

## Trabalho e Potência

Trabalho de força constante .....	2
1.    Conceito de trabalho .....	2
2.    Trabalho do peso ao subir uma escada comparado ao dos pesos do halterofilista .....	2
3.    (RHK 11.P.2) Trabalho do peso e da tração ao baixar um corpo por uma corda.....	2
4.    (RHK 11.E.1). Trabalho das várias forças ao empurrar uma caixa sobre o chão.....	2
5.    (RHK11.E.2) Trabalho da força a partir da cinemática em uma dimensão, formal .....	2
6.    (Probl. Resolvido – 11.2 RHK) Trabalho da força que puxa um trenó a partir da cinemática .....	2
7.    (RHK11.E.4) Trabalho da força que empurra um bloco sobre o chão a partir da cinemática .....	3
Potência.....	3
8.    (HRK 10.Q.10) Relação entre potência e velocidade no movimento de levantar uma caixa .....	3
9.    Potência desenvolvida por uma pessoa que sobe a escada .....	3
10.   Como subir uma escada longa .....	3
11.   Potência na evaporação de água pelas árvores .....	3
12.   Potência ao guinchar um bloco pesado.....	3
13.   Interpretação da potência – relação entre os valores instantâneo e médio .....	3
Trabalho de força variável .....	4
14.   Trabalho de uma força proporcional ao cubo da elongação .....	4
15.   Trabalha da força de uma mola comum, com parametrização adimensional.....	4
16.   (RHK11.E.22) Trabalho de força variável e conhecida com a posição, formal.....	4
17.   (RHK11.E.24) Quantificar o efeito do potencial parabólico com a elongação.....	4
18.   Trabalho da força de gravitação, quando ela varia - formal.....	4
19.   (RHK11.P.12) Trabalho da força inversamente proporcional à distância.....	5
20.   (Probl. resolvido. 11.5 RHK) Trabalho das forças no movimento de um pêndulo .....	5
Teorema do Trabalho-Energia .....	5
21.   Demonstração da relação entre trabalho e energia cinética.....	5
22.   Conceito de trabalho e sua relação com a energia cinética .....	5
23.   Partícula sob ação de força conhecida em função da posição, numérico e formal.....	5
24.   (RHK11.E.30) Partícula sob ação de força conhecida em função da posição, formal.....	6
25.   Conversão de energia potencial gravitacional em cinética – numérico.....	6
26.   Conversão trabalho em energia cinética – força dada por meio de um gráfico.....	6
27.   (Merrian e Kraige, Ex 3.110 re-escrito) Absorvedores de impacto no para-choque.....	6
28.   Importância dos detalhes na determinação da energia para encher um tanque de água.....	6

## Trabalho de força constante

### 1. Conceito de trabalho

Um elevador é suspenso pelos cabos mantendo velocidade constante. O trabalho total realizado sobre o elevador é positivo, negativo ou nulo? Explique.

### 2. Trabalho do peso ao subir uma escada comparado ao dos pesos do halterofilista

Um halterofilista ergue, com velocidade praticamente nula, uma massa de 100 kg a 2,0 m de altura, enquanto uma pessoa de 100 kg sobe, a velocidade constante, quatro lances de escada, que perfazem 12 m de altura.

Calcule, nos respectivos percursos descritos no enunciado, o trabalho da componente vertical da força:

- do halterofilista.
- da pessoa que sobe a escada.
- Explique a necessidade da hipótese *velocidade praticamente nula* do enunciado para os cálculos dos itens anteriores e comente sobre o realismo dessa hipótese *em relação aos resultados obtidos*.

### 3. (RHK 11.P.2) Trabalho do peso e da tração ao baixar um corpo por uma corda

Uma corda é usada para baixar um bloco de massa  $M$  verticalmente por uma distância  $d$ , com uma aceleração de  $g/4$ , constante e para baixo.

Determine, no percurso descrito no enunciado, o trabalho realizado pela força

- da corda no bloco.
- da gravidade.

### 4. (RHK 11.E.1). Trabalho das várias forças ao empurrar uma caixa sobre o chão

Um trabalhador empurra por 3,3 m um engradado de 52 kg sobre um assoalho horizontal com uma força de 190 N e inclinada em  $22^\circ$  para baixo da horizontal.

