

SOCIEDADE BRASILEIRA DE ENGENHARIA DE SEGURANÇA SOBES

EXPOSIÇÃO AO CALOR

1º PARTE

Iniciaremos, com este, uma série de artigos, nos quais serão abordados sucintamente os conceitos necessários ao atendimento do assunto, bem como os diferentes processos de avaliação de calor, procurando fazer uma comparação entre os diversos índices preconizados pela literatura técnica.

Em seguida, serão focalizadas as prescrições contidas na NR-15 Anexo 5, utilizadas para determinação de Insalubridade nos ambientes de trabalho e àquelas contidas na NR-17-Ergonomia.

Por último, transcreveremos um artigo sobre os efeitos do calor no organismo humano, assunto que a nosso ver, deve ser abordado por médico do trabalho.

Conceitos Fundamentais

O ser humano mantém uma temperatura interna aproximadamente constante (em torno de 37°C) seja qual for a temperatura externa (do ambiente).

Essa característica está ligada a existência de um mecanismo fisiológico de regulação da temperatura interna do corpo, o qual é responsável pela conservação e dissipação do calor.

A temperatura da pele, para que se mantenha o equilíbrio térmico entre o corpo e o ambiente, deve ser sempre menor do que a temperatura central do corpo em mais ou menos 1°C.

O equilíbrio térmico entre o corpo e o ambiente baseia-se na igualdade:

$$\text{Quantidade de calor recebida} = \text{Quantidade de calor cedida}$$

As trocas de calor necessárias para que se mantenha essa igualdade dependem, fundamentalmente, das diferenças de temperaturas entre a pele e o ambiente e o da pressão de vapor d'água no ar em torno do organismo, a qual, por sua vez, é influenciada pela velocidade do ar.

É importante ressaltar que a troca de calor sempre ocorre no sentido do corpo com maior temperatura para o de menor temperatura.

São quatro as formas pelas quais se procedem essas trocas:

- Condução - pelo contato direto do corpo com objeto mais quente;
- Convecção - através do ar ou de outro fluido em movimento;
- Radiação - através de ondas eletromagnéticas (normalmente o infravermelho).

Esses três processos podem ocorrer devido a existência de fontes externas com temperatura mais elevada do que a da pele. Esse calor transferido é chamado de calor sensível.

Existe ainda um quarto processo que está ligado ao calor latente, utilizado para mudança de estado (de água, em estado líquido para vapor d'água).

- **Evaporação** - Esse processo de troca ocorre sem que seja modificada a temperatura.

Assim, o calor recebido pelo corpo, nos casos de exposição a temperaturas elevadas, é utilizado pelo organismo para evaporar parte da água interna através da sudorese, não permitindo o aumento da temperatura interna.

André Lopes Netto
Eng.º de Segurança
Conselho Consultivo da SOBES

SOCIEDADE BRASILEIRA DE ENGENHARIA DE SEGURANÇA SOBES

Como metabolismo entende-se o conjunto de fenômenos químicos e físico-químicos, mediante os quais são feitas a assimilação e desassimilação das substâncias necessárias a vida.

Calor Metabólico - é o calor produzido por esse conjunto de reações.

Quando o homem estiver em jejum e em repouso esse calor denomina-se **Calor Metabólico Basal**.

A partir do próximo número, analisaremos as diversas formas de obtenção de índices ou parâmetros utilizados como referências na identificação do conforto do organismo humano quando exposto ao calor nos ambientes de trabalho.

À proporção que forem surgindo novos conceitos ou variáveis, os mesmos serão analisados.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE ENGENHARIA DE SEGURANÇA SOBES

EXPOSIÇÃO AO CALOR

2ª PARTE

AValiação de SOBRECARGA TéRMICA

Dando prosseguimento a série de artigos sobre calor trataremos dos índices utilizados para avaliação de sobrecarga térmica a que podem estar submetidos os trabalhadores.

Como já vistos nos artigos anteriores, os fatores que determinam a sobrecarga térmica são: a temperatura ambiente, a umidade relativa, o calor radiante, a velocidade do ar e o metabolismo gerado no desenvolvimento do trabalho/atividade. Por conseguinte, qualquer método de trabalho que vise a avaliação da sobrecarga térmica deverá levar em conta os citados fatores.

Existem diversos métodos e estudos que pretendem avaliar, mediante a utilização de um índice as características do ambiente, bem como, os limites aceitáveis de exposição ao calor aos quais podem estar expostos os trabalhadores. No entanto, devido a grande quantidade de variáveis envolvidas no processo não se conseguiu ainda nenhum método que reflita de maneira fiel a avaliação da sobrecarga térmica.

