Unidade 3: Suporte e locomoção.

Tema: Termorregulação.

Introdução:

O ser humano é **homeotérmico**: mantém a temperatura dos seus órgãos internos praticamente constante, mesmo quando a temperatura do ambiente varia muito. Esta estabilidade é indispensável, porque as reações químicas das células e a atividade das enzimas dependem da temperatura. Um aumento acentuado acelera e desorganiza o metabolismo e pode desnaturar proteínas; uma descida acentuada torna o metabolismo lento e compromete o funcionamento do sistema nervoso e do coração.

A **termorregulação** é o conjunto de mecanismos fisiológicos e comportamentais que mantém a temperatura corporal dentro de limites estreitos. É um dos exemplos clássicos de **homeostasia** controlada por **retroalimentação negativa**, e a pele, estudada no tema anterior, é o principal órgão através do qual o corpo troca calor com o ambiente.

Conceitos básicos:

- **Temperatura central:** temperatura dos tecidos profundos (cérebro, órgãos do tórax e do abdómen). É regulada com grande precisão e, em condições normais, varia apenas cerca de ±0,6 °C.
- **Temperatura periférica (da pele):** sobe e desce com a temperatura do ambiente. É através da pele que o corpo ganha ou perde calor.
- **Valores normais:** a temperatura oral média ronda os **37 °C** (cerca de 36,5–37,5 °C). A temperatura retal é cerca de 0,5 °C mais alta e a axilar cerca de 0,5 °C mais baixa do que a oral.
- **Variações fisiológicas:**
    - Ritmo circadiano: a temperatura é mais baixa de madrugada e mais alta ao fim da tarde (diferença de 0,5 a 1 °C).
    - Exercício físico: pode elevar transitoriamente a temperatura central.
    - Ciclo menstrual: após a ovulação, a progesterona eleva a temperatura em cerca de 0,3–0,5 °C.
    - Idade: recém-nascidos e idosos regulam a temperatura com menos eficácia.

Balanço térmico:

A temperatura corporal só se mantém constante quando o **calor produzido** é igual ao **calor perdido**. Se a produção supera a perda, o calor acumula-se e a temperatura sobe; se a perda supera a produção, a temperatura desce.

© ClaraPro Medical Services
Proibida a venda e/ou reprodução com fins comerciais

1. Produção de calor (termogénese)

- **Metabolismo basal:** é a principal fonte de calor em repouso. Os órgãos que mais contribuem são o fígado, o cérebro, o coração e o músculo esquelético.
- **Atividade muscular:** a contração muscular liberta muito calor. Durante o exercício intenso, a produção de calor pode multiplicar-se várias vezes.
- **Hormonas:** as **hormonas tiroideias** (T3 e T4) aumentam a taxa metabólica de quase todas as células (efeito lento e duradouro); a **adrenalina** e a **noradrenalina** aumentam-na de forma rápida; a testosterona e a hormona do crescimento têm um efeito menor.
- **Efeito térmico dos alimentos:** a digestão, a absorção e o armazenamento dos nutrientes também produzem calor.
- **A própria temperatura:** cada aumento de 1 °C acelera o metabolismo celular em cerca de 10%, o que ajuda a explicar o aumento do consumo de oxigénio na febre.

2. Perda de calor

O calor produzido nos órgãos profundos é transportado pelo **sangue** até à pele, e daí passa para o ambiente por quatro mecanismos físicos:

Mecanismo	Como funciona	Perda em repouso*
Radiação	Emissão de raios infravermelhos para objetos mais frios, sem necessidade de contacto.	≈ 60%
Condução	Passagem de calor por contacto direto com objetos mais frios (cadeira, chão, água).	≈ 3%
Convecção	O ar aquecido junto à pele é afastado e substituído por ar mais frio. O vento aumenta muito esta perda.	≈ 15%
Evaporação	Passagem da água a vapor na pele e nas vias respiratórias. Cada grama de água evaporada retira cerca de 0,58 kcal.	≈ 22%

**Valores aproximados para uma pessoa nua, em repouso, num ambiente ameno (Hall & Hall, 2021).*

- Mesmo sem suar, perdemos continuamente água por evaporação através da pele e dos pulmões (**perda insensível**, cerca de 600–700 mL por dia).
- **Quando a temperatura do ambiente é superior à da pele**, a radiação, a condução e a convecção deixam de retirar calor e passam a **fornecê-lo** ao corpo. Nessa situação, a **evaporação do suor é o único mecanismo eficaz** de perda de calor. Por isso, em ambientes quentes e húmidos, onde o suor evapora mal, o risco de golpe de calor é maior.
- A água conduz o calor muito melhor do que o ar: a imersão em água fria provoca uma perda de calor rápida e pode levar à hipotermia.

