Física: Mecânica

TÓPICO 5: Trabalho e Energia

Nesta aula são apresentados os conceitos básicos sobre trabalho mecânico e energia. Para que o estudante consiga acompanhar com mais facilidade este tópico é fundamental que os assuntos relacionados a cinemática e leis de Newton estejam em dia.

1 Trabalho

Quando uma força $\vec{F}$ atua sobre um corpo de massa m enquanto ele se desloca por uma quantidade $\vec{d}$, dizemos que esta força está realizando um trabalho W sobre o corpo. Matematicamente, o trabalho é calculado com a equação:

$$W = Fd\cos\theta \qquad (1)$$

em que θ é o ângulo formado entre a força $\vec{F}$ e o sentido de deslocamento do corpo, conforme ilustra a figura 1. Se o ângulo θ é **menor** que 90°, a força $\vec{F}$ realiza um trabalho positivo ($W > 0$) e isso favorece o movimento do corpo (a velocidade aumenta). Se o ângulo θ é **maior** que 90° e **menor** ou igual 180°, a força $\vec{F}$ realiza um trabalho negativo ($W < 0$), dificultando o movimento do corpo (a velocidade diminui). Se $\theta = 90°$ a força $\vec{F}$ não realiza trabalho e a velocidade do corpo não é alterada. Além disso, pela equação 1, é possível constatar que só existe realização de trabalho quando há deslocamento. Se $d = 0$ na equação 1, $W = 0$. Trabalho é uma grandeza escalar e no SI é medido em joules (1 joule = 1 J = 1 N·m), em homenagem ao físico inglês James Prescott Joule.

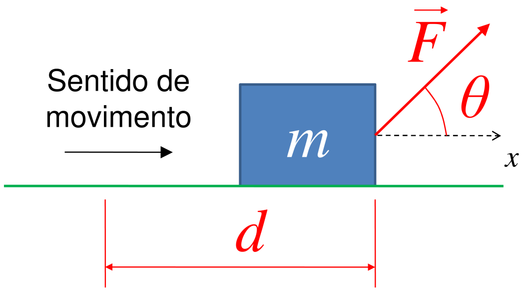


Figura 1: *Trabalho realizado por uma força externa $\vec{F}$ sobre um bloco de massa m.*

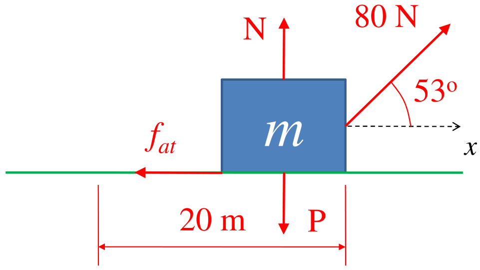
Exercício 1

(AMAN) Um bloco, puxado por meio de uma corda inextensível e de massa desprezível, desliza sobre uma superfície horizontal com atrito, descrevendo um movimento retilíneo uniforme. A corda faz um ângulo de 53° com a horizontal e a tração que ela transmite ao bloco é de 80 N. Se o bloco sofrer um deslocamento de 20 m ao longo da suérfície, o trabalho realizado pela tração no bloco será de:

(Dados: $\operatorname{sen} 53° = 0{,}8$ e $\cos 53° = 0{,}6$)

(a) 480 J
(b) 640 J
(c) 960 J
(d) 1280 J
(e) 1600 J

RESOLUÇÃO: O primeiro passo é representar todas as forças que atuam sobre o objeto. Para o problema em questão, o diagrama de forças é apresentado na figura abaixo.



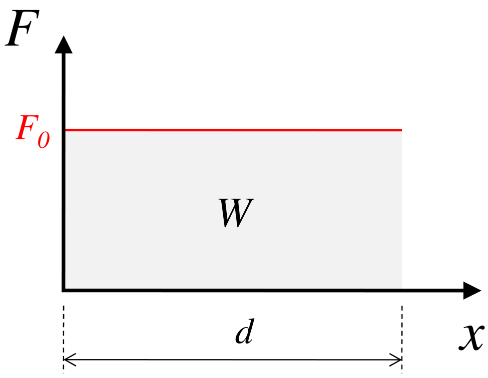


Figura 2: *A área abaixo da curva força versus distância representa a intensidade do trabalho realizado sobre o corpo.*

A força que representa a tração na corda é a força de 80 N. O trabalho realizado por esta força ao longo dos 20 metros de deslocamento é dado pela equação 1:

$$W = Fd\cos\theta$$

Como $F = 80\,\mathrm{N}$, $d = 20\,\mathrm{m}$ e $\cos 53^o = 0{,}6$, temos:

$$W = (80)(20)(0{,}6) = 960 \text{ J}$$

que corresponde à alternativa (c). Como as demais forças formam um ângulo de 90^o com o deslocamento elas não realizam trabalho e não devem ser consideradas nos cálculos.

Além da equação 1, o trabalho realizado sobre um corpo pode ser calculado por meio do gráfico *força versus distância*, conforme mostra a figura 2. Para isso, basta calcular a área abaixo da curva. Neste exemplo, a área representa um retângulo de base d e altura F_0. Logo, a área é dada por $A = F_0 d$, que é também igual o trabalho W.

Problema 1

(UDESC) Pelo corredor horizontal de um hospital, um Fisioterapeuta empurra, em linha reta e com velocidade constante, um aparelho fisioterápico de 80 kg, quando chega a uma rampa com uma inclinação de 30º com a horizontal e comprimento de 10 m. Sendo 0,1 o coeficiente entre as partes em contato do aparelho e do piso, e considerando $g = 10\ \mathrm{m/s^2}$, pede-se:

(Considere $\operatorname{sen} 30^o = 0{,}5$ e $\cos 30^o = \sqrt{3}/2$)

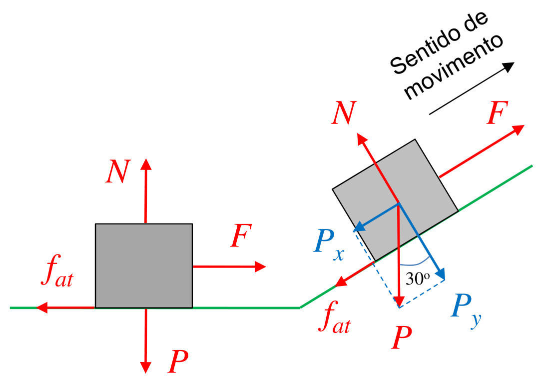
(a) a mínima força que o fisioterapeuta deve fazer para manter a velocidade do aparelho constante, durante toda a subida da rampa;

(b) o percentual do acréscimo da força necessária para empurrar o aparelho sobre a rampa, em relação à força feita na parte horizontal do corredor;

(c) o trabalho realizado pelo fisioterapeuta para empurrar o aparelho durante toda a extensão da rampa.

RESOLUÇÃO:

(a) Novamente, o primeiro passo é representar todas as forças que atuam sobre o aparelho. O diagrama de forças é apresentado abaixo. São apresentadas as duas situações (movimento na horizontal e no plano inclinado).



Para o aparelho subir com velocidade constante, a aceleração deve ser zero. Pela segunda lei de Newton, temos:

$$F_R = ma$$

em que a força resultante F_R, ao longo da direção do plano inclinado, é dado pela soma de todas as forças sobre este eixo:

$$F - P_x - f_{at} = ma$$

Como $a = 0$, pois a velocidade deve permanecer constante,

$$F = P_x + f_{at}$$

A força de atrito é calculada usando

$$f_{at} = \mu N$$

Como não há movimento do bloco na direção perpendicular ao plano,

$$N = P_y$$

e

$$P_y = P\cos\theta = mg\cos\theta$$

Logo,

$$F = P \operatorname{sen} 30^o + \mu P \cos 30^o$$

$$F = mg(\operatorname{sen} 30^o + \mu \cos 30^o$$

$$F = (80)(10)(\operatorname{sen} 30^o + 0{,}1 \cos 30^o) = 469{,}3 \text{ N}$$

(b) Para calcular a força na horizontal devemos seguir o mesmo procedimento do item anterior. A única diferença é que não existe a projeção P_x e a normal é igual ao peso:

$$F = f_{at}$$

$$F = \mu N = \mu mg = (0{,}1)(80)(10) = 80 \text{ N}$$

A diferença percentual relativa é dada pela equação:

$$\Delta_{\%} = \frac{|v - v_r|}{v_r} \times 100$$

em que v (= 469,3 N) é o valor que será avaliado em relação ao valor de referência v_r (= 80 N):

$$\Delta_{\%} = \frac{|469{,}3 - 80|}{80} \times 100 = 487 \text{ \%}$$

(c) O trabalho realizado pelo fisioterapeuta é calculado pela equação 1:

$$W = (469{,}3)(10) \cos \alpha$$

em que α é o ângulo entre a força F e o sentido de deslocamento. Perceba que este ângulo é zero, pois o deslocamento (que é ao longo do plano) e a força F possuem o mesmo sentido:

$$W = (469{,}3)(10) \cos 0^o = 4693 \text{ J}$$

2 Energia Cinética

Energia cinética é a capacidade de um corpo realizar trabalho enquanto se move. Por exemplo: uma bola de boliche colidindo contra um pino, inicialmente em repouso, como mostra a figura 3, realiza trabalho para derrubá-lo. Antes da colisão, a bola possui velocidade v_0. Após a colisão essa velocidade se reduz para v. Intuitivamente, podemos inferir que quanto maior a velocidade inicial e a massa desta bola de boliche, mais pinos podem ser derrubados, ou seja, maior será o trabalho realizado. A equação utilizada para calcular a energia cinética E_c de um corpo é dada pela equação:

$$E_c = \frac{1}{2} m v^2 \tag{2}$$

em que m é a massa e v a sua velocidade. Assim como o trabalho, a energia cinética também é medida em

