

# Trabalho e energia

# O que é energia?



- Na física, energia (do grego ἐνέργεια, que significa atividade, operação) é uma quantidade usualmente associada à capacidade de um sistema físico de realizar trabalho sobre outro
- Se apresenta sob diversas formas:
  - mecânica, térmica, química, elétrica, magnética etc.

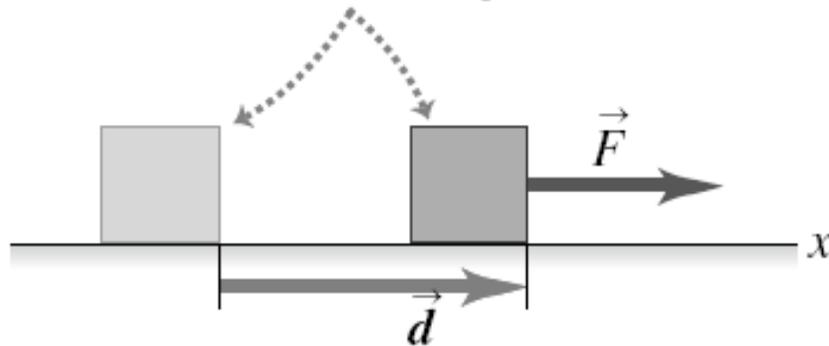
# Trabalho



- Uso corriqueiro da palavra trabalho: qualquer atividade que exija esforço físico ou intelectual
- Em física: você realiza um trabalho exercendo uma força sobre o corpo enquanto ele se move de um local para o outro

# Trabalho

Quando um corpo se move ao longo de um deslocamento  $\vec{d}$  enquanto uma força constante  $\vec{F}$  atua sobre ele na mesma direção e sentido



... o trabalho realizado pela força sobre o corpo é  $W = Fd$ .

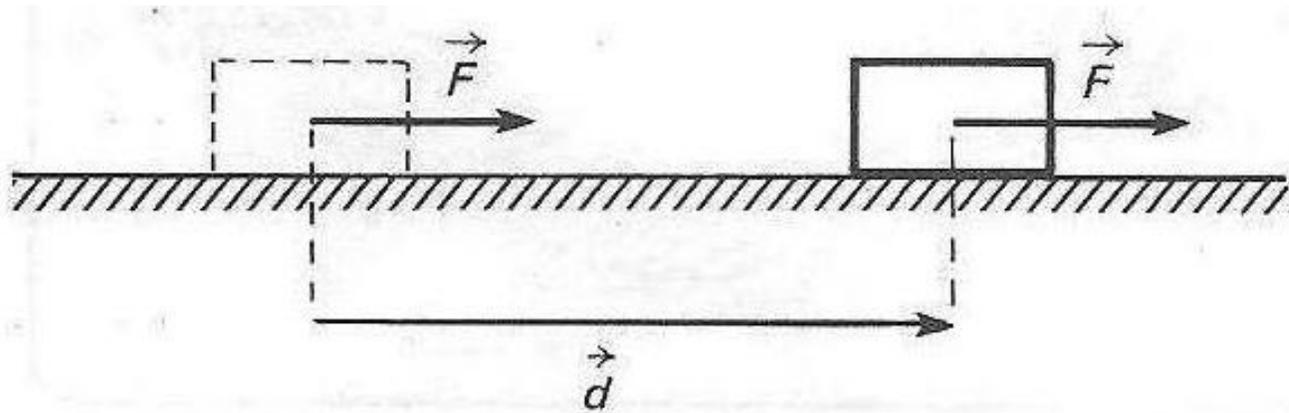
**Figura 6.2** O trabalho realizado por uma força constante que atua na mesma direção e no mesmo sentido do deslocamento.

$$W = Fd$$

Unidade: Joule (J)  
 $1\text{J} = 1\text{N} \times 1\text{m}$

# Exemplo 1:

- Calcule o trabalho realizado sobre um bloco por uma força de módulo constante  $F=10\text{N}$  quando este se desloca por uma distância  $d=2\text{m}$ ?

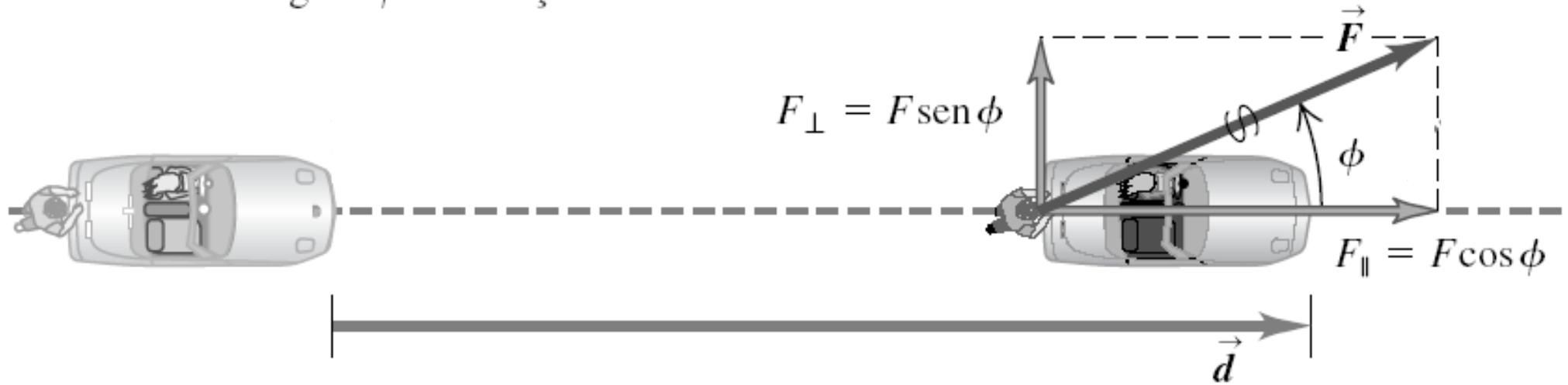


(Resposta:  $W = 20\text{J}$ )

- O que aconteceria se a força formasse um ângulo  $\phi$  com o deslocamento do corpo?

# Trabalho

Quando um carro se move ao longo de um deslocamento  $\vec{d}$ , enquanto uma força constante  $\vec{F}$  atua sobre ele formando um ângulo  $\phi$  em relação ao deslocamento...

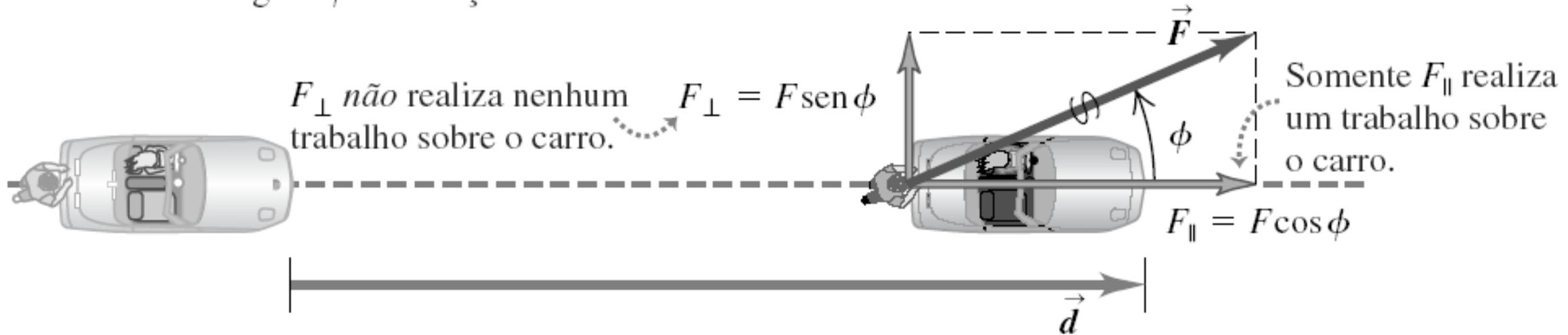


**Figura 6.3** O trabalho realizado por uma força constante que forma um ângulo em relação ao deslocamento.

# Trabalho

Quando um carro se move ao longo de um deslocamento  $\vec{d}$ , enquanto uma força constante  $\vec{F}$  atua sobre ele formando um ângulo  $\phi$  em relação ao deslocamento...

... o trabalho realizado pela força sobre o carro é  $W = F_{\parallel}d = (F \cos \phi)d = Fd \cos \phi$ .



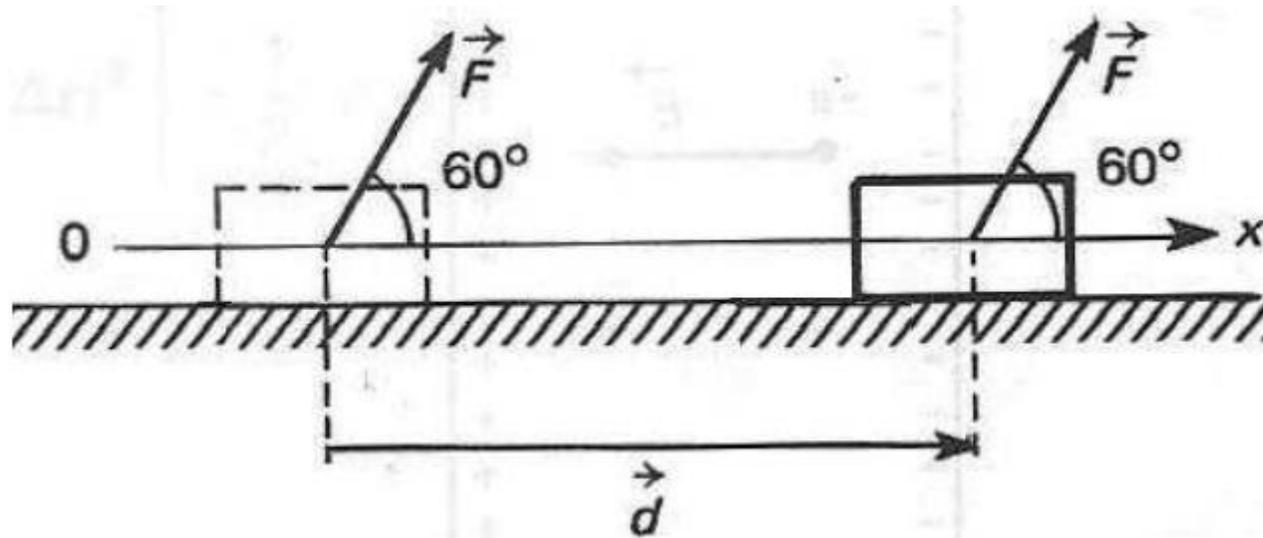
**Figura 6.3** O trabalho realizado por uma força constante que forma um ângulo em relação ao deslocamento.

$$W = Fd \cos \phi$$

$$W = \vec{F} \cdot \vec{d}$$

# Exemplo 2:

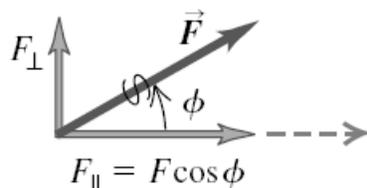
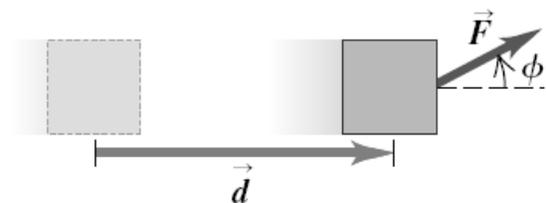
- Um bloco se desloca sob a ação da força de módulo  $F=6\text{N}$  indicada na figura abaixo. Qual o trabalho realizado por esta força quando o bloco se desloca  $1\text{m}$ ?



(Resposta:  $W = 3\text{J}$ )

# Trabalho positivo, negativo ou nulo

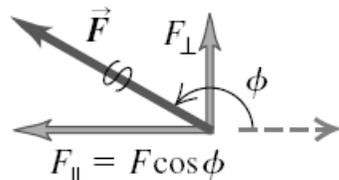
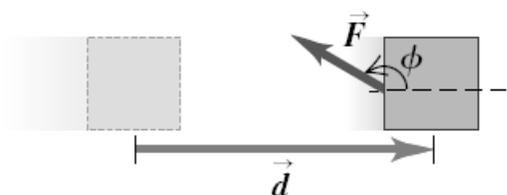
(a)



**A força possui um componente na mesma direção e no mesmo sentido do deslocamento:**

- O trabalho realizado sobre o objeto é positivo.
- $W = F_{\parallel}d = (F \cos \phi)d$

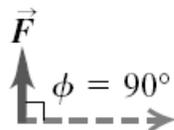
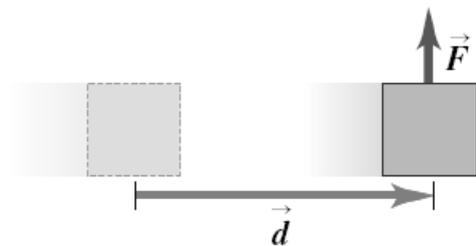
(b)



**A força possui um componente no sentido contrário ao do deslocamento:**

- O trabalho realizado sobre o objeto é negativo.
- $W = F_{\parallel}d = (F \cos \phi)d$
- Matematicamente,  $W < 0$  porque  $F \cos \phi$  é negativo para  $90^\circ < \phi < 270^\circ$ .

