



DESCRIÇÃO

A Termodinâmica no corpo humano, matéria e energia. As Leis da Termodinâmica. As transformações de energia no corpo humano. O equilíbrio térmico do corpo humano (homeotermia).

PROPÓSITO

Compreender os mecanismos da Termodinâmica no corpo humano, assim como os processos de controle da temperatura corporal.

OBJETIVOS

MÓDULO 1

Definir matéria, energia e suas inter-relações

MÓDULO 2

Distinguir as diferentes Leis da Termodinâmica e como elas se aplicam ao corpo humano

MÓDULO 3

Identificar os mecanismos de controle da temperatura corporal (homeotermia)

INTRODUÇÃO

Calor, frio... Sensações térmicas que estão presentes a todo o momento em nossas vidas. Mas, e se nos perguntarmos: Por que sentimos calor? Por que sentimos frio? Como nosso corpo consegue detectar as mudanças de temperatura interna e consegue de maneira tão brilhante dar início a processos de controle para a manutenção da chamada homeotermia (controle térmico corporal)?

Para respondermos essas questões abordaremos módulos muito importantes. Primeiramente, vamos entender o que é matéria, o que é energia, e como elas se mostram presentes no Universo, na natureza ao nosso redor. Depois, vamos compreender o que são as Leis da Termodinâmica e entender como elas influenciam nossa fisiologia corporal. Em seguida, vamos reconhecer as transformações pelas quais passa a energia no corpo humano, para então, finalmente, identificar os mecanismos de controle da temperatura corporal. Discutiremos também como se dá o controle da temperatura no exercício físico e como a energia térmica (ou termoterapia) pode ser usada terapeuticamente em diversas condições.

MÓDULO 1

🕒 Definir matéria, energia e suas inter-relações

TODO O NOSSO UNIVERSO ESTÁ PERMEADO DE MATÉRIA E ENERGIA. A RELAÇÃO ENTRE ESSES DOIS ENTES CRIA

TUDO O QUE VEMOS AO NOSSO REDOR. VAMOS CONHECER ALGUNS CONCEITOS?

SOBRE A MATÉRIA

Matéria pode ser simplesmente conceituada como:

TUDO O QUE OCUPA LUGAR NO ESPAÇO E TEM MASSA. BASTA OLHARMOS AO NOSSO REDOR E VERIFICARMOS TODAS AS COISAS QUE OCUPAM ESPAÇO, MESMO QUE SEJAM INVISÍVEIS (EXEMPLO, O AR). QUANDO TEMOS UMA PORÇÃO LIMITADA DE MATÉRIA, POR EXEMPLO PARA OBSERVÁ-LA OU PARA MANIPULÁ-LA, TEMOS ALI O QUE CHAMAMOS DE UM “CORPO”. QUANDO USAMOS ESSE CORPO PARA ALGUMA FINALIDADE, CHAMAMOS DE “OBJETO” (USBERCO; SALVADOR, 2014).

MASSA

Massa é a quantidade de matéria dos corpos. É comum usarmos como unidades de medida o grama (g), o quilograma (kg, que corresponde a 1.000 g) e o miligrama (mg, que corresponde a 0,001 g). A determinação de uma massa é feita por um equipamento chamado **balança**.

VOLUME

Toda massa está contida em um determinado volume. Volume é o espaço ocupado por um corpo e, geralmente, usamos como unidade de medida o litro (L), o mililitro (mL, que corresponde a 0,001 L) ou o metro cúbico (m^3 , que corresponde a 1.000 L). Pode ser calculado com a expressão:

$$V = L.H.W$$

Onde l = comprimento, h = altura, e w = largura do corpo.

A relação entre a massa e o volume de um corpo nos dá a densidade (d), que pode ser calculada com a fórmula a seguir:

$$D = \frac{M}{V}$$



Atenção! Para visualização completa da equação utilize a rolagem horizontal

Onde m é a massa, e V é o volume do corpo. Ou seja, um corpo é “muito denso” se ele tem muita massa em um volume V qualquer. Um corpo é relativamente “menos denso” se ele tem menos massa, no mesmo volume V .

Importante conceituarmos também o termo **sistema**. Um sistema é qualquer corpo submetido à observação. Tudo o que rodeia um sistema é chamado de **meio ambiente**. Um sistema pode ser:

SISTEMA ABERTO

Possui a capacidade de trocar matéria e/ou energia com o meio ambiente; exemplo, uma xícara de café perde energia térmica na forma de calor com o ambiente, além de perder moléculas de água por evaporação.

SISTEMA FECHADO

Pode trocar somente energia com o meio ambiente; exemplo, a mesma xícara de café, porém tampada.

SISTEMA ISOLADO

Quando não troca matéria nem energia com o meio ambiente.



EXEMPLO

Embora possamos citar a garrafa térmica como um exemplo, é importante salientar que esse sistema não é perfeitamente isolado, pois, com o tempo, permite-se a troca de energia com o ambiente.



Fonte: Shutterstock.

📷 Sistemas termodinâmicos.

De acordo com Usberco e Salvador (2014), a matéria é composta por pequenas partículas. Dependendo do espaço entre essas partículas (agregação), a matéria pode se apresentar em três estados, que são interconvertíveis. A tabela a seguir mostra as características macroscópicas e microscópicas dos estados físicos **sólido**, **líquido** e **gasoso**.

Estado físico	Aspectos macroscópicos	Aspectos microscópicos
Sólido	Forma e volume constantes	Partículas ordenadas, sem liberdade de movimento
Líquido	Forma variável, com volume constante	Partículas desordenadas com pouca liberdade de movimento
Gasoso	Forma e volume variáveis	Partículas com grandes espaços entre si, com grande liberdade de movimento

📄 **Atenção!** Para visualizaçãocompleta da tabela utilize a rolagem horizontal

📷 Usberco e Salvador, 2014.

No Universo, existem fenômenos físicos e químicos. Nos fenômenos físicos, a natureza da matéria não é alterada. Podemos citar como exemplo os cubos de gelo que, ao ficarem em um copo exposto ao meio ambiente, vão perdendo calor até que se transformem em água líquida (a molécula de água, H_2O , continua a mesma, apenas o estado da matéria foi alterado). Já em um fenômeno químico, a natureza da matéria é alterada. Uma ou mais substâncias se transformam em outras (o que chamamos de reação química). Por exemplo, um pedaço de papel (composto por celulose), ao ser queimado, transforma-se em carvão, gerando gás carbônico (CO_2).

📷 O papel transforma-se em carvão após combustão.

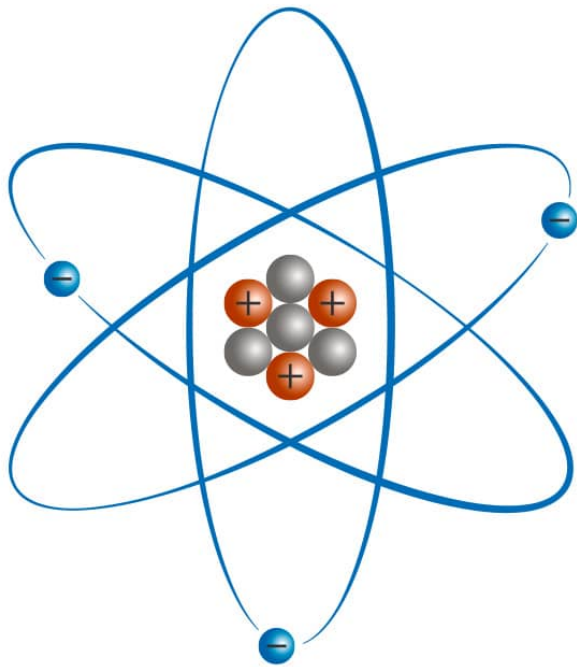


Fonte:Shutterstock

A matéria é uma combinação de elementos químicos constituídos de partículas chamadas **prótons**, **elétrons** e **nêutrons**. A essa combinação chamamos de **átomo**. Átomos ligam-se entre si por ligações químicas para formar os mais diversos tipos de materiais na natureza.

A palavra átomo significa **incortável**, tendo sido um termo criado por Democritus. No entanto, a existência do átomo só foi provada no fim do século XIX, início do século XX, com a descoberta dos raios catódicos (**Lenard**) , do elétron (**Thomson**) , dos raios X (**Roentgen**) , da Becquerel e casal Curie (**Default tooltip**) . Atualmente, sabe-se que o átomo NÃO é a menor e indivisível partícula da matéria, mas é a menor partícula que conserva as propriedades dos elementos químicos, sendo capaz de reagir quimicamente. Os átomos dificilmente são encontrados livres.

Desde o primeiro modelo de átomo por Dalton, em 1808, quando afirmou que o átomo é uma pequenina esfera maciça, indivisível e sem carga, vários modelos foram propostos à medida que o conhecimento na área aumentava. O modelo aceito até hoje foi apresentado em 1913, por Niels Bohr: o átomo composto por um núcleo, com prótons e nêutrons e, ao redor, elétrons orbitam no que chamamos de órbita ou eletrosfera.



Fonte: Shutterstock.

O modelo atômico de Bohr.



Fonte: Shutterstock.

PRÓTONS

Partículas carregadas positivamente



Fonte: Shutterstock.

NÊUTRONS

Partículas sem carga

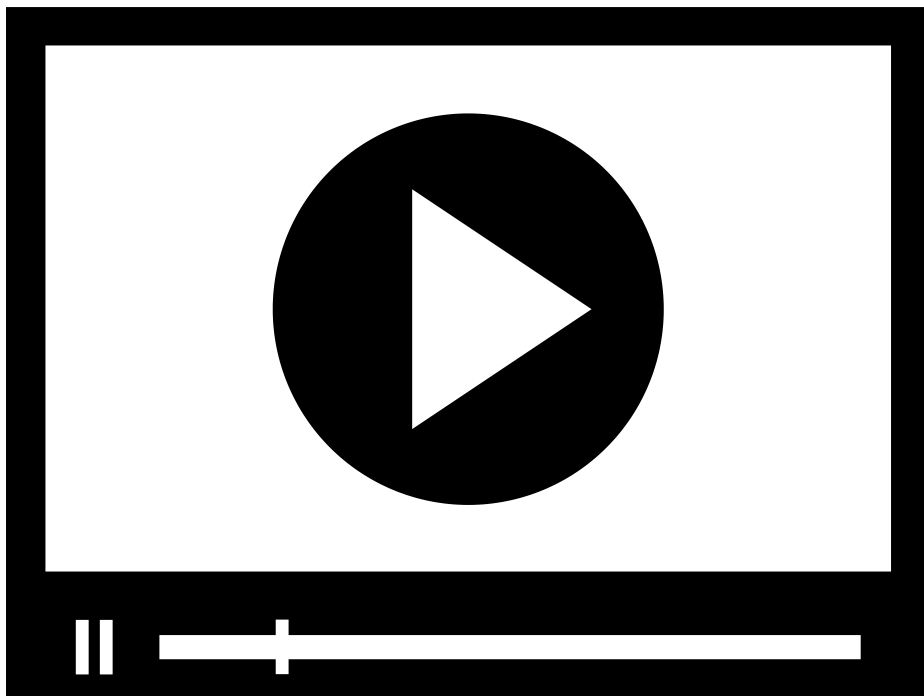


Fonte: Shutterstock.

ELÉTRONS

Partículas carregadas negativamente

QUANDO O ÁTOMO POSSUI A MESMA QUANTIDADE DE PRÓTONS E ELÉTRONS, DIZEMOS QUE ELE ESTÁ EM SEU ESTADO NEUTRO, SEM CARGA. QUANDO ELE RECEBE OU DOA ELÉTRONS (OU SEJA, FICA COM A QUANTIDADE DESIGUAL DE PRÓTONS E ELÉTRONS), DIZEMOS QUE ELE É UM ÍON.

