

# RESPOSTA FISIOLÓGICA DO CORPO ÀS TEMPERATURAS ELEVADAS: EXERCÍCIO, EXTREMOS DE TEMPERATURA E

## Maristela Gomes de Camargo

---

Docente assistente do Centro de Tecnologia da Universidade Estadual de Maringá - UEM. E-mail: marysthella\_1@hotmail.com

## Maria Montserrat Diaz Pedrosa Furlan

---

Docente adjunta no Departamento de Ciências Fisiológicas da Universidade Estadual de Maringá - UEM. E-mail: mmdpurlan@uem.br; montserratfurlan@gmail.com

**RESUMO:** Em condições normais, a temperatura do corpo permanece dentro de limites estreitos, com ações termorreguladoras brandas. Porém, durante a realização de atividade física a produção de calor aumenta, a sudorese é acionada, ocorre intensa vasodilatação cutânea e há a inibição dos calafrios e da termogênese química. Apesar da eficiência dos mecanismos termorreguladores, as altas temperaturas ambientais e a umidade do ar, juntamente com o trabalho muscular extenuante e a falta de aclimação, podem levar a pessoa ao estresse por calor. Este pode ocorrer tanto em ambientes internos quanto externos, seja em competições esportivas ou em determinados ambientes laborais. As doenças térmicas brandas mais comuns, ou seja, que não comprometem o sistema termorregulador são a síncope e o edema por calor. Já as doenças relacionadas com quadro de desidratação e hipertermia configuram-se como emergência médica, devendo ser prontamente identificadas e tratadas para evitar maiores complicações. Neste aspecto, objetiva-se, neste trabalho, descrever os mecanismos de produção e perda de calor do organismo humano, a interferência dos fatores físicos e ambientais no processo de termorregulação, bem como as doenças térmicas decorrentes do calor excessivo. Estes dados são relevantes para a avaliação de determinados ambientes de trabalho e um planejamento mais eficiente, do ponto de vista térmico, das instalações laborais, jornadas de trabalho e vestimentas de trabalho.

**PALAVRAS-CHAVE:** Termorregulação; Ambientes Quentes; Exercício Físico; Doenças Térmicas.

## THE BODY'S PHYSIOLOGICAL RESPONSE TO HIGH TEMPERATURES: EXERCISE, TEMPERATURE EXTREMES AND THERMAL DISEASES

**ABSTRACT:** Under normal conditions, body temperature remains within very strait limits, with moderate thermoregulatory actions. However, during physical exercises, heat production increases, sweating processes are triggered, intense cutaneous vasodilatation occurs, while shivering and chemical thermogenesis are impaired. Despite the efficiency of the thermoregulatory mechanisms, high environmental temperatures and air humidity, coupled to strenuous muscular work and lack of acclimatization, may lead to heat stress. This may take place both indoors and outdoors, in sports

competitions and in working places. The most common moderate thermal diseases, or rather, those which do not impair the thermoregulatory system, are heat syncope and heat edema. On the other hand, diseases linked to dehydration and hyperthermia are regarded as medical emergencies, and require immediately attention to avoid more serious consequences. Current research provides a description of the mechanisms of heat production and heat loss of the human body, the interference of physical and environmental factors in the process of thermoregulation and the thermal diseases triggered by excessive heat. Data are relevant for the evaluation of certain working conditions and a more effective planning, from a thermal point of view, of working facilities, schedules and clothing.

**KEYWORDS:** Thermoregulation; Hot Environments; Physical Exercise; Thermal Diseases.

## INTRODUÇÃO

O corpo humano está constantemente produzindo calor através de fontes endógenas e recebendo calor do meio externo. A maior parte da energia produzida pelo corpo é perdida em forma de calor e uma pequena parcela é utilizada para realizar trabalho (GAMBRELL, 2002).

Sob uma variedade de condições físicas e ambientais, o equilíbrio entre a produção e a perda do calor, que é resultante da ação dos centros termorreguladores, mantém a temperatura corporal em níveis estáveis, ou seja, em torno dos 37°C. Na maioria dessas situações, o organismo não precisa acionar ações termorreguladoras excepcionais para manter em equilíbrio sua temperatura central. Entretanto, quando o corpo é exposto a situações térmicas excedentes de calor ou de frio, que ultrapassam os limites de conforto térmico, essas ações são acionadas para que se mantenha o calor interno estável, evitando alterações funcionais prejudiciais ao organismo (GALLOIS, 2002; GUYTON; HALL, 2006).

Alguns fatores endógenos podem também desafiar a estabilidade térmica, sendo a atividade muscular o mais importante. O exercício físico aumenta o metabolismo, aumentando consideravelmente a produção de calor. Conforme a intensidade do esforço físico e as condições ambientais, a temperatura corporal central pode elevar-se a níveis prejudiciais à saúde (KROEMER; GRANDJEAN, 2005).

Neste sentido, indivíduos que se exercitam ou trabalham em ambientes muito quentes enfrentam desafios fisiológicos que podem comprometer o desenvolvimento de suas atividades e, ainda, podem ser acometidos por lesões térmicas sérias e até risco

de vida. O armazenamento de calor e a consequente elevação da temperatura corporal central a níveis críticos acarretam na incidência de doenças térmicas, em especial a exaustão térmica e o EHS (Exertional Heat Stroke), duas formas de insolação que atingem tanto atletas quanto trabalhadores expostos a situações de estresse térmico (GAMBRELL, 2002).