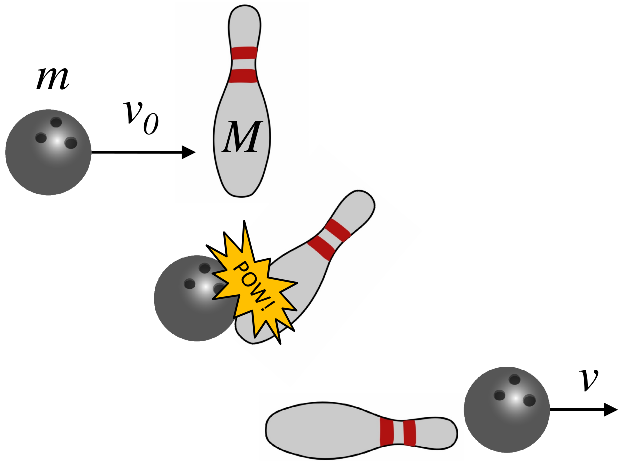


Figura 3: *Variação da energia cinética da bola de boliche após a realização de trabalho pelos pinos. A figura foi elaborada com recursos das páginas digitais* Clipart-Max *2019 e* My Real Clip Domain *2019.*

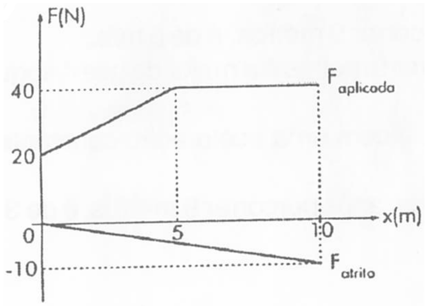
joules no SI. Usando o conceito de Energia Cinética podemos calcular o trabalho realizado pela bola de boliche sobre os pinos e vice versa. Se não houver perdas de energia durante o processo de colisão, o trabalho que a bola de boliche realiza sobre os pinos (energia transferida para os pinos) é exatamente a variação da energia cinética dos pinos. Já o trabalho realizado pelos pinos sobre a bola de boliche é igual a variação da energia cinética da bola; assim, enquanto a energia cinética da bola diminui após a colisão, a energia cinética dos pinos aumenta. A equação matemática que descreve a relação entre trabalho e energia cinética é:

$$W = \frac{1}{2} m v^2 - \frac{1}{2} m v_0^2 = \Delta E_c \tag{3}$$

em que W é o trabalho total realizado **sobre** um objeto e ΔE_c é a variação da energia cinética **do objeto**. Esta equação é chamada de *teorema do trabalho e da energia cinética*.

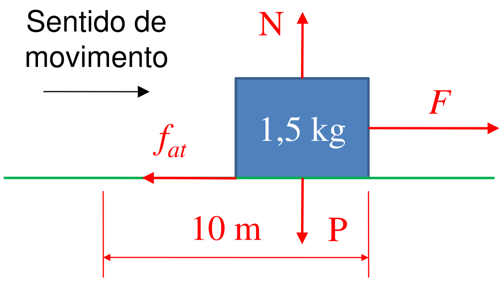
Problema 2

(UFSC) Um corpo de massa igual a 1,5 kg parte do repouso e desloca-se 10 metros numa superfície áspera, sob a ação de uma força aplicada no sentido do movimento e sofre a oposição de uma força de atrito. O gráfico abaixo, ilustra-nos a atuação dessas forças em função do deslocamento. Considere $g = 10$ m/s^2.



Determine a velocidade do corpo, em m/s, quando $x = 10$ m.

RESOLUÇÃO: A força F_{aplicada} realizada um trabalho positivo, pois o enunciado comenta que ela é aplicada no mesmo sentido do movimento do corpo ($W_{\text{aplicada}} > 0$). Por outro lado, a força de atrito tem sinal negativo no gráfico, indicando que ela está no sentido oposto ao movimento ($W_{\text{atrito}} < 0$). O diagrama com as forças que atuam sobre o corpo é apresentado na figura abaixo.



O trabalho total realizado **sobre** o corpo é a soma de todos os trabalhos individuais:

$$W = W_{\text{aplicada}} + W_{\text{atrito}} \tag{4}$$

Ambos os trabalhos podem ser calculados por meio da área abaixo da curva *força versus distância*. O trabalho W_{aplicada} é dado pela soma da área de um trapézio retângulo e um retângulo:

$$W_{\text{aplicada}} = \frac{(40+20)\times 5}{2} + 40 \times 5 = 350 \text{ J}$$

O trabalho W_{atrito} é dado pela área de um triângulo retângulo:

$$W_{\text{atrito}} = -\frac{10 \times 10}{2} = -50 \text{ J}$$

Substituindo na equação 4, temos:

$$W = 350 - 50 = 300 \text{ J} \tag{5}$$

O trabalho total realizado **sobre** o corpo é igual a variação **da sua** energia cinética, conforme pode ser observado pela equação 3. Com o resultado 5, temos:

$$300 = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$$

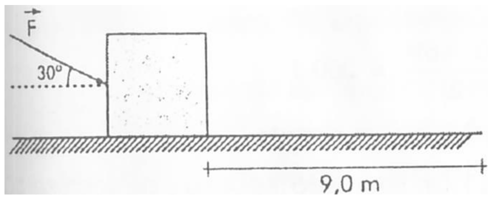
Como $v_0 = 0$ (corpo inicialmente em repouso):

$$300 = \frac{1}{2}mv^2$$

$$v = \sqrt{\frac{300 \times 2}{1{,}5}} = 20 \text{ m/s}$$

Problema 3

(UFSC) A massa do bloco da figura é igual a 20 kg. O módulo da força que é aplicada vale $40\sqrt{3}$ newtons e a força de atrito é de 20 newtons. O bloco parte do repouso e percorre 9 metros sobre a superfície horizontal mostrada.



01. O movimento descrito pelo bloco será retilíneo e uniforme.

02. A componente vertical da força $\vec{F}$ é a única responsável pelo movimento do bloco sobre a superfície.

04. A velocidade final do bloco, após percorrer 9 metros, é de 6 m/s.

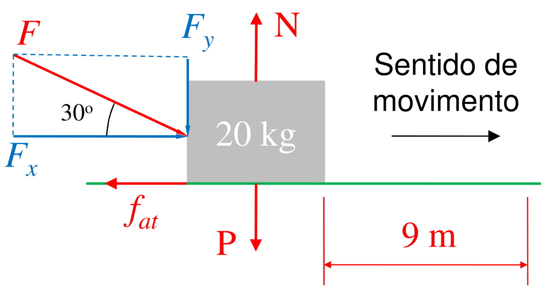
08. O tempo que o bloco leva para percorrer 9 metros é maior do que 4 segundos.

16. O bloco desloca-se sobre a superfície com uma aceleração constante e igual a 3 m/s^2.

32. A variação na energia cinética do bloco, após percorrer 9 metros, é de 360 joules.

RESOLUÇÃO:

01. Incorreta. O diagrama de forças é apresentado abaixo.



O movimento é retilíneo, mas não é uniforme, pois a velocidade não é constante. A força resultante ao longo do eixo horizontal é diferente de zero, o que implica na existência de aceleração:

$$F = F_x - f_{at} = F\cos 30^o - f_{at}$$

$$F = 40\sqrt{3}\left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right) - 20 = 40 \text{ N} \qquad (6)$$

Esta força de 40 N é a resultante horizontal e está no mesmo sentido de movimento do corpo.

02. Incorreta. O item anterior mostra que existe uma força resultante não-nula ao longo do eixo horizontal que faz o bloco se mover nesta direção. Não existe movimento vertical, pois a força F_y está no mesmo sentido da força peso, ocasionando apenas no aumento da força normal.

04. Correta. Para monstrar que este item está correto vamos calcular o trabalho realizado **sobre** o corpo e igualar com a variação **da sua** energia cinética. O trabalho realizado pela força horizontal resultante F_{Rx} é dado por:

$$W = F_{Rx} d\cos\theta$$

em que $\theta = 0$ (veja o final da resolução do item 01), logo:

$$W = F_{Rx} d = (40)(9) = 360 \text{ J}$$

Pela equação 3, este valor representa a variação da energia cinética do corpo de 20 kg:

$$360 = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$$

Como $v_0 = 0$

$$v = \sqrt{\frac{360 \times 2}{20}} = 6 \text{ m/s}$$

08. Incorreta. Com a força horizontal resultante F_{Rx} e a massa do corpo é possível calcular a sua aceleração por meio da segunda lei de Newton:

$$F_{Rx} = ma$$

$$a = \frac{F_{Rx}}{m} = \frac{40}{20} = 2 \text{ m/s}^2$$

Com esta aceleração, o corpo atinge 6 m/s após percorrer 9 m. Com a equação horária da velocidade é possível calcular o intervalo de tempo necessário para o corpo atingir esta condição:

$$v = v_0 + at = 0 + at$$

$$t = \frac{v}{a} = \frac{6}{2} = 3 \text{ s}$$

16. Incorreta. A aceleração vale 2 m/s^2.

32. Correta.

Portanto, a soma dos itens corretos é 36.