(c)

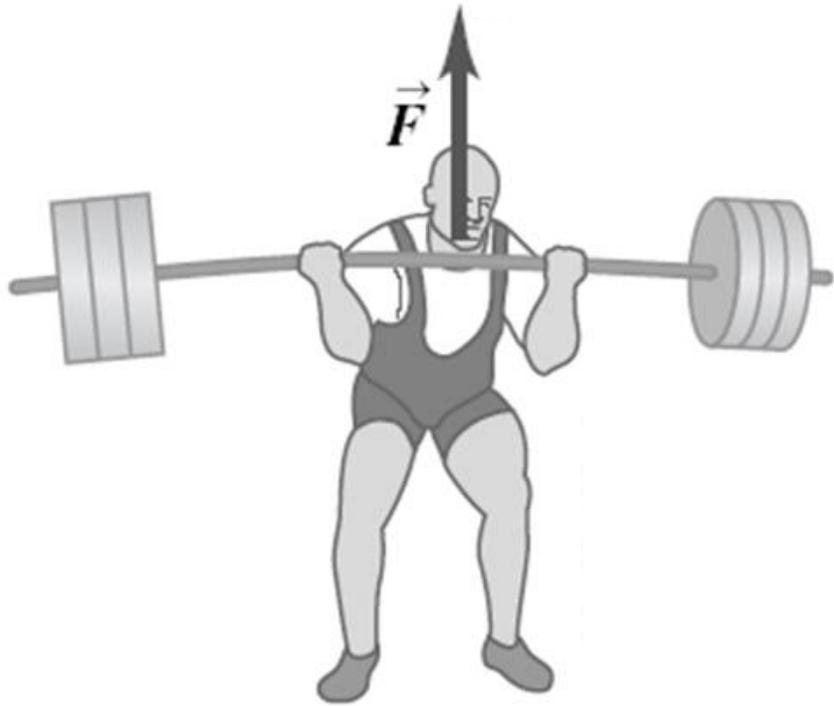


**A força é perpendicular à direção do deslocamento:**

- A força não realiza nenhum trabalho sobre o objeto.
- Generalizando, quando uma força que atua sobre um objeto possui um componente  $F_{\perp}$  ortogonal ao deslocamento do objeto, esse componente não realiza nenhum trabalho sobre o objeto.

**Figura 6.4** Uma força constante  $\vec{F}$  pode realizar um trabalho positivo, negativo ou nulo, dependendo do ângulo entre  $\vec{F}$  e o deslocamento  $\vec{d}$ .

# Trabalho nulo: O halterofilista com haltere parado



# Trabalho nulo: O halterofilista com haltere parado



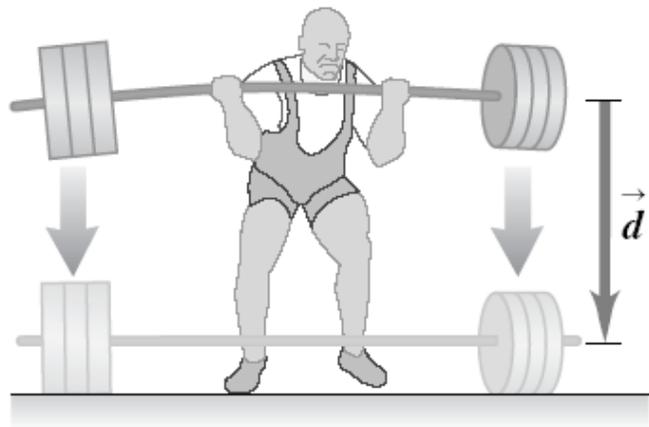
Existem várias situações em que uma força atua mas não realiza trabalho

**Figura 6.5** Um halterofilista não realiza nenhum trabalho sobre um haltere, contanto que o mantenha estático.

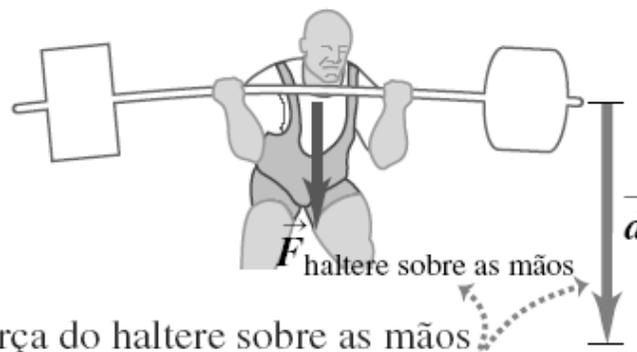
# Trabalho negativo: O halterofilista abaixando o haltere

- Terceira lei de Newton: lei da ação e reação

(a) O halterofilista apóia um haltere no piso.

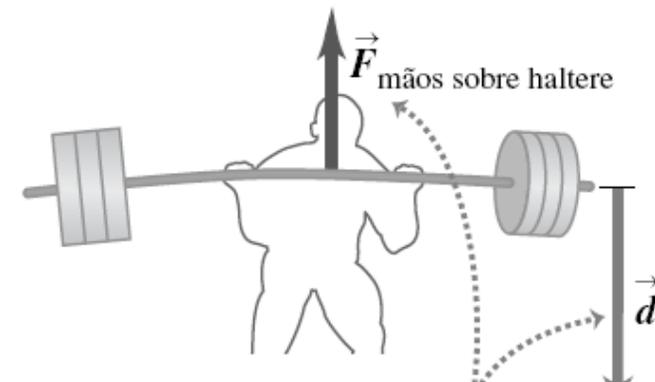


(b) O trabalho realizado pelo haltere sobre as mãos do halterofilista é *positivo*.



A força do haltere sobre as mãos do halterofilista está na *mesma* direção e sentido do deslocamento das mãos.

(c) O trabalho realizado pelas mãos do halterofilista sobre o haltere é *negativo*.



A força das mãos do halterofilista sobre o haltere está na direção e no sentido *contrários* ao deslocamento do haltere.

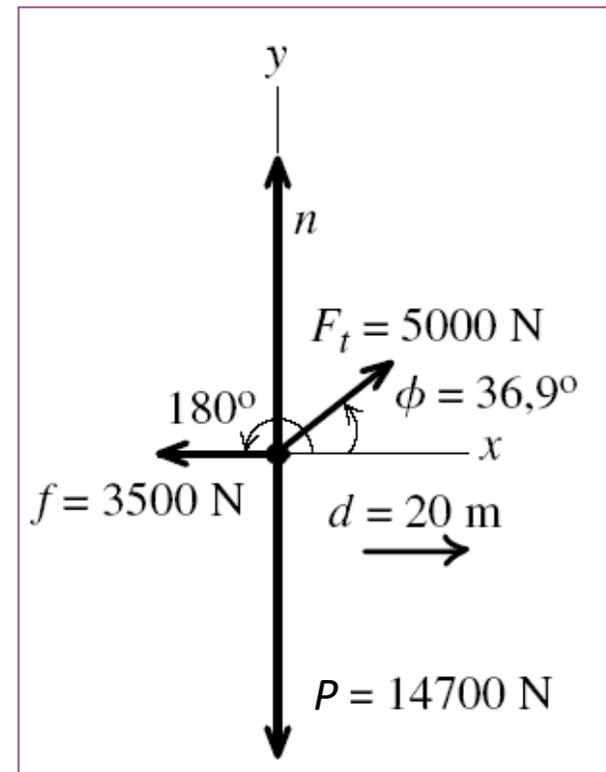
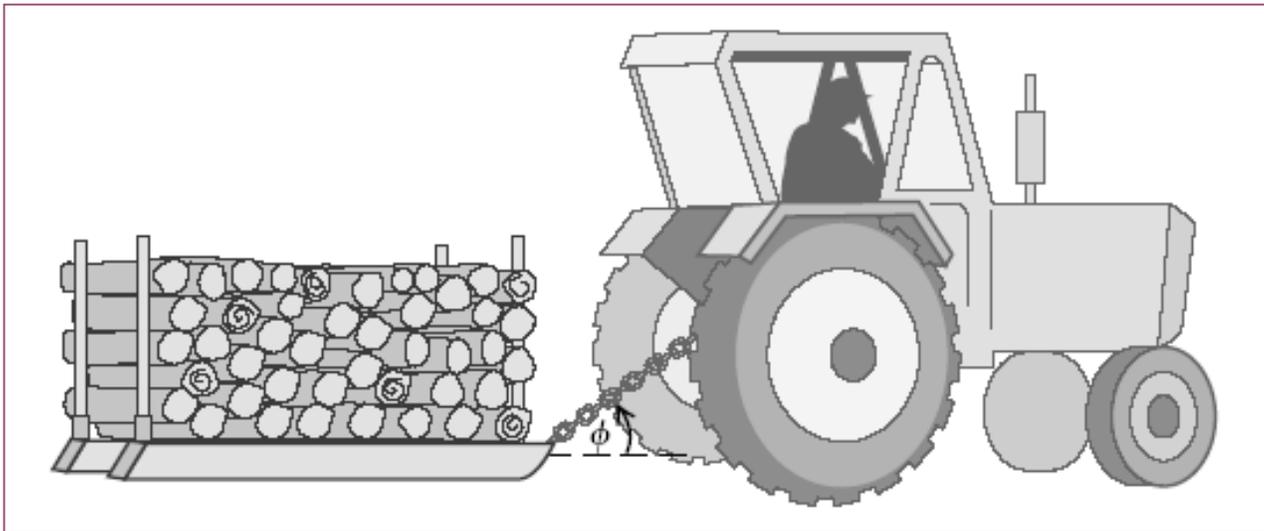
**Figura 6.6** As mãos deste halterofilista realizam um trabalho negativo sobre um haltere enquanto o haltere realiza um trabalho positivo sobre suas mãos.

# Trabalho total

- Como calcular o trabalho total exercido por diversas forças que atuam sobre um corpo?
  - 1- Como o trabalho é uma grandeza escalar, o trabalho total  $W_T$  realizado por todas as forças sobre o corpo é a soma algébrica de todos os trabalhos realizados pelas forças individuais.
  - 2- Alternativamente, pode-se calcular a soma vetorial de todas as forças que atuam sobre o corpo (ou seja, a força resultante) e a seguir, calcular o trabalho realizado por esta força.

# Exemplo 3

- Um fazendeiro engata um trenó carregado de madeira ao seu trator e o puxa até uma distância de 20m ao longo de um terreno horizontal. O peso total do trenó carregado é igual a 14.700N. O trator exerce uma força constante de 5000N, formando um ângulo de  $36,9^\circ$  acima da horizontal. Existe uma força de atrito de 3.500N que se opõem ao movimento. Calcule o trabalho que cada força realiza sobre o trenó e o trabalho total realizado por todas as forças.



# Potência

- A definição de trabalho não faz referência ao tempo
  - Quando você levanta um haltere de 100N até uma altura de 1m, o trabalho realizado é de 100J independente de se levar 1 segundo, 1 hora ou 1 ano para realizá-lo.
- Mas pode ser interessante saber se quanto tempo levamos para realizar um trabalho → Potência
  - Potência = taxa temporal de realização de um trabalho
  - Potência média ( $\bar{P}$ ) = quociente do trabalho total realizado pelo intervalo de tempo durante o qual ele foi realizado

$$\bar{P} = \frac{W}{\Delta t}$$

Unidade: watt(W)

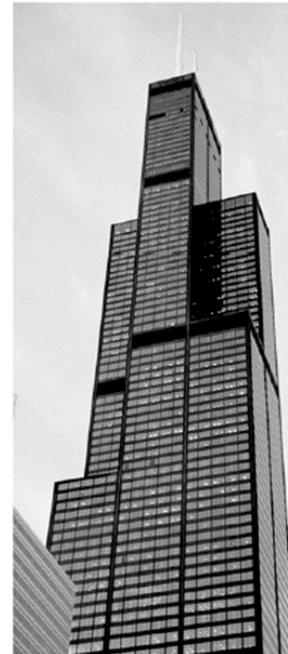
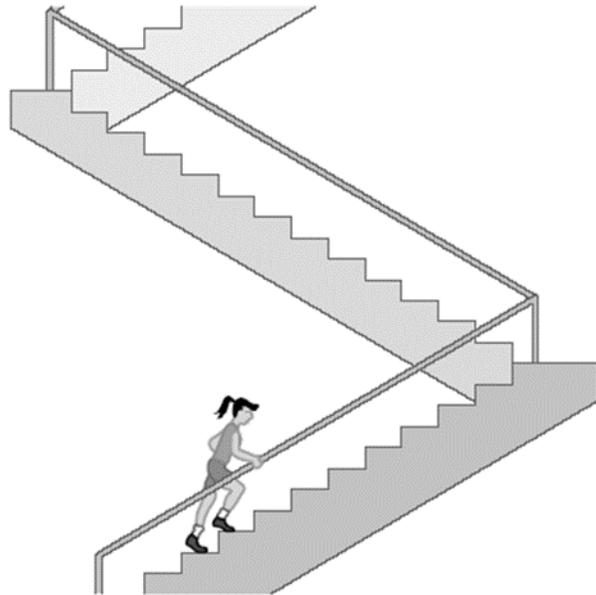
$$1W = 1J / s$$

- Quando a potência for constante no tempo:

$$P = \bar{P} \quad e \quad W = P\Delta t$$

# Exemplo 4

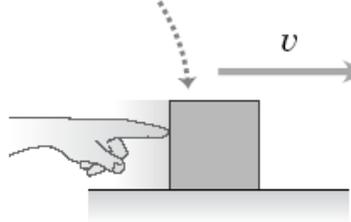
- Uma velocista de Chicago com massa de 50kg sobe correndo as escadas da Torre Sears em Chicago, o edifício mais alto dos EUA, com altura de 443m. Para que ela atinja o topo em 15 minutos, qual deve ser sua potência média em watts?



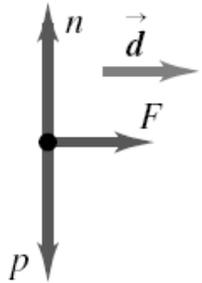
(Resposta:  $\bar{P} = 246,1W$ )

# Trabalho e energia cinética

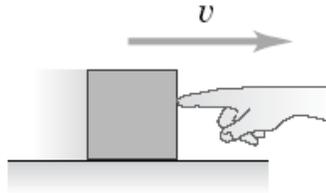
Um bloco desliza da esquerda para a direita sobre uma superfície sem atrito.



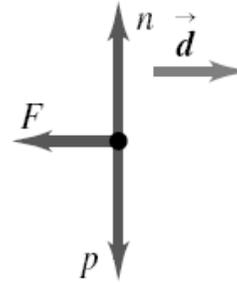
Quando você empurra da esquerda para a direita o bloco em movimento, a força resultante sobre o bloco está direcionada para a direita.