O papel da pele e da hipoderme:

A pele funciona simultaneamente como **isolante** e como **radiador** do corpo:

© ClaraPro Medical Services
Proibida a venda e/ou reprodução com fins comerciais

- **Isolamento:** a pele e sobretudo a gordura da **hipoderme** conduzem mal o calor, protegendo os órgãos internos das variações do ambiente.
- **Fluxo sanguíneo cutâneo:** a derme possui um extenso plexo venoso e, nas mãos, pés e orelhas, **anastomoses arteriovenosas**. Estes vasos estão sob controlo do **sistema nervoso simpático**. O fluxo de sangue para a pele pode variar desde quase zero até cerca de **30% do débito cardíaco**: muito sangue na pele significa muita perda de calor; pouco sangue significa conservação de calor.
- **Glândulas sudoríparas écrinas:** distribuídas por todo o corpo, são estimuladas por fibras simpáticas **colinérgicas** (libertam acetilcolina). O suor forma-se a partir do plasma, e o ducto da glândula reabsorve parte do sódio e do cloreto; por isso, quando se transpira muito depressa, perde-se mais sal.

O sistema de controlo: o "termóstato" hipotalâmico:

A termorregulação segue a lógica de qualquer sistema de controlo homeostático: um **sensor** deteta a variável, um **centro integrador** compara-a com um valor de referência e **efetores** corrigem o desvio (Figura 1).

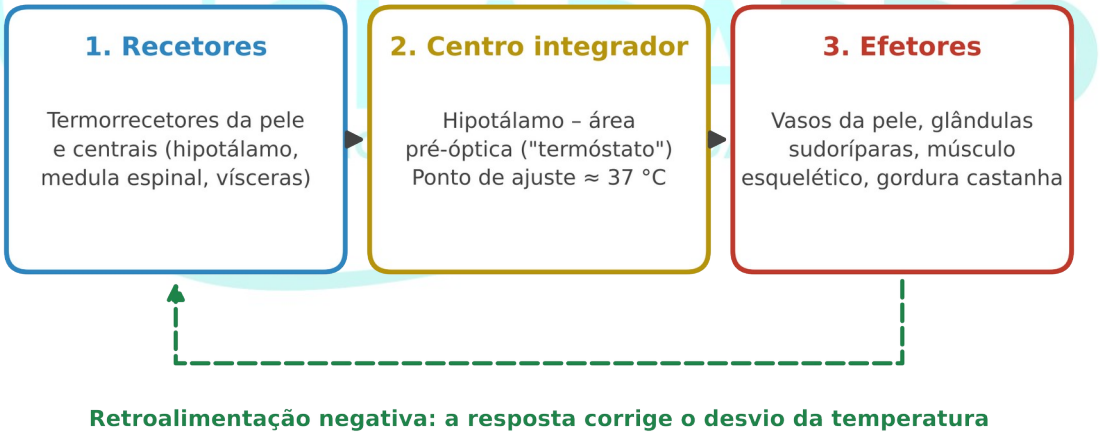


Figura 1. Componentes do sistema termorregulador.

1. Recetores

- **Recetores periféricos (pele):** os recetores de **frio** são cerca de 10 vezes mais numerosos do que os de calor. Por isso, a deteção periférica serve sobretudo para nos proteger do arrefecimento.
- **Recetores centrais:** neurónios sensíveis à temperatura no próprio **hipotálamo** (área pré-óptica, onde os neurónios sensíveis ao calor predominam), na medula espinal, nas vísceras abdominais e nas grandes veias.