3 Energia Potencial

Vimos na seção anterior que um corpo com energia tem a capacidade de realizar trabalho. Desta forma, considere uma maçã inicialmente em repouso numa determinada altura h em relação ao solo, conforme mostra a figura 4. Ao ser liberada, ela será acelerada para baixo pela força gravitacional e colidirá com o solo. Esse movimento, certamente, resultará em algum dano à superfície da Terra, ou seja, haverá realização de trabalho sobre o solo. Isso indica que a maçã tinha algum tipo de energia armazenada antes de ser liberada do repouso. Essa energia associada à altura da maça em relação à superfície da Terra é chamada de *energia potencial gravitacional* (Máximo e Alvarenga, 2012). A equação utilizada para calcular a energia potencial gravitacional E_g de um corpo é:

$$E_g = mgh \qquad (7)$$

onde m é a sua massa, g a aceleração da gravidade local e h a altura.

A força peso é a única força atuando sobre a maçã durante a queda (desconsiderando os efeitos da resitência do ar). Note que ela realiza um trabalho positivo sobre o corpo, pois atua no mesmo sentido do movimento (para baixo). Como já estudamos, trabalho positivo indica o aumento da velocidade. O trabalho da força peso converte a energia potencial gravitacional em energia cinética, fazendo a maçã adquirir velocidade após ser liberada.

A energia potencial representa uma forma de energia associada à posição dos objetos (Máximo e Alvarenga, 2012). Essa condição pode ser aplicada também para um corpo preso na extremidade de uma mola comprimida (ou distendida), conforme mostra a figura 5. Ao liberarmos o corpo, a mola expande (ou comprime),

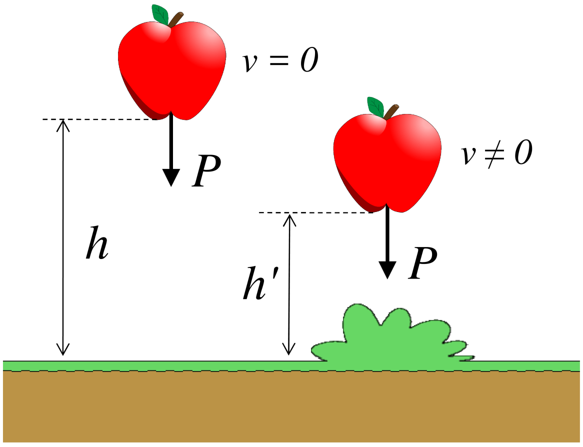


Figura 4: *Um corpo armazena energia potencial gravitacional quando está a certa altura da superfície da Terra. A figura foi elaborada com recursos das páginas digitais* PNG Find *2019 e* Clean PNG *2019.*

realizando um trabalho sobre o corpo e consequentemente alterando a sua energia cinética. Devido a especificidade do comportamento de uma mola, que pode tanto empurrar um corpo como puxá-lo, o trabalho realizado sobre o corpo pode ser positivo ou negativo, dependendo se a força da mola está aumentando ou diminuindo a sua energia cinética, respectivamente. Isso implica que a mola armazena *energia potencial elástica*. Para calcular essa forma de energia usamos a equação:

$$E_e = \frac{1}{2}kx^2 \tag{8}$$

em que k é a constante elástica da mola e x a sua deformação. Neste modelo, a única força que atua sobre o corpo é a força elástica. Na figura 5(b), a mola sofre uma distensão máxima d e a força elástica aponta para $-x$. Quando o sistema (mola + bloco) é liberado (a mão é retirada), a mola comprime e a força elástica realiza um trabalho positivo sobre o bloco, convertendo, inicialmente, a energia potencial elástica da mola em energia cinética para o bloco. Situação análoga acontece com a figura 5(c).

Aqui você deve ter cuidado com o sentido da força da mola, que está relacionado ao fato de a mola estar esticando ou comprimindo. Analisando o sentido da força e do deslocamento do corpo é possível identificar se o trabalho realizado pela mola é positivo ou negativo. Quando a força da mola e o deslocamento possuem o mesmo sentido, o trabalho é positivo, levando ao aumento da energia cinética do corpo. Se eles possuem sentidos opostos, o trabalho é negativo e a energia cinética do corpo está diminuindo.

4 Energia Mecânica

Um corpo pode ter energia cinética, energia potencial, ou ambas. Quando a maçã da figura 4 atinge a altura h', ela possui velocidade diferente de zero. Isso

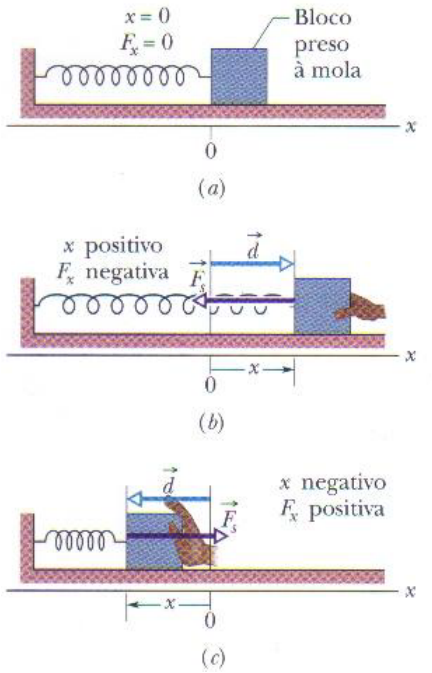


Figura 5: *(a) Uma mola no estado relaxado. A origem do eixo x foi colocada na extremidade da mola que está presa ao bloco. (b) O bloco sofre um deslocamento d e a mola sofre uma distensão (variação positiva de x). Observe a força restauradora $\vec{F}$ exercida pela mola. (c) A mola sofre uma compressão (variação negativa de x). Observe novamente a força restauradora (Halliday, Resnick e Walker, 2013).*

significa que o corpo possui, simultaneamente, energia potencial gravitacional e energia cinética. A mesma situação acontece no sistema massa-mola quando o corpo possui velocidade diferente de zero e a mola está com deformação menor que o valor máximo d. Essas duas formas de energia, somadas, representam a energia mecânica E_m do corpo:

$$E_m = E_c + E_g \tag{9}$$

4.1 Conservação da Energia Mecânica

Quando um corpo está sob ação apenas de forças conservativas, a energia mecânica é conservada, ou seja, é constante. Força conservativa é aquela que, ao realizar trabalho, não dissipa a energia do sistema. A força peso, elástica e a força elétrica (descrita pela lei de Coulomb) são exemplos de forças conservativas, enquanto o atrito e a força de arrasto (interação de um corpo com ar), são exemplos de forças não-conservativas, ou também chamadas de forças dissipativas. Para exemplificar, considere a situação 1 da figura 6. A maçã é lançada verticalmente para cima com velocidade inicial v_0. Neste instante, a velocidade e a energia cinética são máximas e, considerando que ela está próxima do solo, sua energia potencial gravitacional é próxima de zero.

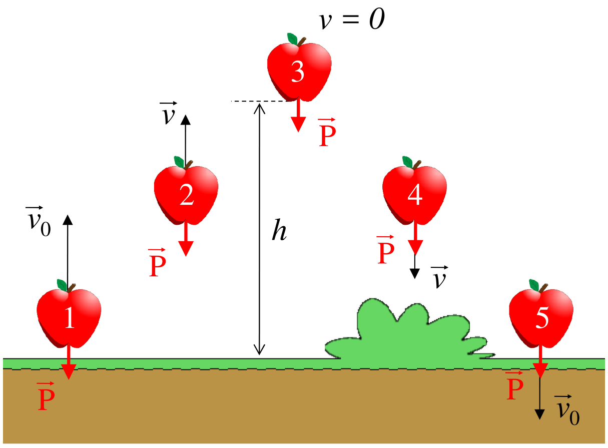


Figura 6: *A energia mecânica de um corpo em movimento vertical é conservada, pois a força peso é uma força conservativa. A figura foi elaborada com recursos das páginas digitais* PNG Find *2019 e* Clean PNG *2019.*

Note que a força peso está no sentido oposto do seu movimento; portanto, realiza um trabalho negativo; assim, conforme ela sobe, a velocidade diminui gradativamente (situação 2) até o corpo parar completamente (situação 3). Neste momento, o trabalho da força peso converteu toda a energia cinética em energia potencial gravitacional. Em seguida, quando a maça começa a cair, o peso passa a realizar um trabalho positivo, pois está no mesmo sentido do movimento; assim, a energia cinética aumenta e a energia potencial gravitacional diminui. Antes do corpo colidir com o solo, sua velocidade atinge novamente v_0, indicando a conservação da energia cinética inicial.

Neste exemplo, concluímos que a energia mecânica no início e final do movimento é definida apenas pela energia cinética, enquanto que no ponto mais alto da trajetória é definida apenas pela energia potencial gravitacional. Em qualquer outro instante ela é definida pela soma da energia cinética com a energia potencial, de modo que em qualquer intervalo de tempo a variação da energia mecânica E_m é sempre zero ($\Delta E_m = 0$), o que leva a

$$E_{m(\text{inicial})} = E_{m(\text{final})} \tag{10}$$

em que $E_m = E_c + E_g$. A equação 10 é conhecida como o *princípio da conservação da energia mecânica* e é válida apenas na ausência de forças dissipativas (veja acima os exemplos que foram dados de forças dissipativas).