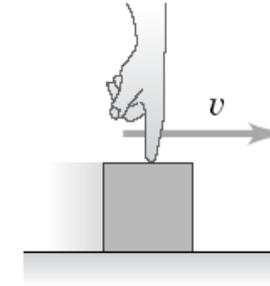
- O trabalho total realizado sobre o bloco durante um deslocamento  $\vec{d}$  é positivo:  $W_{\text{tot}} > 0$ .
- O bloco aumenta a velocidade.



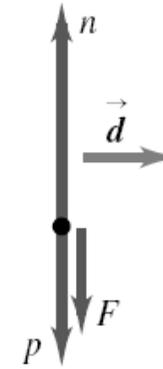
Quando você empurra da direita para a esquerda o bloco em movimento, a força resultante sobre o bloco está direcionada para a esquerda.



- O trabalho total realizado sobre o bloco durante um deslocamento  $\vec{d}$  é negativo:  $W_{\text{tot}} < 0$ .
- O bloco reduz a velocidade.



Quando você empurra de cima para baixo o bloco em movimento, a força resultante sobre o bloco é igual a zero.



- O trabalho total realizado sobre o bloco durante um deslocamento  $\vec{d}$  é nulo:  $W_{\text{tot}} = 0$ .
- A velocidade do bloco não varia.

- Conclusão: quando uma partícula sofre um deslocamento, ela aumenta de velocidade se  $W_T > 0$ , diminui de velocidade quando  $W_T < 0$  e a velocidade permanece constante quando  $W_T = 0$

# Trabalho e energia cinética

- Considerando a partícula de massa  $m$  que se move no eixo  $x$  sob a ação de uma força resultante de módulo  $F$  orientada no sentido positivo do eixo  $x$ .
- A aceleração da partícula é constante e dada pela segunda Lei de Newton:  $F = ma_x$
- Supondo que a velocidade varie de  $v_1$  a  $v_2$  quando a partícula vai de  $x_1$  a  $x_2$  ( $d = x_2 - x_1$ ) e usando a equação do movimento com aceleração constante ( $v^2 = v_0^2 + 2a\Delta s$ ):

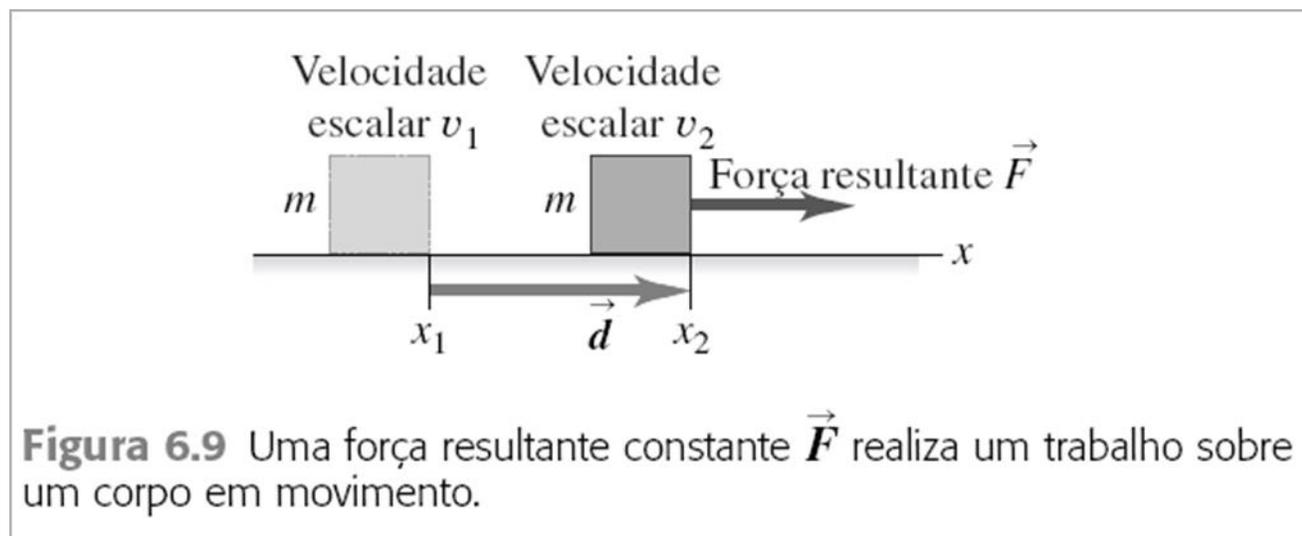
$$v_2^2 = v_1^2 + 2ad$$

$$a_x = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2d}$$

- Multiplicando  $a_x$  por  $m$ , temos  $F$ :

$$F = ma_x = m \frac{v_2^2 - v_1^2}{2d}$$

$$Fd = \left[ m \frac{v_2^2 - v_1^2}{2d} \right] d = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$$



# Trabalho e energia cinética

- A grandeza  $K = \frac{1}{2}mv^2$  denomina-se energia cinética da partícula

$$Fd = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$$

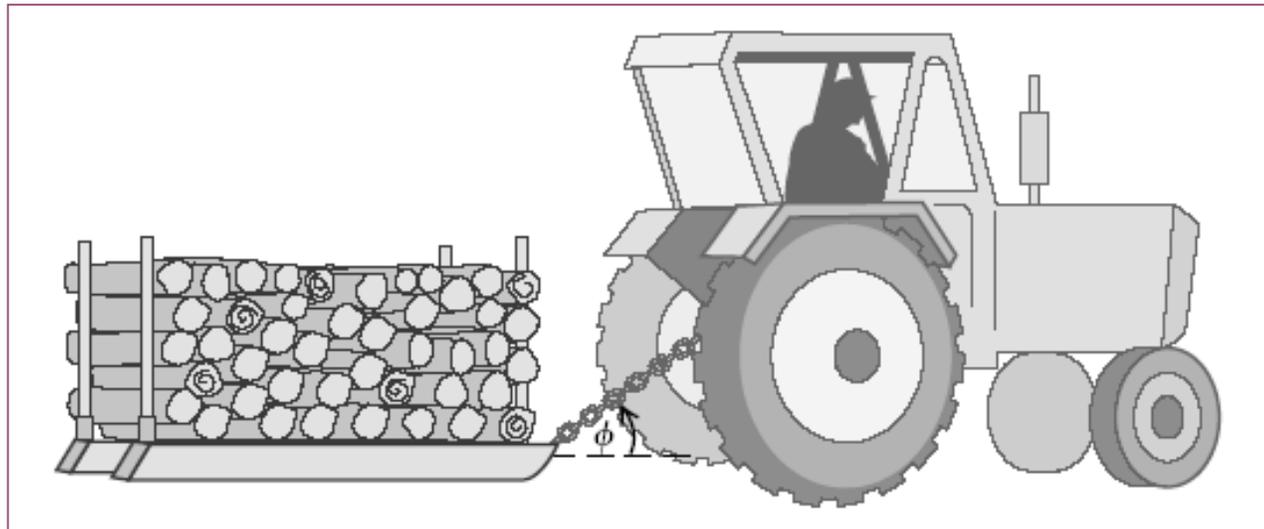
$$W_T = K_2 - K_1 = \Delta K$$

**TEOREMA TABALHO-ENERGIA: “ O trabalho realizado pela força resultante sobre a partícula fornece a variação da energia cinética da partícula “**

# Exemplo 5

Retomando o exemplo 3: Um fazendeiro engata um trenó carregado de madeira ao seu trator e o puxa até uma distância de 20m ao longo de um terreno horizontal. O peso total do trenó carregado é igual a 14.700N. O trator exerce uma força constante de 5000N, formando um ângulo de  $36,9^\circ$  acima da horizontal. Existe uma força de atrito de 3.500N que se opõem ao movimento.

- Suponha que a velocidade inicial do trenó é de 2,0m/s. Qual a velocidade escalar do trenó após o deslocamento de 20m?

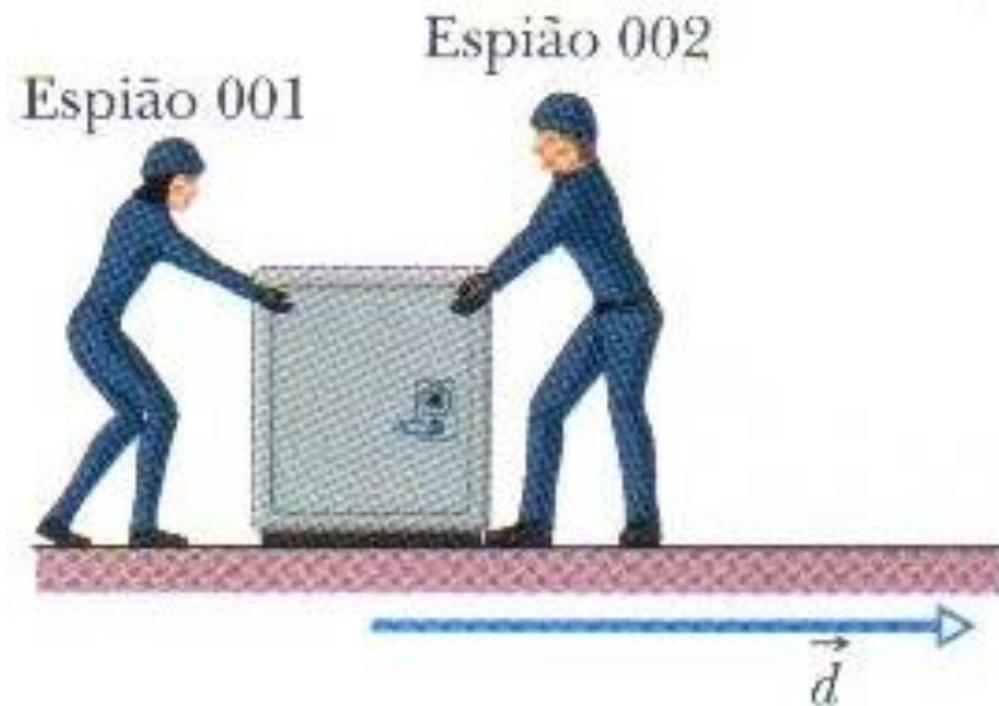


*(Resposta:  $v = 4,2 \text{ m/s}$ )*

## TAREFA

- Dois espiões industriais arrastam um cofre de 225kg a partir do repouso e, assim, produzindo um deslocamento  $\vec{d}$  de módulo 8,50m em direção a um caminhão. O empurrão  $\vec{F}_1$  do espião 001 tem um módulo de 12N e faz um ângulo de  $30^\circ$  para baixo com a horizontal; o empurrão  $\vec{F}_2$  do espião 002 tem um módulo de 10,0N e faz um ângulo de  $40^\circ$  para cima com a horizontal. Os módulos e orientações das forças não variam quando o cofre se desloca e o atrito entre o cofre e o piso é desprezível.

- Qual é o trabalho realizado pelas forças  $\vec{F}_1$  e  $\vec{F}_2$  sobre o cofre durante o deslocamento  $\vec{d}$ ?
- Qual é o trabalho realizado pela força gravitacional e da força normal sobre o cofre durante seu deslocamento?
- Se o cofre está inicialmente em repouso, qual a sua velocidade após o deslocamento de 8,5m?



# Energia Potencial

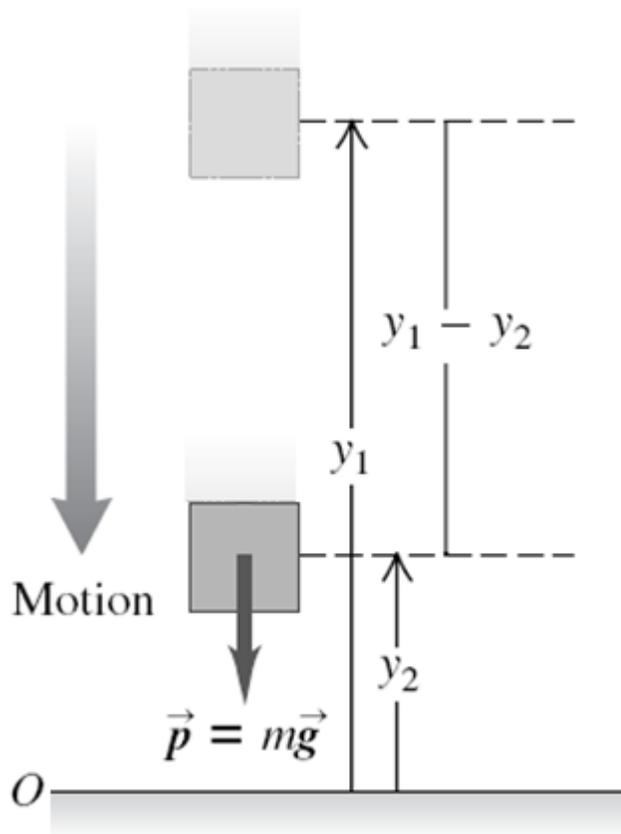
- Você precisa realizar trabalho para levantar uma pedra acima da sua cabeça
- É razoável pensar que neste processo armazenamos energia na pedra que poderá ser transformada em energia cinética quando a pedra cair
- Existe uma energia associada à posição dos corpos no sistema
- Esta energia fornece o potencial/possibilidade de realização de trabalho
- Pode ser completamente convertida em energia cinética

## ENERGIA POTENCIAL

- Voltando ao caso da pedra, existe uma energia potencial associada ao peso da pedra e à sua altura do solo – **energia potencial gravitacional**