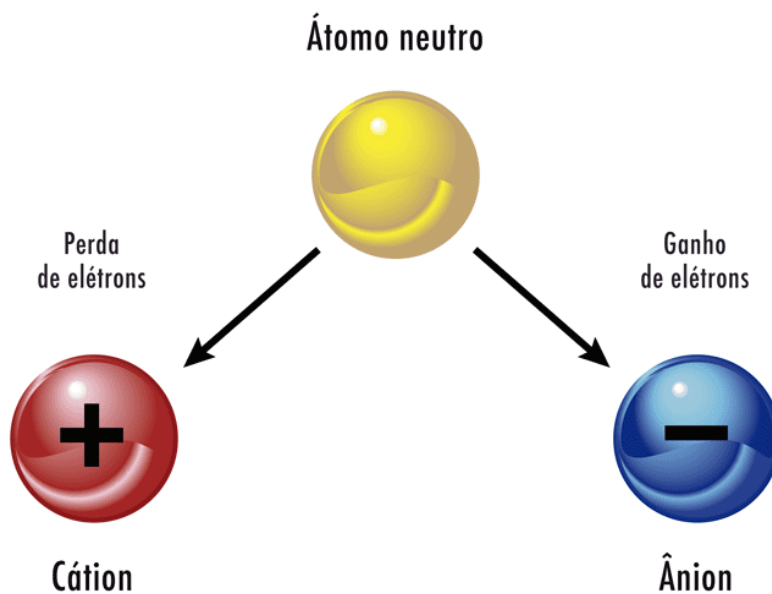


CONHECENDO MELHOR O ÁTOMO

Para assistir a um vídeo sobre o assunto, acesse a versão online deste conteúdo.



Íon é um conceito importante para diversos assuntos em Biofísica. Nosso corpo é composto por vários tipos de íons. Por exemplo, os íons sódio e potássio são importantes para a propagação do potencial de ação nas membranas celulares. Os íons cálcio são essenciais na manutenção dos ossos. Existem íons positivos (Ou cátions) , que são átomos que perderam um ou mais elétrons, resultando em uma espécie eletricamente positiva, e os íons negativos (Ou ânions) , que são átomos que ganharam um ou mais elétrons, resultando em uma espécie eletricamente negativa. Íons podem se unir para formar moléculas.



Fonte: Shutterstock.

📷 O íon (cátion e ânion).

Um átomo é capaz de produzir radiações eletromagnéticas (REM) . Estas são produzidas pela aceleração de cargas. Uma vez geradas, as REM propagam-se independentemente da matéria. Existem vários tipos de REM, de acordo com sua frequência:

ONDAS DE RÁDIO

MICRO-ONDAS

RADIAÇÕES INFRAVERMELHAS

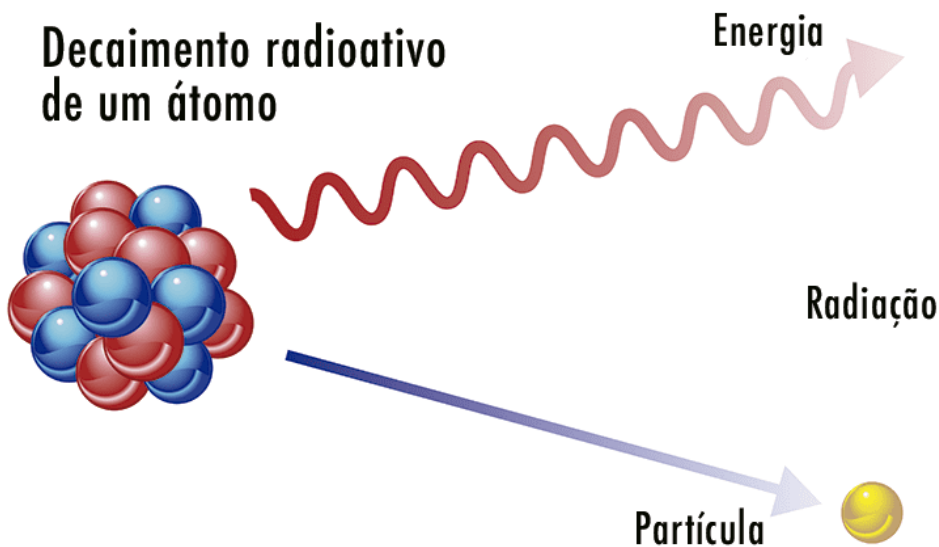
RADIAÇÕES VISÍVEIS

RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA

RAIOS X

RAIOS GAMA E RAIOS CÓSMICOS

Assim, surge a radioatividade, que é a emissão de partículas ou energia pelo núcleo de átomos denominados **radioisótopos** ou **radionuclídeos**. Esses átomos possuem excesso de matéria ou energia no núcleo, e esses elementos, segundo a Termodinâmica, tendem a um estado mínimo de energia, ejetando o excesso de matéria ou energia.



Fonte: Shutterstock.

📷 Ilustração da produção de radioatividade em um átomo.

Quando falamos de matéria viva e corpo humano, temos que falar das moléculas orgânicas.

Moléculas orgânicas surgiram do caos que a Terra passou no início de sua formação. A atmosfera primária do planeta era formada por átomos de hélio e moléculas de gás hidrogênio.



Com a dispersão dessa atmosfera por violentos ventos solares, uma nova atmosfera foi surgindo com origem do interior do planeta: vapor d'água, misturado a gás carbônico, nitrogênio, amoníaco e metano.



A quase ausência de oxigênio, em um ambiente caótico, deu origem às primeiras moléculas orgânicas (Compostas por cadeias de carbono) , como os aminoácidos (Que formaram posteriormente as proteínas) , o formaldeído (Que gerou os carboidratos) , as purinas e pirimidinas (Que deram origem às moléculas de DNA, o ácido desoxirribonucleico) .

SOBRE A ENERGIA

O QUE É ENERGIA?

É bastante difícil conceituarmos, pois há variação entre os autores, mas podemos usar a seguinte definição:

ENERGIA É UMA GRANDEZA QUE SE MANIFESTA DE VÁRIAS FORMAS NO UNIVERSO, E SE RELACIONA DIRETAMENTE COM A CAPACIDADE DE GERAR TRABALHO. DIZEMOS QUE, SE UM SISTEMA FÍSICO POSSUI ENERGIA, ELE É CAPAZ DE REALIZAR TRABALHO.

Podemos sentir a energia em transferência de diversas formas em nosso dia a dia: ao nos sentarmos de frente a uma lareira, o calor da queima da madeira é irradiado em nossa direção, e nosso corpo se aquece. Ou quando passamos álcool na mão, percebemos que a pele esfria, devido à evaporação do álcool. Um chuveiro elétrico que, ao receber a energia elétrica, a transforma em energia térmica (chamado efeito Joule), aquecendo a água para aquele delicioso banho.

ENERGIA É CONSIDERADA: (1) ADIMENSIONAL, POIS NÃO OCUPA NENHUM ESPAÇO, NEM MASSA NEM VOLUME; (2) SENSITIVA, UMA VEZ QUE CONSEGUIMOS SENTI-LA, MAS NÃO CONSEGUIMOS TOCÁ-LA; (3) CONSERVATIVA, POIS A QUANTIDADE DE ENERGIA NO UNIVERSO É CONSTANTE (FALAREMOS MAIS SOBRE ISSO EM TERMODINÂMICA); (4) TRANSFORMATIVA, POIS UM TIPO DE ENERGIA PODE SER TRANSFORMADO EM OUTRO TIPO; (5) TRANSFERÍVEL, POIS ELA PODE SER TRANSFERIDA DE UM CORPO PARA O OUTRO (WIKIPEDIA, 2020).

Existem diversos tipos de energia no Universo, as quais podem provocar alterações na matéria e ser interconvertíveis em seus diferentes tipos. De acordo com Silva Junior (2020), vamos identificar alguns:

ENERGIA MECÂNICA

A energia mecânica é a energia que causa o movimento. Pode ser dividida em cinética (energia associada ao movimento dos corpos) e potencial (energia armazenada em virtude da posição de um corpo em relação à superfície, nesse caso, denominada especificamente de energia potencial gravitacional, ou a energia associada à deformação de um material elástico, nesse caso, chamada de energia potencial elástica).

ENERGIA TÉRMICA

Grau de agitação das partículas de um corpo. Está relacionada ao calor, que é definido como energia térmica em trânsito, sobre o qual falaremos em breve.

ENERGIA QUÍMICA

Energia liberada ou formada a partir de reações químicas. Por exemplo, nosso organismo pode utilizar a energia química dos alimentos e transformá-la em energia mecânica, para a contração muscular.

ENERGIA SOLAR

Energia proveniente da luz do sol (radiações eletromagnéticas). Por exemplo, podemos usar essa energia e transformá-la em energia elétrica, para alimentar nossas residências.

ENERGIA EÓLICA

Energia proveniente do movimento das massas de ar. Podemos usar essa energia também para transformá-la em energia elétrica.

ENERGIA NUCLEAR

Energia obtida a partir do fenômeno da fissão nuclear, o que gera grande quantidade de energia. Essa energia pode ser canalizada para diversos fins, por exemplo, gerando eletricidade.

Segundo Oliveira (2015), podemos produzir energia elétrica com base no funcionamento de usinas nucleares de fissão e fusão, além das fontes hidrelétricas, termelétricas, eólicas ou veiculares. Essas energias provêm, primariamente, da energia solar que incide na superfície da Terra, ou que incidiu no passado do planeta. Essa energia solar é convertida em diversas outras formas de energia, as quais a humanidade sempre usou (e sempre usará), com implicações sociais, tecnológicas e ambientais. A energia pode ser transformada em diferentes formas, com níveis variados de eficiência. Materiais que transformam um tipo de energia em outra são chamados de **transdutores**.



Fonte: Shutterstock.

📷 Pólos de eletricidade de alta potência em área urbana. Fornecimento de energia, distribuição de energia, transmissão de energia, foto conceito de fornecimento de alta tensão.

★ EXEMPLO

No nosso dia a dia, a bateria transforma energia química em elétrica para fazermos equipamentos funcionarem; uma usina hidrelétrica, como o próprio nome diz, usa a energia potencial gravitacional da água e a transforma em energia cinética (movimento da água), movendo assim uma turbina, que, por sua vez, move um gerador de energia elétrica. Um exemplo na medicina é o ultrassom: dentro da sonda do equipamento, existe um material que é um transdutor piezoelétrico, ou seja, converte energia elétrica em mecânica, gerando as ondas de alta frequência, que são usadas no diagnóstico ou na terapêutica.

Segundo FUKUE *et al.* (1999), podemos classificar os tipos de energia em **externa** e **interna**.

ENERGIA EXTERNA

Energia externa é a energia trocada por um sistema com o meio externo nas formas de calor e de trabalho, que dependem do processo de transformação.

ENERGIA INTERNA

Já energia interna é a forma de energia inerente ao sistema, dependendo exclusivamente do estado.

VERIFICANDO O APRENDIZADO

1. VIMOS QUE ENERGIA É UMA GRANDEZA QUE SE MANIFESTA DE VÁRIAS FORMAS NO UNIVERSO E SE RELACIONA DIRETAMENTE COM A CAPACIDADE DE GERAR TRABALHO. DIZEMOS QUE, SE UM SISTEMA FÍSICO POSSUI ENERGIA, ELE É CAPAZ DE REALIZAR TRABALHO. COM RESPEITO À ENERGIA, ASSINALE A ALTERNATIVA CORRETA:

- A) A energia não consegue ser conservada no Universo, uma vez que ela pode se transformar em outros tipos de energia.
- B) Matéria e energia não se relacionam, apesar de estarem presentes em todo o Universo.
- C) Energia pode ser considerada uma entidade adimensional, pois não ocupa nenhum espaço, nem massa nem volume.
- D) Existem vários tipos de energia, porém não é possível transformar um tipo de energia em outro (ou seja, energia não é transformativa).

2. A MATÉRIA É UMA COMBINAÇÃO DE ELEMENTOS QUÍMICOS CONSTITUÍDOS DE PARTÍCULAS CHAMADAS PRÓTONS, ELÉTRONS E NÊUTRONS. A ESSA COMBINAÇÃO CHAMAMOS DE ÁTOMO. OS ÁTOMOS SÃO CAPAZES DE PRODUZIR RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA (REM), QUE É UM TIPO DE ENERGIA QUE SE PROPAGA INDEPENDENTEMENTE DA MATÉRIA. ASSINALE A ALTERNATIVA QUE EXPLICA CORRETAMENTE COMO ESSAS RADIAÇÕES SÃO PRODUZIDAS:

- A) A REM é produzida pela aceleração de cargas.
- B) A REM é produzida com o impacto de prótons no núcleo.
- C) A REM é produzida com a formação de íons no corpo humano.
- D) A REM é produzida com a formação de radioatividade nos radionuclídeos.