2. Centro integrador

- A **área pré-óptica do hipotálamo anterior** deteta a temperatura do sangue que a irriga e funciona como um verdadeiro termóstato.

© ClaraPro Medical Services
Proibida a venda e/ou reprodução com fins comerciais

- O **hipotálamo posterior** integra os sinais centrais e periféricos e comanda as respostas de conservação e de produção de calor.
- O valor de referência é o **ponto de ajuste** (*set point*), de cerca de **37 °C**. Acima dele ativam-se os mecanismos de perda de calor; abaixo dele, os de conservação e produção.

3. Efetores

- Vasos sanguíneos da pele, glândulas sudoríparas, músculo esquelético (tremor), tecido adiposo castanho, glândula tiroide (através do eixo TRH–TSH) e o **comportamento**, controlado pelo córtex cerebral.

A resposta dos efetores **corrige o desvio** que a desencadeou, o que define a **retroalimentação negativa**.

Respostas ao calor (a temperatura sobe):

Objetivo: **perder calor** e **reduzir a sua produção**.

1. **Vasodilatação cutânea:** a inibição dos centros simpáticos do hipotálamo posterior dilata os vasos da pele; chega mais sangue quente à superfície e o calor passa para o ambiente. A pele fica quente e avermelhada.
2. **Sudorese:** as glândulas sudoríparas aumentam a produção de suor, que arrefece a pele ao evaporar. Uma pessoa não aclimatada raramente produz mais de 1 L de suor por hora; após aclimatação, este valor pode chegar a 2–3 L/h.
3. **Diminuição da produção de calor:** inibição do tremor e da termogénese química; diminuição do tónus muscular.
4. **Comportamento:** procurar sombra, despir roupa, reduzir a atividade física, beber água.

Respostas ao frio (a temperatura desce):

Objetivo: **conservar calor** e **produzir mais calor**.

1. **Vasoconstrição cutânea:** a estimulação simpática pelo hipotálamo posterior contrai os vasos da pele; o sangue fica no interior do corpo e perde-se menos calor. A pele fica fria e pálida.
2. **Piloerecção:** os músculos eretores dos pelos contraem-se ("pele de galinha"). No ser humano o efeito é pouco importante, mas nos animais com pelagem cria uma camada de ar isolante.
3. **Termogénese com tremor:** o centro motor do tremor, no hipotálamo posterior, provoca contrações musculares rítmicas e involuntárias (calafrios), que podem aumentar a produção de calor **4 a 5 vezes**.
4. **Termogénese sem tremor (química):** a noradrenalina e a adrenalina ativam o **tecido adiposo castanho**, cujas mitocôndrias têm uma proteína desacopladora (**termogenina** ou UCP-1) que transforma a energia diretamente em calor. No adulto, que tem pouca

© ClaraPro Medical Services
Proibida a venda e/ou reprodução com fins comerciais

gordura castanha, este mecanismo aumenta a produção de calor apenas 10–15%; no **recém-nascido** pode duplicá-la, o que é vital porque o recém-nascido ainda não treme eficazmente.

5. **Aumento da secreção de tiroxina:** a exposição prolongada ao frio (semanas) aumenta a libertação de TRH pelo hipotálamo e, consequentemente, das hormonas tiroideias, elevando o metabolismo basal.
6. **Comportamento:** agasalhar-se, encolher-se (reduz a superfície exposta), procurar abrigo e aumentar a atividade física.

Diferenças entre as respostas ao calor e ao frio

Efetor	Calor	Frio
Vasos da pele	Vasodilatação (mais perda de calor)	Vasoconstrição (menos perda de calor)
Glândulas sudoríparas	Sudorese intensa	Sudorese inibida
Músculo esquelético	Menor tónus muscular	Tremor (calafrios)
Metabolismo	Diminui	Aumenta (adrenalina, noradrenalina, gordura castanha, tiroxina)
Pelos	Sem alteração	Piloerecção
Comportamento	Sombra, menos roupa, beber água	Agasalhar-se, encolher-se, procurar abrigo

Aclimatização ao calor

Uma pessoa exposta repetidamente ao calor durante 1 a 6 semanas adapta-se progressivamente:

- Começa a suar mais cedo e produz **mais suor**.
- O suor torna-se **menos salgado**, porque a **aldosterona** aumenta a reabsorção de sódio nos ductos das glândulas sudoríparas.
- Aumenta o **volume plasmático**, o que favorece o fluxo sanguíneo para a pele.