# Descrição do corpo em queda livre sem resistência



- Vamos encontrar o trabalho realizado pela força peso quando o corpo cai de uma altura  $y_1$  para a  $y_2$

$$W_{grav} = Fd = mg(y_1 - y_2) = mgy_1 - mgy_2$$

- Energia potencial gravitacional:  $U_{grav} = mgy$
- Sendo seu valor inicial  $U_{grav,1} = mgy_1$  e final  $U_{grav,2} = mgy_2$

$$W_{grav} = U_{grav,1} - U_{grav,2} = -(U_{grav,2} - U_{grav,1}) = -\Delta U_{grav}$$

$$W_{grav} = -\Delta U_{grav}$$

# Conservação da energia mecânica

- Voltando ao nosso exemplo do corpo em queda livre sem resistência, seja  $v_1$  sua velocidade no ponto  $y_1$  e  $v_2$  sua velocidade no ponto  $y_2$ , o teorema do trabalho energia nos diz que:

$$W_T = \Delta K = K_2 - K_1$$

- Como a força da gravidade é a única força atuando no sistema:

$$W_T = W_{grav} = -\Delta U_{grav}$$

$$\Delta K = -\Delta U_{grav}$$

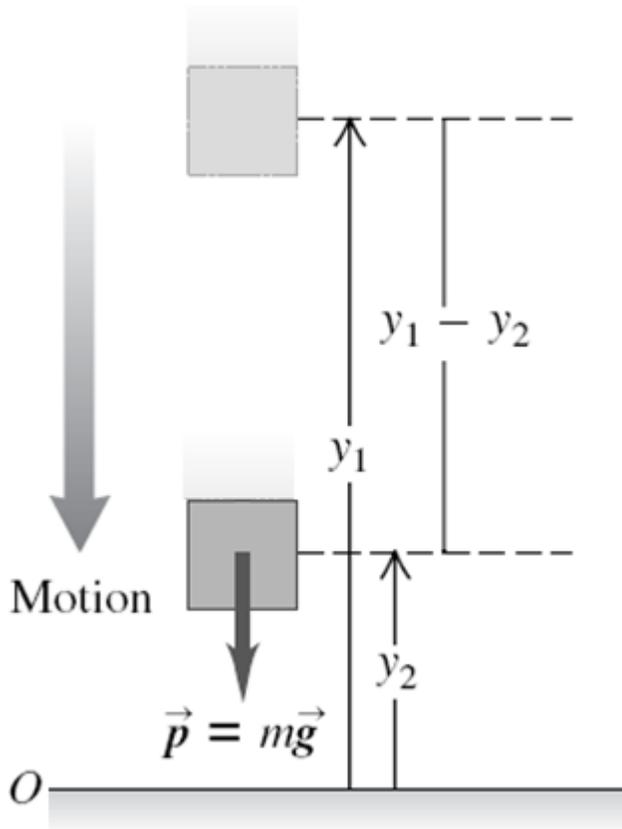
$$K_2 - K_1 = U_{grav,1} - U_{grav,2}$$

$$K_1 + U_{grav,1} = K_2 + U_{grav,2}$$

$$E_1 = E_2$$

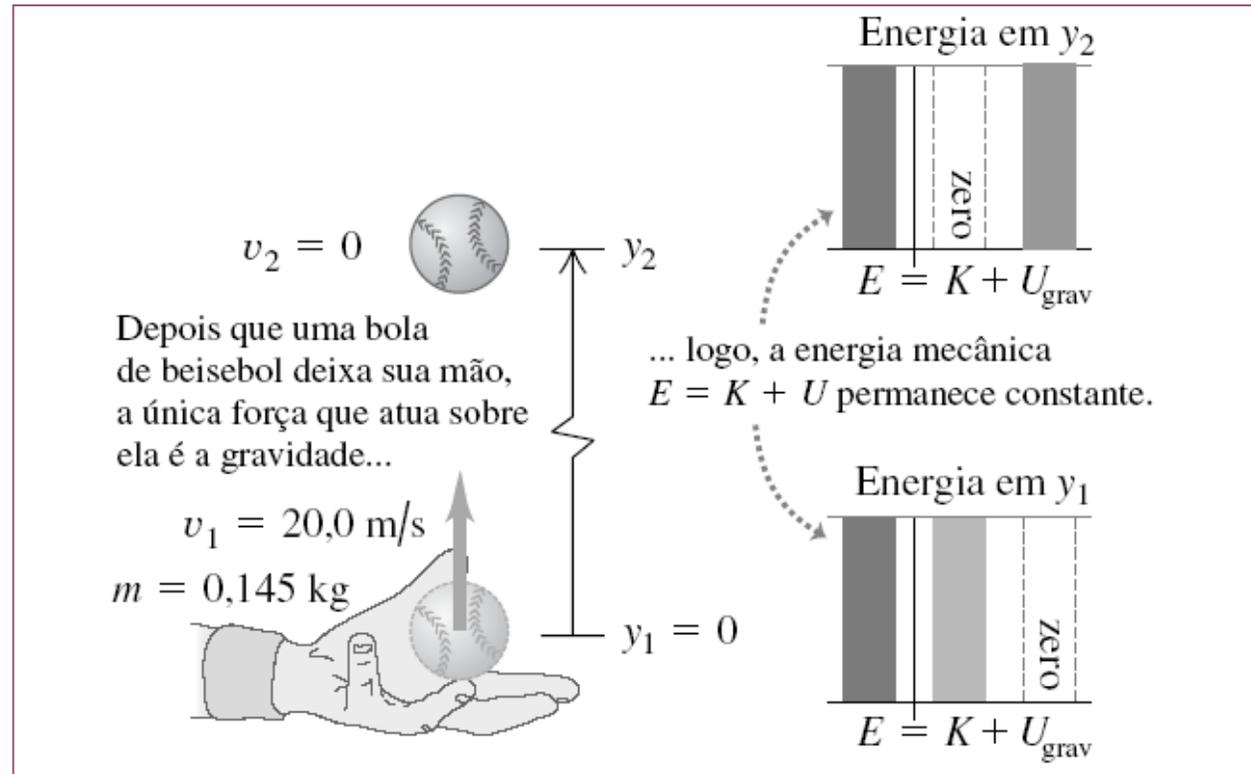
Conservação da  
energia mecânica

E=energia mecânica total do sistema



# Exemplo 6

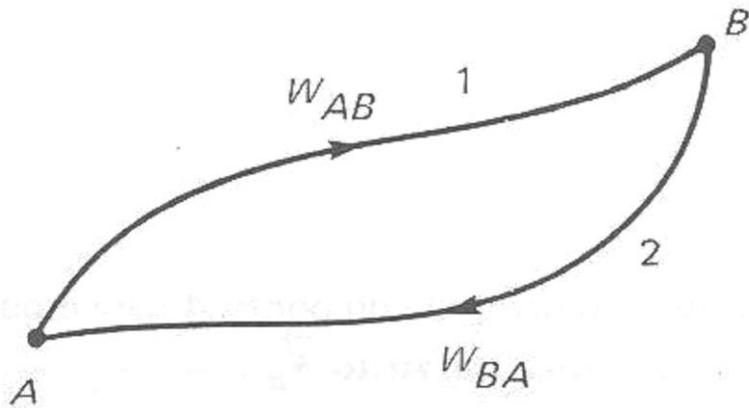
- Você arremessa uma bola de beisebol de 0,145kg verticalmente de baixo para cima, fornecendo-lhe uma velocidade inicial de módulo igual a 20m/s. Usando a conservação de energia, calcule a altura máxima que ela atinge, supondo que a resistência do ar seja desprezível.



(Resposta: 20m)

# Forças conservativas

- Em geral, as forças que atuam em um corpo são divididas em forças conservativas e não-conservativas.
  - Forças conservativas são capazes de converter energia cinética em energia potencial e de fazer a conversão inversa
  - Forças conservativas realizam trabalho reversível, ou seja, o trabalho realizado por ela sobre um corpo, quando este descreve uma trajetória fechada qualquer é nulo, ou seja:

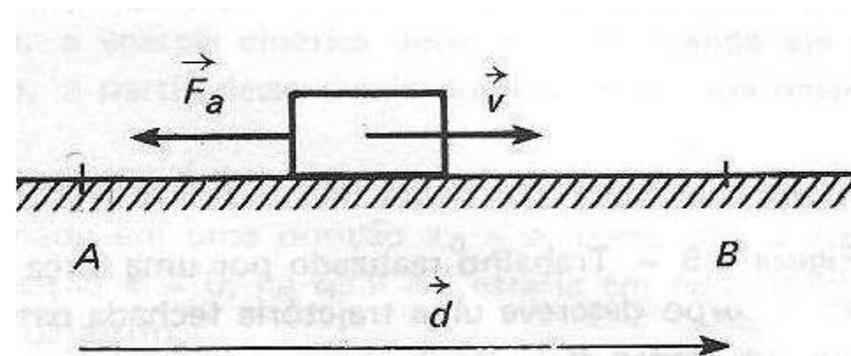


$$W_{AB} + W_{BA} = 0$$

## Exemplo 7

Calcule o trabalho realizado pela força de atrito quando um bloco se desloca 1m, desde o ponto A até o ponto B e volta ao ponto inicial. O módulo da força de atrito é 4N. A força de atrito é conservativa?

*(Resposta: Força de atrito é não conservativa)*



## TAREFA

Calcule o trabalho realizado pela força gravitacional sobre um corpo de massa  $m$ , quando este é lançado verticalmente para cima, a partir do solo, atingindo uma altura  $h$  e voltando à posição inicial. A força gravitacional é uma força conservativa?

*(Resposta: Força gravitacional é conservativa)*

# Outros tipos de energias potenciais

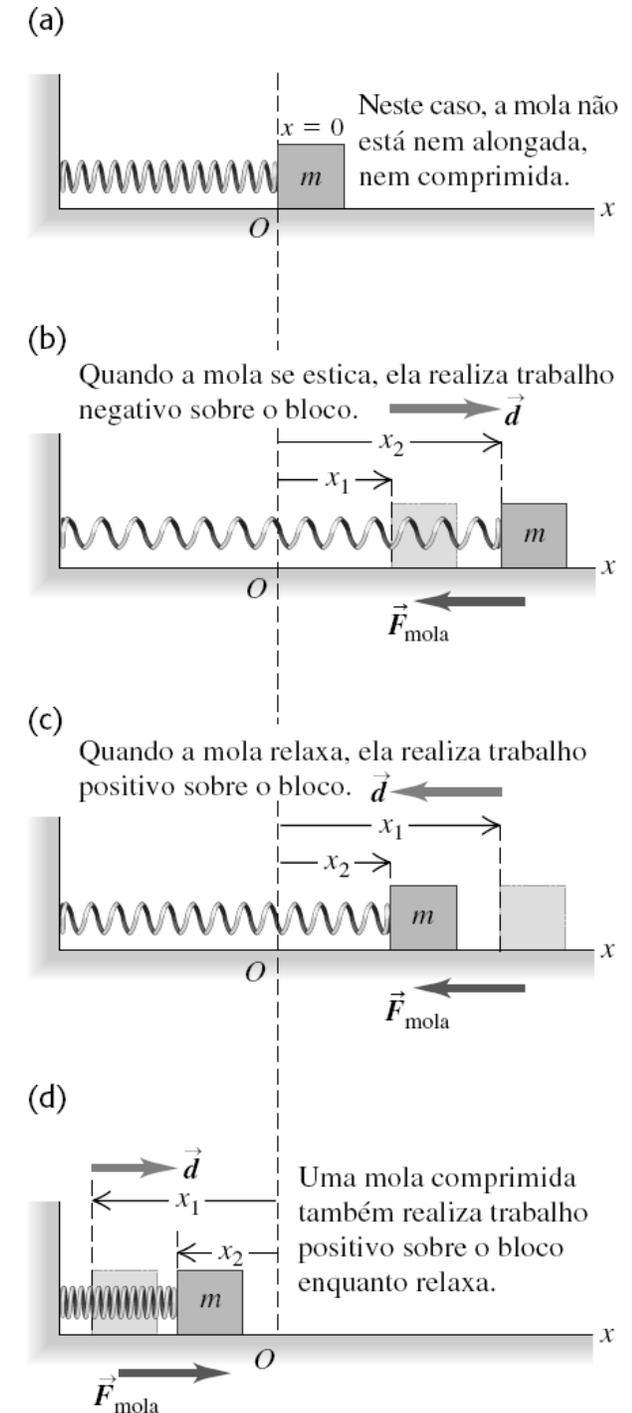
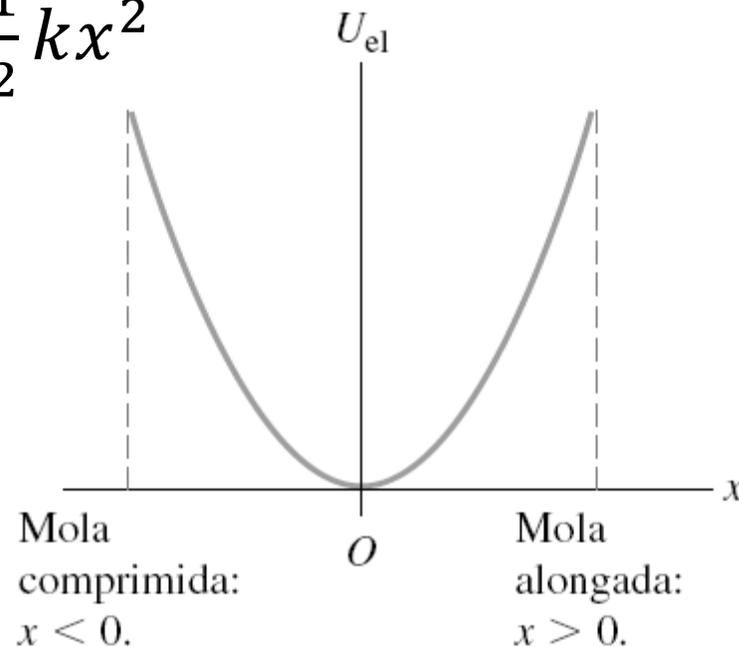
- A cada força conservativa podemos associar uma função energia potencial, característica dessa força:
  - Força gravitacional → Energia potencial gravitacional
  - Força elástica → Energia potencial elástica
  - Força eletrostática → Energia potencial eletrostática

# Energia potencial elástica

- Descreve o processo de armazenamento de energia em um corpo deformável (ex: mola)

- Força elástica:  $\vec{F}_{el} = k\vec{x}$

- Energia potencial elástica:  $U_{el} = \frac{1}{2}kx^2$



# Conservação de energia

# Conservação de energia

- A energia existe sob várias formas – mecânica, elétrica, térmica, química e luminosa e pode se converter de uma a outra.
- Sempre que houver uma diminuição de energia sob uma dada forma, haverá o aparecimento dessa mesma quantidade de energia em outra forma, de modo que a energia total do universo ou do sistema isolado se conserve.