GABARITO

1. Vimos que energia é uma grandeza que se manifesta de várias formas no Universo e se relaciona diretamente com a capacidade de gerar trabalho. Dizemos que, se um sistema físico

possui energia, ele é capaz de realizar trabalho. Com respeito à energia, assinale a alternativa correta:

A alternativa "**C**" está correta.

A energia possui algumas propriedades e uma delas é ser adimensional, ou seja, ela não ocupa nenhum espaço, nem massa, nem volume.

2. A matéria é uma combinação de elementos químicos constituídos de partículas chamadas prótons, elétrons e nêutrons. A essa combinação chamamos de átomo. Os átomos são capazes de produzir radiação eletromagnética (REM), que é um tipo de energia que se propaga independentemente da matéria. Assinale a alternativa que explica corretamente como essas radiações são produzidas:

A alternativa "**A**" está correta.

A REM é formada com a aceleração de cargas no átomo. Essa aceleração forma uma energia que se destaca do átomo e se propaga de modo independente. A radioatividade é a emissão de partículas ou energia pelo núcleo de átomos denominados radioisótopos ou radionuclídeos.

MÓDULO 2

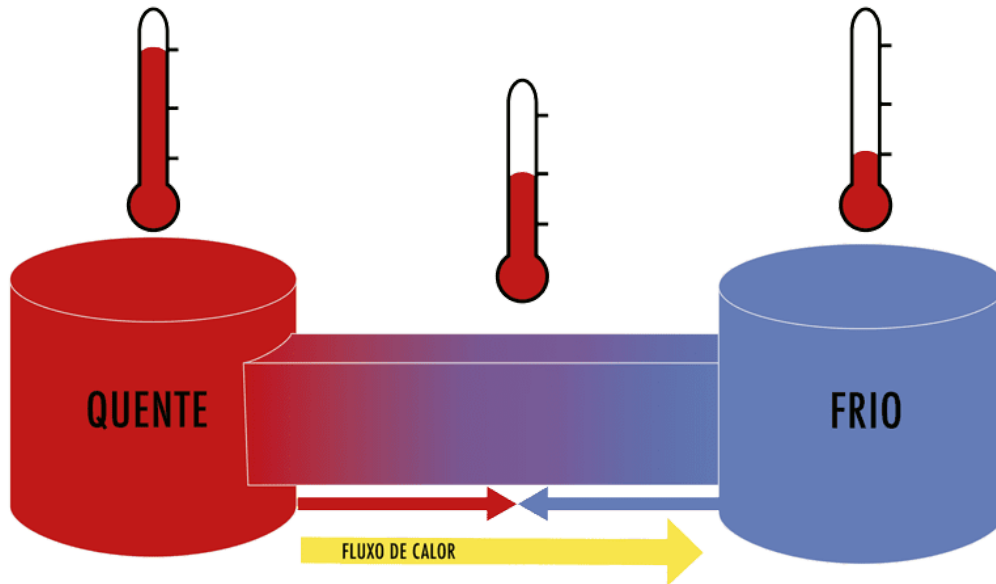
🕒 Distinguir as diferentes Leis da Termodinâmica e como elas se aplicam ao corpo humano

Agora que já sabemos o que é matéria, quais são suas características, e sabemos também o que é energia e seus diversos tipos na natureza, vamos adentrar à área da Termologia, ou seja, o estudo dos fenômenos térmicos, sobretudo acerca dos fenômenos físicos que permeiam o controle da temperatura corporal. Antes de falarmos sobre a Termodinâmica, a área da Termologia que estuda as transferências de energia e suas relações com o trabalho, vamos compreender alguns conceitos básicos.

CONCEITOS BÁSICOS

O QUE É ENERGIA TÉRMICA?

Podemos conceituar energia térmica como a soma das energias cinéticas das partículas de um corpo. Isso não é o mesmo que temperatura. Temperatura é a medida do nível de agitação térmica das partículas. Ou seja, um corpo estará com temperatura alta, ou “quente”, se houver uma grande agitação térmica entre as partículas. Um corpo estará com temperatura baixa, ou “fria”, se houver pouca agitação térmica entre as partículas (FUKE et al., 1999).



Fonte: Shutterstock.

📷 O fluxo de calor ocorre sempre do corpo mais quente para o mais frio.

O calor é conceituado como a energia térmica em trânsito, devido à diferença de temperatura entre dois corpos ou sistemas. Ou seja, quando em um dia quente falamos que “estamos com calor”, estamos conceitualmente errados. Na verdade, nosso corpo está com muita energia térmica, pois, através do calor, a energia térmica em excesso no ambiente é transferida para nosso corpo, que, por sua vez, tem sua temperatura aumentada.

A energia térmica flui de um corpo ou sistema mais quente para um mais frio. Quando dois corpos em contato estão com a mesma temperatura, dizemos que eles estão em equilíbrio térmico. Sobre esse assunto, vale a pena conferir o que diz o Princípio Nº Zero da Termodinâmica:

SE DOIS CORPOS, A E B, ESTIVEREM EM EQUILÍBRIO TÉRMICO COM UM TERCEIRO CORPO, C, ENTÃO A E B TAMBÉM ESTÃO EM EQUILÍBRIO TÉRMICO ENTRE SI.

(FUKE et al., 1999)

Ou seja, se A e B estão em contato com C, e todos têm a mesma temperatura, podemos dizer que eles estão em equilíbrio térmico.

Para a medida da temperatura, utilizamos, geralmente, a escala Celsius ($^{\circ}\text{C}$). É comum nos lembrarmos dos pontos de fusão (gelo) da água (0°C) e de ebulição (vapor) da água (100°C). A escala Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$) é usada em alguns países, como nos Estados Unidos. Para converter a temperatura em Celsius para Fahrenheit, usamos a expressão:

$$T_C = \frac{5}{9} (T_F - 32)$$

 **Atenção!** Para visualização completa da equação utilize a rolagem horizontal

Ainda existe a escala Kelvin (K) usada em algumas áreas científicas. Para converter a temperatura em Celsius para Kelvin, usamos a expressão:

$$T_K = T_C + 273$$

 **Atenção!** Para visualização completa da equação utilize a rolagem horizontal

Denominamos quantidade de calor (Q) a medida da energia térmica transferida de um corpo A para um corpo B. No sistema internacional (SI), a unidade de medida de calor é o joule (J), mas também a caloria (cal) é muito usada, na qual observamos a relação:

1

 **Atenção!** Para visualização completa da equação utilize a rolagem horizontal

Uma quilocaloria (1 kcal) equivale a 1.000 cal.

A quantidade de calor (Q) recebida ou doada por um corpo pode ser calculada usando a famosa Equação Fundamental da Calorimetria:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$



Atenção! Para visualização completa da equação utilize a rolagem horizontal

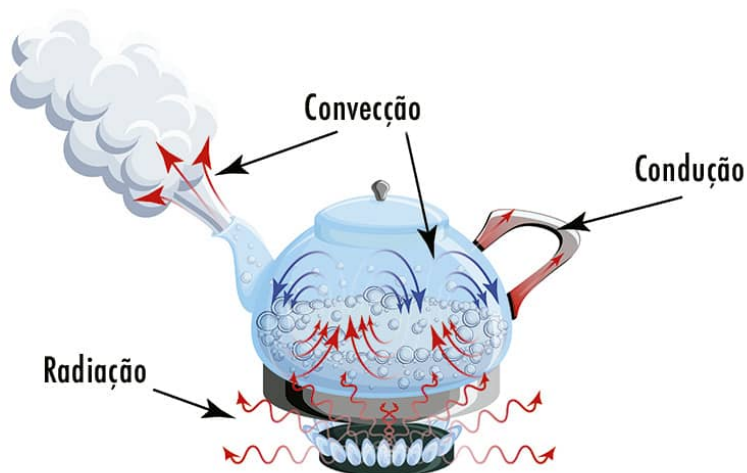
A quantidade de calor transferida para um corpo é a massa do corpo vezes uma constante c chamada de calor específico ($\text{cal/g}^\circ\text{C}$) vezes a variação de sua temperatura (ΔT , ou seja, a temperatura final menos a temperatura inicial). Da equação, concluímos que se $Q > 0$, então o corpo recebeu calor; se $Q < 0$, então o corpo perdeu calor.

O calor específico é característico para cada substância. Corresponde à quantidade de energia térmica aplicada a uma unidade de massa de um material para aumentar a temperatura em 1°C .

PROPAGAÇÃO DO CALOR

O calor pode ser transmitido basicamente de três modos:

MÉTODOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR



Fonte: Shutterstock.

📷 Métodos de transferência de calor em exemplo de fervura de água em um kettle no topo do fogão a gás.

CONDUÇÃO

Na condução, a energia térmica passa de partícula a partícula do corpo, por contato. A agitação das partículas acaba afetando as partículas vizinhas, o que provoca uma transmissão de calor pelo corpo. A condutibilidade térmica é a capacidade de um material em conduzir a energia térmica e depende de cada material. Podemos citar como exemplos de materiais com baixa condutibilidade térmica: o ar, a lã, o papel, a água e o vidro. Metais como o alumínio, o ouro, a prata etc., são excelentes condutores

térmicos. Os materiais que possuem baixa condutibilidade térmica são chamados de **isolantes térmicos**.

A condutibilidade térmica é dada em cal/m.s.°C. Conforme Garcia (2002), no corpo humano, podemos citar alguns valores de condutibilidade na tabela abaixo:

Substância	Condutibilidade térmica (cal/m.s.°C)
Gordura subcutânea	0,45
Pele	0,90
Sangue	1,31
Músculo	1,53
Osso	2,78

 **Atenção!** Para visualizaçãocompleta da tabela utilize a rolagem horizontal

 Fonte: Garcia, 2002.

Vamos usar um exemplo para entender o significado desses números. A condutibilidade térmica do sangue é 1,31 cal/m.s.°C. Isso significa que o sangue é capaz de conduzir 1,31 cal a uma velocidade de 1 m/s para cada 1°C. Quanto maior a condutibilidade de um material, mais rápido este conduz energia térmica.

CONVECÇÃO

Outra forma de transmissão de calor é a convecção. Nesse fenômeno, existe o deslocamento de partículas, ou seja, porções de matéria são deslocadas, transferindo calor de um lugar para outro. A convecção ocorre em meios fluidos (líquidos e gases). Um exemplo seria o resfriamento do corpo devido ao vento (movimento do ar na superfície do corpo).

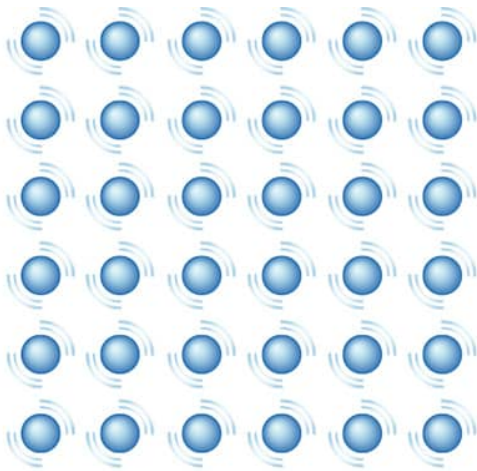
IRRADIAÇÃO

Finalmente, temos a irradiação, que é a propagação do calor através de ondas eletromagnéticas e ocorre independente da matéria. Por exemplo, todos os corpos que possuam energia térmica podem transferi-la na forma de radiação infravermelha. Daí o princípio das imagens termográficas, que usam as câmeras infravermelhas, que vêm ganhando espaço em diversas técnicas de avaliação em saúde (VOLLMER; MOLLMANN, 2010).

DILATAÇÃO DOS CORPOS

DILATAÇÃO TÉRMICA

Ocorre quando se eleva a temperatura de um corpo, geralmente aumentando suas dimensões.