Na presença de atrito, por exemplo, o problema deve ser descrito pelo *princípio geral da conservação de energia*. Para entender como isso funciona, suponha a existência de atrito entre o bloco e a superfície da figura 5(b). Quando o bloco é liberado, a força elástica realiza trabalho positivo e converte a energia potencial elástica em energia cinética. Porém, como o corpo se desloca para esquerda, a força de atrito cinético atua para a direita e realiza um trabalho negativo, fazendo com que a velocidade seja reduzida. Assim, parte da energia potencial elástica é convertida em energia cinética e o restante em energia térmica devido o trabalho realizado pela força de atrito. Essa última forma de energia é perdida pelo sistema bloco-mola e por esse movito o sistema é chamado não-conservativo ou dissipativo.

Em termos matemáticos, o princípio geral da conservação da energia é descrito como

$$\Delta E_m = W_d \tag{11}$$

ou seja, na presença de forças dissipativas, a variação da energia mecânica do corpo (ΔE_m) é igual ao trabalho das forças dissipativas que atuam sobre ele (W_d). A variação da energia mecânica é calculada fazendo

$$\Delta E_m = E_{m(\text{final})} - E_{m(\text{inicial})} \tag{12}$$

isto é, a energia mecânica final menos a energia mecânica inicial.

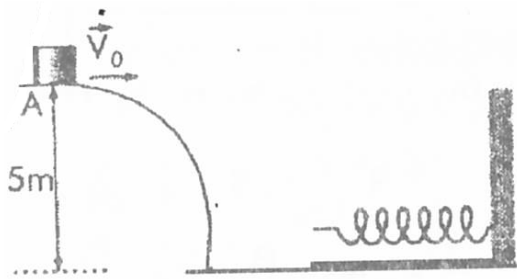
Usando a equação 12, a equação 11 pode ser escrita como

$$E_{m(\text{inicial})} + W_d = E_{m(\text{final})} \tag{13}$$

isto é, a energia mecânica inicial do corpo mais o trabalho das forças dissipativas que atuam sobre ele é igual a sua energia mecânica final.

Problema 4

(ACAFE) Um corpo de 6 kg de massa tem uma velocidade de 10 m/s quando se encontra no ponto A, conforme mostra a figura abaixo. O corpo desloca-se sobre a superfície, sem atrito, e pára ao comprimir a mola. Sabendo-se que a constante elástica da mola é 5000 N/m, determine a deformação aproximada da mola.



RESOLUÇÃO: Como não existe atrito, a energia mecânica é conservada, possuindo assim o mesmo valor no ponto A e no instante em que a mola está totalmente deformada. No ponto A o corpo possui energia potencial gravitacional (em relação ao solo) e energia cinética. Ao descer 5 m, a energia potencial gravitacional é convertida em energia cinética que, posteriormente, no instante em que a mola atinge a compressão máxima, é totalmente convertida em energia potencial elástica.

A energia mecânica inicial é descrita pela soma da energia potencial gravitacional e energia cinética no ponto A, enquanto a energia mecânica final é descrita pela energia potencial elástica:

$$E_{m(\text{inicial})} = E_{m(\text{final})}$$

$$mgh + \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}kx^2 \qquad (14)$$

Isolando x na equação 14:

$$x = \sqrt{\frac{2m}{k}\left(gh + \frac{1}{2}v^2\right)} \qquad (15)$$

e substituindo os dados do enunciado na equação 15, obtemos a deformação máxima da mola:

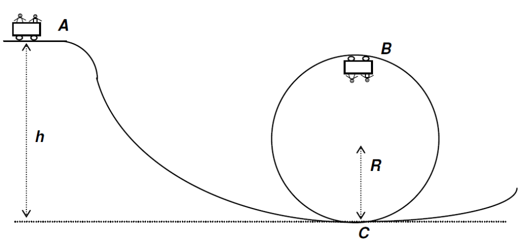
$$x = 0{,}49 \text{ m} \qquad (16)$$

É interessante você substituir os valores na equação 15 e verificar se consegue chegar no mesmo resultado!

Problema 5

(UFSC) Nos trilhos de uma montanha russa, um carrinho com seus ocupantes é solto, a partir do repouso, de uma posição A situada a uma altura h, ganhando velocidade e percorrendo um círculo vertical de raio $R = 6$ m, conforme mostra a figura. A massa do carrinho com seus ocupantes é igual a 300 kg e despreza-se a ação de forças dissipativas sobre o conjunto.

Assinale a(s) proposição(ões) **CORRETA(S)**.



01. A energia mecânica mínima para que o carrinho complete a trajetória, sem cair, é igual a 4500 J.

02. A velocidade mínima na posição B, ponto mais alto do círculo vertical da montanha russa, para que o carrinho não caia é $\sqrt{60}$ m/s.

04. A posição A, de onde o carrinho é solto para iniciar seu trajeto, deve situar-se à altura mínima de $h = 15$ m para que o carrinho consiga completar a trajetória passando pela posição B, sem cair.

08. Na ausência de forças dissipativas, a energia mecânica do carrinho se conserva, isto é, a soma da energia potencial gravitacional e da energia cinética tem igual valor nas posições A, B e C, respectivamente.

16. Podemos considerar a conservação da energia mecânica porque, na ausência de forças dissipativas, a única força atuante sobre o sistema é a força peso, que é uma força conservativa.

32. A posição A, de onde o carrinho é solto para iniciar seu trajeto, deve situar-se à altura mínima $h = 12$ m para que o carrinho consiga completar a trajetória passando pela posição B, sem cair.

64. A energia mecânica do carrinho no ponto C é menor do que no ponto A.

RESOLUÇÃO:

01. Incorreta. Durante o loop, a força centrípeta responsável pelo movimento circular é definida pela força normal, que a montanha russa exerce sobre o carrinho, e a força peso do carrinho (quando esta força possui componente que aponta para o centro do movimento circular). Na condição de mínima energia, para completar a volta sem cair, a força normal é zero no topo do aro. Logo, a força centrípeta neste ponto é descrita apenas pelo peso do carrinho:

$$mg = \frac{mv^2}{R} \qquad (17)$$

Em caso de dúvida de como a equação (17) foi obtida, retorne até a aula 4 e faça uma revisão. Substituindo os dados do enunciado na equação 17 é possível calcular a velocidade do corpo no ponto B:

$$v_B = \sqrt{gR} = \sqrt{60} \text{ m/s} \qquad (18)$$

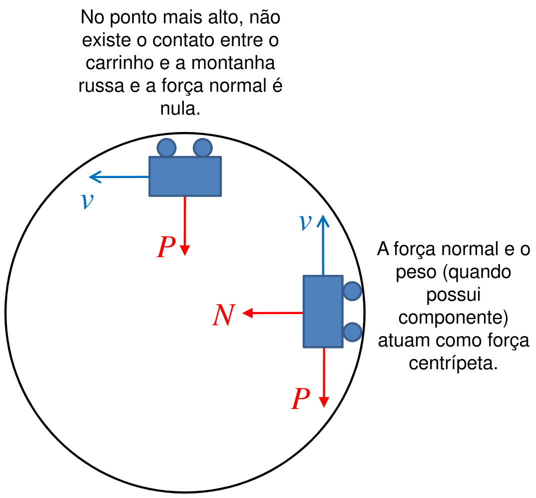
Com v_B obtemos a energia mecânica neste ponto:

$$E_{mB} = mgh_B + \frac{1}{2}mv_B^2$$

que é a soma da energia cinética mais a energia potencial gravitacional, com h_B representando a altura do carrinho (ponto B) em relação ao solo. Assim,

$$E_{mB} = (300)(10)(12) + \frac{1}{2}(300)(\sqrt{60})^2$$

$$E_{mB} = 45000 \text{ J}$$



02. Correta. Conforme calculado no item 01, a velocidade no ponto B vale $\sqrt{60}$ m/s.

04. Correta. No ponto A, o corpo possui apenas energia potencial gravitacional. Como ele necessita, ao menos, 45000 J para completar o movimento, a altura mínima h vale:

$$E_{mA} = mgh = 45000$$

$$h = \frac{45000}{mg} = \frac{45000}{(300)(10)} = 15 \text{ m}$$

08. Correta. A energia mecânica é conservada nos pontos A, B e C, pois não existem forças dissipativas.

16. Correta. A energia é conservada porque a única força que realiza trabalho é a força peso, que é conservativa.

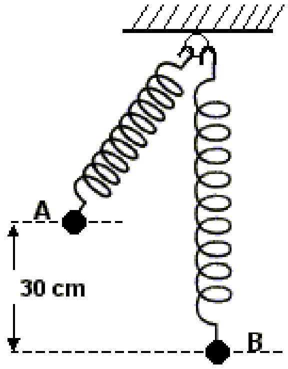
32. Incorreta. A altura mínima vale 15 m.

64. Incorreta. A energia mecânica é a mesma.

Portanto, a soma dos itens corretos é 30.

Problema 6

(UFSC) Na figura abaixo, a esfera tem massa igual a 2,0 kg e encontra-se presa na extremidade de uma mola de massa desprezível e constante elástica de 500 N/m. A esfera encontra-se, inicialmente, em repouso, mantida na posição A, onde a mola não está deformada. A posição A situa-se a 30 cm de altura em relação à posição B.



Soltando-se a esfera, ela desce sob a ação da gravidade. Ao passar pelo ponto B, a mola se encontra na vertical e distendida de 10 cm. Desprezam-se as dimensões da esfera e os efeitos da resistência do ar.

Considerando-se a situação física descrita, assinale a(s) proposição(ões) **CORRETA(S)**.