Este estudo descreve os mecanismos de produção e perda de calor do corpo humano, a interferência dos fatores físicos e ambientais no processo de dissipação do calor produzido, assim como as doenças térmicas decorrentes do aquecimento corporal. Esses dados são relevantes para a avaliação de determinados ambientes de trabalho e um planejamento mais eficiente, do ponto de vista térmico, das instalações laborais, jornadas de trabalho e vestimentas de trabalho.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 METABOLISMO E PRODUÇÃO DE CALOR

O corpo humano necessita de energia para poder desempenhar suas atividades. Ainda que em completo repouso, o organismo consome energia para manter suas funções vitais. Esta energia corresponde ao metabolismo basal. A energia adicional é gasta para realizar trabalho (DUL; WEERDMEESTER, 2004). Pode-se dividir em duas categorias o trabalho biológico: diz-se trabalho externo quando há o movimento de objetos externos por meio da contração dos músculos esqueléticos, enquanto por trabalho interno entendem-se todas as demais formas de trabalho (WIDMAIER; RAFF; STRANG, 2006).

Todos os alimentos – carboidratos, lipídios e proteínas – podem ser degradados nas células com a liberação de grandes quantidades de energia nesse processo (GUYTON; HALL, 2006). A energia química contida nesses substratos energéticos é liberada lentamente, sendo armazenada temporariamente na forma de ATP – trifosfato de adenosina – o principal composto energético das células (BIANCO, 2000; COHEN; WOOD, 2002).

No entanto, durante o metabolismo cerca de 60% da energia liberada das moléculas orgânicas aparece imediatamente como calor, e a quebra do ATP durante a realização de trabalho libera boa parte de sua energia também como calor (WIDMAIER; RAFF; STRANG, 2006). Neste sentido, o calor é tido como um subproduto da transformação de energia, em suas diversas

formas, durante a síntese e a utilização do ATP (BIANCO, 2000).

A quantidade de calor que os tecidos geram em repouso e durante a atividade varia. O exercício intenso é o fator que produz o efeito mais notável sobre o metabolismo. Em repouso, os músculos podem produzir até 25% do calor total do corpo; ao se contraírem, a produção de calor aumenta grandemente, por causa do aumento da taxa metabólica. Curtos períodos de contração muscular máxima em qualquer um dos músculos podem liberar, por poucos segundos de cada vez, até 100 vezes a quantidade de calor liberada no repouso. Considerando-se todo o organismo, o exercício muscular máximo pode aumentar a produção global de calor em cerca de 50 vezes o normal durante poucos segundos ou, se mantido por vários minutos, em cerca de 20 vezes o normal no atleta bem treinado, o que representa um aumento de 2000% em relação ao metabolismo basal (COHEN; WOOD, 2002; GUYTON; HALL, 2006).

## 2.2 TROCAS TÉRMICAS

O corpo é incapaz de converter calor em trabalho, porém o calor liberado em suas reações químicas ajuda a manter a temperatura corporal e esta temperatura é uma medida do seu conteúdo de calor. No estado estável a produção de calor deve ser igual à perda de calor (WIDMAIER; RAFF; STRANG, 2006).

Em geral, a temperatura normal média do humano adulto situa-se entre 36,7 °C e 37 °C, quando medida na boca. A temperatura retal é geralmente usada como estimativa da temperatura interna, ou temperatura corporal central, sendo cerca de 0,6 °C maior que na boca (GUYTON; HALL, 2006).

O corpo humano é termicamente dividido em um núcleo central quente e uma camada externa mais fria. Nem todas as partes possuem a mesma temperatura e nem são afetadas pelos mesmos fatores. A temperatura corporal central, ou seja, a temperatura dos tecidos profundos do corpo permanece praticamente constante, com variação fisiológica de aproximadamente 0,6 °C, salvo em casos de doenças febris (GUYTON; HALL, 2006).

O meio ambiente influencia na temperatura da camada externa, por isto esta não é regulada dentro de limites estreitos como acontece com a temperatura interna do corpo (WIDMAIER; RAFF; STRANG, 2006). A temperatura da

pele é afetada por respostas termorreguladoras, como o fluxo sanguíneo cutâneo e a secreção de suor, a temperatura dos tecidos subjacentes e fatores ambientais, como temperatura e movimentação do ar e radiação térmica (RHOADES; TANNER, 2005).

O calor produzido pelos órgãos e tecidos mais profundos, em particular fígado, cérebro, coração e músculos esqueléticos durante o exercício, é transferido para a pele, onde é perdido para o meio ambiente. Em menor grau, o calor é perdido pelas vias respiratórias (GUYTON; HALL, 2006; RHOADES; TANNER, 2005).

A intensidade da perda de calor é determinada primariamente por dois fatores: a rapidez com que o calor pode ser conduzido das partes centrais do corpo para a pele e a velocidade com que pode ser transferido da pele para o ambiente. O fluxo de sangue para a pele representa um mecanismo extremamente eficaz para a transferência de calor das partes internas do corpo para a pele (GUYTON; HALL, 2006). Em ambientes muito quentes, por exemplo, ocorre a vasodilatação cutânea, a pele fica aquecida para poder eliminar o calor do corpo. Isso favorece a condução do calor para o ambiente (GALLOIS, 2002).

A superfície corporal pode perder calor para o ambiente externo por meio das denominadas trocas secas: radiação, condução e convecção, e por meio das trocas úmidas: evaporação da água.

A radiação é o processo pelo qual as superfícies de todos os objetos emitem calor na forma de ondas eletromagnéticas. O que determina a taxa de emissão das ondas é a temperatura da superfície radiante. O ganho ou perda de calor por meio da radiação é consequência da diferença da temperatura entre as superfícies próximas ao corpo (WIDMAIER; RAFF; STRANG, 2006).

Na condução, ocorre transferência de energia térmica durante a colisão entre moléculas adjacentes. O contato direto com superfícies mais quentes ou mais frias faz com que o corpo perca ou ganhe calor por meio desse processo (WIDMAIER; RAFF; STRANG, 2006).