Apresentaremos agora a fundamentação e método de alguns dos índices mais utilizados, fazendo uma análise prática de sua aplicação no campo da Segurança e Saúde do Trabalhador.

Os métodos podem ser divididos em dois grandes grupos:

Métodos Fisiológicos (Empíricos)

Estes métodos estão baseados em estudos realizados com grupos de pessoas (grupos de controle). A partir da análise dos dados estatísticos obtidos, são construídos gráficos e tabelas que são utilizados como base para avaliação do problema.

Métodos Instrumentais

Esses procedimentos procuram buscar um modelo físico/matemático que se assemelhe às condições a que estariam sujeitos os trabalhadores, quando expostos aos fatores do ambiente que influenciam a sobrecarga térmica.

Entre os métodos fisiológicos adquire importância o Índice de Temperatura Efetiva.

Esse Índice foi inicialmente proposto (1923) pela American Society of Heating and Ventilating Engineers (ASHVE). Concebido a princípio como um critério de avaliação de conforto térmico, o método está baseado no estudo das respostas de grandes conjuntos de pessoas que trabalham em ambientes com diferentes combinações de temperatura, umidade e movimentação de ar. A idéia fundamental do método foi de reunir, em uma única designação, ou seja, em um Índice, todas as condições climáticas que produzem uma mesma ação fisiológica.

Assim, por exemplo, as condições de temperatura do ar de 20°C com umidade relativa de 100%, sem movimentação de ar ($V = 0$ m/s) corresponderá a uma temperatura efetiva de 20°C.

Utilizando-se de dados obtidos com base puramente subjetiva serão verificadas outras temperaturas que, para umidades relativas diferentes, provoquem as mesmas sensações de calor que a temperatura efetiva de 20°C.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE ENGENHARIA DE SEGURANÇA SOBES

Isso ocorre para as condições do ambiente com umidade relativa do ar de 20% e temperatura de 24°C (sem movimentação de ar).

Todas as respostas subjetivas podem ser plotadas em gráficos (diagramas psicrométricos) e com eles obtidos os valores do Índice de Temperatura Efetiva.

Como podemos observar, o Índice de Temperatura Efetiva leva em consideração os seguintes parâmetros:

- Temperatura do ar (bulbo seco) – (°C)
- Umidade relativa do ar – (%)
- Velocidade do ar – (m/s)

O Índice de Temperatura Efetiva perde representatividade quando aplicado em exposições ao calor em condições distintas das de conforto térmico, já que não completa nenhum fator para avaliação do metabolismo total.

Esse Índice já foi adotado no Brasil para a caracterização de condições insalubres (TE > 28°C - Portaria 491), tendo sido revogado quando da entrada em vigor da Portaria 3.214/78 - NR - 15 - anexo 3 que instituiu o IBUTG como índice de avaliação das condições de insalubridade.

Atualmente, o Índice de Temperatura Efetiva é adotado como parâmetro na determinação de conforto térmico (NR - 17 - Ergonomia, item 17.5.2 - alínea “b”).

De posse desses valores, os mesmos devem ser comparados com àqueles especificados pelas Normas Técnicas como limites de tolerância para conforto térmico.

Outra restrição que se apresenta quando da aplicação desse Índice é que o mesmo não leva em conta a troca de calor devida a radiação. Quando existem fontes de calor radiante no ambiente, as variáveis utilizadas não são suficientemente representativas das verdadeiras condições de exposição ao calor.

Nesse caso, usa-se o Índice de Temperatura Efetiva Corrigido, que é obtido substituindo-se nos ábacos a Temperatura de Bulbo Seco (Tbs) pela Temperatura de Globo (Tg) - que é representativa do calor radiante - e, com auxílio de uma carta psicrométrica, determina-se a Temperatura de Bulbo Úmido (Tbu) que o ar possuiria com a mesma quantidade de vapor d'água, ou seja, com a mesma umidade absoluta se esse ar fosse aquecido para a nova temperatura.

Para o caso de aplicação das grandezas descritas com vistas ao atendimento da NR - 17 – Ergonomia, as condições limitantes são: além da temperatura efetiva entre 20 e 23°C, a velocidade do ar não podendo ser superior a 0,75 m/s (1,5 pés/s) e a umidade relativa do ar não podendo ser inferior a 40%.

Dentro desses condicionantes, sem existência de fontes de calor radiante no ambiente, a temperatura efetiva é um índice razoavelmente representativo do conforto térmico. Não se pode, entretanto, concluir que a inobservância desses parâmetros possa levar a se considerar a existência de condições de insalubridade por calor.

