EXERCISE PHYSIOLOGY IN EXTREME CLIMATE CONDITIONS: FOCUS ON HEAT

FISIOLOGIA DO EXERCÍCIO EM CONDIÇÕES CLIMÁTICAS EXTREMAS: FOCO NO CALOR

DOI: 10.51859/amplla.sset.4126-17

Gabriel Nunes [1]
Felipe Gabriel [1]
João Francisco [1]
João Quirino [1]
Reik Javick Rodrigues [1]
Ielkson Miranda [1]

[1] Graduando do curso de Educação Física. Universidade Estadual do Piauí – UESPI

ABSTRACT

Exercising in hot environments places a considerable thermal and cardiovascular load on the body, impairing performance and increasing the risk of heat-related illness. This narrative review examines the mechanisms of thermoregulation (sweating and cutaneous vasodilation), the effects of dehydration, the decline in exercise performance in the heat, and the hydration and acclimatization strategies recommended for athletes and schoolchildren. The discussion is set in the climatic context of Teresina, Piauí, a Brazilian state capital marked by high temperatures throughout the year. The evidence indicates that progressive heat acclimatization, individualized fluid replacement, appropriate scheduling of training sessions, and monitoring of warning signs form the most effective approach to preserving both health and performance.

Keywords: Thermoregulation. Exercise in the heat. Dehydration. Hydration. Acclimatization.

RESUMO

O exercício físico em ambientes quentes impõe ao organismo uma sobrecarga térmica e cardiovascular que compromete o desempenho e eleva o risco de agravos à saúde. Este trabalho, de caráter revisional, analisa os mecanismos de termorregulação (sudorese e vasodilatação cutânea), os efeitos da desidratação, a redução do rendimento esportivo no calor e as estratégias de hidratação e aclimatação recomendadas para atletas e escolares. A discussão é contextualizada na realidade climática de Teresina, Piauí, capital brasileira marcada por temperaturas elevadas ao longo do ano. Conclui-se que a combinação de aclimatação progressiva, reposição hídrica individualizada, adequação dos horários de treino e monitoramento de sinais de alerta constitui a abordagem mais eficaz para preservar a saúde e o desempenho.

Palavras-chave: Termorregulação. Exercício no calor. Desidratação. Hidratação. Aclimatação.

1 INTRODUÇÃO

A prática de atividade física em ambientes quentes representa um desafio fisiológico relevante, pois o exercício eleva a produção de calor metabólico em até 15 a 20 vezes em relação ao repouso, e o organismo precisa dissipar esse excedente para manter a temperatura central em torno de 37 °C (GONZÁLEZ-ALONSO, 2012;

SAWKA *et al.*, 2011). Quando a temperatura e a umidade do ambiente reduzem a capacidade de dissipação, ocorre acúmulo de calor, com consequências para o sistema cardiovascular, o metabolismo e o sistema nervoso central.

Essa discussão se torna particularmente pertinente ao Nordeste brasileiro. Teresina, capital do estado do Piauí, é conhecida como uma das cidades mais quentes do país, com médias elevadas de temperatura e longos períodos de calor intenso, sobretudo entre setembro e novembro. Nesse cenário, aulas de Educação Física, treinamentos esportivos e competições frequentemente ocorrem sob condições termicamente adversas, o que torna indispensável o conhecimento sobre termorregulação e hidratação por parte de professores, treinadores e estudantes.

Justifica-se, assim, a elaboração deste trabalho pela necessidade de reunir, em linguagem acessível e com base científica, as evidências sobre os efeitos do calor no exercício e as medidas de prevenção aplicáveis ao contexto local.

O objetivo geral deste trabalho é analisar o comportamento fisiológico do corpo humano durante a atividade física sob calor intenso. Especificamente, busca-se descrever os mecanismos de termorregulação, com ênfase na sudorese e na vasodilatação cutânea; discutir os riscos da desidratação e das doenças relacionadas ao calor; explicar a queda de rendimento no exercício em ambientes quentes; e apresentar estratégias de hidratação e aclimatação para atletas e escolares.