PARTÍCULAS APÓS O AQUECIMENTO

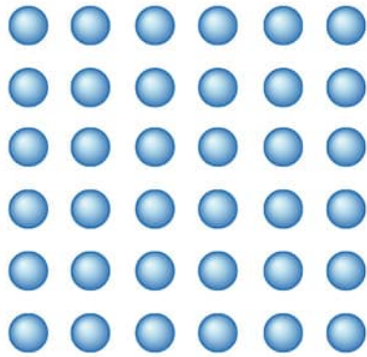
Vibrações com energia cinética aumentada
Espaço expandido entre os átomos
Vibram em torno de uma posição fixa.

Fonte: Shutterstock.



CONTRAÇÃO TÉRMICA

Ocorre quando a temperatura diminui.



PARTÍCULAS ANTES DO AQUECIMENTO

Vibram pouco
Átomos em posições fixas

Fonte: Shutterstock.

A variação nas dimensões de um corpo (Δl), que chamaremos de **dilatação linear** devido a uma variação de temperatura (ΔT), pode ser encontrada usando a seguinte relação:

$$\Delta l = \alpha \cdot l_0 \cdot \Delta T$$



Atenção! Para visualização completa da equação utilize a rolagem horizontal

Onde α é o coeficiente de dilatação linear do material, ou seja, é uma constante específica de cada material, e l_0 é o comprimento inicial do material. Isso é especialmente importante quando estudamos os efeitos terapêuticos do calor. A aplicação de métodos de termoterapia em tecidos moles pode, por exemplo, causar vasodilatação dos vasos sanguíneos, com isso, aumentando o fluxo sanguíneo para um tecido. Quando pensamos que em um processo de regeneração tecidual é importante o adequado suprimento de oxigênio e nutrientes para as células, aumentar o fluxo sanguíneo significa transportar esses itens com mais eficiência.



Fonte: Shutterstock.

Termômetro de mercúrio

O termômetro clínico de mercúrio baseia-se neste fenômeno. Ele tem um bulbo de vidro com mercúrio dentro, acoplado a uma haste de vidro. O calor, ao passar para o mercúrio, provoca sua dilatação, o que faz com que suba na escala. Uma relação linear é estabelecida entre a altura da coluna de mercúrio e a temperatura corporal.

FLUXO DE CALOR

Segundo Garcia (2002), uma equação simples pode nos mostrar como o calor flui de uma extremidade A até a extremidade B de um corpo:

$$H_{AB} = \frac{k \cdot S \cdot \Delta t \cdot \Delta T_{AB}}{l}$$



Atenção! Para visualização completa da equação utilize a rolagem horizontal

Onde H_{AB} é a taxa de transferência de calor em cal/s; k é a condutibilidade térmica do material; S é a área de secção transversa do corpo; Δt é o intervalo de tempo no qual uma fonte de calor aquece o material; ΔT é a diferença de temperatura entre as extremidades A e B do material; e l é o comprimento do corpo.

SAIBA MAIS

O calor flui mais rápido se aumentarmos a condutibilidade, ou a área de secção transversa, ou o tempo no qual a fonte de aquecimento é aplicada, ou se existe uma grande diferença de temperatura entre dois pontos. No entanto, quanto maior o comprimento do material, pior será a transferência de calor.

AS LEIS DA TERMODINÂMICA

A Termodinâmica é regida por quatro leis. Para que possamos compreender os mecanismos de controle de transferência de calor em nosso corpo (biotermologia), faz-se necessário um estudo adequado dessas leis. Já falamos sobre uma delas neste tema: a Lei ou Princípio Zero da Termodinâmica. Vamos relembra-la?

Princípio ou Lei Zero da Termodinâmica:

SE DOIS CORPOS, A E B, ESTIVEREM EM EQUILÍBRIO TÉRMICO COM UM TERCEIRO CORPO, C, ENTÃO A E B TAMBÉM ESTÃO EM EQUILÍBRIO TÉRMICO ENTRE SI

FUKE *et al.*, 1999.

Vamos falar da **Primeira Lei da Termodinâmica**. Ela pode ser afirmada de maneira simples com a frase: “A energia do Universo é constante”! Na verdade, essa Lei é conhecida como o **Princípio da Conservação de Energia**. Quem nunca ouviu a célebre frase de Antoine Lavoisier: “Na natureza nada se cria, nada se perde, tudo se transforma”?

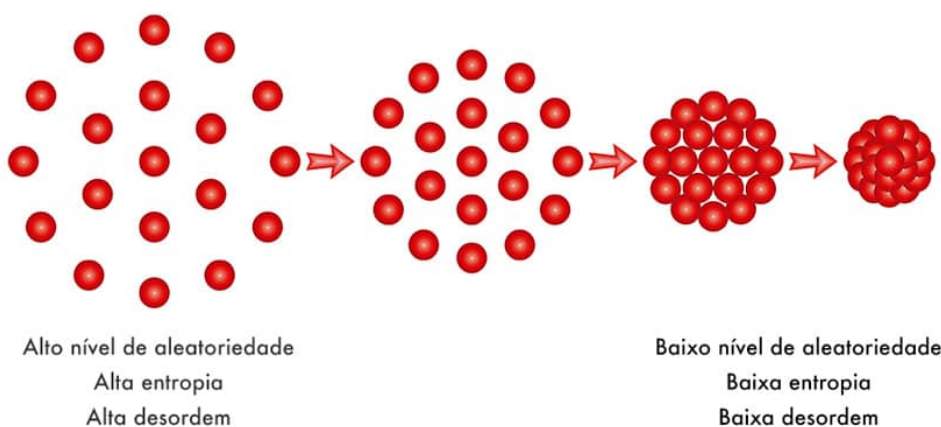
Mais formalmente, podemos dizer que, se considerarmos processo termodinâmico fechado:

A ALTERAÇÃO DA ENERGIA INTERNA DO SISTEMA É IGUAL À DIFERENÇA ENTRE A ALTERAÇÃO DO CALOR ACUMULADO PELO SISTEMA E DA ALTERAÇÃO DO TRABALHO REALIZADO.

PASSOS, 2009

Veja que essa Lei prevê que o Universo sempre teve a mesma quantidade de energia em toda sua existência. O Universo nunca ganhou nem perdeu energia ao longo dos bilhões e bilhões de ano. O que acontece é que a energia passa por transformações. É a energia térmica que se torna energia mecânica; a energia solar que se torna energia química nos alimentos; a energia eólica que se torna eletricidade. E muitos outros exemplos.

A **Segunda Lei da Termodinâmica** aborda a entropia, um conceito que não é tão simples de entender, mas vamos tentar! Formalmente, podemos dizer que a entropia mede o grau de “desorganização” da energia de um sistema. Segundo Fuke et al. (1999), “quando ocorre uma transformação Termodinâmica, uma parte da energia é aproveitada, e outra é desperdiçada em forma desorganizada e inútil, conhecida como energia térmica”. A entropia seria a medida dessa desorganização.



Fonte: Shutterstock.

📷 A entropia e a energia, segundo a Segunda Lei da Termodinâmica.

Em palavras bem simples: toda energia que não é usada para o trabalho é perdida na forma de calor. Por exemplo, o que acontece com uma xícara de café quente com o passar do tempo? Aquela alta energia térmica no café em contato com o ambiente (mais frio) é transferida na forma de calor para o ar, pois não está sendo utilizada para nenhum trabalho físico. O café, então, esfria.

📷 Xícara de café quente.



Fonte: Shutterstock.

★ EXEMPLO

A luz solar quando atinge as plantas fornece energia luminosa (radiação eletromagnética, sobretudo na frequência ultravioleta) para que os cloroplastos, através do pigmento clorofila, possam utilizar água e gás carbônico, a fim de gerar oxigênio e glicose (processo chamado fotossíntese). No entanto, a maior parte dessa energia solar não é utilizada. O que acontece? É perdida na forma de calor. Por esse motivo, a luz solar aquece tudo o que toca. A luz luminosa é absorvida pela matéria e, como não é usada, é perdida em calor.

Todos os corpos do Universo tendem um dia a entrar em equilíbrio térmico, segundo essa Lei. Voltando ao exemplo da xícara de café, ela perderá calor para o ambiente até alcançar o equilíbrio térmico (ou seja, as temperaturas do café e do ar estarem iguais).

De acordo com Fuke *et al.* (1999), dois enunciados são importantes na Segunda Lei:

ENUNCIADO DE CLAUSIUS

“O calor não pode fluir espontaneamente de um corpo a dada temperatura, para outro que se encontra a uma temperatura mais alta”.

ENUNCIADO DE KELVIN-PLANCK

“É impossível construir um dispositivo que, operando em um ciclo termodinâmico, converta totalmente o calor recebido em trabalho”.

Você já reparou que, quando utiliza algum equipamento ligado à corrente elétrica, ele aquece? Alguns aquecem muito, outros menos. Isso ocorre porque não conseguem usar toda a energia elétrica que está chegando a seus circuitos para funcionar (gerar trabalho). Portanto, grande parte da energia elétrica é perdida (desperdiçada) na forma de calor. Equipamentos ou máquinas que aquecem muito nos mostram que são ineficientes, ou seja, perdem muito calor. Outros equipamentos, que aquecem muito pouco, nos mostram que são eficientes (ou seja, perdem pouca energia).

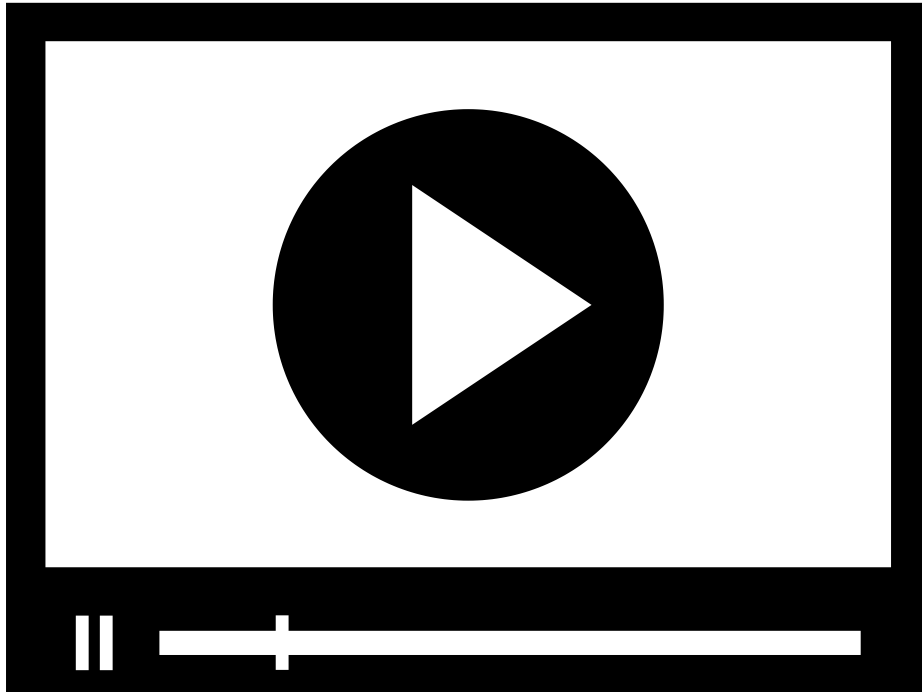
O grande escritor e bioquímico norte-americano Isaac Asimov descreveu muito bem a Segunda Lei:

A SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA AFIRMA QUE A QUANTIDADE DE TRABALHO ÚTIL QUE VOCÊ PODE OBTER A PARTIR DA ENERGIA DO UNIVERSO ESTÁ CONSTANTEMENTE DIMINUINDO. SE VOCÊ TEM UMA GRANDE PORÇÃO DE ENERGIA EM UM LUGAR, UMA ALTA INTENSIDADE DELA, VOCÊ TEM UMA ALTA TEMPERATURA AQUI E UMA BAIXA TEMPERATURA LÁ, ENTÃO VOCÊ PODE OBTER TRABALHO DESSA SITUAÇÃO. QUANTO MENOR FOR A DIFERENÇA DE TEMPERATURA, MENOS TRABALHO VOCÊ PODE OBTER. ENTÃO, DE ACORDO COM A SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA, HÁ SEMPRE UMA TENDÊNCIA PARA AS ÁREAS QUENTES SE RESFRIAREM E AS ÁREAS FRIAS SE AQUECEREM – ASSIM, CADA VEZ MENOS TRABALHO PODERÁ SER OBTIDO. ATÉ QUE FINALMENTE, QUANDO TUDO ESTIVER EM UMA MESMA TEMPERATURA, VOCÊ NÃO PODERÁ MAIS OBTER NENHUM TRABALHO DISSO, MESMO QUE TODA A

ENERGIA CONTINUE LÁ. E ISSO É VERDADE PARA TUDO EM GERAL, EM TODO O UNIVERSO.