Na convecção ocorre a troca de calor devido à movimentação do ar ou água próximo do corpo. A convecção aérea está sempre ocorrendo porque o ar quente é menos denso e por consequência sobe, porém ela pode ser grandemente facilitada por forças externas como o vento ou ventilador (GUYTON; HALL, 2006; WIDMAIER; RAFF; STRANG, 2006).

Outro processo importante de dissipação de calor é a evaporação de água. Esta se dá através da pele e das membranas

das vias respiratórias. Sempre que a água se vaporiza da superfície do corpo, o calor necessário para impulsionar o processo é removido da superfície do corpo, com isso resfriando-a (WIDMAIER; RAFF; STRANG, 2006). Quando a água se evapora da superfície corporal, há uma perda de calor de 0,58 calorias (quilocalorias) para cada grama de água que se evapora (GUYTON; HALL, 2006).

A taxa de perda de calor por meio da evaporação depende da umidade relativa do ar ambiente. Quando esta excede 60% ou mais, a perspiração não evapora tão facilmente, fazendo com que se tenha uma sensação desagradável. Quando o ar está seco, a umidade é quase nula, o que provoca uma maior evaporação (COHEN; WOOD, 2002).

Enquanto a temperatura cutânea for maior que a do meio ambiente, haverá perda de calor por radiação, condução e convecção. Entretanto, quando a temperatura do meio for maior que a da pele, o corpo, em lugar de perder calor, irá ganhá-lo. Deste modo, a única forma através da qual o corpo pode livrar-se do calor é por evaporação (GUYTON; HALL, 2006).

A sudorese é o mecanismo através do qual o corpo perde o calor produzido quando a máxima vasodilatação não pode eliminar o calor tão rápido quanto ele é produzido (WIDMAIER; RAFF; STRANG, 2006). A glândula sudorípara é a responsável pela secreção do líquido do suor e se constitui de uma estrutura tubular composta por duas partes: a porção espiralada subdérmica profunda, que secreta suor; e o ducto que se dirige para a superfície através da derme e da epiderme da pele. Essa glândula é innervada por fibras nervosas simpáticas colinérgicas (fibras que secretam acetilcolina). A epinefrina e a norepinefrina, que circulam no sangue, também podem estimular essa glândula. Isto é importante, visto que, durante o exercício, esses hormônios são secretados pela medula suprarrenal e o organismo precisa perder o calor adicional produzido pelos músculos ativos (GUYTON; HALL, 2006).

### 2.3 RECEPTORES DE TEMPERATURA E CENTRO TERMORREGULADOR

A diferença final entre a produção de calor e sua perda é o que determina o conteúdo total de calor ganho ou perdido pelo organismo. Deste modo, para que a temperatura corporal permaneça constante, em um estado estável, tanto a produção quanto a perda de calor devem permanecer em níveis iguais (WIDMAIER; RAFF; STRANG, 2006). O organismo humano é provido de mecanismos internos de regulação térmica, que trabalham para que a temperatura corporal central mantenha-se em torno dos 37 °C. O conhecimento dos mecanismos de

termorregulação humana também ajuda a compreender as doenças térmicas (GAMBRELL, 2002; WIDMAIER; RAFF; STRANG, 2006).

Os termorreceptores são estruturas periféricas do sistema nervoso que detectam alterações na temperatura corporal. Os neurônios sensíveis à temperatura nas vísceras abdominais, nas grandes veias, na medula espinhal, e, especialmente no cérebro fornecem informações sobre a temperatura central, enquanto os periféricos informam sobre a temperatura cutânea (RHOADES; TANNER, 2005; WIDMAIER; RAFF; STRANG, 2006). Há termorreceptores sensíveis ao frio (resfriamento) e ao calor (aquecimento), sendo os primeiros mais abundantes. Os receptores de frio disparam impulsos nervosos com maior frequência quando a temperatura diminui e têm pico de atividade a 25 °C, enquanto os receptores de calor são mais ativos em temperaturas de 45 °C e respondem melhor a temperaturas crescentes. Temperaturas extremamente frias (“frio congelante”) ou quentes (“calor escaldante”), que provocam congelamento da pele ou queimadura, respectivamente, são mediadas pelos nociceptores, receptores responsáveis pela sensação dolorosa. Os termorreceptores de frio e calor da pele são responsáveis pela discriminação das gradações térmicas, percebidas como frio, fresco, indiferente, morno e quente (GUYTON; HALL, 2006; KANDEL; SCHWARTZ; JESSELL, 2003).

As terminações nervosas dos receptores para frio são innervadas por delgadas fibras nervosas mielinizadas, enquanto as dos receptores de calor são amielínicas. As informações térmicas são conduzidas por essas fibras principalmente para o tálamo e dali para o córtex cerebral, para o tronco encefálico e para o hipotálamo (GUYTON; HALL, 2006; RHOADES; TANNER, 2005; KANDEL; SCHWARTZ; JESSELL, 2003).

O hipotálamo é a área que serve como integrador global primário dos reflexos termorreguladores. Outros centros cerebrais também fazem algum controle sobre componentes específicos desses reflexos. No hipotálamo, algumas células controlam a produção de calor nos tecidos do corpo, enquanto outras controlam a perda de calor. Isto ocorre em resposta à temperatura do sangue que circula pelo cérebro, bem como em resposta aos impulsos nervosos vindos dos receptores de temperatura da pele (COHEN; WOOD, 2002). A saída do hipotálamo e de outras áreas cerebrais para os efetores é feita via: a) nervos simpáticos para as glândulas sudoríparas, arteríolas da pele e medula suprarrenal, b) neurônios motores para os músculos esqueléticos e c) hormônios hipotalâmicos que



controlam a secreção hormonal da hipófise; alguns hormônios hipofisários, ao agirem sobre suas glândulas alvo têm, por sua vez, efeito termogênico, como é o caso da tireotrofina (TSH) que induz a secreção de tiroxina (T4) e de triiodotironina (T3) a partir da tireóide (KANDEL; SCHWARTZ; JESSELL, 2003; WIDMAIER; RAFF; STRANG, 2006).