2 METODOLOGIA

Trata-se de uma revisão narrativa da literatura, fundamentada em posicionamentos oficiais de entidades científicas (American College of Sports Medicine, National Athletic Trainers' Association, Sociedade Brasileira de Medicina do Esporte), artigos de revisão em periódicos da área e livros-texto de fisiologia do exercício. Por não envolver coleta de dados com seres humanos, empresas ou órgãos públicos, o estudo dispensa apreciação por Comitê de Ética.

3 MECANISMOS DE TERMORREGULAÇÃO

3.1 Balanço térmico e controle central

O ser humano é homeotermo: mantém a temperatura central relativamente estável por meio do equilíbrio entre produção e perda de calor. O centro de controle localiza-se no hipotálamo, que integra as informações dos termorreceptores cutâneos

e centrais e comanda respostas efetoras autonômicas, como a sudorese e o aumento do fluxo sanguíneo para a pele (CHARKOUDIAN, 2010; GUYTON; HALL, 2017).

O balanço térmico pode ser expresso pela equação:

$$S = M – W \pm R \pm C – E$$

em que S é o calor armazenado, M é a taxa metabólica, W é o trabalho mecânico externo, R é a radiação, C é a convecção e E é a evaporação. Durante o exercício intenso, a maior parte da energia metabólica transforma-se em calor. Em ambientes com temperatura próxima ou superior à da pele, as trocas por radiação e convecção deixam de ser eficazes ou passam a representar ganho de calor, e a evaporação do suor torna-se praticamente a única via de dissipação (POWERS; HOWLEY, 2014; SAWKA *et al.*, 2011).

3.2 Vasodilatação cutânea

Com o aumento da temperatura central, ocorre a ativação de um sistema vasodilatador ativo na pele, mediado por nervos simpáticos e por substâncias como o óxido nítrico. O fluxo sanguíneo cutâneo, que em repouso é relativamente pequeno, pode alcançar cerca de 7 litros por minuto em condições de forte estresse térmico, transportando calor do núcleo para a periferia, onde se dissipa para o meio (ROWELL, 1974; JOHNSON; KELLOGG, 2010; CHARKOUDIAN, 2010).

3.3 Sudorese e resfriamento evaporativo

As glândulas sudoríparas écrinas secretam um fluido hipotônico, composto principalmente por água e sódio, cuja evaporação sobre a pele remove aproximadamente 2,4 kJ de calor por mililitro de suor. A taxa de sudorese varia conforme a intensidade do exercício, o clima, o vestuário, a aclimatação e fatores individuais, podendo superar 1 litro por hora em atletas, com grande variabilidade entre indivíduos (BAKER, 2017; SAWKA *et al.*, 2007).

A eficácia do resfriamento depende da umidade relativa do ar: quanto maior a umidade, menor a capacidade de evaporação e maior a proporção de suor que escorre sem resfriar o corpo, o que acarreta perda hídrica sem benefício térmico proporcional. Por isso, o índice de bulbo úmido e globo (IBUTG), que combina temperatura, umidade e radiação, costuma ser usado como parâmetro de risco térmico, e as atividades devem ser programadas conforme esse risco, sobretudo nos primeiros dias quentes do ano (RACINAIS *et al.*, 2015).

4 DESIDRATAÇÃO E RISCOS À SAÚDE

4.1 Desidratação

A desidratação induzida pelo exercício ocorre quando a perda de suor supera a ingestão de líquidos. Perdas iguais ou superiores a 2% da massa corporal já são associadas a prejuízo do desempenho, sobretudo em ambientes quentes; perdas maiores aumentam a temperatura central, a frequência cardíaca e a percepção de esforço (SAWKA *et al.*, 2007; CHEUVRONT; KENEFICK, 2014). Na prática, muitos atletas iniciam o exercício parcialmente desidratados e bebem menos do que perdem pelo suor, razão pela qual se recomenda começar a atividade bem hidratado e adotar uma estratégia individual de reposição (MAUGHAN; SHIRREFFS, 2010).

4.2 Doenças relacionadas ao calor

As principais doenças relacionadas ao calor, suas características e a conduta inicial estão sintetizadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Doenças relacionadas ao calor: características e conduta inicial

Condição	Características principais	Conduta inicial
Câimbras pelo calor	Contrações musculares dolorosas, associadas ao suor intenso e à perda de sódio	Repouso em local fresco, reposição de líquidos e sódio
Exaustão pelo calor	Fraqueza, tontura, cefaleia, náuseas, pele pálida e suada, temperatura central em geral abaixo de 40 °C	Interromper o exercício, resfriar o corpo, hidratar e buscar avaliação médica
Intermação (insolação)	Temperatura central acima de 40 °C com disfunção do sistema nervoso central (confusão, convulsões, perda de consciência)	Emergência: resfriamento imediato (imersão em água fria) e acionamento do serviço de emergência (Samu 192)

Fonte: Elaborado pelos autores com base em Casa *et al.* (2015).