## PRINCÍPIO DE CONSERVAÇÃO DA ENERGIA

- Bioenergética – termo usado para designar área da biologia que estuda estas transformações em organismos vivos

# Energia térmica

- A temperatura de um corpo varia quando ele recebe ou fornece calor
- Energia térmica → é determinada pela agitação térmica molecular

↑ energia térmica = ↑ agitação molecular  
↓ energia térmica = ↓ agitação molecular

Energia térmica pode ser interpretada como a energia cinética do movimento de suas moléculas

- Variação da energia térmica é avaliada pela variação da temperatura usando termômetros
  - Unidades de temperatura: grau Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ) e o kelvin (K)

# Calor

- Quando dois corpos são colocados em contato, há uma troca de calor entre eles.
  - A temperatura do corpo mais quente diminui e do mais frio aumenta, devido ao calor fornecido do corpo mais quente para o mais frio
- A quantidade de calor trocada ( $Q$ ) durante a variação de temperatura ( $\Delta t$ ) de um corpo depende da massa ( $m$ ), da variação  $\Delta t$  e do material que ele é constituído:

$$Q = mc\Delta t$$

$c$  é o calor específico do corpo ( $c_{H_2O} = 1\text{cal}/g^{\circ}C$ ,  $c_{\text{corpo humano}} = 0,83\text{cal}/g^{\circ}C$ )

Unidade de  $Q$ : cal ( $1\text{Cal} = 10^3\text{cal} = 1\text{kcal}$ ) ou, no SI, joule (J)

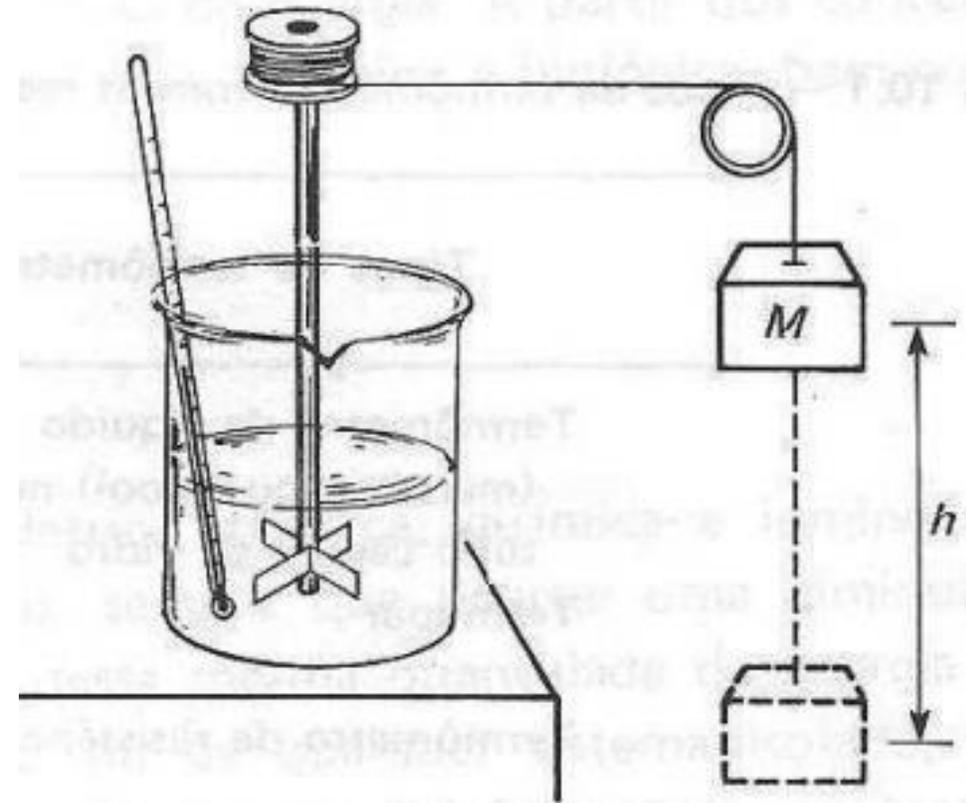
$$1\text{cal}=4,186\text{J}$$

- Uma maneira de calcular a relação entre uma caloria e o joule é realizar um trabalho sobre uma quantidade de água e medir o aumento de sua temperatura.

### Exemplo 8:

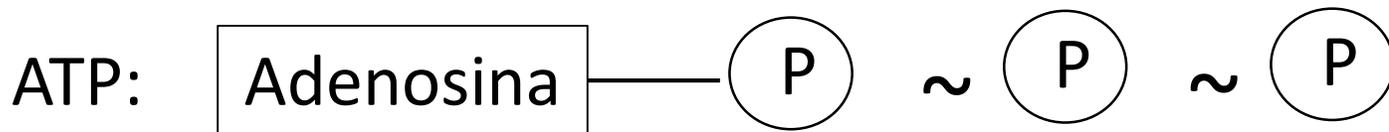
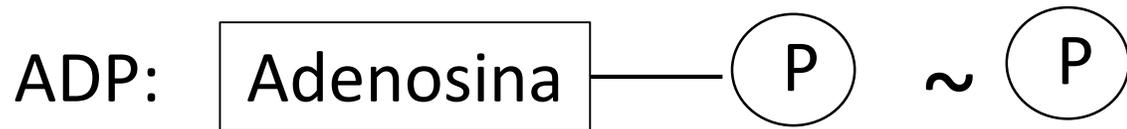
No experimento esquematizado, um bloco de massa  $M$  de 4kg desce de uma altura igual a 10m, fazendo girar uma pá colocada dentro de um recipiente com água e provocando com isso um aumento de temperatura  $\Delta t$  de  $0,93^{\circ}\text{C}$  em 0,1kg de água. Dados  $g=10\text{m/s}^2$  e  $c_{\text{H}_2\text{O}} = 1\text{cal/g}^{\circ}\text{C}$ . Calcule:

- a. O trabalho realizado em joules pela pá
- b. O calor absorvido pela água em caloria
- c. A relação entre as unidades caloria e joule.



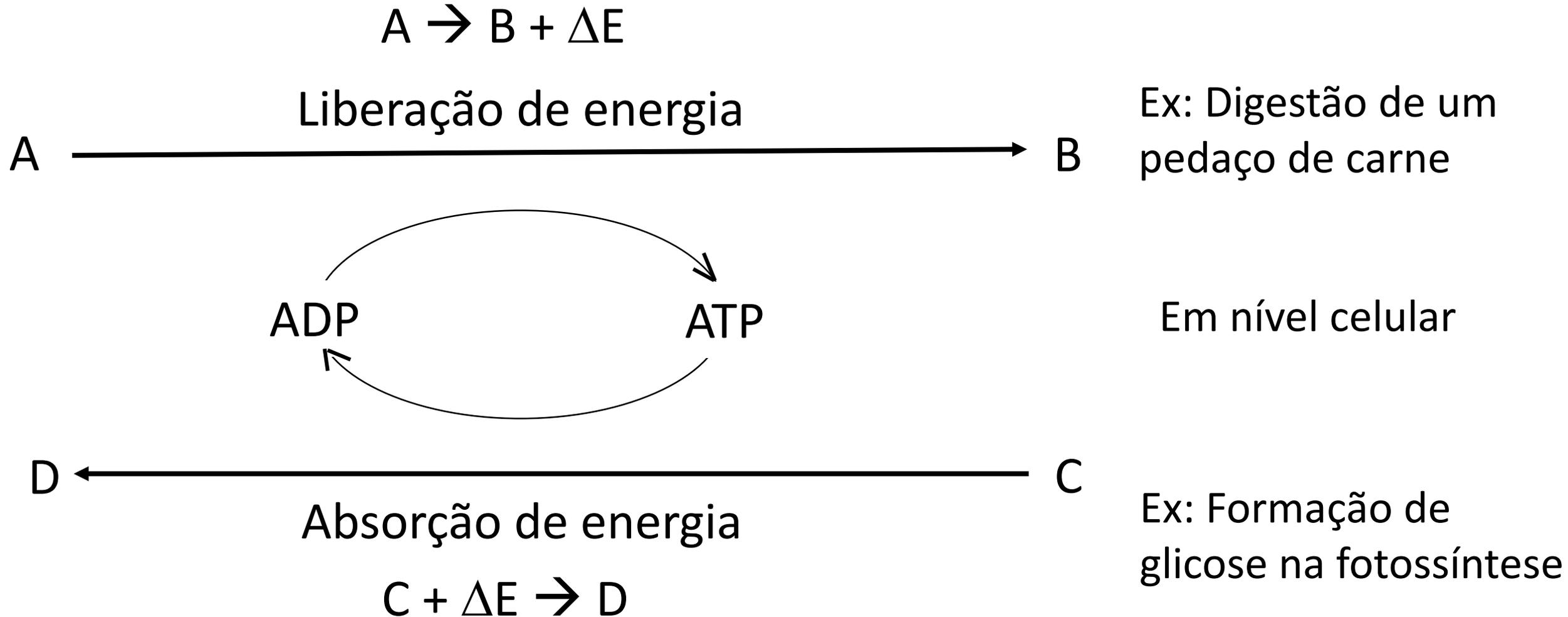
# Energia química e biológica

- Manutenção da vida depende de transformações moleculares:
  - Plantas armazenam energia liberada em reações químicas produzidas pela absorção de energia solar, que posteriormente é transferida aos animais em forma de alimento
  - Grande parte destas reações envolvem as moléculas de difosfato de adenosina e (ADP) e de trifosfato de adenosina (ATP)