Por isso, quem chega de um clima frio tolera pior o calor nas primeiras semanas e está mais exposto à exaustão e ao golpe de calor.

Alterações da termorregulação

1. Febre

A **febre** é a elevação da temperatura corporal acima do normal devida a um **reajuste do ponto de ajuste** hipotalâmico. O termóstato não avaria: passa a funcionar a um valor mais alto.

© ClaraPro Medical Services
Proibida a venda e/ou reprodução com fins comerciais

- **Pirogénios exógenos** (por exemplo, toxinas bacterianas) estimulam os leucócitos a libertar **pirogénios endógenos**: interleucina-1 (IL-1), interleucina-6 (IL-6) e fator de necrose tumoral alfa (TNF-α).
- Estas citocinas induzem a enzima **ciclo-oxigenase-2 (COX-2)** e a produção de **prostaglandina E2 (PGE2)** junto ao hipotálamo, que eleva o ponto de ajuste.

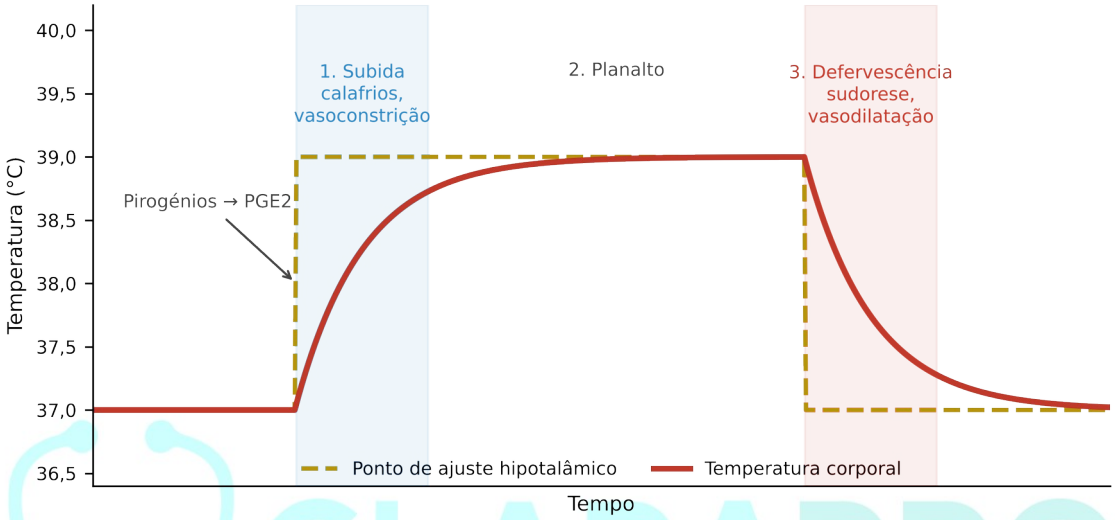


Figura 2. Fases da febre: a temperatura corporal acompanha o ponto de ajuste hipotalâmico.

A febre evolui em três fases (Figura 2):

- **Subida (fase de calafrio):** o novo ponto de ajuste está acima da temperatura real, por isso o corpo "sente frio": surgem **calafrios**, **vasoconstrição** e pele fria e pálida, até a temperatura atingir o novo valor.
- **Planalto:** a temperatura mantém-se ao nível do novo ponto de ajuste, e as respostas ao frio desaparecem.
- **Defervescência (fase de "crise" ou rubor):** quando a causa é removida, o ponto de ajuste volta ao normal; a temperatura real fica acima dele e ativam-se a **sudorese** e a **vasodilatação** (pele quente, vermelha e húmida), até a temperatura normalizar.
- Os **antipiréticos** (paracetamol, ácido acetilsalicílico, ibuprofeno) atuam **inibindo a ciclo-oxigenase** e, assim, a síntese de PGE2, o que faz baixar o ponto de ajuste.