01. A velocidade da esfera no ponto mais baixo da trajetória, ponto B, é igual a $\sqrt{6{,}0}$ m/s.

02. Toda a energia potencial gravitacional da esfera, na posição A, é transformada em energia cinética, na posição B.

04. A velocidade da esfera no ponto B é igual a $\sqrt{3{,}5}$ m/s.

08. A força resultante sobre a esfera na posição B é igual a 30 N.

16. A energia mecânica da esfera, na posição B, é igual à sua energia potencial gravitacional na posição A.

32. Parte da energia potencial gravitacional da esfera, na posição A, é convertida em energia potencial elástica, na posição B.

64. A energia cinética da esfera, na posição B, é igual à sua energia potencial gravitacional, na posição A.

RESOLUÇÃO:

01. Incorreta. No ponto A, a esfera possui apenas energia potencial gravitacional (em relação à linha horizontal que passa pelo ponto B). No ponto B, possui energia cinética e energia potencial elástica. Como não existem forças dissipativas, a energia mecânica é conservada:

$$E_{mA} = E_{mB}$$

$$mgh_A = \frac{1}{2}mv_B^2 + \frac{1}{2}kx_B^2$$

em que $h_A = 30$ cm $= 0{,}30$ m e $x_B = 10$ cm $=$ $0{,}10$ m. Portanto,

$$\frac{1}{2}mv_B^2 = mgh_A - \frac{1}{2}kx_B^2$$

$$v_B^2 = \frac{2}{m}\left(mgh_A - \frac{1}{2}kx_B^2\right)$$

$$v_B^2 = \frac{2}{2{,}0}\left[(2{,}0)(10)(0{,}30) - \frac{1}{2}(500)(0{,}10)^2\right]$$

$$v_B = \sqrt{3{,}5}\ \text{m/s}$$

02. Incorreta. Parte da energia é transformada em energia potencial elástica.

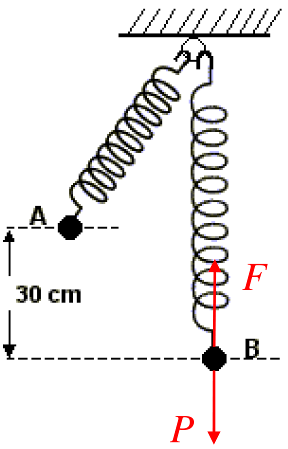
04. Correta. Demonstração realizada no item 01.

08. Correta. No ponto B, a esfera sofre a atuação da força peso e da força elástica; logo, a força resultante é:

$$F_R = kx_B - mg \qquad (19)$$

$$F_R = (500)(0{,}10) - (2{,}0)(10) = 30\ \text{N}$$

Como a força elástica foi adotada com sinal positivo na equação 19 e a força resultante também apresentou sinal positivo, a força resultante aponta para cima.



16. Correta. Consideramos esta condição para a realização dos cálculos no item 01.

32. Correta. Consideramos esta condição para a realização dos cálculos no item 01.

64. Incorreta. A mola está deformada na posição B; logo, parte da energia potencial gravitacional do ponto A foi convertida em energia potencial elástica.

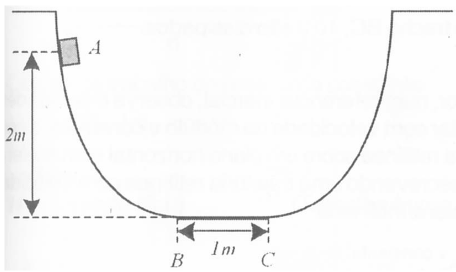
Portanto, a soma dos itens corretos é 60.

Problema 7

(UFPB) Um estudante de física solta um bloco de madeira de massa de 2,0 kg do ponto A da rampa, mostrada na figura abaixo. A velocidade inicial do bloco é nula. A rampa foi polida para eliminar o atrito, mas o responsável por esse trabalho esqueceu-se de polir o trecho entre os pontos B e C, que tem comprimento de 1 m. O estudante sabe que, se calcular o trabalho realizado pela força de atrito, será capaz de determinar quantas vezes o bloco passará pelo trecho BC até parar completamente.

Considerando-se que no trecho BC (e apenas nele) o coeficiente de atrito cinético entre o bloco e a rampa é 0,5 e que o ponto A fica a 2,0 m de altura, pode-se concluir que, até sua parada completa, o bloco passará, por esse trecho,

(a) 1 vez
(b) 2 vezes
(c) 3 vezes
(d) 4 vezes
(e) 5 vezes



RESOLUÇÃO: Neste problema a energia não é conservada, pois existe atrito no trecho BC. Quando o bloco parar, toda a energia potencial gravitacional foi convertida em energia térmica. Assim, pelo princípio geral da conservação de energia, equação 13, temos:

$$E_{m(\text{inicial})} + W_d = E_{m(\text{final})} \qquad (20)$$

No final do movimento o bloco estará parado na parte mais baixa da rampa. Assim

$$E_{m(\text{final})} = 0$$

e a equação 20 torna-se:

$$E_{m(\text{inicial})} = -W_d \qquad (21)$$

O trabalho das forças dissipativas é igual ao trabalho realizado pela força de atrito no trecho BC (W_{fat}) multiplicado pelo número de vezes (n) que o bloco passa nessa região, ou seja,

$$W_d = nW_{\text{fat}} \qquad (22)$$

O trabalho da força de atrito (W_{fat}) é calculado utilizando a equação 1, com d sendo a região onde há atrito e F a força de atrito (fat_c) que atua sobre o bloco na região BC. A força de atrito tem sempre sentido contrário ao deslocamento, logo, $\theta = 180^o$ e consequentemente $\cos 180^o = -1$. Com isso, o trabalho realizado pela força de atrito é negativo:

$$W_{fat} = -fat_c d \tag{23}$$

Substituindo a equação 23 na equação 22 e o resultado na equação 21 temos

$$E_{m(\text{inicial})} = mgh = -W_d = -nW_{fat} = fat_c d \tag{24}$$

em que $d = 1{,}0$ m e fat_c é calculado com

$$fat_c = \mu N.$$

Na parte mais baixa da trajetória, onde há atrito, não há movimento na vertical, logo, a força normal é igual ao peso, ou seja

$$N = mg.$$

Portanto, $fat_c = \mu N = \mu mg$. Substituindo na equação 24,

$$\cancel{mg}h = n\mu \cancel{mg}d \tag{25}$$

Isolando n na equação 25, obtemos:

$$n = \frac{h}{\mu d} = 4 \text{ vezes}$$

sendo, portanto, o item (d) a alternativa correta.

5 Potência

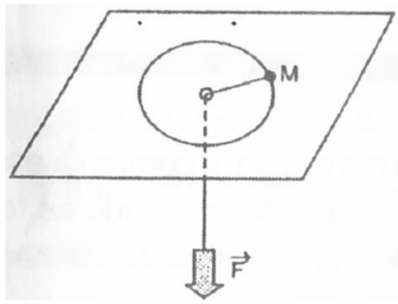
Potência é a medida do trabalho realizado por unidade de tempo, ou seja, a quantidade de energia inserida ($W > 0$) ou retirada ($W < 0$) de um sistema por unidade de tempo:

$$P = \frac{|W|}{\Delta t} \tag{26}$$

onde Δt representa o intervalo de tempo em que o trabalho W foi realizado. A potência no SI é medida em watt (1 watt = 1 W = 1 J/s).

Exercício 2

(ITA) Um corpo de massa M, mostrado na figura, é preso a um fio leve, inextensível, que passa de um orifício central de uma mesa lisa. Considere que inicialmente o corpo se move ao longo de uma circunferência, sem atrito. O fio é, então, puxado para baixo, aplicando-se uma força $\vec{F}$, constante, a sua extremidade livre. Podemos afirmar que:



(a) o corpo permanecerá ao longo da mesma circunferência.

(b) a força $\vec{F}$ não realiza trabalho, pois é perpendicular à sua trajetória.

(c) a potência instantânea de $\vec{F}$ é nula.

(d) o trabalho realizado de $\vec{F}$ é igual à variação da energia cinética do corpo.

(e) o corpo descreverá uma trajetória elíptica sobre a mesa.

RESOLUÇÃO:

(a) Incorreta. O corpo está inicialmente em movimento circular uniforme, onde a tensão no cabo é a responsável pela força centrípeta. Com o aumento desta tensão, por meio da força $\vec{F}$, o raio da trajetória será reduzido devido a força radial.

(b) Incorreta. A aplicação da força $\vec{F}$ diminui o raio da trajetória; portanto, existe a realização de trabalho.

(c) Incorreta. Se existe a realização de trabalho, conforme mostra a equação 26, a potência da força $\vec{F}$ não é nula.

(d) Correta. Pelo teorema do trabalho e da energia cinética (equação 3), existe a variação da energia cinética durante a realização de trabalho. Logo, houve o aumento da velocidade da partícula.

(e) Incorreta. A trajetória é espiral enquanto o raio está diminuindo.