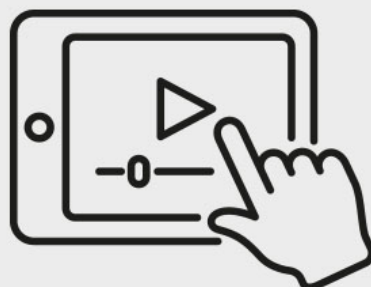
ASIMOV, 1970

Vamos em breve falar sobre a Segunda Lei, porém no corpo humano. Nosso metabolismo gera calor. Por que será?



A RELAÇÃO DA SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA COM O METABOLISMO CORPORAL

Para assistir a um vídeo sobre o assunto, acesse a versão online deste conteúdo.



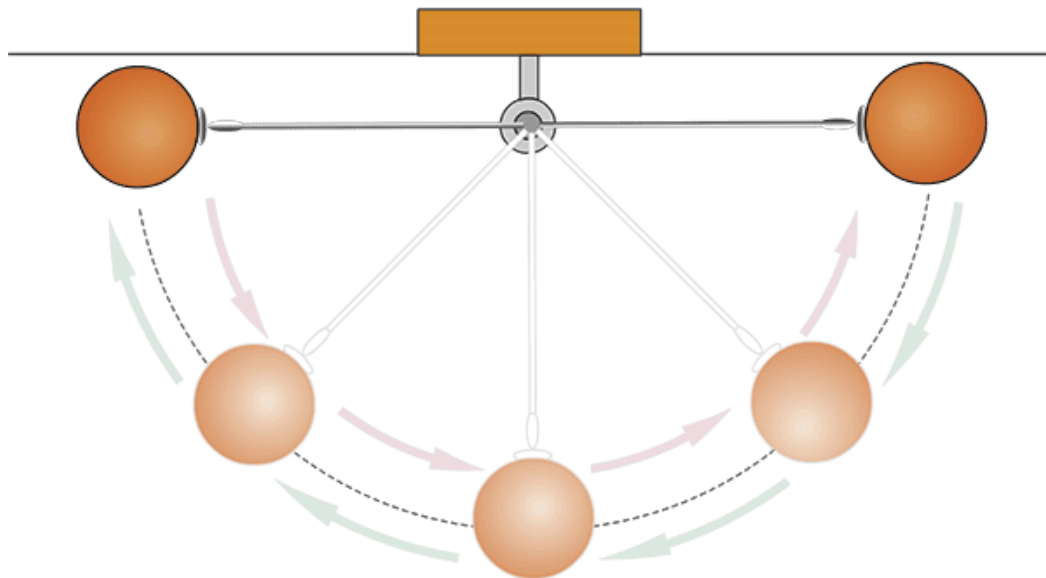
A **Terceira Lei da Termodinâmica** não é tão essencial para nosso estudo, mas é importante que você a conheça. Ela foi formulada por Walther Nernst em 1912 e entende que “quando um sistema se aproxima

da temperatura do zero absoluto, todos os processos cessam, e a entropia tem um valor mínimo”.

No estudo da Termodinâmica, podemos dividir a transformação de energia em dois tipos: **processos reversíveis** e **processos irreversíveis**. Em um processo irreversível, um sistema que tenha atingido um estado de equilíbrio não consegue retornar “ao estado inicial ou a quaisquer estados intermediários, sem a ação de agentes que modifiquem o meio externo”. Já em um processo reversível, a transformação “pode ocorrer em ambos os sentidos, passando por todas as etapas intermediárias, sem que isso cause modificações definitivas ao meio externo” (FUKE et al., 1999).

★ EXEMPLO

A conversão de energia de um tipo de campo potencial para outro é reversível, como no sistema de pêndulo. Nos processos onde o calor é gerado, a energia deve permanecer parcialmente como calor e não pode ser completamente recuperada como energia utilizável. Temos então, um processo irreversível.



Fonte: Shutterstock.

📷 Um pêndulo, exemplo de processo reversível.

À medida que o Universo evolui no tempo, mais e mais de sua energia fica presa em estados irreversíveis (ou seja, conforme o calor ou outros tipos de aumento na desordem). Isso tem sido referido como a inevitável morte termodinâmica do Universo pelo calor. Nesta morte de calor, a energia do Universo não muda, mas a fração de energia que está disponível para trabalhar por meio de uma máquina térmica, ou ser transformada em outras formas de energia utilizáveis (por meio do uso de geradores acoplados a máquinas térmicas), cresce cada vez menos.

DE ACORDO COM DILLON (2012), TODOS OS SERES NA TERRA ESTÃO SUJEITOS ÀS LEIS DA FÍSICA, E ESTAMOS SUBMETIDOS ÀS LEIS DA TERMODINÂMICA. TODOS NÓS DEVEMOS OBTER ENERGIA CONSTANTE PARA ESTARMOS VIVOS E, EM DADO MOMENTO, ATINGIREMOS O EQUILÍBRIO TÉRMICO DEPOIS DA MORTE. OS SISTEMAS BIOFÍSICOS NÃO CONSEGUEM DESTRUIR NEM CONSTRUIR ENERGIA, MAS, SIM, MANIPULAR ESSA ENERGIA, ALTERANDO A ENERGIA INTERNA DO SISTEMA (DO CORPO).

VERIFICANDO O APRENDIZADO

1. CALOR PODE SER CONCEITUADO COMO A ENERGIA TÉRMICA EM TRÂNSITO, DEVIDO À DIFERENÇA DE TEMPERATURA ENTRE DOIS CORPOS OU SISTEMAS. O CALOR É TRANSFERIDO DE UM CORPO MAIS QUENTE PARA UM CORPO MAIS FRIO, E A TERMODINÂMICA ESTUDA ESSE FENÔMENO. A SEGUIR, TEMOS DUAS AFIRMATIVAS. ANALISE-AS ATENTAMENTE E DEPOIS ASSINALE A ALTERNATIVA CORRETA:

I – SE UM CORPO QUALQUER GANHAR CERTA QUANTIDADE DE CALOR, E NÃO A UTILIZA PARA O TRABALHO, OCORRERÁ A PERDA DESSA ENERGIA NA FORMA DE CALOR.

II – DE ACORDO COM A SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA, QUANDO OCORRE UMA TRANSFORMAÇÃO TERMODINÂMICA, UMA PARTE DA ENERGIA É APROVEITADA, E OUTRA É DESPERDIÇADA EM FORMA DESORGANIZADA E INÚTIL, CONHECIDA COMO ENERGIA TÉRMICA.

A) As duas afirmativas estão corretas, mas a segunda não é uma justificativa para a primeira.

B) As duas afirmativas estão corretas, e a segunda é uma justificativa da primeira.

C) A afirmativa I está correta, porém a afirmativa II está errada.

D) A afirmativa I está errada, porém a afirmativa II está correta.

2. O FLUXO DE CALOR CONDUZIDO POR UM MATERIAL PODE VARIAR DE ACORDO COM VÁRIOS PARÂMETROS, COMO A CONDUTIBILIDADE TÉRMICA DO MATERIAL, A ÁREA DE SECÇÃO TRANSVERSA, O INTERVALO DE TEMPO NO QUAL UMA FONTE DE CALOR AQUECE O MATERIAL, A DIFERENÇA DE TEMPERATURA ENTRE DUAS EXTREMIDADES MATERIAL, E O COMPRIMENTO DO CORPO. ASSINALE A ALTERNATIVA QUE PRODUZ UM AUMENTO NO FLUXO DE CALOR DE UM CORPO:

- A) Aumento no comprimento do corpo.
- B) Aumento na diferença de temperatura entre duas extremidades.
- C) Diminuição na área de secção transversa do material.
- D) Coeficiente de condutibilidade térmica menor.

GABARITO

1. Calor pode ser conceituado como a energia térmica em trânsito, devido à diferença de temperatura entre dois corpos ou sistemas. O calor é transferido de um corpo mais quente para um corpo mais frio, e a termodinâmica estuda esse fenômeno. A seguir, temos duas afirmativas. Analise-as atentamente e depois assinale a alternativa correta:

I – Se um corpo qualquer ganhar certa quantidade de calor, e não a utiliza para o trabalho, ocorrerá a perda dessa energia na forma de calor.

II – De acordo com a Segunda Lei da Termodinâmica, quando ocorre uma transformação termodinâmica, uma parte da energia é aproveitada, e outra é desperdiçada em forma desorganizada e inútil, conhecida como energia térmica.

A alternativa **"B "** está correta.

Toda energia que não é usada para o trabalho é perdida na forma de calor. A Lei que explica isso é a Segunda Lei da Termodinâmica.

2. O fluxo de calor conduzido por um material pode variar de acordo com vários parâmetros, como a condutibilidade térmica do material, a área de secção transversa, o intervalo de tempo no qual uma fonte de calor aquece o material, a diferença de temperatura entre duas extremidades

material, e o comprimento do corpo. Assinale a alternativa que produz um aumento no fluxo de calor de um corpo:

A alternativa "**B**" está correta.

Quanto maior a diferença de temperatura entre dois pontos, A e B, maior será o fluxo de calor, ou seja, a velocidade com a qual o calor se propaga em um corpo.

MÓDULO 3

🕒 **Identificar os mecanismos de controle da temperatura corporal (homeotermia)**

EQUILÍBRIO TÉRMICO DO CORPO HUMANO

O corpo humano tem suas fontes de produção de calor. Ao mesmo tempo, está em constante relação com o meio ambiente. Dessa maneira, como qualquer outro tipo de matéria, está suscetível às transferências de calor, seja perda seja ganho.

O corpo pode perder calor por evaporação, radiação, convecção ou condução. Já o metabolismo basal, juntamente com o meio externo, pode contribuir para ganhos de calor. Diversos processos fisiológicos devem ser iniciados para que a balança sempre esteja equilibrada (o que chamamos de homeotermia corporal), ou seja, se o corpo perde calor, ele mesmo deve gerar energia térmica para compensar (termogênese). Do contrário, se o corpo receber calor, deve perder energia térmica (termólise).

A temperatura corporal (nos tecidos profundos) é sempre mantida entre 36,7 e 37°C (medição na boca) no ser humano, que é considerado um animal homeotérmico. Uma pessoa nua, segundo Hall (2017), pode ser exposta a temperaturas de 13 a 60°C em ar seco, sem que sua temperatura central se modifique.



Fonte: Shutterstock.

📷 O exercício físico pode afetar a temperatura corporal

De acordo com Garcia (2002), a temperatura corporal pode ser alterada por diversos fatores, dentre eles:

RITMO NICTEMERAL

A temperatura do corpo geralmente é mais baixa na madrugada e mais elevada ao final da tarde. Esse ritmo pode estar alterado em trabalhadores noturnos.

IDADE

Jovens tendem a ter muita variação em sua curva térmica.

CICLO MENSTRUAL

A temperatura da mulher tende a se elevar no segundo ciclo da menstruação.

ALGUMAS DOENÇAS MENTAIS

Podem chegar a aumentar a temperatura do corpo.

AMBIENTE

Esse fator será discutido mais adiante.

EXERCÍCIO FÍSICO

Esse fator será discutido mais adiante.

TERMOGÊNESE CORPORAL

O corpo pode ganhar energia térmica por calor através de vários mecanismos químicos e mecânicos. Falaremos, inicialmente, dos mecanismos químicos, por exemplo, o metabolismo basal.

UMA PESSOA SENTADA PODE PRODUZIR 0,3 KCAL/MIN E, EM PÉ, O DOBRO DISSO (0,6 KCAL/MIN). EM UMA SIMPLES CAMINHADA, PODE PRODUZIR DE 2 A 3 KCAL/MIN E, AO SUBIR UMA LADEIRA, PODE GANHAR 0,8 KCAL/MIN A CADA METRO DE ALTURA. UM HOMEM ADULTO COM 70 KG CONSUMIRÁ EM MÉDIA 1,5 KCAL/MIN.

GARCIA, 2002.