O sistema de controle térmico emprega três mecanismos importantes para reduzir o calor do organismo quando a temperatura corporal se torna excessivamente quente:

- 1) Ocorre a diminuição da produção de calor com inibição dos calafrios e da termogênese química (GUYTON; HALL, 2006).
- 2) Os vasos sanguíneos cutâneos sofrem intensa dilatação em quase todo o corpo, processo causado pela inibição dos centros no hipotálamo responsáveis pela vasoconstrição. A vasodilatação pode aumentar a transferência de calor para a pele por até 8 vezes (RHOADES; TANNER, 2005).
- 3) Ocorre acentuada elevação na velocidade de perda de calor através da sudorese e consequente evaporação quando a temperatura corporal total ultrapassa o nível crítico de 37 °C. Um aumento adicional de 1 °C na temperatura corporal provoca sudorese suficiente para remover 10 vezes mais a taxa basal de produção de calor corporal (GUYTON; HALL, 2006).

## 2.4 ESTRESSE TÉRMICO

A ASHRAE Standard Fundamental 55-92 define o estado de conforto térmico como a condição mental que expressa satisfação com relação ao ambiente térmico (LAMBERTS; XAVIER, 2002).

Os fatores ambientais que contribuem para esta condição de conforto são as variáveis físicas: temperatura do ar, temperatura radiante, velocidade do ar e umidade relativa, e os fatores humanos relacionados à atividade desenvolvida e ao tipo de vestimenta utilizada (DUL; WEERDMEESTER, 2004). Em Ruas (2001) encontra-se que o conforto térmico depende de fatores que interferem no trabalho do sistema termorregulador como: taxa de metabolismo, isolamento térmico do vestuário, temperatura radiante média, umidade relativa, temperatura e velocidade do ar.

Para a determinação dos índices de conforto térmico, é necessário conhecimentos a respeito das variáveis físicas do ambiente térmico avaliado. A norma internacional ISO 7243/89 – estimativa de estresse por calor em ambientes quentes sobre o trabalhador – é baseada no índice IBUTG (índice de bulbo úmido e termômetro de globo). Este índice determina as condições ambientais reais do ambiente térmico avaliado e se este se apresenta adequado ou não para ocupação humana. O dispositivo utilizado para avaliar o IBUTG inclui três termômetros: um de globo negro que mede a energia radiante do calor, um de bulbo úmido que mede a capacidade de perda de calor por evaporação e um de bulbo seco que mede a temperatura do ambiente (GAMBRELL, 2002; LAMBERTS; XAVIER, 2002).

O organismo humano experimenta sensação de conforto térmico quando perde calor para o ambiente sem recorrer a ações termorreguladoras adicionais (FROTA, 1995).

Nos estudos de conforto térmico, a neutralidade térmica é tida como um estado em que o indivíduo não está sentindo nem frio nem calor, ou seja, encontra-se neutro em relação à temperatura ambiente. Fisiologicamente, esta condição de neutralidade é definida como zona termoneutra. Isto é decorrente das alterações no fluxo sanguíneo cutâneo, visto que ele, por alterar a perda de calor, pode regular a temperatura corporal sobre uma faixa de temperaturas ambientais (entre 25 a 30 °C, para o indivíduo despido) (WIDMAIER; RAFF; STRANG, 2006).

A necessidade de mecanismos reguladores precisos é acentuada quando a temperatura corporal mantém-se relativamente elevada, já que elevações na temperatura causam disfunção nervosa e desnaturação protéica (RHOADES; TANNER, 2005). Sendo assim, quanto mais quente o ambiente ou quanto maior a carga de atividade executada, maior a produção de calor pelo corpo e/ou a carga de calor e, consequentemente, maior a elevação da temperatura corporal e a dificuldade do corpo em manter o equilíbrio térmico, visto que os mecanismos termorreguladores tornam-se menos precisos. Quando o corpo produz calor excessivo durante exercícios intensos, a temperatura retal pode aumentar temporariamente para 38,3 a 40 °C (GUYTON; HALL, 2006). Sob estas condições o organismo pode sofrer alterações fisiológicas que, em determinados casos, causam sérios danos à saúde. Os sistemas orgânicos começam a falhar quando a temperatura central do corpo atinge níveis críticos (GRANDJEAN, 1998; ROBERTS, 2005).

O trabalho de oferecer fluxo sanguíneo cutâneo, necessário para a termorregulação no calor, pode impor pesada carga sobre o coração doente, porém, em pessoas saudáveis, a principal carga cardiovascular do estresse pelo calor decorre do retorno venoso comprometido. A quantidade de sangue bombeada pelo coração a cada minuto é determinada pela intensidade do fluxo sanguíneo das veias para o coração, o que é denominado retorno venoso. O acúmulo de sangue nas veias periféricas, com conseqüente diminuição do retorno venoso e do enchimento diastólico do coração, acarreta redução do débito cardíaco e queda da pressão arterial (GUYTON; HALL, 2006; RHOADES; TANNER, 2005).

Extremos de temperatura lesam, diretamente, os tecidos. A configuração e a estrutura geral das moléculas protéicas são alteradas em altas temperaturas, ainda que a seqüência de aminoácidos não se altere. Esta alteração da estrutura protéica é denominada desnaturação. Ela inativa as proteínas da célula, lesando-a ou matando-a. A lesão ocorre em altas temperaturas, acima de cerca de 45 °C; este também constitui o ponto em que o aquecimento da pele se torna doloroso (RHOADES; TANNER, 2005).