De qualquer forma, o Índice de Temperatura Efetiva é mais representativo das condições de conforto térmico do que o IBUTG.

Este artigo contou com a colaboração do Eng.º de Segurança Marcelo Artur Madureira Azevedo.

André Lopes Netto
Eng.º de Segurança
Conselho Consultivo da SOBES

SOCIEDADE BRASILEIRA DE ENGENHARIA DE SEGURANÇA SOBES

Os leitores deste artigo podem solicitar, sem ônus, o fornecimento de cópias dos ábacos necessários para o cálculo do Índice de Temperatura Efetiva, através de correspondência para SOBES, atenção ao Eng.º André Lopes Netto, na Avenida Rio Branco, 124, 22º andar, CEP: 20148-900 - Centro - Rio de Janeiro, RJ.

André Lopes Netto
Eng.º de Segurança
Conselho Consultivo da SOBES

SOCIEDADE BRASILEIRA DE ENGENHARIA DE SEGURANÇA SOBES

EXPOSIÇÃO AO CALOR

3ª PARTE

ÍNDICE DE TEMPERATURA EFETIVA

Dando continuidade ao assunto focado no artigo anterior (2ª parte), abordaremos alguns aspectos que devem ser levados em consideração quando da aplicação do *Índice de Temperatura Efetiva (TE)*.

O *TE* foi o primeiro dos índices empíricos estabelecidos e até recentemente o mais largamente utilizado para a determinação da avaliação de calor nos ambientes de trabalho.

Como já visto, esse *Índice* é função de três variáveis:

- temperatura de bulbo seco
- umidade relativa do ar (medida através da temperatura de bulbo úmido)
- velocidade do ar

A umidade absoluta do ar é responsável pelo controle da evaporação de suor gerado pelo corpo. Uma umidade absoluta de ar elevada dificulta a evaporação do suor, e representa, portanto, uma barreira técnica para o organismo eliminar o calor gerado pelo metabolismo.

A atmosfera em que vivemos é uma composta de uma fase gasosa (21% de oxigênio, 78% de nitrogênio e 1% para outros gases) e vapor d'água. O ar não pode conter, a uma tal temperatura, mais que uma certa quantidade de vapor d'água.

A umidade relativa do ar é definida como sendo a relação entre o peso de vapor d'água contido em um dado volume de ar, e o peso do mesmo que saturaria a mistura a mesma temperatura, em igual volume de ar.

Como a umidade relativa do ar é função da temperatura do ambiente, quando a temperatura aumenta (umidade absoluta do ar constante), diminui a umidade relativa do ar. Com isso diminui a influência da umidade no cálculo do *Índice*, ou seja, o *Índice* **subestima** a importância da umidade do ar.

Quando a temperatura do ambiente diminui (umidade absoluta do ar constante), aumenta a umidade relativa do ar, fazendo com que cresça sua influência no cálculo do *Índice*, ou seja, nessa situação a importância da umidade do ar é **superestimada**.

O *Índice de Temperatura Efetiva* é determinado através da utilização de ábacos, em que três variáveis são plotadas:

- temperatura de bulbo úmido (T_{bu})
- temperatura de bulbo seco (T_{bs})
- velocidade do ar (V_a)

A temperatura de bulbo úmido incorpora a variável de umidade relativa do ar, necessária ao cálculo da temperatura efetiva.

Deve-se ainda acrescentar que podem apresentar-se duas situações distintas para aplicação desse *Índice*.

A primeira, refere-se às condições laborais em que o trabalhador encontra-se sem vestimenta completa, ou seja, de dorso descoberto; a segunda refere-se àquelas em que o trabalhador encontra-se com o dorso coberto.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE ENGENHARIA DE SEGURANÇA SOBES

Para a determinação do *Índice* aplicam-se ábacos, que são construídos levando em conta essas condições diferentes de troca de calor com o ambiente.

- na primeira, com o dorso desnudo, a evaporação cresce com o aumento da área de evaporação e, portanto, o *Índice de Temperatura Efetiva* é menor;
- na segunda, quando o trabalhador se encontra vestido, isto é, de dorso coberto, o *Índice de Temperatura Efetiva* resultante será maior.

Outra restrição que se apresenta quando da aplicação desse *Índice* é que o mesmo não leva em conta a troca de calor devida a radiação. Quando existem fontes de calor radiante no ambiente, as variáveis utilizadas não são suficientemente representativas das verdadeiras condições de exposição ao calor.