O calor do metabolismo basal é oriundo das reações bioquímicas em nosso corpo, basicamente do processo de respiração celular. Na mitocôndria das células, oxigênio é usado nas cristas mitocondriais, para o funcionamento da cadeia de citocromos, responsáveis pelo bombeamento de prótons hidrogênio (H^+) e consequente formação de moléculas de ATP (Adenosina trifosfato). Essa “queima” de oxigênio propicia a formação de 38 ATP's para cada molécula de glicose metabolizada na célula. O processo geral da respiração celular (Ou metabolismo aeróbio) pode ser mostrado conforme abaixo:



Atenção! Para visualização completa da equação utilize a rolagem horizontal

Onde ADP é a molécula de adenosina difosfato, P_i representa um fosfato inorgânico. Ou seja, a energia química que estava no alimento foi usada para formar moléculas de ATP, e a maior parte foi perdida na

forma de calor. A célula, por sua vez, utiliza a molécula de ATP para diversos processos celulares, para gerar trabalho. Podemos expressar isso da seguinte forma (hidrólise do ATP):



Atenção! Para visualização completa da equação utilize a rolagem horizontal

Do mesmo modo, parte da energia retirada do ATP não consegue ser usada (lembre-se que as células não são 100% eficientes) e, portanto, mais calor é perdido.

No entanto, a energia química presente nos nutrientes não é totalmente usada para a formação de ATP (NELSON e COX, 2013) e grande parte é perdida na forma de calor (Segunda Lei da Termodinâmica). Aliás, todas as reações catabólicas corporais (ou seja, de quebra de moléculas mais complexas em moléculas menores) são exotérmicas (liberam calor). Mais sistemicamente, fígado, cérebro, coração e músculos esqueléticos estão entre os tecidos do corpo que mais produzem calor.

Uma coisa interessante é que podemos mensurar o gasto energético do corpo através da medida do calor produzido por ele, o que chamamos de **calorimetria**. Existem dois tipos de calorimetria: a **direta** e a **indireta**.

CALORIMETRIA DIRETA

Na calorimetria direta, como o próprio nome já diz, mede-se diretamente a produção de calor pelo corpo, usando-se um calorímetro (uma câmara isolada do ambiente externo, na qual é permitida apenas a troca de oxigênio e dióxido de carbono). A temperatura corporal do indivíduo dentro da câmara aumenta a temperatura da água que circunda a câmara e, com isso, pode-se fazer o cálculo do calor perdido pelo corpo.

CALORIMETRIA INDIRETA

Na calorimetria indireta, estima-se a taxa de produção de calor por meio do consumo de oxigênio, uma vez que existe uma relação direta entre o consumo desse gás com a quebra de moléculas dos alimentos. O gasto calórico do exercício é estimado em, aproximadamente, 5 kcal por litro de O₂ consumido. Pela espirometria de circuito aberto, o indivíduo realiza uma atividade física e analisadores de gases mensuram o conteúdo de O₂ e CO₂ no ar expirado. A captação de O₂ (VO_{2T}) será calculada pela simples expressão:

$$VO_{2T} = VO_{2I} - VO_{2E}$$

Onde VO_{2i} é o volume de O_2 inspirado, e VO_{2e} é o volume de O_2 expirado. Em repouso, um indivíduo consome 3,5 ml de O_2 para cada kg de peso e minuto transcorrido ($3,5 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$). Esse valor é conhecido como MET (equivalente metabólico) na Fisiologia do Exercício.



Fonte: Shutterstock.

📷 Calorimetria indireta por análise de gases.

Uma situação muito conhecida que leva a uma produção de calor considerável é o exercício físico. O corpo é de 20 a 30% eficiente, ou seja, aproximadamente, até 80% da energia gasta durante o exercício é perdida na forma de calor. Os músculos esqueléticos são os grandes responsáveis pela grande produção de calor no exercício, o que em um ambiente quente e úmido pode levar a um sério risco à saúde do indivíduo. Também há uma importante contribuição do tecido adiposo marrom, principalmente, localizado nas regiões interescapulares, subescapulares e axilares na termogênese química (GARCIA, 2002).

Importante salientar aqui que a pele, os tecidos subcutâneos e, em especial, o tecido adiposo, atuam como isolantes térmicos.

★ EXEMPLO

O tecido adiposo conduz apenas um terço do calor conduzido pelos outros tecidos (HALL, 2017). Como exemplo de **termogênese mecânica**, temos os calafrios. Trata-se de contrações musculares involuntárias com o objetivo de aumentar o metabolismo muscular, consequentemente, produzindo calor. O mecanismo de produção dos calafrios será estudado em breve.

TERMÓLISE CORPORAL

A termólise corporal envolve a perda de calor pelo corpo e pode ocorrer por quatro mecanismos:

CONDUÇÃO

CONVECÇÃO

RADIAÇÃO

VAPORIZAÇÃO

Na condução, a energia térmica passa de partícula a partícula do corpo por contato.

Na convecção, ocorre o deslocamento de partículas, ou seja, porções de matéria são deslocadas, transferindo calor de um lugar para outro.

Na irradiação, a propagação do calor se dá através de ondas eletromagnéticas.

No caso da vaporização (que é a passagem da matéria do estado líquido para o gasoso), ela se dá no corpo através da evaporação (processo de sudorese), que será discutida mais adiante.

Segundo Hall (2017), o corpo humano perde mais calor por irradiação (60%), seguido de evaporação (22%), condução para o ar (15%) e condução para objetos (3%). Em correntes de ar, pode perder calor por convecção.

Podemos usar uma equação matemática para descrever as trocas de calor entre o corpo e o ambiente externo. Segundo Garcia (2002), essa equação seria:

$$Q = (M - W) \pm C_v \pm C_d \pm R - E$$



Atenção! Para visualização completa da equação utilize a rolagem horizontal

Onde Q é a quantidade de calor perdida (se for um valor negativo) ou ganha (se for um valor positivo) pelo corpo; M é a quantidade de calor produzida no metabolismo; W é o trabalho muscular realizado; C_v é a quantidade de calor trocada por convecção; C_d é a quantidade de calor trocada por condução; R é a quantidade de calor trocada por radiação; e E é a quantidade de calor trocada por evaporação. Os sinais “ \pm ” denotam o uso da soma (em caso de ganho de calor) ou diminuição (em caso de perda de calor).

Não faremos cálculos de transferência de calor, mas uma equação matemática nos ajuda a entender os fatores que afetam essa transferência.

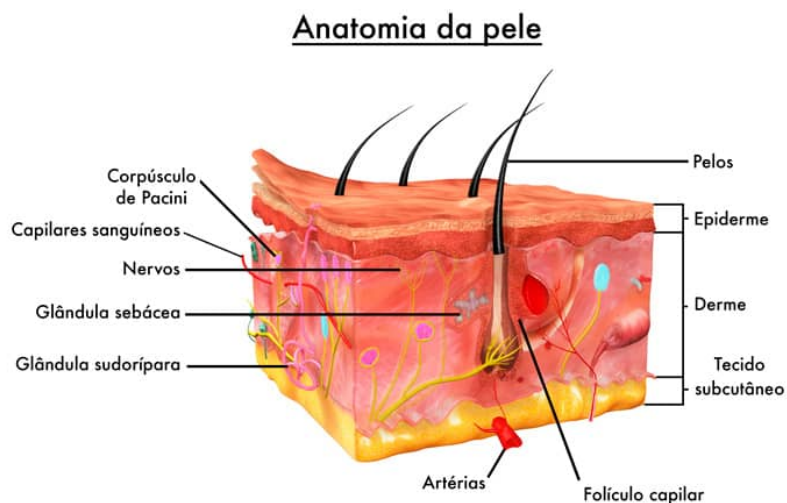
REGULAÇÃO DA TEMPERATURA CORPORAL

Vamos agora compreender como o corpo humano faz a regulação da temperatura corporal, através do processo chamado **homeotermia**.

A) Regulação para perda de calor

O corpo humano, ao produzir ou ganhar calor, deve lançar mão de mecanismos para que essa energia em excesso seja dissipada para o meio externo. A forma mais importante disso acontecer é através do **processo de evaporação**.

Primeiramente, devemos entender a grande importância da pele, que atua como um sistema controlado de “radiador de calor”. Abaixo da epiderme, existem vasos sanguíneos que recebem o sangue vindo dos tecidos profundos, trazendo a energia térmica dessas regiões. O sistema nervoso simpático atua diretamente no controle desses vasos, produzindo a chamada **vasoconstrição periférica**, o que reduz o fluxo sanguíneo cutâneo.



Fonte: Shutterstock.

📷 Anatomia da pele



Quanto menor o fluxo de sangue para a pele, menor a perda de calor, e vice-versa (a vasodilatação cutânea leva a maior perda de calor). Isso acontece porque a energia térmica em excesso no sangue passa, em forma de calor, para um líquido chamado **secreção primária** ou **precursora**, produzido nas glândulas sudoríparas sob a ação de fibras nervosas simpáticas colinérgicas (acetilcolina como neurotransmissora). Esse líquido movimenta-se em direção à superfície da pele por ductos.

Nesses ductos, ocorre a reabsorção de íons sódio (Na^+) e potássio (K^+). Quando as glândulas são estimuladas, o líquido passa rapidamente pelos ductos, e não há tempo suficiente para muitos íons serem reabsorvidos. Resultado: pouca água é reabsorvida junto com os íons (por osmose), e o suor se forma em abundância. É no suor que está contido o calor que estava antes no sangue.



Finalmente, por evaporação do líquido, o calor é perdido na superfície corporal. A evaporação de 1 litro de suor resulta na perda de aproximadamente 580 kcal (POWERS; HOWLEY, 2017).

O hipotálamo (uma região no encéfalo) tem papel central na regulação da temperatura corporal. Na área anterior pré-óptica hipotalâmica existe uma concentração grande de neurônios sensíveis ao calor, ou seja, quando aquecidos, disparam potenciais de ação.



Esses neurônios atuam como sensores de temperatura. Existem também receptores de calor e frio (os últimos em maior número no corpo) na pele, chamados de receptores periféricos de temperatura. Também há evidências de que a conjuntiva e mucosa da boca, esôfago e reto podem captar informações sobre a temperatura.

Além disso, podem ser encontrados receptores corporais profundos na medula espinal, nas vísceras abdominais e dentro ou ao redor das grandes veias na região superior do abdome e do tórax (HALL, 2017). Detectam sobretudo o frio, no entanto estão expostos à temperatura central do corpo, diferentemente dos demais, que se expõem à temperatura na superfície corporal.

Quem nunca ouviu alguém dizendo: “frio (calor) é psicológico!”. Pois bem, isso não é um erro. Realmente, as sensações de calor e frio não são absolutas, ou seja, depende da percepção que o indivíduo tem daquela experiência, principalmente, em faixas de temperatura mais amenas.

Quando o sistema nervoso detecta um aumento na temperatura, os centros hipotalâmicos aplicam os seguintes mecanismos:

- Vasodilatação dos vasos sanguíneos cutâneos (vasodilatação periférica), pela inibição dos centros simpáticos no hipotálamo posterior, responsáveis pela vasoconstrição.
- Sudorese (produção de suor), através das glândulas sudoríparas na pele.
- Inibição de calafrios e termogênese química.

B) Regulação para ganho de calor

O corpo humano, ao perder calor, institui mecanismos para que possa ganhar energia térmica. Os mecanismos são:

Vasoconstrição cutânea	Por estimulação dos centros simpáticos do hipotálamo posterior.
Piloereção	Como o próprio nome diz, é a “ereção” dos pelos realizada pela ativação dos músculos eretores dos pelos. No ser humano, não há muita importância no controle térmico. A função é reter uma camada de ar isolante sobre a pele para reduzir a perda de calor.
Estímulo à termogênese	



Atenção! Para visualizaçãocompleta da tabela utilize a rolagem horizontal

No hipotálamo, existe um centro responsável pela produção dos calafrios. Sinais dos receptores de frio pelo corpo estimulam essa área, que, por sua vez, enviam sinais eferentes aos músculos esqueléticos, facilitando a atividade dos neurônios motores. Com isso, o tônus muscular vai aumentando até que dá

início às contrações involuntárias e rítmicas. Os calafrios conseguem aumentar a produção de calor do corpo em até cinco vezes o normal (HALL, 2017).

