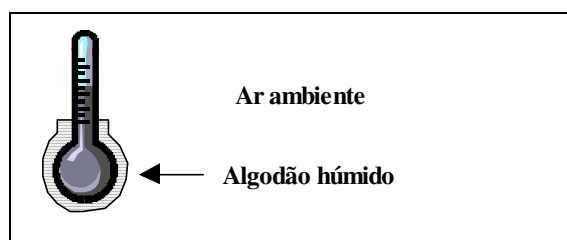


Figura 1 – Sonda de temperatura natural de bolbo húmido

- **Temperatura de globo:** temperatura medida por um termómetro normal colocado no interior de um globo ($\phi = 150 \text{ mm}$) pintado de negro. O globo troca calor por radiação com as superfícies envolventes e por convecção com o ar (figura 2).

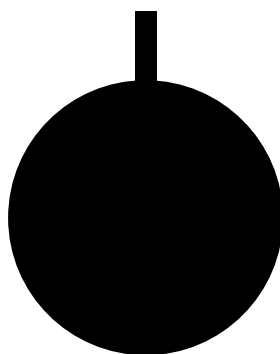


Figura 2 – Sonda de temperatura de globo

As temperaturas medidas por estes dois sensores dependem da temperatura e da velocidade do ar, da humidade relativa do meio e da temperatura das superfícies envolventes. Estas 4 variáveis ambientais são também as variáveis com influência sobre o balanço térmico do corpo humano (caixa 1). Desta forma foi possível encontrar uma combinação dos valores de temperatura medidos por estes dois sensores que traduz, de forma bastante precisa, o comportamento térmico dos seres humanos. O índice WBGT é exactamente o resultado desta combinação (equação 1).

$$\text{WBGT} = 0,7 \times T_{\text{ngH}} + 0,3 \times T_{\text{g}} \quad (\text{equação } 1)$$

T_{ngH} Temperatura natural de bolbo húmido
 T_{g} Temperatura de globo

Uma vez conhecido o valor de WBGT é possível, mediante comparação com valores de referência, determinar o nível de “stress” térmico a que o trabalhador está sujeito e, caso se justifique, limitar o seu tempo de exposição às condições térmicas que originam o “stress” térmico medido.

Tabela 1 – Valores máximos recomendados do índice WBGT (tempo de exposição de 8 horas)

Tipo de actividade	Valor máximo de WBGT (ISO 7243)			
	Trabalhador aclimatizado		Trabalhador não aclimatizado	
Descanso	33		32	
Trabalho manual leve	30		29	
Trabalho braçal moderado	28		26	
	Ar parado	Corrente de ar	Ar parado	Corrente de ar
Actividade física intensa	25	26	22	23
Actividade física muito intensa	23	25	18	20

Se o índice WBGT for superior aos valores indicados na tabela será necessário implementar uma de duas soluções alternativas (partindo do princípio que nada se pode fazer quanto à actividade do trabalhador):

- diminuir o tempo de permanência no local de trabalho (por exemplo, criando um esquema de turnos que permita alternância nos locais mais críticos);
- criar condições que permitam uma redução do índice WBGT do local.

Importa desde já referir que a criação de condições que permitam a redução do índice WBGT exige uma caracterização detalhada do ambiente térmico do local em questão. Caso contrário, corre-se o risco de intervir num sentido que não é o mais adequado (ex.: instalar um sistema de climatização/ventilação para baixar a temperatura do ar no interior de uma nave industrial quando a origem do “stress” térmico está relacionada com elevadas temperaturas de superfície).

Conclusões

Em ambientes industriais é frequente a ocorrência de situações de “stress térmico”, nomeadamente devido a um calor excessivo. Nestas situações a concentração e a capacidade física dos trabalhadores é afectada, o que naturalmente irá comprometer a produtividade da empresa e, não menos importante, irá criar condições favoráveis à ocorrência de acidentes de trabalho. Para evitar este tipo de situações é fundamental, sempre que se suspeite da possibilidade da existência de situações de “stress” térmico, proceder a uma avaliação do nível de “stress” em causa. Como a medição directa das consequências fisiológicas do “stress” térmico (vaso-dilatação, aumento do ritmo cardíaco, aumento da taxa de sudação, aumento da temperatura corporal) não é, na maior parte dos casos, possível, é necessário fazer uma avaliação indirecta recorrendo ao cálculo de um índice de “stress” térmico. Um dos índices mais utilizados é o WBGT que integra a influência combinada das 4 variáveis ambientais com influência sobre o balanço térmico do nosso corpo – temperatura e velocidade do ar, humidade relativa e temperatura das superfícies que nos rodeiam. Se o índice WBGT de um determinado local for superior ao valor de referência (ver tabela 1) então será necessário reduzir o tempo de permanência dos trabalhadores nesse local ou, alternativamente, implementar medidas no sentido de reduzir o nível de “stress” térmico do local.