Nesse caso, usa-se o *Índice de Temperatura Efetiva Corrigido*, que é obtido substituindo-se nos ábacos a Temperatura de Bulbo Seco (Tbs) pela Temperatura de Globo (Tg) (que é representativa do calor radiante) e, com auxílio de uma carta psicrométrica, determina-se a Temperatura de Bulbo Úmido (Tbu) que o ar possuiria com a mesma quantidade de vapor d'água (ou seja, com a mesma umidade absoluta) se esse ar fosse aquecido para a nova temperatura.

Para o caso de aplicação das grandezas descritas com vistas ao atendimento da NR-17 - Ergonomia, as condições limitantes são: além da temperatura efetiva entre 20 e 23 °C, a velocidade do ar não podendo ser superior a 0,75 m/s (1,5 pés/s) e a umidade relativa do ar não podendo ser inferior a 40%.

Dentro desses condicionantes, sem existência de fontes de calor radiante no ambiente, a temperatura efetiva é um índice razoavelmente representativo do conforto térmico. Não se pode, entretanto, concluir que a inobservância desses parâmetros possa levar a se considerar a existência de condições de insalubridade por calor.

De qualquer forma o *Índice de Temperatura Efetiva* é mais representativo das condições de conforto térmico do que o IBUTG.

Os leitores desta coluna podem solicitar, sem ônus, o fornecimento de cópias dos ábacos necessários para o cálculo do *Índice de Temperatura Efetiva*, através de correspondência para André Lopes Netto, na Avenida Rio Branco, 124, 22º andar, CEP , Rio de Janeiro, RJ.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE ENGENHARIA DE SEGURANÇA SOBES

EXPOSIÇÃO AO CALOR

4ª PARTE

ÍNDICES DE AVALIAÇÃO DE CALOR

Após termos discutido os índices de avaliação de calor mais utilizados: IBUTG (Índice de Bulbo Úmido - Termômetro de Globo), TE (Temperatura Efetiva) e TEC (Temperatura Efetiva Corrigida), abordaremos neste artigo outro índice também adotado com frequência na avaliação de calor.

Índice de Sobrecarga Térmica

O Índice de Sobrecarga Térmica foi desenvolvido, na década de 50, por Belding e Hatch na Universidade de Pittsburgh e combinava os efeitos do calor radiante e de convecção com o calor gerado pelo metabolismo.

O Índice de Sobrecarga Térmica (IST) é essencialmente uma decorrência da equação de balanço térmico que inclui fatores metabólicos e ambientais.

Belding e Hatch partiram do princípio fisiológico de que o máximo tolerável de exposição a calor é aquele em que o equilíbrio térmico possa ser mantido (para determinada carga de trabalho), sem que haja elevação excessiva da temperatura da pele. O valor do IST representa a relação entre a quantidade de calor que um indivíduo, submetido a um ambiente térmico determinado, necessita evaporar através da sudorese e a quantidade de máxima de calor que pode ser eliminada naquele ambiente.

Em outras palavras o IST é quociente entre a evaporação requerida (Ereq) e a evaporação máxima (Emáx), normalmente expressa sob a forma percentual.

$$\text{IST} = (\text{Ereq} / \text{Emáx}) \cdot 100$$

O IST é um dos métodos que permite uma avaliação mais correta da sobrecarga térmica, tendo em vista que contempla todos os parâmetros que influem nos ganhos e perdas de calor pelo indivíduo. Seu principal inconveniente está na complexidade dos cálculos para determinação do calor radiante e de convecção e na necessidade da exata determinação de todos os parâmetros físicos e do metabolismo total que não são facilmente medidos de uma maneira exata.

A evaporação requerida (Ereq) e a evaporação máxima (Emáx) podem ser avaliadas por meio de equações empíricas desenvolvidas por Mc Karns e Brief mediante a utilização de um nomograma. As equações utilizadas são as seguintes:

$$R = 17,5 (T_w - 95)$$

$$C = 0,756 V^{0,6} (T_a - 95)$$

$$\text{Emáx} = 2,8 V^{0,6} (42 - P_w)$$

Onde:

R = Calor trocado por radiação (Btu / h)

C = Calor trocado por convecção (Btu / h)

Emáx. = Calor máximo perdido por evaporação (Btu / h)

T_w = Temperatura radiante média (°F)

T_a = Temperatura ambiente (°F)

V = Velocidade do ar (ft / min)

P_w = Pressão de vapor (mm Hg)

André Lopes Netto
Eng.º de Segurança
Conselho Consultivo da SOBES

SOCIEDADE BRASILEIRA DE ENGENHARIA DE SEGURANÇA SOBES

Cabe aqui informar que este índice é um indicador das condições de desconforto térmico, o IST não é aplicável em condições de excessivo calor. O IST não identifica corretamente as diferenças existentes em um ambiente quente e seco e outro quente e úmido.