A excitação simpática produz também o aumento na termogênese química, uma vez que aumenta as concentrações de adrenalina e noradrenalina na circulação. Outro fator que podemos destacar é o aumento da secreção do hormônio liberador de tireotropina no hipotálamo, que, por sua vez, aumenta a secreção do hormônio estimulador da tireoide (TSH), na hipófise. O TSH aumenta a secreção de tiroxina, um hormônio da tireoide que tem como consequência o aumento do metabolismo basal corporal.



Fonte: Shutterstock.

📷 Calafrios.

O CONTROLE COMPORTAMENTAL DA TEMPERATURA MERECE DESTAQUE QUANDO FALAMOS DE TERMORREGULAÇÃO, POIS É O MECANISMO MAIS POTENTE DE CONTROLE. QUANDO A TEMPERATURA AMBIENTAL VARIA, SINAIS DO CÉREBRO GERAM A SENSAÇÃO DE INCÔMODO NO INDIVÍDUO, QUE FAZ COM QUE ELE TOME AS PROVIDÊNCIAS ADEQUADAS PARA SE AQUECER OU SE RESFRIAR. EM AMBIENTES FRIOS, A ROUPA DIFICULTA A PERDA DE CALOR POR EVAPORAÇÃO,

PRINCIPALMENTE PORQUE BLOQUEIA AS CORRENTES DE AR QUE FACILITAM A EVAPORAÇÃO DO SUOR.

A FEBRE

Quando a temperatura corporal está acima dos valores normais, estamos diante do que chamamos de **febre**. Esta é causada pelos **pirogênios**. Essas substâncias afetam o termostato hipotalâmico, que, conseqüentemente, aumenta o ponto de ajuste da temperatura. O resultado é um estímulo hipotalâmico para o aumento da temperatura corporal (conservação e aumento da produção de calor).

Nas infecções bacterianas, os leucócitos são responsáveis por liberarem citocinas após a fagocitose das bactérias. Essas citocinas (por exemplo, a famosa interleucina-1, ou IL-1) – é capaz de provocar febre pela indução de prostaglandinas, que atuam no hipotálamo. Medicamentos antipiréticos (Reduzem a febre) (ou seja, que reduzem a febre) impedem a formação dessas substâncias.



Fonte: Shutterstock.

PIROGÊNIOS

Oriundos da degradação de proteínas ou outras substâncias provenientes do metabolismo celular de bactérias.

Podemos identificar vários tipos de febre. A febre contínua varia muito pouco ao longo do dia, e é consequência de uma constante liberação de toxinas de bactérias e produção de substâncias termogênicas.

FEBRE INTERMITENTE

Algumas doenças, como a malária, podem causar a chamada **febre intermitente**, ocorrendo em períodos constantes de horas.

FEBRE REMITENTE

Esta é aquela que é mais baixa pela manhã (mais ou menos 1 °C de diferença).

Calafrios podem ocorrer em situações nas quais o ponto de ajuste do centro de controle de temperatura no hipotálamo é alterado bruscamente, aumentando acima do nível normal. Ao comparar a temperatura do sangue (que está menor) em relação ao seu novo ponto de ajuste maior, o hipotálamo gera respostas que causam elevação da temperatura, como os calafrios e vasoconstrição periférica. Por isso, a pessoa treme de frio, mesmo estando em um ambiente quente.

TODOS SABEM QUE A FEBRE TEM SEUS RISCOS, ENTENDENDO QUE SEU AUMENTO EXCESSIVO PODE CAUSAR: HEMORRAGIAS LOCAIS, DEGENERAÇÃO DAS CÉLULAS, NOTADAMENTE DO CÉREBRO (E ESTAS NÃO SE REGENERAM MAIS), LESÕES EM ÓRGÃOS COMO FÍGADO E RINS. FEBRES ELEVADAS TAMBÉM PODEM LEVAR A UM AUMENTO DE PERDA DE ÁGUA. A PRESENÇA DE SUDORESE PODE PIORAR O QUADRO. EVIDÊNCIAS SUGEREM QUE UMA PERDA DE 25 A 50% DE ÁGUA PODE OCORRER EM FEBRES MODERADAS.

ESTRESSE TÉRMICO DO AMBIENTE

O ambiente exerce influência direta sobre a temperatura corporal e nosso sistema termorregulatório precisa dar conta do equilíbrio térmico. Vamos estudar agora as consequências face ao estresse térmico em ambientes quentes e frios.

Quando a temperatura no ambiente se eleva, se houver a associação com um metabolismo elevado e uma vestimenta isolante, o corpo pode não ser capaz de realizar a termorregulação, o que pode causar problemas, como a **internação**. Ocorre o aumento da frequência cardíaca e pressão arterial, aumento da temperatura e sinais de desidratação.

★ EXEMPLO

Em algumas profissões, trabalhadores em fundições, indústrias, navios, padarias, cozinhas ou construção civil devem adotar medidas de prevenção.

Segundo Garcia (2002), um indivíduo pode produzir até 2 litros/hora de suor em ambientes quentes, perdendo 1.160 kcal/h, aproximadamente. O suor tem grande quantidade de sódio, cloro e potássio, o que pode levar a um sério desequilíbrio eletrolítico. Pode ocorrer uma aclimação ao ambiente quente, entre o quinto e o décimo quarto dia de exposição. Alguns fatores podem reduzir essa adaptação. Como fatores individuais, podemos citar:



SENILIDADE



OBESIDADE



ROUPAS COM ALTO PODER DE ISOLAMENTO



FADIGA

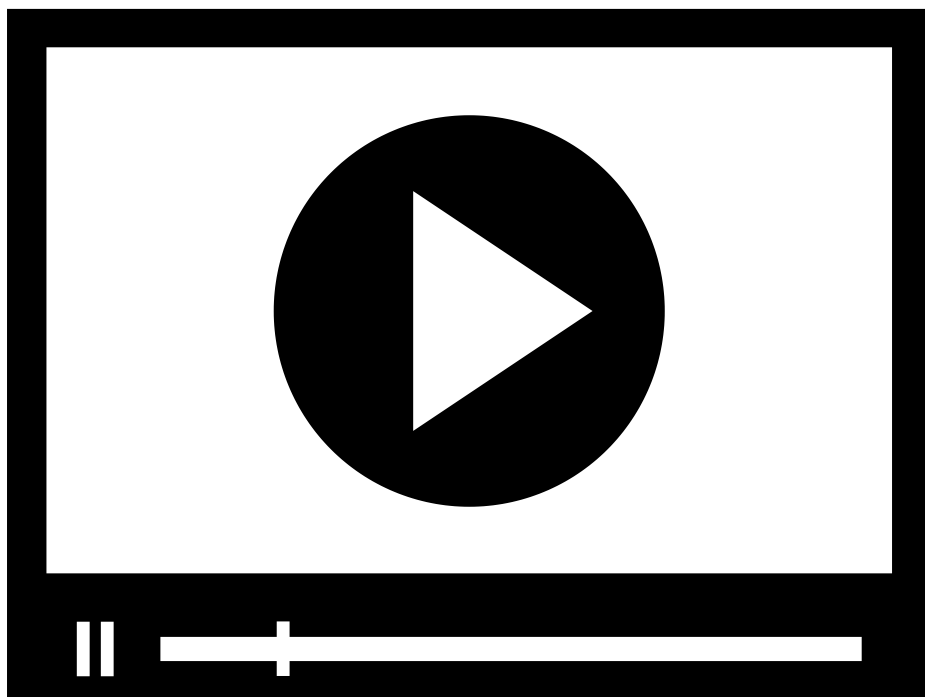


PRIVAÇÃO DO SONO

Como condições médicas, podemos destacar: desidratação, infecção, febre, imunização recente, alcoolismo, envenenamentos, algumas doenças (como cardiovasculares, renais, diabetes) e uso de drogas (como anticolinérgicos e anti-hipertensivos) (GARCIA, 2002).

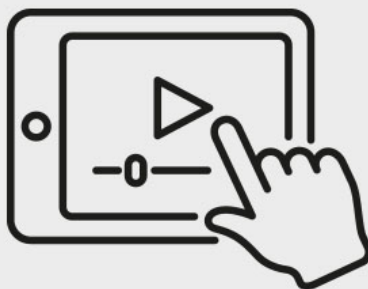
Estados patológicos relacionados à exposição a ambientes quentes podem ser: formação de brotoejas (*Miliaria crystallina*), edema (principalmente, em mulheres), câibras (espasmos musculares devido a distúrbio eletrolítico), síncope (desmaio, devido, sobretudo, a redução do retorno venoso), exaustão pelo calor e golpe térmico (estado de confusão mental, delírio, podendo chegar ao coma).

No ambiente frio, podemos observar lesões como urticária, congelamento de uma parte do corpo (levando a lesões ulcerativas), hipotermia corporal e lesões bolhosas (queimaduras). Uma redução da temperatura corporal abaixo dos 35°C já pode ser caracterizada por uma hipotermia.



MECANISMOS DE ADAPTAÇÃO CORPORAL EM AMBIENTE FRIOS E QUENTES

Para assistir a um vídeo sobre o assunto, acesse a versão online deste conteúdo.



CONTROLE DA TEMPERATURA NO EXERCÍCIO FÍSICO

No exercício físico, a produção de calor aumenta à medida que se eleva a intensidade do exercício, principalmente em virtude das contrações do músculo esquelético. Como resultado, a transpiração é acionada para que se tenha perda de calor através da evaporação.

Quando o calor é associado à umidade, as coisas pioram bastante. A umidade em excesso reduz a capacidade do corpo em perder calor por transpiração. Quanto maior a umidade relativa do ar (o conteúdo de vapor de água no ar), maior a dificuldade de evaporação do suor devido ao gradiente de concentração (o ar com muitas moléculas de água diminui a capacidade das moléculas de água na pele em evaporar).



Fonte: Shutterstock.

+ SAIBA MAIS

É possível observar que, em ambientes quentes e úmidos, o indivíduo transpira muito, mas o suor goteja do corpo, não ocorrendo o devido resfriamento do corpo.

Em uma aclimação ao calor para o exercício físico, pode ocorrer: aumento do volume plasmático, início mais precoce da transpiração, maior taxa de transpiração, redução da perda de cloreto de sódio (NaCl) pelo suor e a redução do fluxo sanguíneo cutâneo (POWERS; HOWLEY, 2017).



Fonte: Shutterstock.

Quando se trata de atividades em ambiente frio, o risco aparece em casos de exercício durante longos períodos (por exemplo, no triátlon) ou no nado em água gelada. Pessoas com grande quantidade de tecido adiposo apresentam menor risco em desenvolver problemas pelo frio, durante exercício.

Também pode ocorrer uma aclimação ao frio para o exercício físico. Tem-se verificado, por exemplo, uma redução da temperatura cutânea média na qual o tremor começa. Em segundo lugar, as extremidades (mãos e pés) apresentam maior temperatura média em pessoas aclimatadas, devido a uma mantida vasodilatação periférica nessas regiões.

TERMOTERAPIA

Desde os tempos antigos da humanidade, o calor ou o frio vem sendo usado terapeuticamente para diversas patologias, sobretudo as lesões traumato-ortopédicas. Diversos efeitos favoráveis da terapia térmica são conhecidos desde a antiguidade. No século V a.C., Hipócrates observou que a febre da malária poderia ter um efeito calmante em epiléticos.



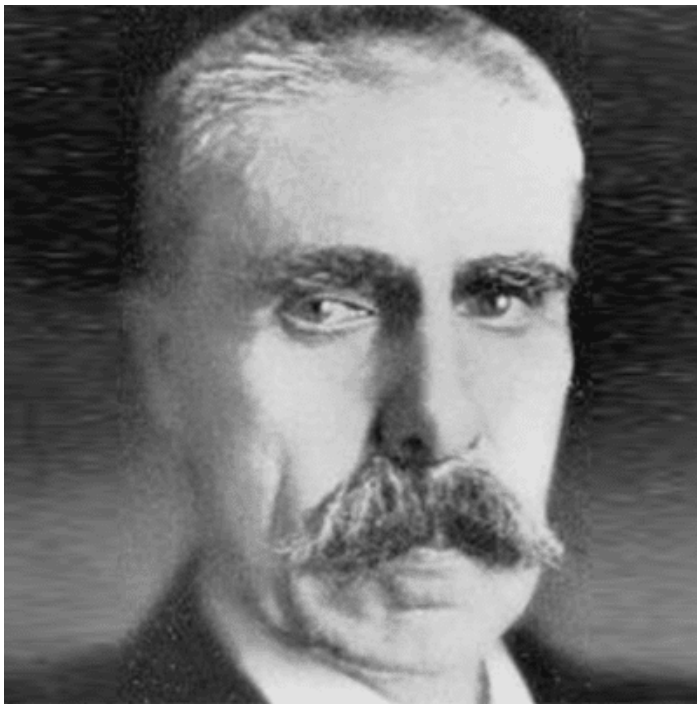
Fonte: Shutterstock.