Problema 8

(ACAFE) Um fabricante de automóveis afirma que um determinado modelo de seus carros, de massa $m = 1000$ kg, acelera uniformemente do repouso até uma velocidade de módulo $v = 30$ m/s (126 km/h) em 10 s. Neste intervalo de tempo, a potência média desenvolvida pelo carro, em kW, é:

(a) 126
(b) 100
(c) 3
(d) 150
(e) 45

RESOLUÇÃO: A potência é calculada pela equação:

$$P = \frac{|W|}{\Delta t} \tag{27}$$

em que W é dado pelo teorema do trabalho e da energia cinética ($v_0 = 0$):

$$W = \Delta E_c = \frac{1}{2}mv^2 = 450 \text{ kJ}$$

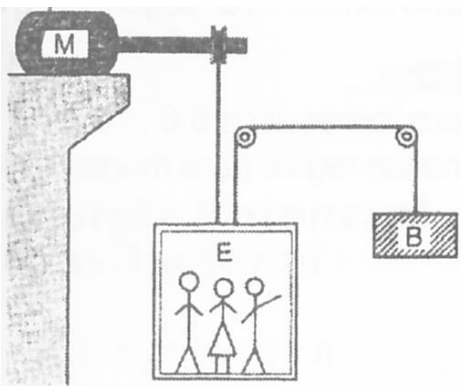
Substituindo na equação 27, fornece:

$$P = \frac{W}{\Delta t} = \frac{450}{10} = 45 \text{ kW}$$

Portanto, o item (e) é a alternativa correta.

Problema 9

(FUVEST) A figura abaixo representa esquematicamente um elevador E com massa de 800 kg e um contrapeso B, também de 800 kg, acionados por um motor M. A carga interna do elevador é de 500 kg.



(a) Qual a potência fornecida pelo motor com o elevador subindo com uma velocidade constante de 1 m/s?

(b) Qual a força aplicada pelo motor, através do cabo, para acelerar o elevador em ascensão à razão de 0,5 m/s^2?

RESOLUÇÃO:

(a) O diagrama de forças é apresentado na figura abaixo. Além da equação 26, a potência também pode ser calculada pela equação:

$$P = Fv|\cos\theta| \tag{28}$$

em que F é a intensidade da força que realiza trabalho, v a velocidade média do corpo e θ o ângulo entre estes dois vetores. Com o elevador subindo, $\theta = 0$ entre $\vec{F}$ e $\vec{v}$. Para encontrar a intensidade da força F, precisamos resolver a segunda lei de Newton para o corpo E:

$$F_R = m_E a$$

em que F_R é a força resultante e $a = 0$, uma vez que a velocidade de subida é constante. Logo:

$$F_R = F + T - P_E = 0 \tag{29}$$

T é obtido ao analisarmos o corpo B (que também desce com velocidade constante):

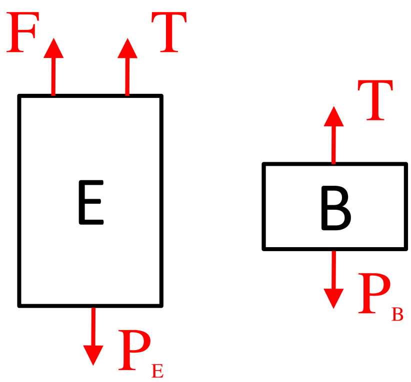
$$T - P_B = 0 \quad \therefore \quad T = P_B \tag{30}$$

Substituindo o resultado 30 na equação 29, temos:

$$F = P_E - P_B = g(m_E - m_B) = 5000 \text{ N}$$

m_E considera a massa do elevador (800 kg) mais a carga (500 kg), portanto $m_E = 1300\,\text{kg}$. Com este valor da força obtemos a potência média exercida pelo motor M a partir da equação 28:

$$P = (5000)(1)(1) = 5000 \text{ W}$$



(b) Para encontrar a intensidade da força F é necessário resolver a segunda lei de Newton para os corpos E:

$$F + T - P_E = m_E a \tag{31}$$

e B:

$$P_B - T = m_B a \qquad (32)$$

somando as equações 31 e 32 elimina-se a tração T:

$$F + P_B - P_E = a(m_B + m_E)$$

$$F = a(m_B + m_E) + g(m_E - m_B)$$

$$F = (0{,}5)(1300 + 800) + (10)(1300 - 800)$$

$$F = 6050 \text{ N}$$

COLABORADORES DESTA AULA

- **Texto**:
  Diego Alexandre Duarte
- **Diagramação**:
  Diego Alexandre Duarte
- **Revisão**:
  João Carlos Xavier

Referências Bibliográficas

Chaban, E., M. A. Jerry e Ananias M. Neto (2005). *Resumo e Exercícios de Física*. Vol. Único. Florianópolis: JC Gráfica e Editora.

Clean PNG (2019). URL: `https://www.cleanpng.com/png-apple-cartoon-clip-art-cartoon-apples-with-faces-205678/` (acesso em 16/01/2019).

ClipartMax (2019). URL: `https://www.clipartmax.com/middle/m2i8Z5Z5K9m2N4d3_cartoon-ball-free-sports-bowling-bowl-bowling-ball-clip-art/` (acesso em 14/01/2019).

Halliday, D., R. Resnick e J. Walker (2013). *Fundamentos de Física 1 (Mecânica)*. Vol. 1. Rio de Janeiro: LTC.

My Real Clip Domain (2019). URL: `https://myrealdomain.com/explore/clipart-bowling-pin.html` (acesso em 14/01/2019).

Máximo, A. e B. Alvarenga (2012). *Caderno de revisão e exercícios de física*. Vol. Único. São Paulo: Scipione.

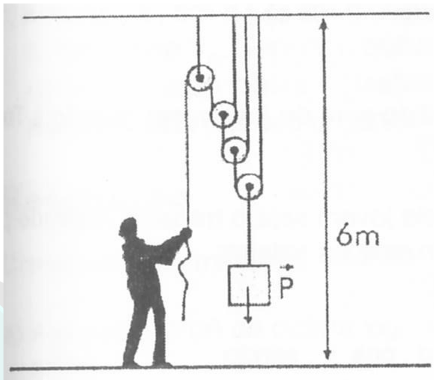
PNG Find (2019). URL: `https://www.pngfind.com/mpng/bowRmR_ground-ground-png-transparent-png/` (acesso em 16/01/2019).

6 Lista de Problemas

Alguns dos exercícios apresentados na lista abaixo, bem como alguns resolvidos nesta aula, foram retirados de Chaban, Jerry e Neto, 2005 e Máximo e Alvarenga, 2012. Outros problemas foram retirados diretamente dos cardenos de prova dos referidos vestibulares.

1. (ACAFE) Uma pessoa deseja elevar um peso de módulo de 600 N a uma altura de 6,0 m, usando o sistema de roldanas da figura abaixo. O comprimento da corda, em metros, que a pessoa deverá puxar para realizar este trabalho, será:

   (a) 6
   (b) 36
   (c) 18
   (d) 10
   (e) 48



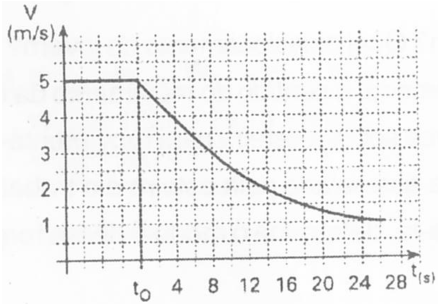
2. (UNESP) Um jovem exercita-se numa academia andando e movimentando uma esteira rolante horizontal, sem motor. Um dia, de acordo com o medidor da esteira, ele andou 40 minutos com velocidade constante de 7,2 km/h e consumiu 300 quilocalorias.

   (a) Qual a distância percorrida pelo jovem? Qual o deslocamento do jovem?

   (b) Num esquema gráfico, represente a esteira, o sentido do movimento da esteira, o jovem e a força $\vec{F}$ que ele exerce sobre a esteira para movimentá-la. Admitindo que o consumo de energia assinalado pela esteira é o trabalho realizado pelo jovem para movimentá-la, determine o módulo dessa força, suposta constante.

   Adote 1,0 cal = 4,0 J.

3. (FUVEST) Um ciclista, em estrada plana, mantém velocidade constante $V_0 = 5{,}0$ m/s (18 km/h). Ciclista e bicicleta têm massa total $M = 90$ kg. Em determinado momento, $t = t_0$, o ciclista para de pedalar e a velocidade V da bicicleta passa a diminuir com o tempo, conforme o gráfico abaixo.



Assim, determine:

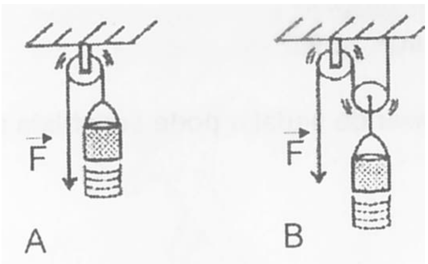
(a) A aceleração a, em m/s^2, da bicicleta, logo após o ciclista deixar de pedalar.

(b) A força de resistência horizontal total F_R, em newtons, sobre o ciclista e sua bicicleta, devida principalmente ao atrito dos pneus e à resistência do ar, quando a velocidade é V_0.

(c) A energia E, em kJ, que o ciclista queimaria, pedalando durante meia hora, à velocidade V_0. Suponha que a eficiência do organismo do ciclista (definida como a razão entre o trabalho realizado para pedalar e a energia metabolizada por seu organismo) seja 22,5%.

4. (ACAFE) Para fazer a laje de uma casa, os operários precisam elevar um balde cheio de concreto, dezena de vezes, desde o solo até o pavimento superior. A figura abaixo apresenta dois dispositivos que podem auxiliar nesta tarefa: em A, a roldana é fixa e em B, existe uma roldana fixa e uma móvel.

   Usando o dispositivo _______, a força necessária é _______ e a energia total despendida pelo operário, ao puxar a corda, é _______ ao (que no) outro dispositivo.