2. Hipertermia e golpe de calor

Na **hipertermia**, a temperatura sobe **sem alteração do ponto de ajuste**: os mecanismos de perda de calor são ultrapassados pela produção ou pelo calor do ambiente.

- O **golpe de calor** ocorre em ambientes muito quentes e húmidos, durante esforço intenso ou com desidratação. A temperatura central pode ultrapassar **40–41 °C**, com confusão mental, convulsões e lesão do sistema nervoso central e de outros órgãos. É uma **emergência**.
- Como o ponto de ajuste está normal, os **antipiréticos não são eficazes**: o tratamento é o **arrefecimento físico** rápido e a hidratação.

© ClaraPro Medical Services
Proibida a venda e/ou reprodução com fins comerciais

- A **hipertermia maligna** é uma reação rara, de origem genética, a alguns anestésicos inalatórios e relaxantes musculares, com produção muscular de calor descontrolada.

3. Hipotermia

- Considera-se **hipotermia** uma temperatura central inferior a **35 °C**.
- Abaixo de cerca de 34 °C, a capacidade do hipotálamo para regular a temperatura fica comprometida; abaixo de cerca de 30 °C surgem sonolência progressiva, coma e arritmias cardíacas.
- São grupos de risco os **recém-nascidos** (grande superfície corporal em relação ao peso), os **idosos**, as pessoas imersas em água fria e as intoxicadas por álcool (que provoca vasodilatação cutânea).

Para a prática clínica

- Registar sempre o **local** onde a temperatura foi medida (oral, axilar, retal, timpânica), porque os valores normais diferem.
- Os **calafrios no início da febre** indicam que a temperatura ainda está a subir; a sudorese indica que a febre está a ceder.
- Distinguir **febre** (ponto de ajuste elevado, responde a antipiréticos) de **hipertermia** (ponto de ajuste normal, exige arrefecimento físico).
- No **recém-nascido**, secar a pele imediatamente após o parto e favorecer o contacto pele com pele reduz a perda de calor.

Em resumo

- A temperatura central mantém-se perto dos 37 °C porque a produção de calor iguala a perda.
- O calor perde-se por radiação, condução, convecção e evaporação; com ambiente mais quente do que a pele, só a evaporação é eficaz.
- O hipotálamo (área pré-óptica) funciona como termóstato, comparando a temperatura com um ponto de ajuste.
- No calor: vasodilatação e sudorese. No frio: vasoconstrição, tremor e termogénese sem tremor.
- Na febre, o ponto de ajuste sobe por ação da PGE2; na hipertermia, o ponto de ajuste é normal.

Questões de revisão

1. Explique por que razão a temperatura central se mantém estável, recorrendo ao conceito de balanço térmico.
2. Descreva os quatro mecanismos de perda de calor e indique qual deles é o único eficaz quando o ambiente está mais quente do que a pele.

© ClaraPro Medical Services
Proibida a venda e/ou reprodução com fins comerciais

3. Identifique os componentes do sistema termorregulador e explique por que se trata de um mecanismo de retroalimentação negativa.
4. Compare as respostas fisiológicas ao calor e ao frio no que respeita aos vasos da pele, às glândulas sudoríparas e ao músculo esquelético.
5. Por que razão a termogénese sem tremor é mais importante no recém-nascido do que no adulto?
6. Explique as três fases da febre e justifique o aparecimento de calafrios na fase de subida.
7. Diferencie febre de hipertermia e explique por que os antipiréticos não tratam o golpe de calor.

Referências bibliográficas

Boron, W. F., & Boulpaep, E. L. (2017). *Medical physiology* (3rd ed.). Elsevier.

Hall, J. E., & Hall, M. E. (2021). *Guyton and Hall textbook of medical physiology* (14th ed.). Elsevier.

Silverthorn, D. U. (2019). *Human physiology: An integrated approach* (8th ed.). Pearson.

Tortora, G. J., & Derrickson, B. (2017). *Principles of anatomy and physiology* (15th ed.). Wiley.

CLARAPRO
MEDICAL SERVICES, LDA

© ClaraPro Medical Services
Proibida a venda e/ou reprodução com fins comerciais