Determine, no percurso descrito no enunciado, o trabalho realizado pela força que atua sobre o engradado devida

- ao trabalhador.
- à gravidade.
- à reação normal do assoalho.

### 5. (RHK11.E.2) Trabalho da força a partir da cinemática em uma dimensão, formal

Um objeto com 106 kg é inicialmente posto em movimento em linha reta e horizontal com velocidade igual a 51 m/s e depois parado com desaceleração uniforme.

Determine a força necessária, a distância que o objeto percorre e o trabalho realizado pela força aplicada no objeto desde o início de sua atuação até parar, quando o módulo da aceleração desse objeto vale

- 1,97 m/s<sup>2</sup>
- 4,8 m/s<sup>2</sup>

### 6. (Probl. Resolvido – 11.2 RHK) Trabalho da força que puxa um trenó a partir da cinemática

Um garoto puxa um trenó de 5 kg por 10 m ao longo de uma superfície horizontal com velocidade constante. O coeficiente de atrito cinético entre o trenó e a neve é  $\mu_c = 0,2$  e o ângulo formado pela corda e a horizontal é  $\theta = 45^\circ$ .

**Determine** o trabalho da força do garoto sobre o trenó nesse deslocamento.

## 7. (RHK11.E.4) Trabalho da força que empurra um bloco sobre o chão a partir da cinemática

Um trabalhador empurrou um bloco de 27 kg por uma distância de 9,5 m ao longo de um assoalho horizontal, com velocidade constante, aplicando-lhe uma força inclinada em  $32^\circ$  para baixo da horizontal. O coeficiente de atrito cinético é 0,20.

**Determine** o trabalho da força do homem no trajeto mencionado.

## Potência

## 8. (HRK 10.Q.10) Relação entre potência e velocidade no movimento de levantar uma caixa

A potência necessária para elevar uma caixa até uma plataforma depende da velocidade com que ela é levantada?

## 9. Potência desenvolvida por uma pessoa que sobe a escada

Uma mulher de 57 kg sobe um lance de escadas, elevando-se de 4,5 m em 3,5 s.

**Determine** a potência média que ela desenvolve. (Obs.: estes dados são irrealistas, verifique!)

## 10. Como subir uma escada longa

Como ainda não estamos livres dos apagões, é bom saber como subir escadas longas. Considere que um ser humano consegue desenvolver no máximo 100 W de energia mecânica com as pernas por um tempo longo.

**Determine** a velocidade adequada para subir uma escada com muitos degraus na condição do enunciado.

Dê a velocidade em degraus/segundo.

Use valores razoáveis para a massa da pessoa e as alturas de um degrau e um andar.

A escada para subir ao 10º andar de um edifício é longa - exige subir muitos degraus.

## 11. Potência na evaporação de água pelas árvores

Alega-se que até 900 kg de água podem ser evaporados diariamente pelas grandes árvores. A evaporação ocorre nas folhas e, para chegar lá, a água tem que ser elevada desde as raízes da árvore. Adote que a evaporação ocorra durante 12 horas e considere uma árvore em que a água seja elevada a 9,0 m acima do solo, em média.

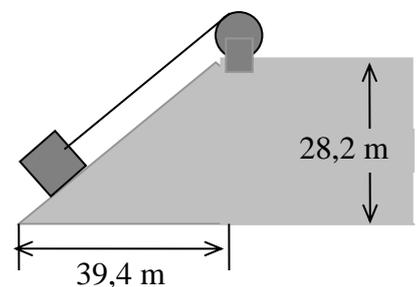
Determine, para essa quantidade de água:

- quanta energia deve ser fornecida para elevá-la.
- a potência média das forças da árvore que bombeiam a água.

## 12. Potência ao guinchar um bloco pesado

Um guincho arrasta um bloco de granito com 1380 kg a uma velocidade constante igual a 1,34 m/s sobre um plano inclinado (veja figura ao lado). O coeficiente de atrito cinético entre o bloco e o plano inclinado é 0,41.