A intermação por esforço é potencialmente fatal, e o prognóstico depende da rapidez do resfriamento, razão pela qual o princípio recomendado é “resfriar primeiro, transportar depois” (CASA *et al.*, 2015). Crianças e adolescentes merecem atenção especial, pois dependem da supervisão de adultos para pausas e hidratação.

5 QUEDA DE RENDIMENTO NO CALOR

O desempenho em provas de resistência é consistentemente menor em ambientes quentes do que em ambientes temperados. Em um estudo clássico, voluntários pedalaram até a exaustão por tempo significativamente menor a 31 °C do que a 11 °C (GALLOWAY; MAUGHAN, 1997). A literatura aponta mais de um mecanismo para esse fenômeno:

1. **Limitação cardiovascular:** a competição entre pele e músculo por fluxo sanguíneo, somada à redução do volume plasmático, diminui o débito cardíaco e o aporte de oxigênio (GONZÁLEZ-ALONSO; CRANDALL; JOHNSON, 2008; SAWKA *et al.*, 2011).
2. **Limitação central:** quando a temperatura central se aproxima de valores críticos, em torno de 40 °C, observa-se a redução da ativação voluntária da musculatura, indicando que o sistema nervoso central limita o esforço (GONZÁLEZ-ALONSO *et al.*, 1999; NYBO; RASMUSSEN; SAWKA, 2014).
3. **Regulação antecipatória:** o cérebro pode reduzir a intensidade do exercício antes de a temperatura atingir níveis perigosos, como mecanismo protetor (TUCKER *et al.*, 2004).
4. **Desidratação:** agrava todos os mecanismos anteriores, ampliando a queda de rendimento (CHEUVRONT; KENEFICK, 2014).

Em provas de curta duração e alta intensidade, a influência do calor tende a ser menor; já em atividades prolongadas, o efeito é mais expressivo. Na prática escolar, isso se traduz em maior fadiga, queda de atenção e de qualidade da aprendizagem motora em aulas realizadas nas horas mais quentes do dia.

6 ESTRATÉGIAS DE HIDRATAÇÃO E ACLIMATAÇÃO

6.1 Hidratação antes, durante e após o exercício

Os posicionamentos do American College of Sports Medicine e da National Athletic Trainers' Association convergem para a individualização da reposição hídrica, a partir da taxa de sudorese de cada pessoa, e não para um volume fixo para todos (SAWKA *et al.*, 2007; MCDERMOTT *et al.*, 2017). No Brasil, a Sociedade Brasileira de Medicina do Esporte (2009) adota orientação semelhante. As recomendações gerais estão sintetizadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Recomendações gerais de hidratação antes, durante e após o exercício

Momento	Recomendação
Antes	Iniciar a atividade bem hidratado; ingerir líquidos lentamente nas horas que antecedem o exercício (cerca de 5 a 7 mL por kg de massa corporal, ao menos 4 horas antes).
Durante	Beber em intervalos regulares, de modo a evitar perda superior a 2% da massa corporal; em atividades com mais de 1 hora de duração, considerar bebidas com carboidrato e sódio.
Após	Repor cerca de 1,5 L de líquido para cada kg perdido, incluindo sódio, especialmente quando a recuperação entre sessões é curta.

Fonte: Elaborado pelos autores com base em Sawka *et al.* (2007) e McDermott *et al.* (2017).

É igualmente importante evitar o excesso: a ingestão de água acima da taxa de sudorese pode causar hiponatremia associada ao exercício, condição potencialmente grave (SAWKA *et al.*, 2007; MCDERMOTT *et al.*, 2017). A National Athletic Trainers' Association recomenda ainda quantificar a taxa de sudorese individual em diferentes ambientes (MCDERMOTT *et al.*, 2017).