O enciclopedista romano Aulus Cornelius Celsus (25 a.C. a 50 d.C.) sugeriu o tratamento de edema com areia e banhos quentes.



Fonte: Shutterstock.

Desordens psiquiátricas passaram a ser tratadas com termoterapia, como mencionado na obra do psiquiatra francês Philippe Pinel (1745–1826).



Fonte: Shutterstock.

No início do século 20, o psiquiatra austríaco Julius Wagner-Jauregg (1857-1940) recebeu o Prêmio Nobel em Medicina e Fisiologia em 1927 por trabalhar no valor terapêutico da febre terapia no tratamento da neurosífilis (PAPAIOANNOU *et al.*, 2016).

Conforme Low e Reed (2001), o calor tem diversos efeitos fisiológicos, a saber:

Atividade metabólica	Pela Lei de Van't Hoff, sabe-se que, quanto maior a temperatura tecidual, maior a taxa de metabolismo das células. Com a elevação adequada da temperatura, pode-se obter aumento da atividade celular, incluindo motilidade celular, síntese e a liberação de mediadores químicos, ou aumento nas taxas de interações celulares, como fagocitose ou crescimento.
Viscosidade	O calor diminui a viscosidade tecidual. Sabe-se que o fluxo sanguíneo tem íntima relação com a viscosidade do sangue.
Tecido conjuntivo	Aumentos adequados de temperatura aumentam a extensibilidade do colágeno, proteína abundante nos tecidos conjuntivos.

Estimulação neural	Nervos aferentes podem ser estimulados pelo calor, tendo um efeito analgésico.
Diminuição de espasmo muscular pelo aquecimento, atuando nas terminações dos fusos neuromusculares e dos OTGs.	
Alterações nos vasos sanguíneos	Vasodilatação



Atenção! Para visualizaçãocompleta da tabela utilize a rolagem horizontal

Com base nos efeitos fisiológicos do calor, pode-se ter como efeitos terapêuticos:

- Cicatrização
- Alívio da dor
- Aumento da amplitude de movimento articular
- Prevenção das úlceras de pressão
- Edema crônico
- Algumas doenças de pele
- Precursor de tratamentos cinesiológicos (alongamento, mobilização, massagem).



Fonte: Shutterstock.

📷 Luz infravermelha, exemplo de termoterapia superficial.

O frio também pode ser usado como ferramenta terapêutica. Damos a essa técnica o nome de crioterapia. A redução da temperatura tecidual tem efeitos como:

VASOCONSTRIÇÃO IMEDIATA (EMPALIDECIMENTO)

AUMENTO DA VISCOSIDADE SANGUÍNEA

DIMINUIÇÃO DO FLUXO SANGUÍNEO MUSCULAR

REDUÇÃO DO METABOLISMO TECIDUAL (LEI DE VAN'T HOFF)

FORTE ESTÍMULO SENSORIAL POR MEIO DA ESTIMULAÇÃO DOS RECEPTORES DE FRIO

REDUÇÃO DA FORÇA MUSCULAR

TERAPEUTICAMENTE, É MUITO USADO APÓS LESÕES TRAUMÁTICAS AGUDAS, UMA VEZ QUE TEM FORTE PODER ANTI-INFLAMATÓRIO. EM FERIDAS, LEVA A VASOCONSTRIÇÃO E TORNA O SANGUE MAIS VISCOSO, O QUE DIMINUI O FLUXO SANGUÍNEO NO LOCAL. EM QUEIMADURAS, LEVA AO RESFRIAMENTO IMEDIATO DA ÁREA, REDUZINDO O METABOLISMO E LIMITANDO A

NECROSE TECIDUAL (O QUE CHAMAMOS DE HIPÓXIA SECUNDÁRIA). EM LESÕES DE TECIDOS MOLES, O RESFRIAMENTO DIMINUI TAXA DE EDEMA E A PRODUÇÃO DE IRRITANTES, DIMINUINDO A DOR. ALÉM DISSO, A CRIOTERAPIA POSSUI POTENTE EFEITO ANALGÉSICO, POR TER UM EFEITO DIRETO NA CONDUÇÃO DOS RECEPTORES E NEURÔNIOS DE DOR, REDUZINDO A VELOCIDADE E O NÚMERO DE IMPULSOS. AS FIBRAS AA SÃO MAIS SUSCETÍVEIS AO RESFRIAMENTO (QUE CARREIAM SINAIS DE DOR AGUDA).

VERIFICANDO O APRENDIZADO

1. SABE-SE QUE O CORPO HUMANO PERDE MAIS CALOR POR IRRADIAÇÃO (60%), SEGUIDO DE EVAPORAÇÃO (22%), CONDUÇÃO PARA O AR (15%) E CONDUÇÃO PARA OBJETOS (3%). EM CORRENTES DE AR, PODE PERDER CALOR POR CONVECÇÃO. UM DOS FENÔMENOS PARA A TERMÓLISE (PERDA DE CALOR) CORPORAL É O(A):

- A) Sudorese, no qual o calor do ambiente passa para o sangue através das glândulas sudoríparas.**
- B) Calafrio, no qual o aumento do metabolismo muscular provoca a perda de energia térmica corporal.**
- C) Calafrio, no qual o aumento do metabolismo muscular provoca o ganho de energia térmica corporal.**
- D) Sudorese, no qual o calor do sangue passa para as glândulas sudoríparas, que por sua vez produzem o suor.**

2. VIMOS QUE O CORPO PODE GANHAR ENERGIA TÉRMICA POR CALOR, ATRAVÉS DE VÁRIOS MECANISMOS QUÍMICOS E MECÂNICOS. UM HOMEM ADULTO COM 70 KG, POR EXEMPLO, CONSUMIRÁ EM MÉDIA 1,5 KCAL/MIN. MESMO EM REPOUSO, NOSSO CORPO ESTÁ CONSTANTEMENTE PRODUZINDO

O CALOR PELO METABOLISMO BASAL. ASSINALE A ALTERNATIVA QUE EXPLICA A PRINCIPAL ORIGEM DESSE CALOR:

- A)** A respiração celular, que ocorre nas mitocôndrias, processo que usa o oxigênio para formar moléculas de ATP.
- B)** O hipotálamo, que aumenta suas reações metabólicas no cérebro.
- C)** Os órgãos e vísceras do organismo, que possuem sensores térmicos especializados para o controle da temperatura.
- D)** A contração muscular esquelética e lisa.

GABARITO

1. Sabe-se que o corpo humano perde mais calor por irradiação (60%), seguido de evaporação (22%), condução para o ar (15%) e condução para objetos (3%). Em correntes de ar, pode perder calor por convecção. Um dos fenômenos para a termólise (perda de calor) corporal é o(a):

A alternativa **"D "** está correta.

A pele é como se fosse um sistema controlado de “radiador de calor”. Abaixo da epiderme, existem vasos sanguíneos que recebem o sangue vindo dos tecidos profundos, trazendo a energia térmica dessas regiões. A energia térmica em excesso no sangue passa, na forma de calor, para um líquido que forma posteriormente o suor. A ser evaporado, o suor leva o calor consigo, resfriando a pele.

2. Vimos que o corpo pode ganhar energia térmica por calor, através de vários mecanismos químicos e mecânicos. Um homem adulto com 70 kg, por exemplo, consumirá em média 1,5 kcal/min. Mesmo em repouso, nosso corpo está constantemente produzindo o calor pelo metabolismo basal. Assinale a alternativa que explica a principal origem desse calor:

A alternativa **"A "** está correta.

O calor do metabolismo basal vem das reações bioquímicas em nosso corpo, basicamente do processo de respiração celular. Na mitocôndria das células, oxigênio é usado nas cristas mitocondriais, para o funcionamento da cadeia de citocromos, responsáveis pelo bombeamento de prótons hidrogênio (H⁺) e consequente formação de moléculas de ATP (adenosina trifosfato). Parte da energia dos alimentos é perdida na forma de calor, durante o processo.

CONCLUSÃO

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como pudemos observar, o Universo é matéria e energia. Nós, seres humanos, somos parte desse Universo, portanto, estamos sujeitos às Leis da Física. Vimos que a Termodinâmica está presente no nosso dia a dia, na natureza ao nosso redor. Essa importante área da Termologia nos explica aspectos importantes, como a propagação do calor nos materiais (dos mais quentes aos mais frios), o princípio de conservação de energia no Universo, o conceito de entropia e como isso tudo se relaciona.

Finalmente, entendemos como o corpo humano consegue controlar sua temperatura corporal (homeotermia), mesmo produzindo uma quantidade considerável de energia proveniente do metabolismo e, simultaneamente, convivendo com as alterações de temperatura e umidade do ambiente externo.

Ao compreender bem os eventos termodinâmicos ao nosso redor, conseguiremos ter uma visão mais clara de todos os processos de controle corporais e como nosso organismo responde aos mais diversos tipos de estresses fisiológicos e patológicos.

Para ouvir um *podcast* sobre o assunto, acesse a versão online deste conteúdo.



REFERÊNCIAS

ASIMOV, I. **In the Game of Energy and Thermodynamics You Can't Even Break Even** Smithsonian Institution Journal, p. 6, 1970.

DILLON, P. F. **Biophysics: A Physiological Approach**. Cambridge: Cambridge University Press, 2012.

FUKE, L. F.; SHIGEKIYO, C. T.; YAMAMOTO, K. **Os Alicerces da Física – Termologia, Óptica, Ondulatória**. São Paulo: Saraiva, 1999.

GARCIA, E. A. C. **Biofísica**. São Paulo: Sarvier, 2002.

LOW, J.; REED, A. **Eletroterapia Explicada – Princípios e Prática**. 2. ed. São Paulo: Moderna, 2000.

NELSON, D. L.; COX, M. M. **Princípios de Bioquímica de Lehninger**. São Paulo: Artmed, 2013.

OLIVEIRA, P. M. C. **Energia e Matéria: Da Fundamentação Conceitual as Aplicações Tecnológicas**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 37, n. 4, 2015.

PAPAIIOANNOU, T. G.; KARAMANOU, M.; PROTOGEROU, A. D.; TOUSOULIS, D. **Heat therapy**: an ancient concept re-examined in the era of advanced biomedical technologies. Journal of Physiology, v. 594, n. 23, p. 7141–7142, 2016.

PASSOS, J. C. **Os experimentos de Joule e a primeira lei da termodinâmica**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 31, n. 3, 2009.

POWERS, S. K.; HOWLEY, E. T. **Fisiologia do Exercício**: Teoria e Aplicação ao Condicionamento e ao Desempenho. São Paulo: Manole, 2017.

SILVA JUNIOR, J. S. **O que é energia?** In: Brasil Escola.

USBERCO, J.; SALVADOR, E. **Química Volume 1**. São Paulo: Saraiva, 2014.

VOLLMER, M.; MÖLLMANN, K. P. **Infrared Thermal Imaging: Fundamentals, Research and Applications**. Weinheim: Wiley-VCH, 2010.

WIKIPEDIA. **Introdução à Física – Energia**. Wikilivros. Consultado em meio eletrônico em: 25 ago. 2020.

EXPLORE+

Para saber mais sobre os assuntos explorados neste tema, leia o mini editorial *Controle da Temperatura Corporal durante o Exercício Físico*, de Ricardo Luiz Damatto, Marcelo Diarcadia Mariano Cezar e Priscila Portugal Santos, publicado nos Arquivos Brasileiros de Cardiologia em 2019.

CONTEUDISTA

Christiano Bittencourt Machado

 **CURRÍCULO LATTES**