**Determine** a potência fornecida pelo guincho.



## 13. Interpretação da potência – relação entre os valores instantâneo e médio

Considere um gráfico da potência instantânea  $P$  contra o tempo  $t$ , com o eixo vertical da potência começando em  $P = 0$ . Qual o significado físico da área da curva de  $P$  contra  $t$  entre duas linhas verticais em  $t_1$  e  $t_2$ ? Como você poderia achar a potência média nesse gráfico? Faça um gráfico  $P$  contra  $t$  consistindo de duas seções de linhas retas e para o qual a potência máxima seja igual ao dobro da potência média.

## Trabalho de força variável

### 14. Trabalho de uma força proporcional ao cubo da elongação

Uma mola “rígida” tem uma lei de força dada por  $F = -kx^3$ . O trabalho necessário para distender a mola desde a sua posição relaxada  $x = 0$  até o comprimento distendido  $x = \ell$  é  $W_0$ .

**Determine** o trabalho necessário para estender a mola desde o comprimento distendido  $\ell$  até o comprimento  $3\ell/2$ ; dê sua resposta em função de  $W_0$ .

### 15. Trabalho da força de uma mola comum, com parametrização adimensional

A força aplicada em um objeto tem módulo  $F = F_0 \left( \frac{x}{x_0} - 1 \right)$ , sentido e direção constantes ao longo do eixo  $x$ , com  $F_0$  e  $x_0$  constantes positivas.

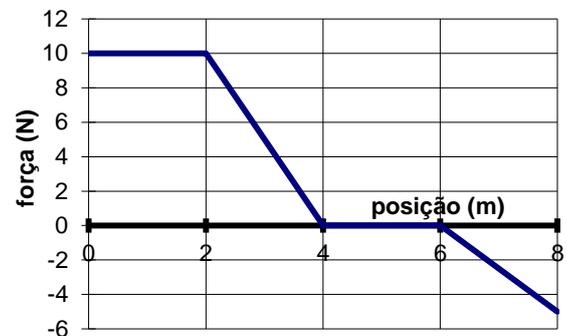
**Determine** o trabalho realizado ao mover o objeto desde  $x = 0$  até  $x = 3x_0$ .

### 16. (RHK11.E.22) Trabalho de força variável e conhecida com a posição, formal

Um bloco de 5,0 kg se move em linha reta sobre uma superfície horizontal sem atrito sob influência de uma força que varia com a posição, como mostra o gráfico ao lado.

Determine:

- o trabalho realizado por essa força quando o bloco se move desde a origem até a posição  $x = 8,0$  m.
- se o resultado do item anterior depende da velocidade inicial do bloco, quando ela é positiva.
- se o problema tem sentido quando a velocidade inicial é negativa.



### 17. (RHK11.E.24) Quantificar o efeito do potencial parabólico com a elongação

Uma mola tem constante elástica igual a 15,0 N/cm.

Determine o valor mínimo do trabalho de uma força externa que alongue a mola em 7,60 mm a partir:

- de sua posição distendida.
- da posição em que já está alongada 7,60 mm.

### 18. Trabalho da força de gravitação, quando ela varia - formal

A força gravitacional que uma massa puntiforme  $M$ , localizada em  $r = 0$ , aplica em outra massa  $m$ , também puntiforme e localizada em  $r$  (a coordenada  $r$  é definida positiva), é dada por  $F = -(GMm/r^2)\hat{i}$ , onde  $G$  é uma constante positiva. A massa  $M$  está fixada em  $r = 0$ .

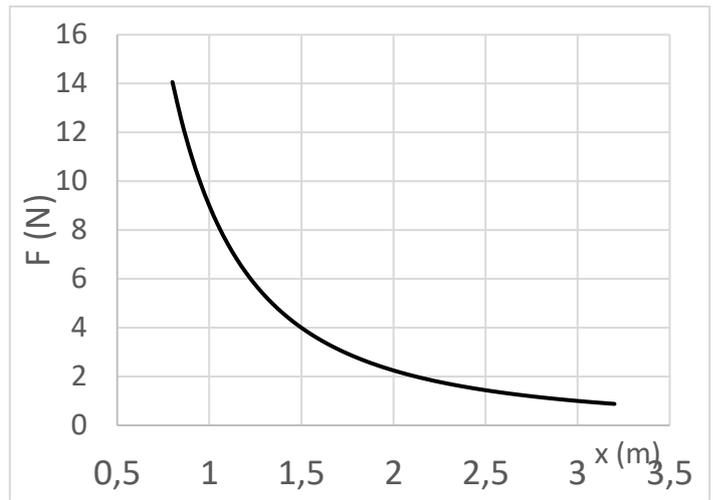
- Esboce o gráfico de  $F$  em função de  $r$ .
- Calcule o trabalho realizado pela força  $F$ , quando  $m$  é deslocada da posição inicial  $r_i$  para a posição  $r_f$ .
- Determine se o trabalho de  $F$  foi positivo ou negativo quando, no deslocamento,  $m$  se afastou de  $M$ .
- Determine se o trabalho de  $F$  foi positivo ou negativo quando, no movimento,  $m$  se aproximou de  $M$ .