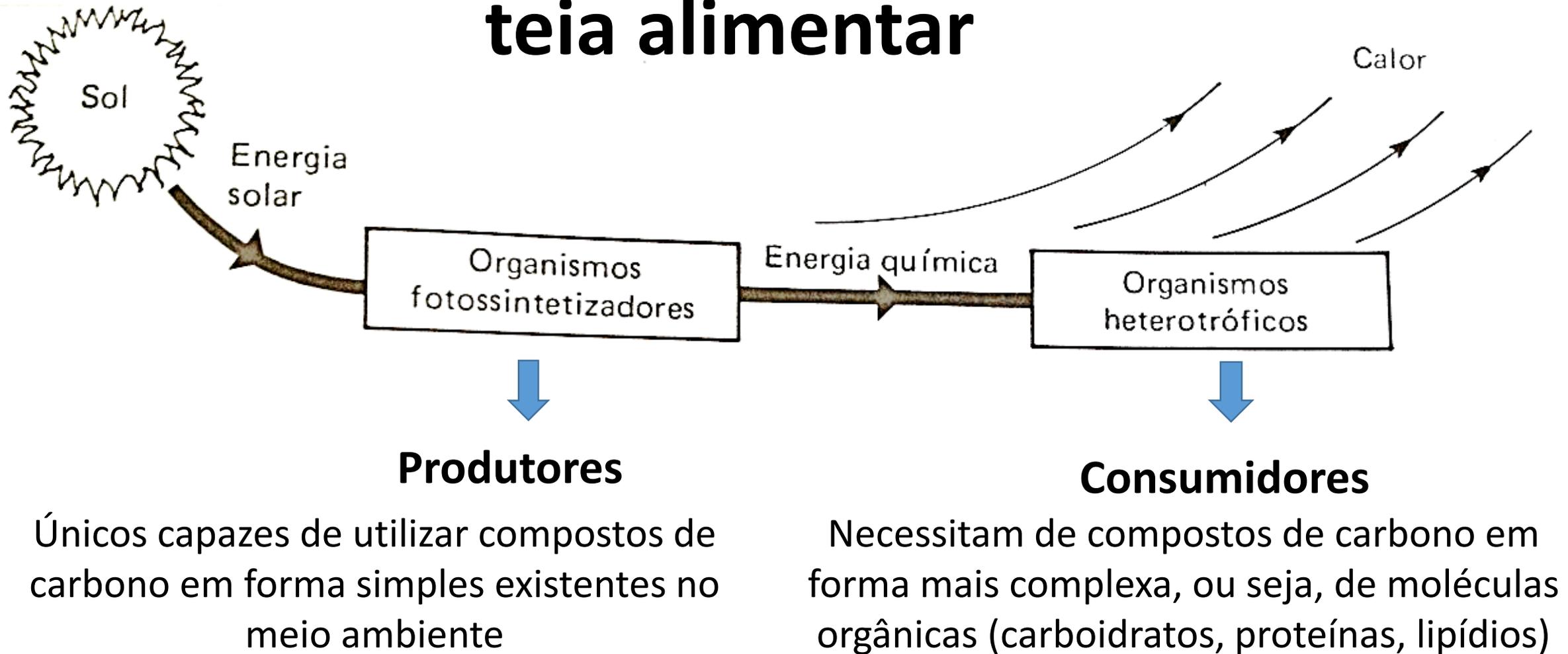


Libera 67J/g

# Transformação de energia na biosfera

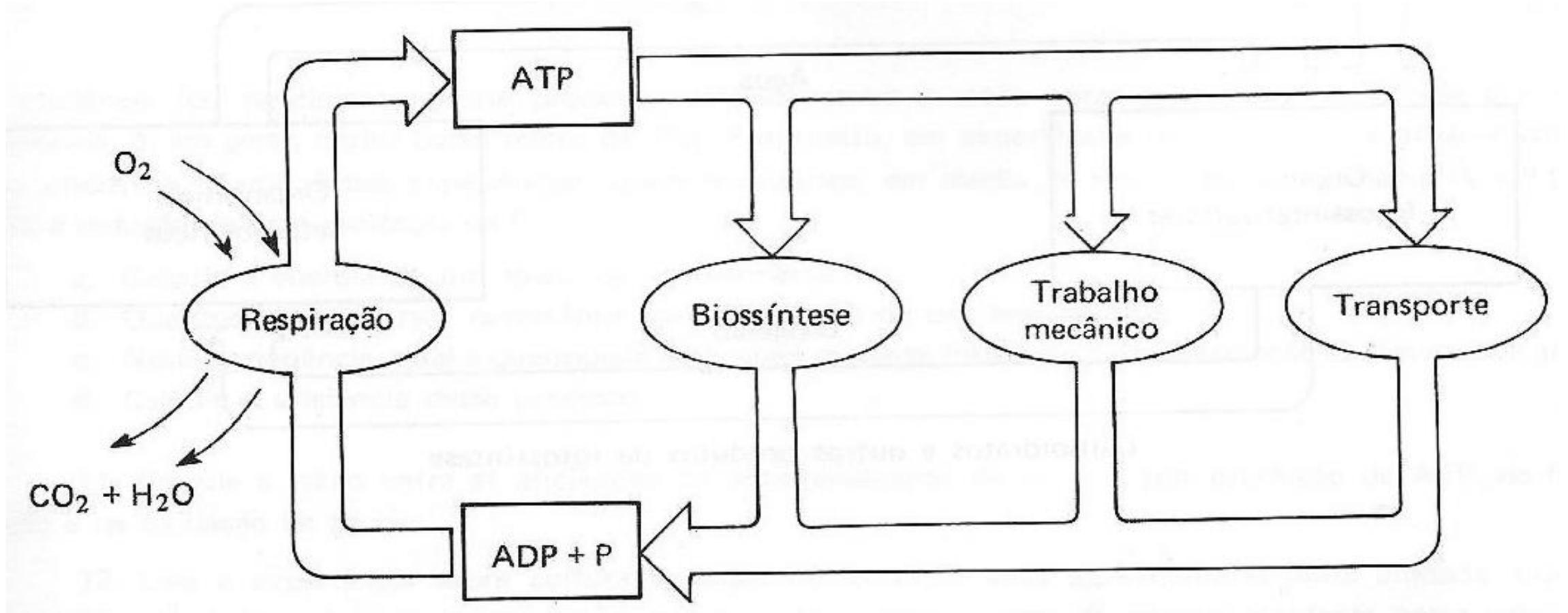


# Fluxo de energia no “mundo biológico” – teia alimentar

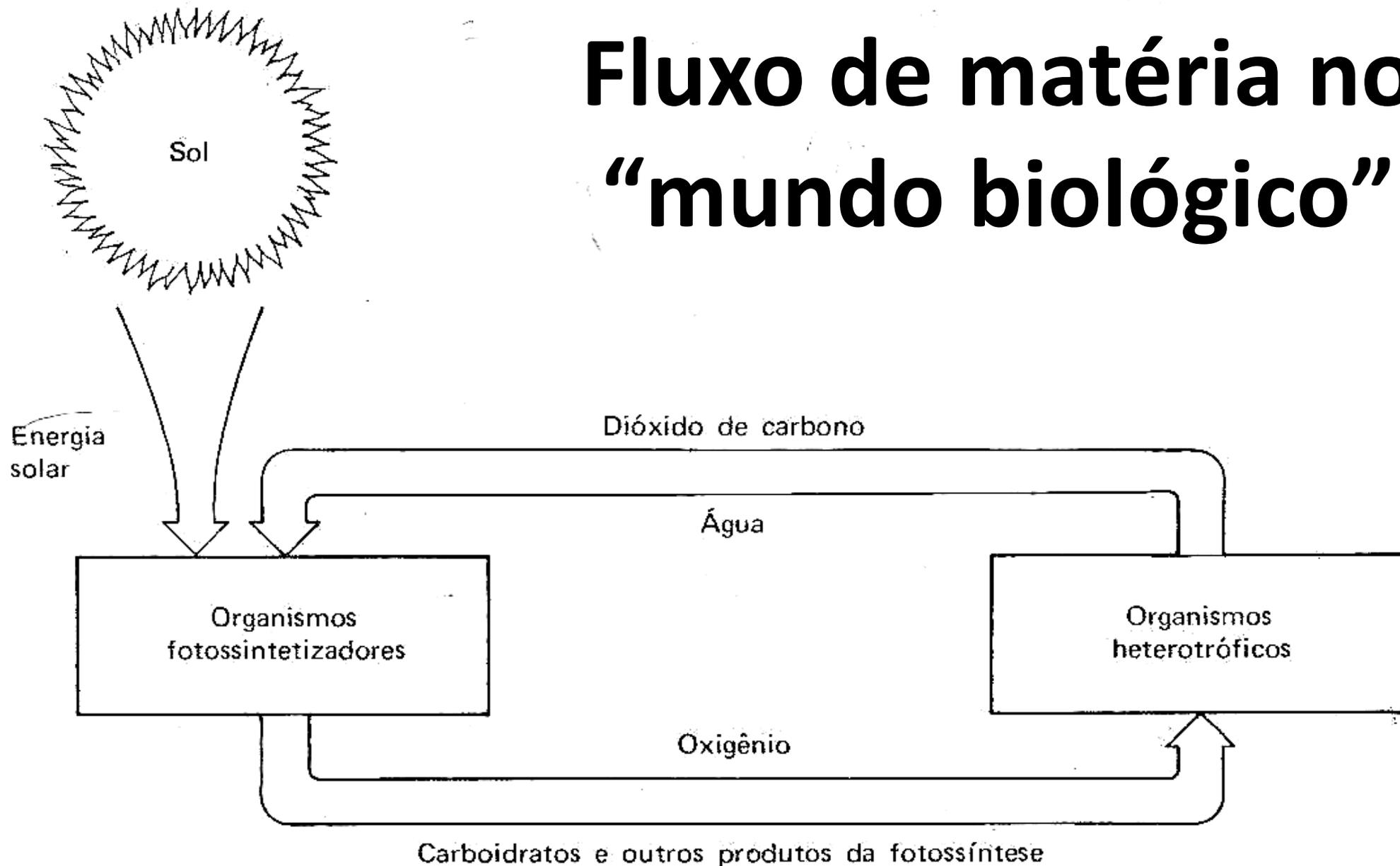


**Decompositores:** bactérias e fungos que provocam a decomposição dos consumidores mortos, e restituem ao solo e à atmosfera compostos simples de carbono.

# Ciclo de energia em uma célula heterotrófica



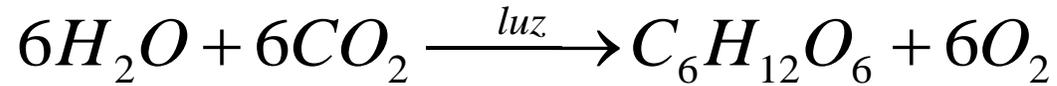
# Fluxo de matéria no “mundo biológico”



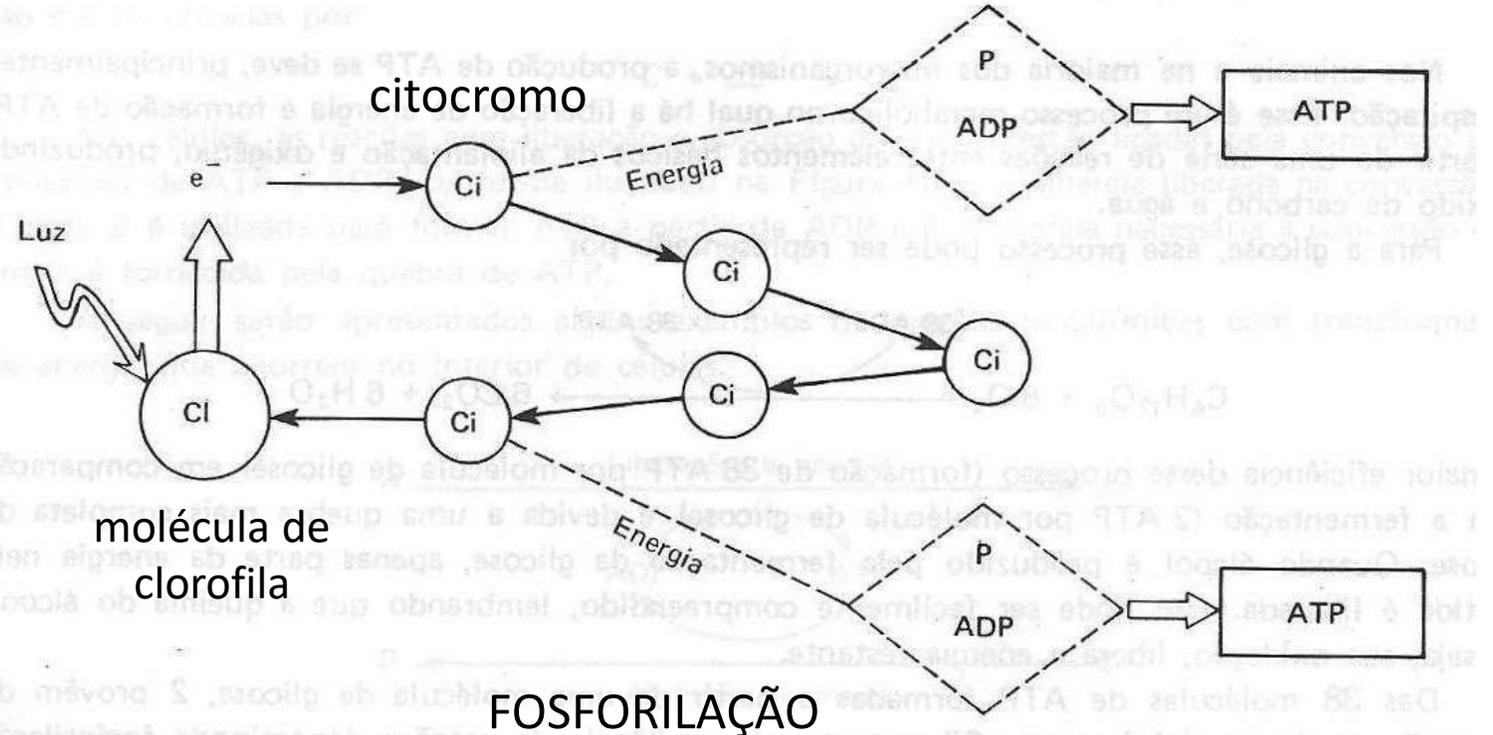
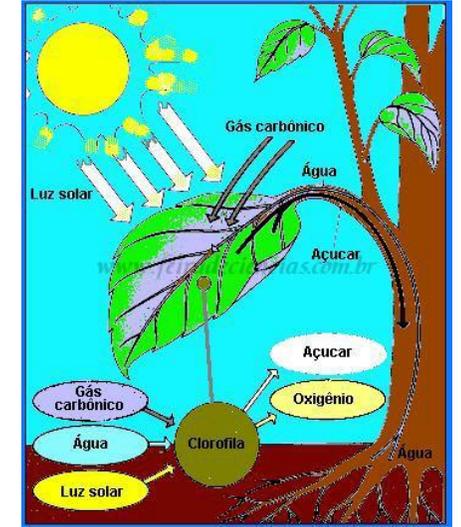
- Há um delicado equilíbrio entre a produção e a utilização desses compostos.

# Fotossíntese

- Conversão de energia luminosa em energia biológica, produzindo carboidratos.
- Ocorre em cloroplastos (estruturas celulares que contêm clorofila).
- Produção da glicose:



- Processo contrário da respiração; então, há a conversão de parte da energia luminosa em energia potencial da molécula de glicose.
- Além disso, há armazenamento de energia em moléculas de ATP.

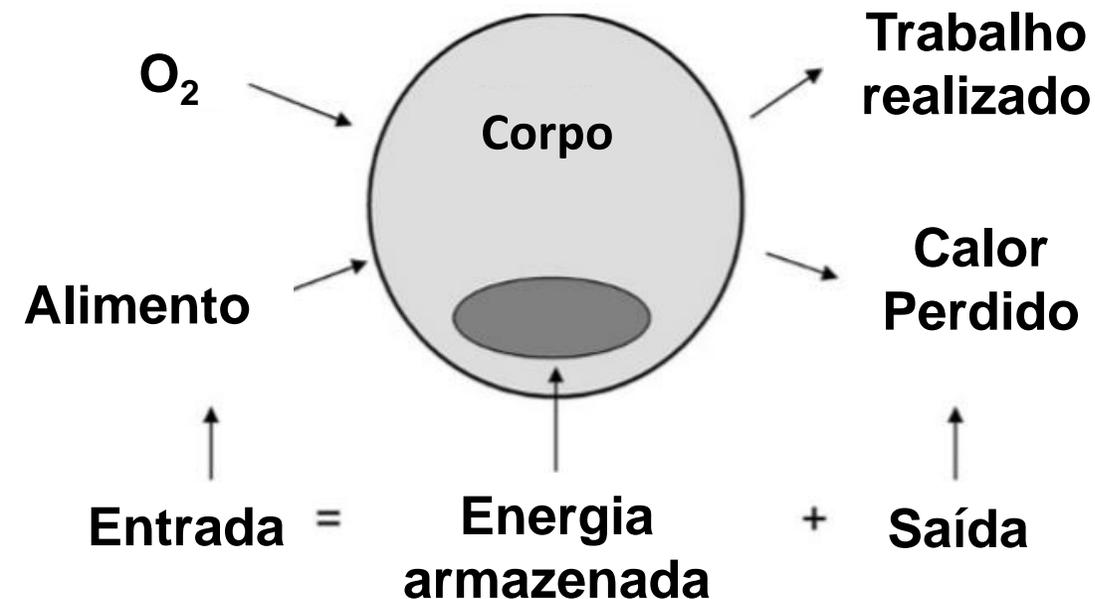


# Energia, Calor, Trabalho e Potência no Corpo Humano

- Todas atividades do corpo humano envolvem consumo de energia
  - Mesmo em repouso, realizando apenas atividade basal, o corpo consome energia:
    - Músculos esqueléticos e coração: 25%
    - Cérebro: 19%
    - Fígado e baço: 27%
    - Rins: 19%
    - Outros sistemas: 19%
- OBS: Aprox. 5% da energia total consumida é excretada pelas fezes e urina

# Energia, Calor, Trabalho e Potência no Corpo Humano

- Combustível do corpo humano: ALIMENTOS
  - opera seus vários órgãos, mantém sua temperatura constante, realiza trabalho e constrói uma reserva energética



**Fisicamente: o corpo humano pode ser considerado um conversor de energia sujeito à lei da conservação de energia**

$$\left( \begin{array}{l} \text{Variação da energia} \\ \text{armazenada no corpo} \\ \text{alimento, gordura,} \\ \text{calor} \end{array} \right) = \left( \begin{array}{l} \text{Calor} \\ \text{Perdido} \end{array} \right) + \left( \begin{array}{l} \text{Trabalho} \\ \text{Realizado} \end{array} \right)$$

# Conservação da Energia no corpo humano

- Lei da conservação de energia → Primeira Lei da Termodinâmica
- No corpo humano:

$$\Delta U = \Delta Q - \Delta W$$

sendo  $\Delta U$  a mudança na energia armazenada,  $\Delta Q$  a quantidade de calor recebido ou perdido e  $\Delta W$  o trabalho realizado pelo corpo.