   A alternativa **verdadeira** que completa o enunciado acima, em sequência, é:

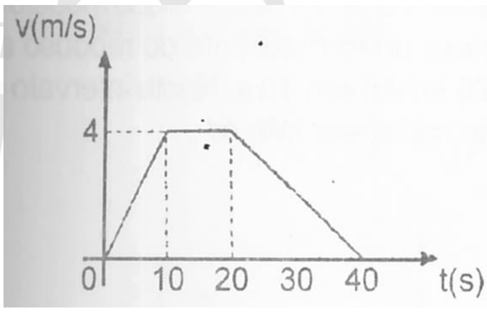
   (a) A, maior, maior.
   (b) A, menor, igual.
   (c) B, menor, igual.
   (d) B, menor, menor.
   (e) B, maior, maior.

5. (ACAFE) Para o acesso ao andar superior de uma escola, é comum a escada ser substituída por uma rampa de menor inclinação. Desprezando as forças dissipativas e considerando movimento com velocidade de módulo constante, a vantagem está no fato das pessoas desenvolverem:

   (a) menor trabalho mecânico
   (b) menor potência
   (c) menor energia
   (d) maior força
   (e) maior rendimento

6. (UFSC) Um homem ergue um bloco de 100 newtons a uma altura de 2,0 metros em 4,0 segundos com velocidade constante. Qual a potência, em watts, desenvolvida pelo homem?

7. (UDESC) Um homem de massa de 70 kg encontra-se em um ginásio de esporte. Ele está sobre uma cadeira de rodas de 10 kg, inicialmente em repouso, quando o conjunto é empurrado por um atleta com uma força constante $\vec{F}_1$, durante 10 segundos, após os quais a força é retirada. Decorridos mais 10 segundos, o atleta corre para a frente da cadeira e aplica-lhe uma força constante $\vec{F}_2$, na direção do movimento, porém em sentido contrário, até anular a velocidade do conjunto (as forças $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_2$ são aplicadas paralelamente ao piso do colégio). Observe o gráfico da velocidade, esboçado a seguir, desprezando todos os atritos.



   Determine:

   (a) o instante no qual a velocidade do conjunto se anula novamente;

   (b) as intensidades das forças $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_2$ aplicadas pelo atleta;

   (c) o trabalho realizado entre 10 e 20 s;

   (d) a potência média desenvolvida no intervalo total de tempo.

8. (FUVEST) Um automóvel de massa de 800 kg percorre um trecho de estrada reto e horizontal, de comprimento AB = 1000 m. A seguir, sobe uma rampa de aclive constante, de

comprimento BC = 500 m; o ponto C está 20 m acima do plano horizontal que contém AB. A velocidade do aumtóvel é constante e igual a 72 km/h.

(a) Qual o trabalho da força-peso nos trechos AB e BC?

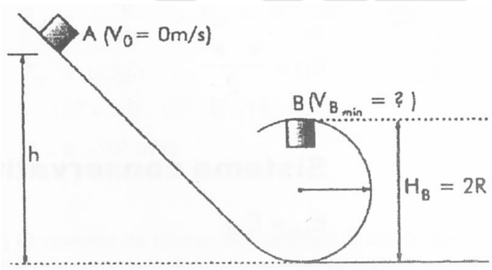
(b) Qual a potência desenvolvida pelo motor do automóvel no trecho em rampa, sabendo-se que as perdas por atrito equivalem a uma força igual a 10% do peso do veículo?

9. (UNICAMP) Uma hidrelétrica gera $5{,}0 \times 10^9$ W de potência elétrica utilizando-se uma queda d'água de 100 m. Suponha que o gerador aproveita 100% da energia da queda d'água e que a represa coleta 20% de toda a chuva que cai em uma região de 400.000 km^2. Considere que 1 ano tem 32×10^6 segundos, $g = 10$ m/s^2 e $\mu_{agua} = 1{,}0 \times 10^3$ kg/m^3.

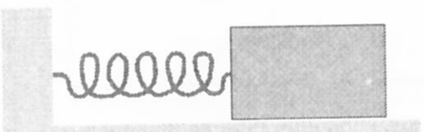
(a) Qual a vazão de água (m^3/s) necessária para fornecer os $5{,}0 \times 10^9$ W?

(b) Quantos mm de chuva devem cair por ano nessa região para manter a hidrelétrica operando nos $5{,}0 \times 10^9$ W?

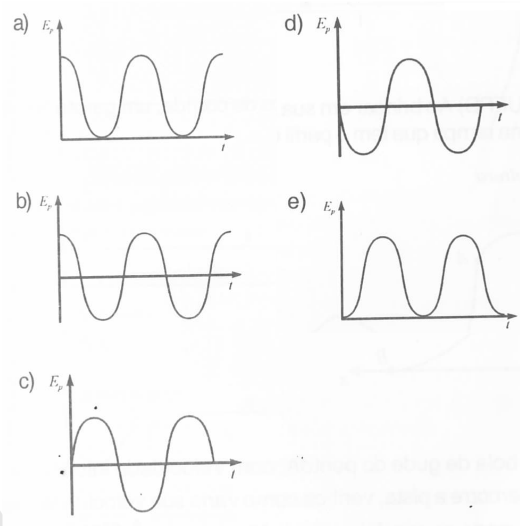
10. (UFSC) Um carrinho de massa $m = 37{,}9$ kg, cai de uma altura h desconhecida, a partir do repouso ($V_0 = 0$). A trajetória descrita encontra-se ilustrada na figura abaixo. Sabendo-se que o raio do círculo que serve de guia para o carrinho vale $R = 4{,}0$ m, determine o menor valor da altura h, em metros, isto é, h a fim de que o carrinho consiga atingir o ponto B indicado. Despreze quaisquer tipos de atrito.



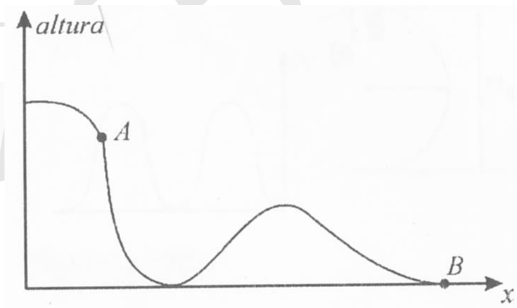
11. (UFPB) Uma jovem monitora prepara um sistema massa-mola, como indicado na figura abaixo, com o intuito de fazer uma demonstração para seus estudantes.



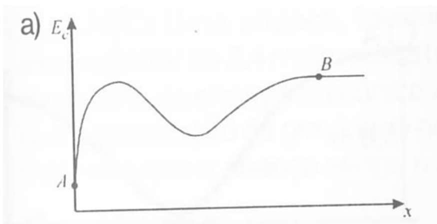
A jovem então afasta a massa de seu ponto de equilíbrio, distendendo a mola de uma certa quantidade. A seguir a massa é solta, passando a executar um movimento harmônico simples. Com base nessa situação, pode-se afirmar que o gráfico que melhor representa a variação da energia potencial em função do tempo, a partir do instante em que a jovem a solta, é:

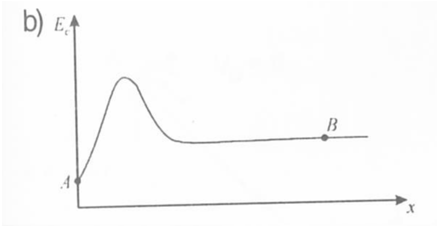


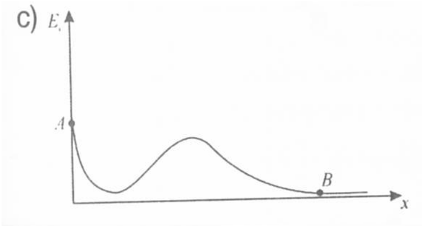
12. (UFPB) Ao brincar em sua casa com carrinhos de corrida, um garoto constrói uma rampa que tem o perfil da figura abaixo.

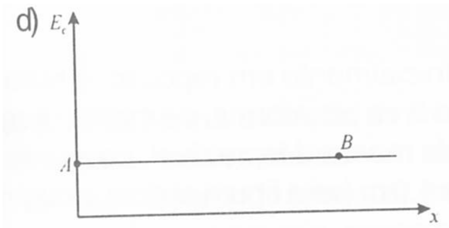


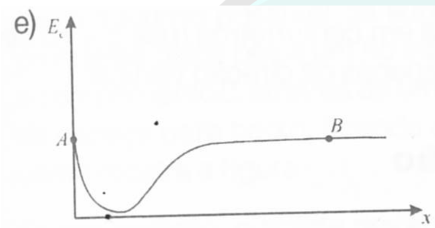
O garoto solta uma bola de gude do ponto A, com velocidade inicial v_0, e, à medida que a bola percorre a pista, verifica como varia sua velocidade. Desprezando-se o atrito, pode-se concluir que o gráfico que melhor representa a variação de energia cinética da bola de gude, entre os pontos A e B, é:



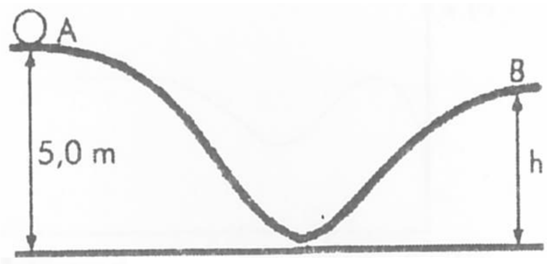




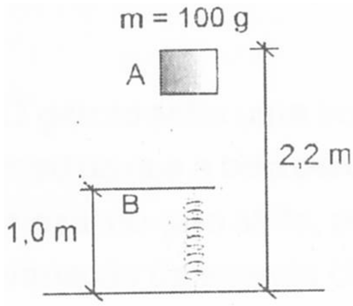




13. (UDESC) Uma pequena esfera de massa $m = 2{,}0$ kg desliza sem atrito ao longo do trilho mostrado na figura. A esfera passa pelo ponto A com velocidade de $4{,}0$ m/s e pelo ponto B com velocidade de $6{,}0$ m/s. Qual é a altura h do ponto B? Considere $g = 10$ m/s^2.