Para estimar a taxa de sudorese, a literatura sugere pesar o indivíduo antes e depois de uma sessão de exercício, com o mínimo de roupa possível, e considerar o volume de líquido ingerido e o de urina eliminado no período. A perda de massa corporal, somada ao volume ingerido e subtraído o volume urinado, dividida pelo tempo de atividade, fornece a taxa de sudorese em litros por hora (SAWKA *et al.*, 2007; MCDERMOTT *et al.*, 2017). Como essa taxa varia com a intensidade, o clima e o vestuário, a medida deve ser repetida em condições diferentes, o que permite a cada pessoa ajustar o volume e a frequência da ingestão de líquidos.

6.2 Aclimatação ao calor

A exposição repetida ao calor, por cerca de 7 a 14 dias, promove adaptações como início mais precoce da sudorese, aumento do volume de suor, menor perda de sódio na transpiração, expansão do volume plasmático e menor frequência cardíaca no mesmo esforço, o que reduz o risco de doença pelo calor e melhora o desempenho (PÉRIARD; RACINAIS; SAWKA, 2015; RACINAIS *et al.*, 2015). A progressão deve ser gradual em intensidade e duração.

6.3 Medidas práticas para o contexto de Teresina

Com base nos achados discutidos, recomendam-se as seguintes medidas:

- programar treinos e aulas para o início da manhã ou o final da tarde, evitando o período de maior calor;
- usar vestimentas leves, claras e que favoreçam a evaporação do suor, além de protetor solar e boné;
- garantir o acesso livre a água, pausas programadas e locais com sombra;
- orientar os alunos ou atletas a monitorar a cor da urina e reconhecer sinais de alerta (tontura, náuseas, cefaleia, confusão mental);
- reduzir a intensidade e a duração em dias de calor extremo e retomar a atividade de forma progressiva após períodos de afastamento;
- dispor de planos de emergência, com recursos de resfriamento e contato rápido com o serviço de urgência.

6.4 Aplicação na Educação Física escolar e no treinamento esportivo

No ambiente escolar, a aplicação dessas estratégias exige planejamento prévio do professor. Antes da aula ou do treino, convém verificar as condições ambientais do dia e, quando possível, o IBUTG, ajustando intensidade, duração e tipo de atividade ao risco térmico (RACINAIS *et al.*, 2015). Atividades de alta intensidade e longa duração devem ser reservadas aos horários mais amenos, enquanto nos períodos de maior calor podem ser priorizadas tarefas de menor demanda metabólica, como jogos adaptados, atividades técnicas e conteúdos teóricos realizados em locais sombreados.

Também é recomendável organizar a aclimatação de forma sistemática, sobretudo no retorno das férias, após períodos de afastamento ou diante de mudanças bruscas de temperatura, aumentando progressivamente a carga ao longo dos primeiros dias (PÉRIARD; RACINAIS; SAWKA, 2015). As pausas para hidratação devem ser previstas no plano de aula, e não deixadas apenas a critério dos alunos, uma vez que crianças e adolescentes dependem da supervisão do adulto. Por fim, professores e treinadores devem conhecer os sinais de exaustão e de intermação e saber executar o plano de emergência, priorizando o resfriamento imediato do corpo e o acionamento do serviço de urgência (CASA *et al.*, 2015).

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O exercício no calor exige integração entre os sistemas termorregulador, cardiovascular e nervoso. A vasodilatação cutânea e a sudorese são eficazes enquanto há água corporal disponível e condições ambientais que permitam a evaporação; quando esses fatores falham, a temperatura central sobe, o rendimento cai e aumenta o risco de câimbras, exaustão e intermação.

A prevenção apoia-se em quatro eixos: aclimatação gradual, hidratação individualizada, ajuste do horário e da intensidade das atividades e reconhecimento precoce de sinais de alerta. Em Teresina e no Piauí, onde o calor é um fator constante, a incorporação desses cuidados às aulas de Educação Física e aos treinamentos esportivos constitui uma medida de saúde pública e de qualidade pedagógica.

Como limitação, destaca-se que este estudo é uma revisão narrativa, sem protocolo sistemático de busca, e que grande parte das evidências apresentadas provém de estudos com adultos e atletas, em laboratório ou em competição. Há menor disponibilidade de estudos com escolares em condições reais de aula, o que sugere a necessidade de pesquisas de campo no Nordeste brasileiro que avaliem hidratação, taxa de sudorese e risco térmico nesse público.