O estado psicofisiológico a que está submetida uma pessoa exposta a condições térmicas extremas caracteriza um quadro de estresse térmico (LAMBERTS; XAVIER, 2002). De acordo com a elevação do estresse térmico, o risco de a pessoa ser acometida por algum tipo de doença térmica aumenta proporcionalmente. Temperatura, umidade, vento e grau de cobertura das nuvens influenciam o estresse térmico ambiental (GAMBRELL, 2002).

As condições térmicas ambientais desfavoráveis que ocasionam situações de estresse térmico influenciam no desempenho das atividades humanas e, em certos casos, geram grandes tensões no trabalho, pois podem causar, além do desconforto, fadiga, sonolência, risco de acidentes e ainda sérios danos à saúde. No estudo realizado por Hackemberg, Pereira e Lima Filho (2001) observou-se que, em climas muito quentes e úmidos, a atividade aumenta a produção de calor do corpo; a vestimenta, a ventilação insuficiente e a alta umidade relativa dificultam a perda de calor para o meio ambiente.

Todos os indivíduos, em algum momento do dia, podem ser submetidos a situações de estresse térmico no exercício de suas funções laborais ou mesmo no dia-a-dia. Em crianças recém-nascidas e pessoas muito idosas, a capacidade de regular a temperatura do corpo em extremos de temperatura ambiente

é limitada, portanto, estes grupos são mais propensos a sofrer estresse térmico e devem ser protegidos da exposição a condições térmicas desfavoráveis (GAMBRELL, 2002).

#### 2.4.1 Estresse Térmico no Ambiente de Trabalho

Existem áreas de trabalho onde as atividades são realizadas em ambientes cujas condições de temperatura encontram-se inadequadas. Tais condições térmicas afetam o sistema de produção e troca de calor do corpo com o ambiente, interferindo no sistema termorregulador.

Algumas destas alterações, como fadiga, queda do rendimento no trabalho, erros de percepção e raciocínio e ainda o aparecimento de sérias perturbações psicológicas que podem conduzir ao esgotamento e prostração, foram reações orgânicas provocadas por temperaturas elevadas em alguns operários da construção civil (ASTETE; GIAMPAOLI; ZIDAN, 1989).

Moraes e colaboradores (2003) avaliaram a sensação térmica de operários da construção civil na região de Campinas - SP. Esse tipo de ambiente de trabalho sofre muita influência de agentes externos, principalmente radiação solar e calor. Neste estudo foi constatado o descontentamento dos operários quanto à condição de temperatura acima dos níveis de tolerância como as verificadas em situação de calor excedente, agravada pela incidência de radiação solar. Em decorrência do calor observou-se, nestes trabalhadores, certa fadiga.

Flesch e Beyer (2003) avaliaram o conforto e estresse térmico na lavanderia hospitalar do Hospital Universitário de Porto Alegre. O local foi considerado termicamente insalubre devido às altas temperaturas, produto das calandras de secar e passar as roupas hospitalares. O superaquecimento do ambiente pode levar à incidência de estresse térmico nas pessoas que trabalham ao lado das máquinas.

Essas alterações podem apresentar-se em nível de menor complexidade, como cansaço e sonolência, redução do desempenho físico e aumento de erros devido à perda de atenção e concentração (KROEMER; GRANDJEAN, 2005). Entretanto, podem tornar-se perigosas quando as reações físicas e a perda de concentração provocarem acidentes de trabalho e lesão térmica. Isto ocorre porque o organismo humano não suporta variações acima de 4 °C em sua temperatura interna sem queda da capacidade física e mental do indivíduo (GALLOIS, 2002).

Em ambientes com temperaturas muito altas, deve-se diminuir o tempo de exposição do trabalhador ao ambiente para que o organismo possa eliminar o excesso de carga térmica e restabelecer seu equilíbrio (IIDA, 2005).

#### 2.4.2 Condições de Risco à Saúde: Doenças Térmicas

Em condições de ar seco o organismo humano pode suportar temperaturas atmosféricas em torno de 65,5 °C por várias horas, caso existam correntes de convecção suficientes para promover a rápida evaporação do suor; entretanto, em condições de umidade do ar a 100%, começa a ocorrer a elevação da temperatura corporal sempre que a temperatura ambiental ultrapassar 34,4 °C e a pessoa estiver executando uma atividade muito pesada (GUYTON; HALL, 2006).

A temperatura extremamente alta pode superar os mecanismos de perda de calor do organismo; nesse caso a temperatura do corpo aumenta e o metabolismo celular e a produção de calor acompanhante também (COHEN; WOOD, 2002).

A temperatura retal pode elevar-se temporariamente para 38,3 °C a 40 °C, quando, durante exercícios intensos, o corpo produz calor excessivo. Isto ocorre porque os mecanismos termorreguladores não atingem 100% de perfeição com extremos de temperatura ambiente e atividade física intensa (GUYTON; HALL, 2006). O limite de temperatura corporal considerado absoluto para a sobrevivência é de 43 °C, mas a temperatura central de 41 °C pode provocar convulsão em algumas pessoas (WIDMAIER; RAFF; STRANG, 2006).

No caso dos atletas, Gambrell (2002) enumera mais de 30 fatores diferentes que predisõem às doenças térmicas. Dentre os citados encontram-se: aclimação insuficiente, condicionamento cardiopulmonar baixo, falta de sono, esforços extremos, roupas apertadas, equipamentos inadequados, disfunções endócrinas e vários medicamentos.

Câimbras, edema pelo calor e síncope pelo calor são doenças térmicas brandas, que ocorrem sem comprometimento da termorregulação e não estão associadas à hipertermia. Estas doenças são provocadas por alterações fisiológicas decorrentes da aclimação e estresse térmico e melhoram mediante repouso e hidratação.

A perda excessiva de água e eletrólitos decorrente da sudorese provoca espasmos doloridos que afetam os grandes

músculos das pernas, ou outros músculos do esqueleto; estes espasmos são denominados câimbras de calor (GAMBRELL, 2002). Essas perdas durante a sudorese, quando não repostas, acarretam na redução do volume plasmático, produzindo, com isso, maior desafio à homeostase cardiovascular (RHOADES; TANNER, 2005).