Caixa 1 – Balanço térmico do corpo humano

A manutenção de uma temperatura constante implica um equilíbrio entre o calor que penetra e/ou é gerado no interior de um corpo e o calor que este dissipa. Esta é uma lei da física à qual estão sujeitos todos os corpos, incluindo o humano. Poder-se-á fazer uma analogia entre a temperatura de um corpo e o nível de uma albufeira: para manter o nível de uma albufeira constante é necessário que o caudal de água que sai da albufeira seja integralmente reposto. Caso contrário, uma de duas situações ocorrerá:

- o caudal de água que sai é maior do que o caudal de reposição: o nível da albufeira vai descendo, levando a que, no limite a albufeira seque.
- o caudal de água que sai é menor do que o caudal de reposição: o nível da albufeira vai subindo levado a que, no limite, a albufeira transborde.

Com a temperatura do corpo humano (e de qualquer corpo de uma forma geral), acontece exactamente a mesma coisa: se o calor que penetra e/ou é gerado no interior do nosso corpo for superior ao calor que conseguimos dissipar o corpo aquece, levando, no limite, à morte por hipertermia. Se, pelo contrário, o calor que penetra e/ou é gerado no interior do nosso corpo for inferior ao calor que estamos a dissipar o corpo arrefece levando, no limite, à morte por hipotermia.

Geração de calor:

O calor gerado no interior do corpo humano tem origem na nossa actividade metabólica – o respirar, o bater do coração, a circulação sanguínea, etc. são, por si só, mecanismos que geram calor – e na nossa actividade muscular voluntária – caminhar, escrever, levantar cargas, etc.. Tal como os automóveis, os seres humanos apresentam na transformação de energia química (dos alimentos no caso dos seres humanos, gasolina no caso dos automóveis) em movimento rendimentos da ordem dos 30%, pelo que em cada 100 unidades de energia química transformadas apenas 30 produzem trabalho sendo as restantes 70 dissipadas sob a forma de calor (figura 1).

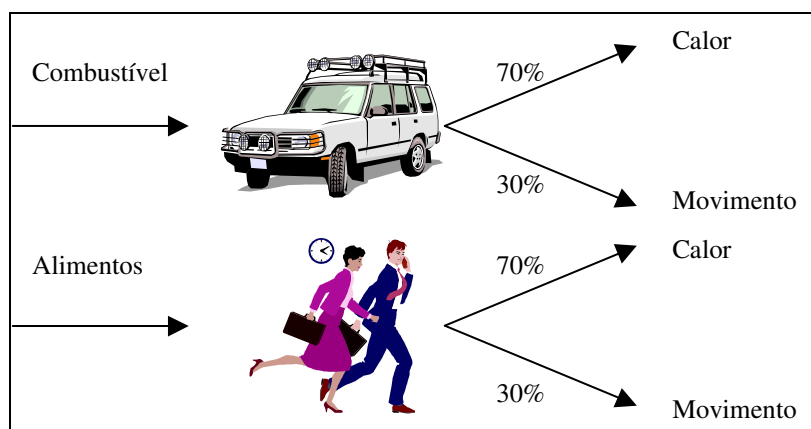


Figura 1 – Rendimento térmico: corpo humano / motor térmico

Trocas de calor:

Existem 4 mecanismos distintos pelos quais o nosso corpo troca calor com meio que nos rodeia:

- **Convecção:** calor trocado para o ambiente devido à diferença de temperatura entre a nossa pele/roupa e o ar ambiente. Este é o mecanismo de troca de calor mais óbvio: já todos sentimos a sensação de frio resultante da exposição a uma corrente de ar. Esta sensação resulta do brusco arrefecimento do nosso corpo devido à intensificação da dissipação de calor por convecção. As trocas de calor por convecção dependem da temperatura e da velocidade do ar e do tipo de roupa que trazemos vestida (figura 2);



Figura 2 – Trocas de calor por convecção forçada ou natural

- **Radiação:** calor trocado directamente entre a nossa pele/roupa e as superfícies que nos rodeiam devido às diferenças de temperatura entre a nossa pele/roupa e essas superfícies. O exemplo mais evidente de uma troca de calor radiativa é a sensação de calor que sentimos quando a radiação solar incide na nossa pele. As trocas de calor por radiação dependem da temperatura das superfícies que nos rodeiam e do tipo de roupa que trazemos vestida, sendo independentes da temperatura do ar (figura 3).

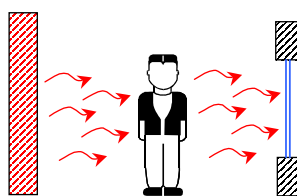


Figura 3 – Trocas de calor por radiação

- **Respiração:** calor trocado com o ambiente devido à diferença de temperatura entre o ar que inspiramos e o ar que expiramos. As trocas de calor inerentes à respiração dependem da temperatura e da humidade relativa exterior (figura 4).