Para a elaboração deste artigo o autor contou com a colaboração do Eng. Marcelo Artur Madureira Azevedo.

Os leitores deste artigo podem solicitar, sem ônus, o fornecimento de cópias dos ábacos necessários para o cálculo do *Índice de Sobrecarga Térmica*, através de correspondência para André Lopes Netto, na Avenida Rio Branco, 124, 22º andar, Rio de Janeiro, RJ.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE ENGENHARIA DE SEGURANÇA SOBES

EXPOSIÇÃO AO CALOR

5ª PARTE

QUESTÕES POLÊMICAS

Finalizando esta série de artigos trataremos neste número de algumas questões polêmicas que normalmente são colocadas pelo profissionais quando se deparam com a necessidade de realizar uma avaliação de calor nos ambientes de trabalho.

Devem ser levadas em conta na aplicação do Anexo 3 da NR-15 apenas as fontes artificiais de calor e desconsideradas as naturais?

Atualmente a NR-15 – Atividades e Operações Insalubres, em seu Anexo 3 – Limites de Tolerância para Calor, indica dois procedimentos para cálculo do IBUTG (já definidos no decorrer destes artigos), um para ambientes internos (sem carga solar) e outro para ambientes externos (com carga solar – Fontes Naturais e Fontes Artificiais ou somente Fontes Naturais). Isto posto, dentro do que prescreve o diploma legal, devemos aplicar os Limites de Tolerância para Calor seja o mesmo gerado por fontes naturais ou artificiais.

Julgamos que a origem de tal dúvida decorre do fato de que anteriormente a entrada em vigor da Portaria n.º 3.214/78, a Portaria MTPS n.º 491 de 10.09.1965 então vigente, determinava que a caracterização de insalubridade por calor ficasse restrita aos ambientes com fontes artificiais, não levando em conta a contribuição decorrente da exposição a radiação solar.

Qual a metodologia a ser utilizada para a realização das avaliações de calor?

Atualmente a metodologia nacional mais utilizada é a NHT 01 C/E da FUNDACENTRO que define os procedimentos básicos que devem ser seguidos quando da realização de avaliações de calor.

A metodologia da FUNDACENTRO foi elaborada tomando-se por base a avaliação executada com o auxílio de “árvore de termômetros”. Na época da elaboração da metodologia o número de equipamentos eletrônicos para avaliação de calor ainda era muito reduzido. Atualmente com o avanço da tecnologia digital os profissionais envolvidos contam com equipamentos eletrônicos bastante precisos e repletos de recursos (armazenamento de várias medições, impressão de resultados e outros), e ainda com a vantagem de serem equipamentos portáteis bem mais fáceis de serem montados e transportados.

Será o IBUTG o índice mais adequado para avaliação de sobrecarga térmica no Brasil?

Aqueles que acompanharam esta série de artigos sobre avaliação de calor já devem possuir uma idéia bastante clara a respeito da inadequação do IBUTG a nossa realidade. Obviamente, o referido índice não é adequado pois foi elaborado para as condições americanas de treinamento militar. Para encontrarmos uma solução para esse problema teremos que elaborar um novo índice ou adaptarmos o IBUTG às condições brasileiras (lembrem-se do exemplo da Suécia anteriormente apresentado).

Quais as medidas sugeridas?

Sem a realização de pesquisas específicas para as condições do trabalhador brasileiro, ficamos sujeitos a copiar, e normalmente de maneira atrasada no tempo e defasada na qualidade, as experiências americanas ou européias. E com a agravante que, para o caso brasileiro esses limites adotados são utilizados para caracterização legal dos adicionais de insalubridade e com reflexos até na concessão do benefício da aposentadoria especial.

**André Lopes Netto
Eng.º de Segurança
Conselho Consultivo da SOBES**

SOCIEDADE BRASILEIRA DE ENGENHARIA DE SEGURANÇA SOBES

Necessitaria portanto a SSST, em conjunto com a FUNDACENTRO, Sociedades Técnicas e Universidades iniciar uma pesquisa ampla e profunda das verdadeiras contribuições das condições ambientais do calor para a saúde do trabalhador brasileiro.

Para a elaboração deste artigo o autor contou com a colaboração do Eng. Marcelo Artur Madureira Azevedo.