O inchaço das extremidades que ocorre, frequentemente, em pessoas não aclimatadas expostas a um ambiente quente, é conhecido como edema de calor. O inchaço resulta de uma vasodilatação periférica, redução do volume intravascular e aumento da pressão hidrostática (GAMBRELL, 2002).

A síncope por calor também resulta da vasodilatação periférica e do volume intravascular reduzido, mas neste caso há uma hipotensão ortostática e a perda da consciência. Neste caso recomenda-se deitar a pessoa fora do calor, reduzir o acúmulo de sangue na periferia e melhorar o enchimento diastólico do coração. A síncope pelo calor afeta, mais comumente, os indivíduos não aclimatados ao calor, possivelmente porque a expansão do volume plasmático que acompanha a aclimação compensa o acúmulo periférico de sangue (GAMBRELL, 2002; RHOADES; TANNER, 2005).

Em casos mais graves, quando a produção de calor supera a capacidade do organismo de dissipar o calor, ocorre a hipertermia, com quadros de insolação ou exaustão térmica. O denominador comum dos quadros de hipertermia é a elevação da temperatura central não ligada à ação de pirogênicos (WIDMAIER; RAFF; STRANG, 2006). A exaustão térmica é a forma mais branda e comum, enquanto a intermação, ou insolação, é uma forma grave e potencialmente fatal de hipertermia (PAROLIN et al., 2009). O risco destas doenças aumenta proporcionalmente à elevação do estresse térmico. A exaustão térmica e a insolação são síndromes hipertérmicas que ameaçam a vida e exigem tratamento imediato (GAMBRELL, 2002).

A exaustão por calor e o EHS são doenças térmicas que estão associadas principalmente à desidratação. Neste sentido, pessoas bem hidratadas são menos suscetíveis a essas doenças. Isto acontece porque a desidratação até um nível clínico significativamente maior que 5-10% de perda de água corporal diminui a capacidade de produção de suor e diminui o débito cardíaco para dar suporte aos sistemas corporais, além de diminuir o transporte cardiovascular de calor do centro até a superfície do corpo. À medida que o fluxo sanguíneo cutâneo aumenta, o leito vascular dilatado da pele fica ingurgitado com

volumes grandes de sangue, reduzindo o volume sanguíneo central e o enchimento cardíaco. O débito sistólico diminui e é necessária maior frequência cardíaca para manter o débito cardíaco (RHOADES; TANNER, 2005).

A incapacidade de continuar um exercício durante o calor, definida como exaustão térmica, é a doença térmica mais comum entre atletas e soldados. Esta doença ocorre devido à sudorese excessiva em ambiente quente e provoca falha cardiovascular pelas demandas conflitantes por fluxo aumentado da pele (para sustentar a sudorese e a perda de calor) e dos músculos (para sustentar o metabolismo aumentado). Dentre os sintomas mais comuns estão: mal-estar, fraqueza, cefaléia, hiper-irritabilidade, ansiedade, taquicardia, tontura, náusea, vômitos, diarreia e hipotensão (GAMBRELL, 2002; RHOADES; TANNER, 2005).

Os pacientes com exaustão por calor não apresentam disfunção acentuada do sistema nervoso central e respondem rapidamente à pronta reposição oral de líquidos, medidas de resfriamento e repouso em ambiente fresco (RHOADES; TANNER, 2005; PAROLIN et al., 2009).

A insolação é uma emergência médica que pode ser reconhecida quando a temperatura corporal central está acima de 41 °C. Neste estado, o organismo responde à perda de líquido da circulação geralmente reduzindo o fluxo sanguíneo para a pele e glândulas sudoríparas, de forma que a pele fica seca e quente (insolação clássica, geralmente causada pela alta temperatura ambiental), ou mantendo a sudorese (insolação por exercício, em que o aumento do metabolismo é o agente hipertérmico). Confusão, tontura e perda da consciência são sintomas decorrentes do comprometimento do sistema nervoso central. Outros sintomas incluem rabdomiólise (lesão das células musculares esqueléticas), e lesões hepáticas e renais, todas aparentemente decorrentes diretamente da alta temperatura central do corpo (COHEN; WOOD, 2002; GAMBRELL, 2002; PAROLIN et al., 2009; RHOADES; TANNER, 2005).

O EHS ocorre quando um atleta produz muito mais calor interno do que pode ser dissipado ou transferido para o ambiente, resultando na conservação do calor e consequente elevação da temperatura corporal central para um nível crítico, na faixa de 41 a 42,2 °C (GUYTON; HALL, 2006). Ou seja, é uma condição potencialmente fatal que ocorre quando o calor gerado por exercício muscular intenso excede os mecanismos fisiológicos de dissipação do calor (ROBERTS, 2006;

PAROLIN et al., 2009).

O risco de desenvolver EHS é maior durante a realização de atividade intensa no calor úmido, mas também pode vir a acontecer em condições normalmente consideradas seguras para competições. Aclimação insuficiente ao calor, esforços extremos, desidratação, condicionamento cardiovascular e/ou físico baixos, falta de sono e doenças pirexiais são fatores frequentemente associados à incidência de EHS (PAROLIN et al., 2009; ROBERTS, 2006).