REFERÊNCIAS

BAKER, L. B. Sweating rate and sweat sodium concentration in athletes: a review of methodology and intra/interindividual variability. **Sports Medicine**, v. 47, supl. 1, p. 111-128, 2017.

CASA, D. J. et al. National Athletic Trainers' Association position statement: exertional heat illnesses. **Journal of Athletic Training**, v. 50, n. 9, p. 986-1000, 2015.

CHARKOUDIAN, N. Mechanisms and modifiers of reflex induced cutaneous vasodilation and vasoconstriction in humans. **Journal of Applied Physiology**, v. 109, n. 4, p. 1221-1228, 2010.

CHEUVRONT, S. N.; KENEFICK, R. W. Dehydration: physiology, assessment, and performance effects. **Comprehensive Physiology**, v. 4, n. 1, p. 257-285, 2014.

GALLOWAY, S. D. R.; MAUGHAN, R. J. Effects of ambient temperature on the capacity to perform prolonged cycle exercise in man. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 29, n. 9, p. 1240-1249, 1997.

GONZÁLEZ-ALONSO, J. Human thermoregulation and the cardiovascular system. **Experimental Physiology**, v. 97, n. 3, p. 340-346, 2012.

GONZÁLEZ-ALONSO, J.; CRANDALL, C. G.; JOHNSON, J. M. The cardiovascular challenge of exercising in the heat. **The Journal of Physiology**, v. 586, n. 1, p. 45-53, 2008.

GONZÁLEZ-ALONSO, J. et al. Influence of body temperature on the development of fatigue during prolonged exercise in the heat. **Journal of Applied Physiology**, v. 86, n. 3, p. 1032-1039, 1999.

GUYTON, A. C.; HALL, J. E. **Tratado de fisiologia médica**. 13. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.

JOHNSON, J. M.; KELLOGG, D. L. Local thermal control of the human cutaneous circulation. **Journal of Applied Physiology**, v. 109, n. 4, p. 1229-1238, 2010.

MAUGHAN, R. J.; SHIRREFFS, S. M. Dehydration and rehydration in competitive sport. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, v. 20, supl. 3, p. 40-47, 2010.

MCDERMOTT, B. P. et al. National Athletic Trainers' Association position statement: fluid replacement for the physically active. **Journal of Athletic Training**, v. 52, n. 9, p. 877-895, 2017.

NYBO, L.; RASMUSSEN, P.; SAWKA, M. N. Performance in the heat: physiological factors of importance for hyperthermia-induced fatigue. **Comprehensive Physiology**, v. 4, n. 2, p. 657-689, 2014.

PÉRIARD, J. D.; RACINAIS, S.; SAWKA, M. N. Adaptations and mechanisms of human heat acclimation: applications for competitive athletes and sports. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, v. 25, supl. 1, p. 20-38, 2015.

POWERS, S. K.; HOWLEY, E. T. **Fisiologia do exercício**: teoria e aplicação ao condicionamento e ao desempenho. 8. ed. Barueri: Manole, 2014.

RACINAIS, S. et al. Consensus recommendations on training and competing in the heat. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, v. 25, supl. 1, p. 6-19, 2015.

ROWELL, L. B. Human cardiovascular adjustments to exercise and thermal stress. **Physiological Reviews**, v. 54, n. 1, p. 75-159, 1974.

SAWKA, M. N. et al. American College of Sports Medicine position stand: exercise and fluid replacement. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 39, n. 2, p. 377-390, 2007.

SAWKA, M. N. et al. Integrated physiological mechanisms of exercise performance, adaptation, and maladaptation to heat stress. **Comprehensive Physiology**, v. 1, n. 4, p. 1883-1928, 2011.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE MEDICINA DO ESPORTE. Modificações dietéticas, reposição hídrica, suplementação alimentar e drogas: comprovação de ação

ergogênica e potenciais riscos para a saúde. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, v. 15, n. 3, supl., p. 3-12, 2009.

TUCKER, R. et al. Impaired exercise performance in the heat is associated with an anticipatory reduction in skeletal muscle recruitment. **Pflügers Archiv – European Journal of Physiology**, v. 448, n. 4, p. 422-430, 2004.