Convenção:  $\Delta Q > 0$  quando o calor é adicionado ao corpo

$\Delta W > 0$  quando o corpo realiza trabalho

- No corpo humano é interessante considerar as taxas de mudanças das variáveis da equação acima:

$$\frac{\Delta U}{\Delta t} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} - \frac{\Delta W}{\Delta t}$$

- Fisiologistas e nutricionistas usam a quilocaloria (kcal) para energia dos alimentos:

|           |              |
|-----------|--------------|
| 1kcal     | 4184J        |
| 1kcal/min | 69,7W        |
| 100W      | 1,43kcal/min |
| 1kcal/h   | 1,162W       |

- O consumo de energia típico de uma pessoa é 2500 kcal ao longo de um dia. Este valor apresenta variações entre diferentes pessoas

Exemplo 9 – Qual a potência média de uma pessoa em Watts?

# Energia química e biológica no corpo humano

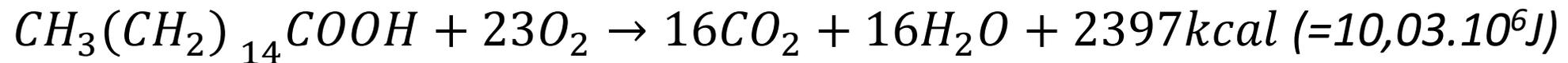
- A energia no corpo humano é liberada por oxidação metabólica (liberação de energia para o metabolismo em forma de calor)
- Taxa de produção de energia → **taxa metabólica**.
- Oxidação da glicose – principal forma de produção de ATP:



*1 mol de glicose (0,18kg) se combina com 6 mols de oxigênio (0,192kg) para formar 6 mols de água (0,108kg) e 6 mols de gás carbônico (0,264kg), liberando 686kcal de energia (calor)*

**Exemplo 10:** Calcular a) energia liberada por kg de glicose, b) Energia liberada por m<sup>3</sup> de O<sub>2</sub> usado, c) Volume de O<sub>2</sub> usado por kg de glicose, d) volume de CO<sub>2</sub> produzido por kg de glicose

- Oxidação do ácido palmítico – ácido graxo



*1 mol de ác. palmítico (0,256kg) se combina com 23 mols de oxigênio (0,736kg) para formar 16 mols de gás carbônico (0,704kg) e 16 mols de água (0,288kg), liberando 2387kcal de energia (calor)*

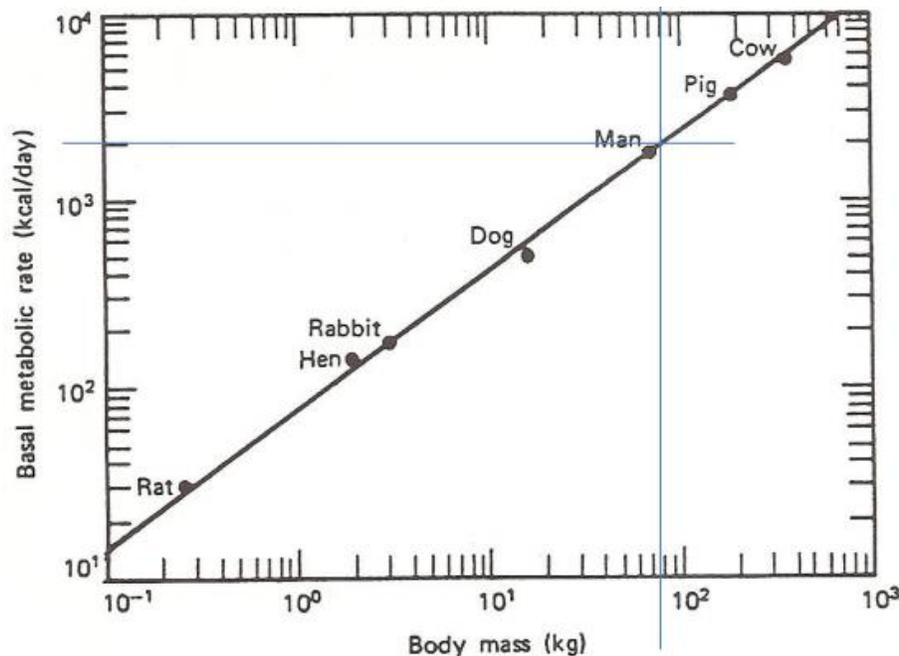
- Energia máxima liberada pelos alimentos

\*\* Nem toda esta energia fica disponível para o corpo, porque parte é perdida na combustão incompleta (~5%) e é liberada nas fezes, gases, urina...

| Alimento    | Energia liberada por volume de O <sub>2</sub> consumido (J/m <sup>3</sup> ) | Energia liberada por kg consumido (J/kg) | Energia liberada por g consumida (kcal/g) |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Glicose     | 21,0.10 <sup>6</sup>                                                        | 1,6.10 <sup>7</sup>                      | 3,8                                       |
| Carboidrato | 22,2.10 <sup>6</sup>                                                        | 1,72.10 <sup>7</sup>                     | 4,1                                       |
| Proteína    | 18,0.10 <sup>6</sup>                                                        | 1,72.10 <sup>7</sup>                     | 4,1                                       |
| Etanol      | 20,3.10 <sup>6</sup>                                                        | 2,97.10 <sup>7</sup>                     | 7,1                                       |
| Gordura     | 19,7.10 <sup>6</sup>                                                        | 3,89.10 <sup>7</sup>                     | 9,3                                       |

# Consumo de energia pelo corpo

- Mesmo em repouso completo uma pessoa consome energia a uma taxa de 92kcal/h (100W), a chamada **taxa metabólica basal (BMR – Basal Metabolic Rate)**
- A BMR varia com a idade, sexo, altura, peso e temperatura
  - Um aumento de 1C na temperatura aumenta em 10% a BMR (febre, hibernação em baixas temp)
- A BMR é governada pela tireóide.
- A energia usada para a BMR se torna calor e é primariamente dissipada pela pele, o que a torna dependente da área superficial ou da massa do corpo.



$$BMR \propto \text{massa}^{3/4}$$

Para animais maiores acredita-se que  
 $BMR \propto \text{massa}^{2/3}$

- Consumo de oxigênio e contribuição para a BMR dos principais órgãos do corpo humano de um homem de 65kg em repouso

| Órgão               | Massa (kg) | Consumo médio de O <sub>2</sub> (ml/min) | Potência consumida (kcal/min) | Potência por kg ((kcal/min)/ kg) | Contribuição % no BMR |
|---------------------|------------|------------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-----------------------|
| Fígado e baço       | -          | 67                                       | 0,33                          | -                                | 27                    |
| Cérebro             | 1,4        | 47                                       | 0,23                          | 0,16                             | 19                    |
| Músculo esquelético | 28,0       | 45                                       | 0,22                          | 7,7.10 <sup>-3</sup>             | 18                    |
| Rins                | 0,30       | 26                                       | 0,13                          | 0,42                             | 10                    |
| Coração             | 0,32       | 17                                       | 0,08                          | 0,26                             | 7                     |
| Restante            | -          | 48                                       | 0,23                          | -                                | 19                    |
|                     |            | 250                                      | 1,22                          | -                                | 100                   |

# Consumo de energia pelo corpo

| Atividade                        | Consumo de O <sub>2</sub><br>(.10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /s) | Produção de calor<br>(kcal/min) | Produção de calor<br>(J/s =W) | Consumo de<br>energia (J/m <sup>2</sup> s) |
|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------------|
| Dormindo                         | 4,0                                                               | 1,2                             | 83                            | 47,7                                       |
| Sentado                          | 5,7                                                               | 1,7                             | 120                           | 66,8                                       |
| Em pé                            | 6,0                                                               | 1,8                             | 125                           | 72,6                                       |
| Dirigindo                        | 6,7                                                               | 2,0                             | 140                           | 78,5                                       |
| Sentado e lendo                  | 10,0                                                              | 3,0                             | 210                           | 119,1                                      |
| Andando devagar (5km/h)          | 12,7                                                              | 3,8                             | 265                           | 151,1                                      |
| Andando de bicicleta (15km/h)    | 19,0                                                              | 5,7                             | 400                           | 226,6                                      |
| Jogando tênis                    | 21,0                                                              | 6,3                             | 440                           | 250,0                                      |
| Nadando                          | 22,7                                                              | 6,8                             | 475                           | 265,0                                      |
| Andando de skate (15km/h)        | 26,0                                                              | 7,8                             | 545                           | 310,0                                      |
| Subindo escada (116 degraus/min) | 32,7                                                              | 9,8                             | 685                           | 390,0                                      |
| Andando de bicicleta (21km/h)    | 33,3                                                              | 10,0                            | 700                           | 395,0                                      |
| Jogando basquete                 | 38,0                                                              | 11,4                            | 800                           | 450,0                                      |

\*\*\*Área Superficial do corpo em m<sup>2</sup>:  $A = 0,202M^{0,425}H^{0,725}$

# Ganho ou perda de peso

- Dietas que excedam calorias em relação à taxa metabólica → ganho de peso
- Dietas deficitárias de calorias em relação à taxa metabólica → perda de peso
- Pode-se controlar a taxa metabólica pela realização ou não de atividades físicas
  - *Ex 1:* Se o seu ganho/perda de peso envolve apenas gordura (9kcal/g), um aumento de 4090kcal na dieta resulta em um ganho de ~455g
  - *Ex 2:* Se o seu ganho/perda de peso envolve apenas proteína (4kcal/g), um aumento de 1820kcal na dieta resulta em um ganho de ~455g
- Regra de Wishnofsky: um aumento de 3500kcal resulta em um aumento de peso de ~500g (3/4 gordura e 1/4 músculo)
  - Devido à diferenças na composição dos corpos masculinos e femininos, acredita-se hoje que esta regra seja 2480kcal/500g para homens e 3380kcal/500g para mulheres

# Exemplo 11

- Suponha que você deseja perder 4,5kg tanto por atividade física ou dieta.
  - a. Quantas horas você deve realizar uma atividade de  $10^3\text{J/s}$  para perder 4,5kg de gordura?  
*(Usar: Energia liberada por kg consumido de gordura =  $3,89 \cdot 10^7\text{J}$ )*
  - b. Para se ter uma idéia do nível de atividade a ser realizada no item a, calcule a potência para subir escadas a uma altura de 3m em 3s por uma pessoa de 50kg.
  - c. É geralmente muito mais fácil perder peso diminuindo a comida ingerida. Se sua dieta é de 2400kcal/dia, quanto tempo você tem que ter uma dieta de 1200kcal/dia para perder 4,5kg de gordura?

*(Lembre que  $1\text{kcal}=4184\text{J}$ )*

# Trabalho e Potência

- A primeira lei da termodinâmica mostra que a energia armazenada pode ser usada para fornecer calor ou realizar trabalho
  - O trabalho é definido pela força aplicada x deslocamento.  
Ex: 1- Escalar uma montanha ou subir escadas:  $W = mgh$   
2- Andar ou correr em velocidade constante em superfície nivelada:  $W=0$

- Eficiência do corpo humano como uma máquina ( $\epsilon$ ):

$$\epsilon = \frac{\textit{trabalho realizado}}{\textit{energia consumida}}$$

Trabalho realizado  $\rightarrow$  pode ser calculado

Energia consumida  $\rightarrow$  ~20kJ são produzidos para cada  $m^3$  de oxigênio consumido

- Eficiência pode chegar a até 20% em indivíduos treinados
- Restante da energia (80-100%) é transformada em calor

Ex: um trabalhador que realiza um trabalho mecânico de 500kcal por dia com eficiência de 20%, necessita de uma dieta de 2500kcal acima da sua BMR.

| Atividade ou máquina | Eficiência (%) |
|----------------------|----------------|
| Andar de bicicleta   | ~20            |
| Nadar na superfície  | <2             |
| Nadar submerso       | ~4             |
| Máquina a vapor      | 17             |
| Máquina a gasolina   | 38             |

# Exemplo 12

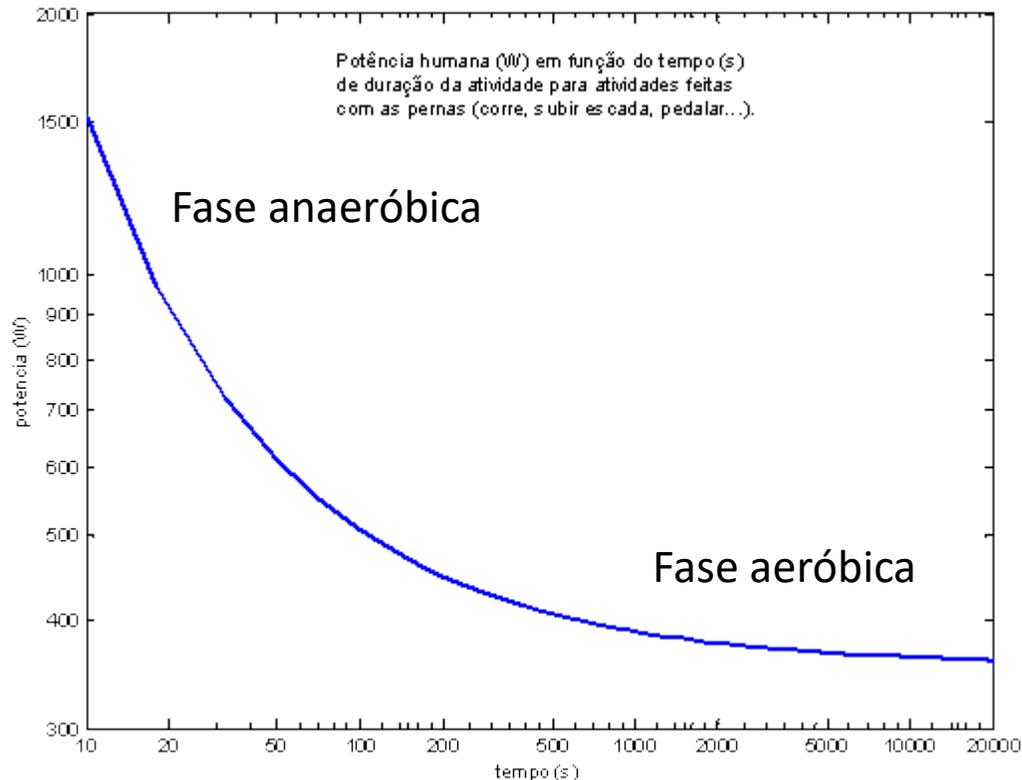
- Compare a energia requerida por um homem de 1,75m e 80kg para viajar 20km de bicicleta com a energia requerida por uma automóvel na mesma viagem.