A intermação associada ao exercício geralmente acomete indivíduos jovens e previamente saudáveis que realizam atividade física extenuante em ambientes com temperatura e umidade elevadas, condições que dificultam a evaporação. As pessoas mais comumente afetadas são corredores de longa distância (5 a 42 km), jogadores de futebol americano e convencional, militares, trabalhadores da construção civil e demais indivíduos de outras atividades de alta intensidade e longa duração em condições ambientais adversas (ROBERTS, 2005). O que indica a gravidade deste estado é o período de tempo em que a temperatura interna permanece elevada acima dos 40 °C, visto que esta condição pode causar lesões celulares disseminadas e falência de órgãos (GAMBRELL, 2002). Algumas vezes, ainda que por poucos minutos, a temperatura corporal elevada pode ser fatal (GUYTON; HALL, 2006). O prognóstico das lesões causadas pelo EHS se baseia na duração da hipertermia e na resposta ao resfriamento (ROBERTS, 2005).

Os sintomas apresentados pelo indivíduo com quadro de EHS incluem: tontura, distúrbio abdominal algumas vezes com incidência de vômito, delírio e, eventualmente, perda da consciência caso haja demora em se reduzir a temperatura corporal. Esses sintomas são quase sempre exacerbados por certo grau de choque circulatório induzido pela perda excessiva de líquido e eletrólitos no suor (GUYTON; HALL, 2006).

A análise patológica feita em uma pessoa vítima de hiperpirexia mostrou hemorragias locais de degeneração parenquimatosa de células em todo o corpo, sobretudo no cérebro. As células neurais, ao serem destruídas, não podem mais ser substituídas. Lesões hepáticas e renais, entre outros órgãos, que provocam a insuficiência dessas estruturas, podem ser graves o suficiente para levar a pessoa à morte, ainda que esta venha a ocorrer alguns dias após a intermação (GUYTON; HALL, 2006).

A medição da temperatura retal é o meio mais simples de



detectar a EHS e pode excluir rapidamente o colapso pelo calor. Falhas cardíacas e renais agudas, induzidas pelo calor, são reversíveis por meio do resfriamento precoce (RHOADES; TANNER, 2005). Na revisão de casos de EHS com tratamento bem sucedido e fatais, observou-se que os atletas que foram identificados precocemente com temperatura retal acima de 41 °C e rapidamente resfriados se recuperaram com pouco ou nenhum efeito residual (ROBERTS, 2005).

A imersão em água fria ou em banheira com gelo é uma medida que promove o resfriamento imediato de todo o corpo. Esta técnica de resfriamento rápido é baseada na capacidade da água de conduzir o calor melhor que o ar. Na ausência desse recurso, pode ser aplicada ainda a técnica de envolvimento com toalhas ou lençóis com gelo, este método é quase tão eficaz quanto os demais. As toalhas com gelo podem ter sua eficácia aumentada com o uso de pacotes de gelo colocados sobre áreas com maior perda de calor, como virilha, pescoço e axilas (GAMBRELL, 2002).

É descrita ainda a técnica de resfriamento por ventilação e névoa ou evaporação. Este processo é baseado na propriedade de evaporação da água em que grande quantidade de calor é liberada quando a água se transforma do estado líquido para o gasoso. Pode ser eficaz em algumas situações, porém não se mostra tão eficiente para o resfriamento de pacientes com hipertermia. Na verdade, nenhuma modalidade de tratamento foi comprovada como sendo mais eficaz na prevenção de morte devido ao EHS que a técnica da imersão em água fria (GAMBRELL, 2002).

Deste modo, treinadores e socorristas devem ficar alertas sobre a possibilidade de ocorrer intermação e conferir rotineiramente a temperatura retal em atletas sob risco de hipertermia que apresentem exaustão ou colapso durante a prática de exercícios, visto que o quadro de exaustão e o da intermação podem ser, inicialmente, semelhantes e causar confusão no diagnóstico (PAROLIN et al., 2009).

## 2.5 ACLIMATAÇÃO À TEMPERATURA AMBIENTE

A capacidade de uma pessoa recém-chegada a um ambiente quente em executar sua atividade não é boa, visto que a temperatura corporal eleva-se e pode ocorrer fraqueza intensa. Entretanto, a exposição contínua de um indivíduo a um ambiente cujas condições térmicas são adversas àquelas a que

ele está habituado faz com que o organismo sofra alterações fisiológicas para se adaptar ao ambiente (GAMBRELL, 2002). Esse fenômeno é chamado de aclimação. A resposta de aclimação será maior se houver exposição combinada ao calor e ao exercício, causando maior elevação da temperatura interna e sudorese mais profunda. Caso a exposição repetida ao calor não seja mantida a aclimação ao calor pode desaparecer em algumas semanas, já que é transitória (RHOADES; TANNER, 2005).

É extremamente importante aclimatar as pessoas ao calor extremo, em especial em determinadas atividades executadas em condições em que a temperatura ambiente se aproxima da temperatura corporal e a umidade atinge praticamente 100%. Isto se deve ao fato de que os limites de calor extremo que o organismo humano pode suportar dependem quase totalmente da umidade do ambiente, ou seja, se o ar está seco ou úmido (GUYTON; HALL, 2006).

A pessoa, ao tornar-se aclimatada, passa a ter uma menor elevação na temperatura retal quando submetida a qualquer sobrecarga de trabalho no calor. A exposição contínua a um ambiente quente, por cerca de 90 minutos diários, por uma semana, melhora a transferência do calor corporal central para a pele devido às alterações fisiológicas ocorridas (GAMBRELL, 2002). Essas alterações incluem elevação no débito cardíaco, expansão do volume do fluido extracelular, redução na concentração de sódio no suor e aumento do volume do suor (GAMBRELL, 2002).

A adaptação crônica a temperaturas elevadas é determinada por alterações que ocorrem no início da sudorese, em seu volume e em sua composição. A pessoa não aclimatada que está suando profusamente pode perder grandes quantidades de sódio. Na aclimação, o volume do suor produzido aumenta e a sudorese se inicia mais cedo. A composição do suor também sofre uma alteração importante, há uma redução na concentração de sódio, devido ao aumento na secreção do hormônio mineralocorticoide suprarrenal, a aldosterona. Com a aclimação as glândulas sudoríparas se tornam capazes de conservar sódio, pela secreção de suor com concentração de sal tão baixa quanto 5 mmol/L. O limiar da vasodilatação cutânea é reduzido juntamente com o limiar da sudorese. Essas alterações reduzem os níveis das temperaturas central e cutâneas, atingidos durante o período de exercício em ambiente quente, evitando o estresse por calor (RHOADES; TANNER, 2005; WIDMAIER; RAFF; STRANG, 2006).