## 19. (RHK11.P.12) Trabalho da força inversamente proporcional à distância

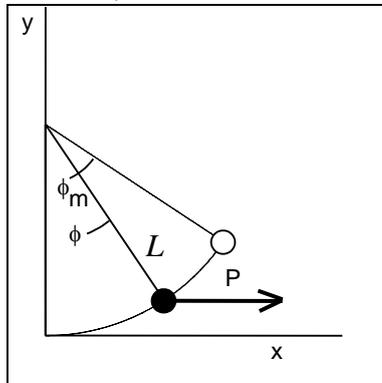
O gráfico ao lado representa a força  $F = A/x^2$ , com  $A = 9 \text{ Nm}^2$ . Uma partícula se desloca desde  $x = 1 \text{ m}$  até  $x = 3 \text{ m}$ .

Estime o trabalho realizado por essa força nesse deslocamento, calculando a integral

- numericamente, a partir de valores lidos do gráfico.
- analiticamente.



## 20. (Probl. resolvido. 11.5 RHK) Trabalho das forças no movimento de um pêndulo



Um pequeno objeto de massa  $m$  é suspenso por um fio de comprimento  $L$ , conforme figura ao lado. O objeto é puxado para o lado, a partir da posição em que o fio está na vertical, por uma força  $P$  sempre horizontal até que, finalmente, o fio forma um ângulo  $\phi_m$  com a vertical. O deslocamento é efetuado tão lentamente que se pode supor que o sistema esteja em equilíbrio durante o processo.

**Determine** o trabalho realizado nesse deslocamento por cada uma das forças que atuam no objeto.

## Teorema do Trabalho-Energia

## 21. Demonstração da relação entre trabalho e energia cinética

Demonstre o Teorema de Trabalho-Energia cinética.

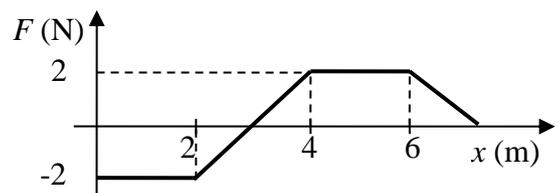
## 22. Conceito de trabalho e sua relação com a energia cinética

Pode o trabalho total realizado sobre um objeto durante um deslocamento ser negativo? Explique. Caso o trabalho total seja negativo, pode seu módulo ser maior que a energia cinética inicial do objeto? Explique.

## 23. Partícula sob ação de força conhecida em função da posição, numérico e formal

Uma partícula de massa  $m = 2 \text{ kg}$  desloca-se ao longo de uma reta. Entre  $x = 0$  e  $x = 7 \text{ m}$ , ela está sujeita a uma força  $F(x)$ , cuja intensidade está representada no gráfico.

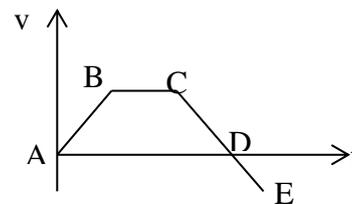
- Calcule a velocidade da partícula depois de percorrer 2, 3, 4, 6 e 7 m, sabendo que sua velocidade em  $x = 0 \text{ m}$  é de 3 m/s.
- Se no ponto  $x = 0 \text{ m}$  sua velocidade fosse 2 m/s, ela poderia chegar até o ponto  $x = 7 \text{ m}$ ? Justifique.



## 24. (RHK11.E.30) Partícula sob ação de força conhecida em função da posição, formal

Uma única força atua em uma partícula em movimento retilíneo. Um gráfico da velocidade da partícula como função do tempo é mostrado na figura ao lado.