Considerar: O consumo de energia ao andar de bicicleta a 15km/h é de  $226,6\text{J/m}^2\text{s}$  e pode-se calcular a área superficial do corpo em  $\text{m}^2$  por  $A = 0,202M^{0,425}H^{0,725}$ .

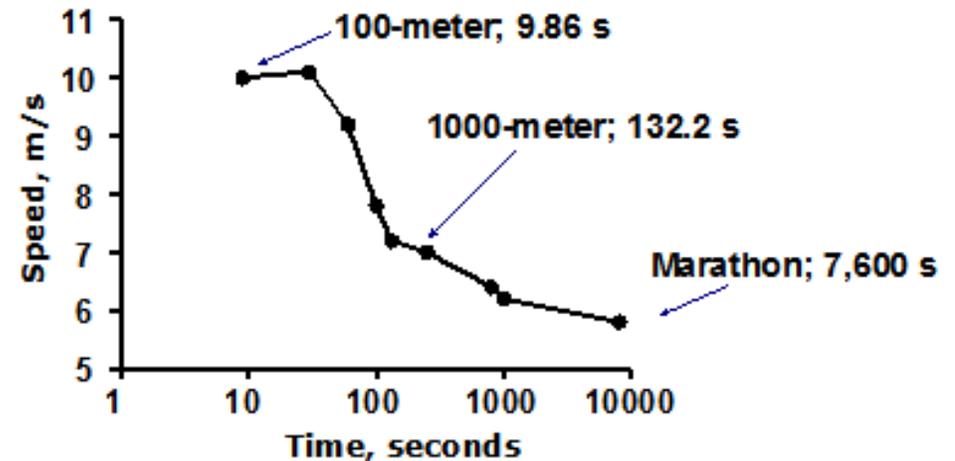
A gasolina libera uma energia de  $4,77 \cdot 10^7\text{J/kg}$  e tem uma densidade de  $6,8 \cdot 10^2\text{kg/m}^3$ . Assuma que o automóvel ande  $8,5 \cdot 10^3\text{km}$  usando  $1\text{m}^3$  de gasolina (=8,5km/l).

# Máxima capacidade de realização de trabalho do corpo humano

- Períodos curtos de tempo → corpo consegue manter altos níveis de potência (fase anaeróbica – quebra do fosfato e glicogênio)
- Períodos longos de tempo → corpo tem potência reduzida, proporcional à máxima taxa de consumo de oxigênio dos músculos (fase aeróbica)



## Running Speed and Race Duration Olympic Games, 1964



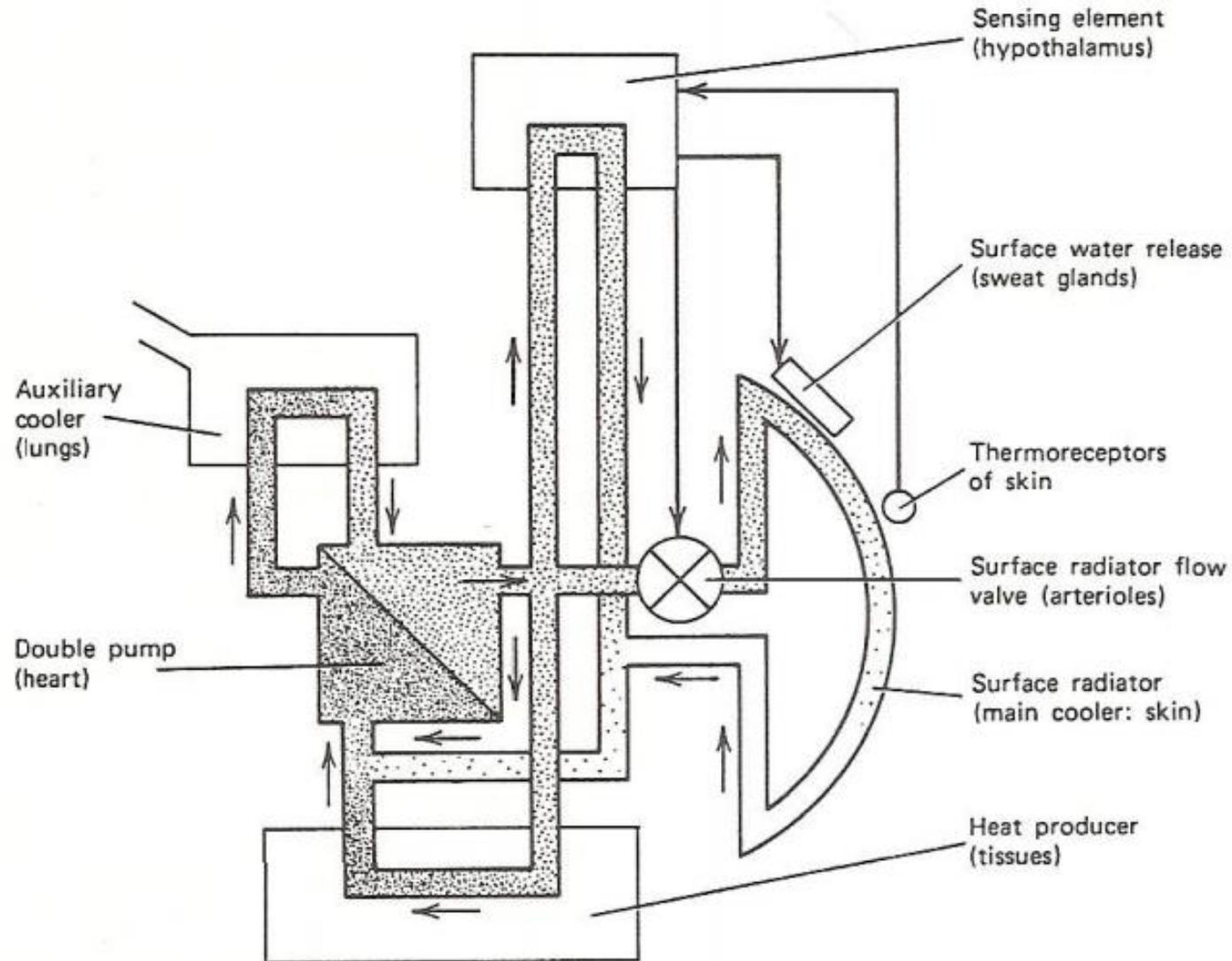
# Calor perdido pelo corpo

- Por que a perda de calor pelo corpo humano é importante?

Porque praticamente toda a energia de nosso metabolismo se transforma em calor, já que a fração gasta com a realização de trabalho é pequena.

Temperatura corporal constante permite que a taxa de realização de processos metabólicos seja constante.
- Homens são homeotermos e mantêm sua temperatura em torno de  $37,0 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ , este valor depende do período do dia, da temperatura ambiente, da quantidade de atividade física realizada, da sua roupa e saúde.
  - A temperatura retal é tipicamente  $0,5^{\circ}\text{C}$  mais alta que a temperatura oral
  - A temperatura pela manhã é menor que no restante do dia

# Esquema do aquecimento e resfriamento do corpo humano



- Existem 3 tipos de perda de calor:
  - Radiação (~50%)
  - Convecção (~25%)
  - Evaporação (~7%)
- Perda de calor depende da temperatura ambiente, humidade do ar, movimentação do ar, atividade realizada pelo corpo, quantidade de corpo exposta, isolamento do corpo (roupas ou gordura)...

# Perdas de calor por radiação

- Todo objeto emite energia na forma de radiação eletromagnética:

$$E_r = \epsilon A \sigma T^4$$

sendo  $E_r$  a taxa de energia emitida,  $\epsilon$  a emissividade ( $0 \leq \epsilon \leq 1$ ),  $A$  a área do emissor,  $\sigma$  é a constante de Stefan-Boltzmann ( $=5,67 \cdot 10^8 \text{W/m}^2\text{T}^4$ ) e  $T$  é a temperatura absoluta.

- O corpo também recebe energia radiante do meio. A diferença entre a energia irradiada e absorvida pelo corpo pode ser calculada por:

$$H_r = K_r A_r \epsilon (T_s - T_w)$$

Sendo  $H_r$  a taxa de energia perdida ou ganhada por radiação,  $K_r = 2,1 \cdot 10^4 \text{J/m}^2\text{h}^\circ \text{C} = 5,0 \text{kcal/m}^2\text{h}^\circ \text{C}$ ,  $A_r$  a superfície efetiva do corpo,  $\epsilon$  a emissividade da superfície,  $T_s$  a temperatura da pele ( $^\circ \text{C}$ ) e  $T_w$  a temperatura das paredes ao redor ( $^\circ \text{C}$ )

- A pele em radiação infravermelha possui  $\epsilon \approx 1$ , ou seja, é um emissor e absorver praticamente perfeito
- **Exemplo 13.** Se um corpo nu tem uma área superficial de  $1,2 \text{m}^2$  a uma temperatura de pele de  $34^\circ \text{C}$ , compute a taxa (em  $\text{kcal/h}$  e  $\text{W}$ ) com a qual ele perde calor para as paredes ao redor mantidas a  $25^\circ \text{C}$ .

# Perdas de calor por convecção

- A perda de calor por convecção ( $H_c$ ) é dada por:

$$H_c = K_c A_c (T_s - T_a)$$

sendo  $K_c$  um parâmetro que depende da movimentação do ar (com ar parado  $K_c=2,3\text{kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ ),  $A_c$  a área superficial efetiva,  $T_s$  a temperatura da pele e  $T_a$  a temperatura do ar

- **Exemplo 14.** Para o mesmo corpo nu com uma área superficial de  $1,2\text{m}^2$  e uma temperatura de pele de  $34^\circ\text{C}$ , compute a taxa (em  $\text{kcal/h}$  e  $\text{W}$ ) com a qual ele perde calor por convecção para o ar ao redor em  $25^\circ\text{C}$ .
- Quando o ar está se movendo com velocidade ( $v$ ) entre  $2$  e  $20\text{m/s}$ , a constante  $K_c$  aumenta de acordo com a equação:

$$K_c = 10,45 - v + 10\sqrt{v} \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$$

- Pode-se observar claramente que quando está ventando a perda de calor é maior do que quando o ar está parado. Isto levou ao conceito de sensação térmica.

# Perdas de calor por evaporação – transpiração e respiração

## 1. Transpiração:

- É o método de perda de calor que estamos mais familiarizados.
- Quando estamos em temperaturas normais e sem realizar um trabalho excessivo, este método de perda de calor é o menos importante quando comparado à perda de calor radioativa ou por convecção.
- Mesmo quando o corpo não sente a transpiração há perda de calor por transpiração (aprox. 7kcal/h - 7% da perda de calor pelo corpo).
- Em condições extremas o corpo humano pode transpirar 1 litro de líquido por hora.
- Considerando o calor de vaporização da água: 580kcal/g, vemos que a evaporação de 1 kg de água pode resultar na liberação de 580kcal de calor.

## 2. Respiração:

- Quando respiramos, o ar fica saturado com água nos pulmões, esta água carrega a mesma quantidade de calor do que se fosse evaporada na pele.

# Observações sobre as perdas de calor no corpo

1- O fluxo de sangue venoso pode ser controlado para facilitar o controle da temperatura

- Dias quentes: sangue venoso retorna ao coração por veias próximas à superfície aumentando a perda de calor do corpo.
- Dias frios: o sangue retorna por veias internas e é aquecido pelo sangue arterial que acabou de sair do coração.

2- O efeito da vestimenta

- Tudo o que foi discutido até aqui é válido para um corpo nu, uma vez que a roupa pode influenciar o comportamento do corpo com relação à perda de calor
- Uma temperatura confortável para a pele é 34C, este valor pode ser mantido pela adequação da roupa a atividade realizada
- Estudos com vestimentas definiram uma unidade para vestimenta, o clo:

*1 clo corresponde a quantidade de roupa necessária para manter um indivíduo em conforto quando ele está sentado em uma sala a 21C, com ar se movendo a 0,1m/s e humidade menor que 50%*

# Referências Bibliográficas

- Okuno, E.; Caldas, I.L.; Chow, C., Física para Ciências Biológicas e Biomédicas, Editora HARBRA Ltda.
- Livro de física básica: SEARS, F.W., ZEMANSKY, M.W. e YOUNG, H.D. *Física – Vol. I. 12ª Edição*. Addison Wesley, 2008.
- Cameron, J.R.; Skofronick, J.G. & Grant, R.M., *Physics of the Body*, Medical Physics Publishing, Madison, Wisconsin.