### 3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar dos problemas causados pela elevação da temperatura corporal central decorrente de fatores ambientais e pessoais, esses ainda não são focos de pesquisa e divulgação como ocorre com outras doenças. O pouco conhecimento sobre o assunto pode retardar o diagnóstico de doenças térmicas sérias, comprometendo seu tratamento e com isso colocando em risco a vida de pessoas que podem estar entrando em estado de hipertermia.

Adicionalmente, há um interesse maior no conhecimento das doenças térmicas em atletas. Deve ser lembrado, porém, que muitas áreas de trabalho humano expõem os indivíduos a condições térmicas ambientais e/ou produção endógena de calor por esforço físico que são tão perigosas para o desenvolvimento de doenças térmicas quanto aquelas enfrentadas em certas competições esportivas. A termorregulação humana, suas potencialidades e limitações, bem como o estresse térmico, são questões que devem ser divulgadas e apreciadas para um planejamento das instalações laborais, jornadas de trabalho e vestuário que sejam apropriados do ponto de vista térmico.

### REFERÊNCIAS

- ASTETE, M. W.; GIAMPAOLI, E.; ZIDAN, L. N.. **Riscos físicos**. São Paulo, SP: Fundacentro, 1989.
- BIANCO, A. C.. Hormônios tireóideos, UCPs e termogênese. **Arq. Bras. Endocrinol. Metab.**, v. 44, n. 4, p. 281-289, 2000.
- COHEN, B. J.; WOOD, D. L.. **O corpo humano na saúde e na doença**. São Paulo, SP: Manole, 2002.
- DUL, J.; WEERDMEEESTER, B.. **Ergonomia prática**. 2. ed.. São Paulo, SP: Blücher, 2004.
- FLESCHE, J. B.; BEYER, P. O.. Avaliação do conforto e stress térmico em uma lavanderia hospitalar. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2003, Curitiba. **Anais...** Curitiba, PR: [S. n.], 2003. p. 322-329.
- FROTA, A. B.. **Manual de Conforto Térmico: Arquitetura/Urbanismo**. São Paulo, SP: Stúdio Nobel, 1995.
- GALLOIS, N. S. P.. **Análise das condições de stress e conforto térmico sob baixas temperaturas em indústrias frigoríficas de Santa Catarina**. 2002. 140fls. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC: UFSC, 2002.
- GAMBRELL, R. C.. Doenças térmicas e exercício. In: LILLEGARD, W. A.; BUTCHER, J. D.; RUCKER, K. S.. **Manual de medicina desportiva: uma abordagem orientada aos sistemas**. São Paulo, SP: Manole, 2002. p. 457-464.
- GRANDJEAN, E.. **Manual de ergonomia: adaptando o trabalho ao homem**. Porto Alegre, RS: Bookman, 1998.
- GUYTON, A. C.; HALL, J. E.. **Tratado de fisiologia médica**. 11. ed.. Rio de Janeiro, RJ: Guanabara Koogan, 2006.
- HACKENBERG, A. M.; PEREIRA, J. T. V.; LIMA FILHO, E. C. A influência das variáveis ambientais e pessoais nas sensações térmicas dos trabalhadores fabris e as recomendações da bioclimatologia. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2001, Campinas. **Anais...** Campinas, SP: [S. n.], 2001. p. 1-8.
- IIDA, I. **Ergonomia: projeto e produção**. São Paulo, SP: Blücher, 2005.
- KANDEL, E. R.; SCHWARTZ, J. H.; JESSELL, T. M.. **Princípios da neurociência**. 4. ed.. Barueri, SP: Manole, 2003.
- KROEMER, K. H. E.; GRANDJEAN, E.. **Manual de ergonomia: adaptando o trabalho ao homem**. 5. ed.. São Paulo, SP: Bookman, 2005.
- LAMBERTS, R.; XAVIER, A. A. P.. **Conforto térmico e stress térmico**. Florianópolis, SC: UFSC/LabEEE, 2002.
- MORAES, O. et al. O calor e o operário da construção civil: estudo de caso. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2003, Curitiba. **Anais...** Curitiba, PR: [S. n.], 2003. p. 330-337.
- PAROLIN, M. B. et al.. Insuficiência hepática fulminante por intermação induzida por exercício. **Rev. Bras. Med. Esporte**, v. 15, n. 3, p. 224-227, 2009.
- RHOADES, R. A.; TANNER, G. A.. **Fisiologia médica**. 2. ed.. Rio de Janeiro, RJ: Guanabara Koogan, 2005.
- ROBERTS, W. O.. Exertional heat stroke: life-saving recognition and onsite treatment in athletic settings. **Rev. Bras. Med. Esporte**, v. 11, n. 6, p. 329e-332e, 2005.
- ROBERTS, W. O.. Exertional heat stroke during a cool weather marathon: a case study. **Med. Sci. Sports Exercise**, v. 38, n. 7, p. 1197-1203, 2006.

RUAS, A. C.. **Avaliação de conforto térmico: contribuição à aplicação prática das normas internacionais**. 2001. 77fls. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP: Unicamp, 2001.

WIDMAIER, E. P.; RAFF, H.; STRANG, K. T. **Fisiologia humana: os mecanismos das funções corporais**. 9. ed.. Rio de Janeiro, RJ: Guanabara Koogan, 2006.

Recebido em: 22 Setembro 2010

Aceito em: 01 Maio 2011