14. (UFSC) Um corpo de massa $m = 100$ g, inicialmente em repouso, é solto de uma altura de 2,2 m. Abaixo desse corpo há uma plataforma, de massa desprezível, montada sobre uma mola também de massa desprezível, com constante de mola $k = 10$ N/m e comprimento relaxado de 1,0 m (veja a figura abaixo, a qual não está em escala). Determine a compressão máxima da mola em centímetros (use $g = 10$ m/s^2), supondo que o movimento tenha ocorrido apenas na direção vertical.



15. (ACAFE) Uma criança, inicialmente em repouso, encontra-se sobre um escorregador de 2,4 metros de altura. Ao descer escorregando, ocorre uma perda de 25% da energia mecânica inicial devido as forças dissipativas. Supondo que a aceleração da gravidade no local é de 10 m/s^2, calcule a velocidade, em m/s, com que a criança atinge o solo.

16. (UFPB) Numa exibição de *body jumping*, um artista de massa m resolve efetuar um salto de demonstração sobre um lago. Querendo provocar grande impressão no público, resolve fazer com que, nesse salto, sua cabeça se aproxime o máximo possível da superfície da água. Para isso, prende-se pelos pés a um fio elástico de massa desprezível e comprimento L através de um mecanismo que o mantém de cabeça para baixo, ficando esta a uma altura h da água, como mostra a figura.

Dessa posição, o artista deverá ser solto com velocidade inicial nula. Sendo assim, para que o mesmo apenas encoste suavemente a cabeça na água, a constante elástica do fio, que obedece a lei de Hooke, deve ser no mínimo igual a:

(a) mh^2/L^2
(b) $mL^2/(h-L)^2$
(c) $2mgh/(h-L)^2$
(d) $2mgh/(h+L)^2$
(c) $2mgL/(h+L)^2$

17. (UNICAMP) No lançamento do martelo, os atletas lançam obliquamente uma esfera de metal de pouco mais de 7 kg. A maioria dos atletas

olímpicos, quando consegue lançar o martelo com um ângulo de aproximadamente 45° com a horizontal, atinge distâncias cerca de 80 m. Dos valores dados a seguir, assinale o que mais se aproxima da energia cinética que esses atletas conseguem fornecer ao martelo ($g = 10$ m/s^2).

(a) 3 J
(b) 30 J
(c) 300 J
(d) 3.000 J
(e) 30.000 J

18. (UFSC) A figura mostra um bloco, de massa $m = 500$ g, mantido encostado em uma mola comprimida de $x = 20$ cm. A constante elástica da mola é $k = 400$ N/m. A mola é solta e empurra o bloco que, partindo do repouso no ponto A, atinge o ponto B, onde para. No percurso entre os pontos A e B, a força de atrito da superfície sobre o bloco dissipa 20% da energia mecânica inicial no ponto A.

01. Na situação descrita, não há conservação da energia mecânica.

02. A energia mecânica do bloco no ponto B é igual a 6,4 J.

04. O trabalho realizado pela força de atrito sobre o bloco, durante o seu movimento, foi 1,6 J.

08. O ponto B situa-se a 80 cm de altura, em relação ao ponto A.

16. A força peso não realizou trabalho no deslocamento do bloco entre os pontos A e B, por isso não houve conservação da energia mecânica do bloco.

32. A energia mecânica total do bloco, no ponto A, é igual a 8,0 J.

64. A energia potencial elástica do bloco, no ponto A, é totalmente transformada na energia potencial gravitacional do bloco, no ponto B.

19. (FUVEST) Helena, cuja massa é 50 kg, pratica o esporte radical *bungee jumping*. Em um treino, ela se solta da beirada de um viaduto, com velocidade inicial nula, presa a uma faixa elástica de comprimento natural $L_0 = 15$ m e constante elástica $k = 250$ N/m. Quando a faixa está esticada 10 m além de seu comprimento natural, o módulo da velocidade de Helena é:

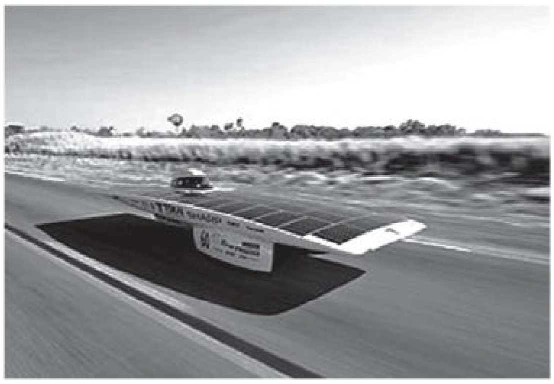
(Note e adote: aceleração da gravidade: 10 m/s^2. A faixa é perfeitamente elástica; sua massa e efeitos dissipativos devem ser ignorados.)

(a) 0 m/s
(b) 5 m/s
(c) 10 m/s
(d) 15 m/s
(e) 20 m/s

20. (UERJ) Um carro, em um trecho retilíneo da estrada na qual trafegava, colidiu frontalmente com um poste. O motorista informou um determinado valor para a velocidade de seu veículo no momento do acidente. O perito de uma seguradora apurou, no entanto, que a velocidade correspondia a exatamente o dobro do valor informado pelo motorista. Considere E_{c1} a energia cinética do veículo calculada com a velocidade informada pelo motorista e E_{c2} aquela calculada com o valor apurado pelo perito. A razão E_{c1}/E_{c2} corresponde a:

(a) 1/2
(b) 1/4
(c) 1
(d) 2

21. (ENEM) Um carro solar é um veículo que utiliza apenas a energia solar para a sua locomoção. Tipicamente, o carro contém um painel fotovoltaico que converte a energia do Sol em energia elétrica, que, por sua vez, alimenta um motor elétrico. A imagem mostra o carro solar Tokai Challenger, desenvolvido na Universidade de Tokai, no Japão, e que venceu o World Solar Challenge de 2009, uma corrida internacional de carros solares, tendo atingido uma velocidade média acima de 100 km/h.

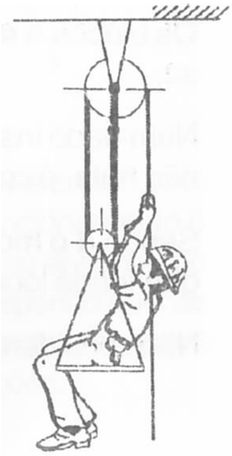


Considere uma região plana onde a insolação (energia solar por unidade de tempo e de área que chega à superfície da Terra) seja de 1000 W/m^2, que o carro solar possua massa de 200 kg e seja construído de forma que o painel fotovoltaico em seu topo tenha uma área de 9,0 m2 e rendimento de 30%.

Desprezando as forças de resistência do ar, o tempo que esse carro solar levaria, a partir do repouso, para atingir a velocidade de 108 km/h é um valor mais próximo de:

(a) 1,0 s
(b) 4,0 s
(c) 10 s
(d) 33 s
(e) 300 s

22. (ITA) Um homem cuja massa é 70 kg está sentado sobre um andaime pendurado num sistema de roldanas, Ele se eleva puxando a corda que passa pela roldana fixa, conforme mostra a figura.



Considerando $g = 9{,}81$ m/s^2, desprezando os atritos, resistências e a massa do andaime e supondo que o homem se eleva muito lentamente, calcular:

(a) a força que ele precisa exercer.

(b) o acréscimo em sua energia total quando ele se eleva de 50 cm.

(c) o deslocamento do ponto de aplicação de cada uma das forças aplicadas ao sistema homem + andaime e, a partir daí, o trabalho de cada uma dessas forças.

7 Gabarito

1. 48 m.

2. (a) $x = 4800$ m. $\Delta x = 0$. (b) 250 N.

3. (a) $-0{,}25$ m/s^2. (b) 22,5 N. (c) 900 kJ.

4. Item (c): B, menor, igual.

5. Item (b): menor potência.

6. 50 W.

7. (a) 40 s. (b) $F_1 = 32$ N e $F_2 = 16$ N. (c) 0. (d) 0.

8. (a) $W = -160$ kJ. (b) $P = 22{,}4$ kW.

9. (a) 5000 m^3/s. (b) 2000 mm.

10. $h = 10$ m.

11. Item (a).

12. Item (a).

13. 4 m.

14. 60 cm.

15. 6,0 m/s.

16. Item (c): $2mgh/(h - L)^2$.

17. Item (d): 3.000 J.

18. Soma dos itens corretos: 39. Item 01: Correto. Item 02: Correto. Item 04: Correto. Item 08: Incorreto. Item 16: Incorreto. Item 32: Correto. Item 64: Incorreto.

19. Item (a): 0 m/s.

20. 1/4.

21. Item (d): 33 s.

22. (a) 229 N. (b) 343 J. (c) 0,5 m. Trabalho realizado pelas forças que atuam sobre o homem: $W_P = -343$ J, $W_N = 229$ J e $W_T = 114{,}5$ J. Trabalho realizado pelas forças que atuam sobre o andaime: $W_N = -229$ J, $W_{2T} = 229$ J.