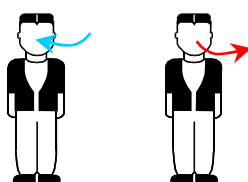


Figura 4 – Trocas de calor pela respiração

- **Evaporação:** calor dissipado para o ambiente pela evaporação de água à superfície da nossa pele. As trocas de calor por evaporação dependem da humidade relativa exterior: num meio muito húmido a água tem muita dificuldade em evaporar, diminuindo muito o potencial de dissipação de calor inerente à transpiração.

Importa desde já notar que embora os mecanismos de convecção, radiação e respiração resultem, em condições “normais”, na dissipação de calor, existem situações – temperaturas do ar e de superfície muito altas – em que estes mecanismos contribuem para o aquecimento do nosso corpo. Pelo contrário, a evaporação é sempre um mecanismo de dissipação de calor: a água, ao evaporar absorve calor do nosso corpo contribuindo para o seu arrefecimento quaisquer que sejam as condições ambientais que nos rodeiam. Note-se, a título de exemplo, que quando fazemos sauna a temperatura do ar e das superfícies que nos rodeiam é superior a 37 °C. A convecção, a radiação e a respiração originam, nessas circunstâncias, ganhos de calor. Estes ganhos (e o calor gerado no interior do corpo pelo nosso metabolismo) tem de ser dissipado pela evaporação. É por essa razão que quando se aumenta a humidade relativa do ar atirando água para a estufa sentimos imediatamente uma sensação de calor: o aumento da humidade relativa diminui a capacidade de evaporação de água diminuindo assim o potencial de dissipação de calor do único mecanismo que sob condições ambientais tão especiais é capaz de equilibrar os ganhos de calor do nosso corpo. Embora este seja um caso extremo em que a evaporação é de facto o único meio de dissipar calor, na maioria das situações que envolvem ambientes muito quentes ou actividades metabólicas elevadas a transpiração é o mecanismo de dissipação de calor que maior importância assume.

Em jeito de síntese, poder-se-á concluir referindo que a manutenção de uma temperatura interior constante exige um equilíbrio entre o calor que penetra e/ou é gerado no interior do nosso corpo e o calor que é dissipado. A geração de calor depende da nossa actividade enquanto que a absorção ou dissipação de calor depende do tipo de roupa que trazemos vestida e de um conjunto de variáveis ambientais, a saber:

- temperatura do ar;
- temperatura das superfícies que nos rodeiam;
- velocidade do ar;
- humidade relativa.

Assim sendo, é óbvio que a avaliação da qualidade de um ambiente térmico não se pode resumir a uma simples medida da temperatura do ar já que este parâmetro é apenas um de entre os 4 parâmetros que determinam a qualidade do ambiente térmico que nos rodeia.

Caixa 2 – Consequência do “stress térmico”

Quando uma pessoa é exposta a um ambiente quente ou quando a sua actividade física é muito intensa, experimentará, numa primeira fase, um aumento do fluxo sanguíneo nos vasos superficiais. Este aumento, potenciado pelo aumento do ritmo cardíaco e pela vaso-dilatação, facilita as trocas de calor entre o interior do nosso corpo e o ambiente. No entanto, em presença de condições térmicas extremas, este mecanismo pode não ser suficiente para dissipar todo o calor necessário. Nesse caso, são activadas as glândulas sudoríparas, que irão forçar o aumento da taxa de transpiração. Quando também este mecanismo se esgota, a temperatura do corpo sobe, podendo, em casos extremos, atingir valores fatais.

Tabela 1 – Limites fisiológicos que não devem ser ultrapassados

Indicador fisiológico	Trabalhador aclimatizado	Trabalhador não aclimatizado
Taxa de sudação [g/h]	260	520
Desidratação [g]	2.600	3.900
Variação da temperatura da pele [°C]	2,4	2,4

Tabela 2 – Consequências do “stress” térmico

Designação	Descrição	Consequências
Choque térmico	Subida continua da temperatura (mecanismos de dissipação insuficientes)	<ul style="list-style-type: none">– Convulsões e alucinações;– Coma (42 – 45 °C);– Morte.
Colapso térmico	Aumento acentuado da pressão arterial (incremento do fluxo sanguíneo)	<ul style="list-style-type: none">– Vertigens, tonturas;– Transpiração muito intensa;– Dores de cabeça fortes;
Desidratação	Perda de água excessiva (taxa de sudação muito elevada)	<ul style="list-style-type: none">– Diminuição da capacidade mental;– Diminuição da destreza;– Aumento do tempo de reacção.
Desmineralização	Perda de sais não compensada (ingestão de água não compensada)	<ul style="list-style-type: none">– Caímbrias térmicas.