**Determine** o sinal (positivo ou negativo) do trabalho realizado pela força sobre a partícula em cada um dos intervalos AB, BC, CD e DE.



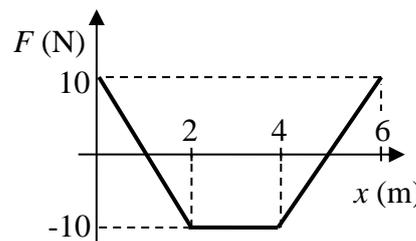
## 25. Conversão de energia potencial gravitacional em cinética – numérico

De que altura um automóvel de 1270 kg teria que cair para ganhar a energia cinética equivalente à que ele teria ao viajar a 88,5 km/h? A resposta depende do peso do carro?

## 26. Conversão trabalho em energia cinética – força dada por meio de um gráfico

Um corpo de massa  $m = 2$  kg se desloca ao longo de uma reta (eixo  $x$ ), sob a ação de uma única força, cuja componente  $x$  tem a intensidade mostrada no gráfico.

- Se o corpo for lançado da origem com uma velocidade  $v_x = 5$  m/s, com que velocidade atingirá o ponto  $x = 5$  m?
- Se o corpo for abandonado em  $x = 2$  m, qual será a sua velocidade após percorrer 2 m? Em que sentido será o movimento?



## 27. (Merriam e Kraige, Ex 3.110 re-escrito) Absorvedores de impacto no para-choque

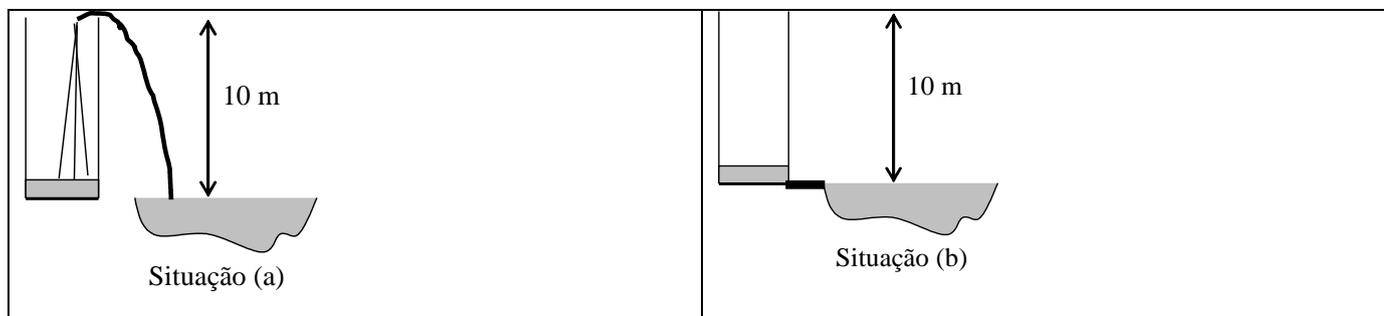
O para-choque com molas de um carro é projetado de modo a absorver o impacto de outro veículo a 9 km/h e com 1500 kg; uma colisão dessas comprimirá cada uma das duas molas idênticas, escondidas no interior do para-choque, em 15 cm. O veículo sofre um choque frontal, e as molas não estão deformadas no início da batida.

**Determine** a constante de força de cada mola.

## 28. Importância dos detalhes na determinação da energia para encher um tanque de água

Um tanque de água cilíndrico com 10 m de altura tem uma capacidade de  $1000 \text{ m}^3$ . Ele é preenchido com água de um grande lago cuja superfície está na mesma altura que o fundo do tanque. Duas formas diferentes podem ser usadas para o preenchimento do tanque:

- elevar a água até à boca do tanque, a 10 m de altura e com velocidade praticamente nula, e despejá-la.
- empurrar a água, a velocidade praticamente nula, por uma conexão no fundo do tanque,



Calcule o trabalho realizado ao encher o tanque

- pela força que eleva a água na forma i)
- pela força que empurra a água na forma ii).
- O valor obtido em b) é menor que a), o que indica que na condição descrita em a) foi usada mais energia que a necessária para preencher o tanque. O que aconteceu com a energia excedente