

Introdução à Dinâmica

Física 1 | AULAS: 15 e 16

Competência(s):
5 e 6

Habilidade(s): 17 e 20

1. As leis de Newton

Os estudos de dinâmica se concentram nas causas que geram ou interrompem o movimento. Sendo mais uma área da mecânica clássica, as teorias sobre a dinâmica são baseadas principalmente nos trabalhos de Isaac Newton. Em 1687, foi publicada a obra *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural*, livro em que ele descreveu os movimentos através das famosas leis de Newton. Apesar disso, a construção da Física aconteceu e acontece com a contribuição de diversos cientistas e não de trabalhos individuais específicos.



ISAAC NEWTON (1643-1727)

2. Conceitos preliminares

Inércia: um ponto material tem a tendência a manter sua velocidade, seja ela nula ou não nula.

Força: grandeza física que atua na modificação da velocidade de um corpo ou na causa de formação. Se um corpo não está sujeito a nenhuma força, dado um referencial, seu movimento é constante, seja com velocidade nula ou não. Se o corpo tem forças atuando sobre si, a aceleração é não nula e sua velocidade é variável, diferente de zero.

3. Primeira Lei de Newton ou Lei da Inércia

A 1ª Lei de Newton foi enunciada da seguinte forma:

“Todo corpo continua em seu estado de repouso ou de movimento uniforme em uma linha reta, a menos que uma força atue sobre ele.”

A inércia foi definida por Newton como um poder de resistir, através do qual todo corpo, estando em um determinado estado, manterá esse estado, seja ele de repouso ou de movimento retilíneo uniforme. Mas é estranho para nós essa ideia, pois é preciso desconsiderar quaisquer forças dissipativas, bem como as forças de atração gravitacional, porém, no cotidiano não temos essas possibilidades. Ainda assim, a Lei da Inércia pode ser estudada em situações do dia a dia.

3.1. Aplicação 1: 1ª Lei de Newton

Vamos pensar na seguinte situação: os passageiros dentro de um ônibus em movimento com velocidade constante e em linha reta. Apesar de estarem em repouso em relação ao ônibus, os passageiros estão em movimento retilíneo uniforme em relação ao solo. Ao frear bruscamente, os passageiros se sentem “empurrados” para a frente, como na figura a seguir. Esse empurrão ocorre por causa da tendência dos corpos de continuarem no mesmo estado de movimento, a inércia dos corpos



Caso o ônibus estivesse inicialmente em repouso, ocorreria um efeito semelhante. Se o ônibus arrancasse e saísse em movimento acelerado, a sensação dos passageiros seria a de serem "jogados" para trás, assim como na imagem anterior. Novamente, pela inércia dos corpos, os passageiros "tentariam" se manter em movimento em relação ao solo, opondo-se à mudança de estado.

3.2. Aplicação 2: 1ª Lei de Newton

A sensação que temos quando estamos dentro de um veículo em movimento que começa a fazer uma curva também é explicada pela inércia. Nesse caso, os passageiros costumam ser "espremidos" contra as laterais do carro, sem que haja uma força lhes empurrando, isso porque, segundo a Lei da Inércia, tendem a continuar em movimento retilíneo uniforme.



Multiplataformas: Vídeo

A inércia em uma pista de testes
| Manual do Mundo



4. 2ª Lei de Newton ou Princípio Fundamental da Dinâmica

Empiricamente, é possível constatar que, aplicando uma mesma força a um carrinho de brinquedo e um carro de verdade, teremos acelerações diferentes, sendo bem maior no carrinho de brinquedo. E por qual motivo isso acontece? A explicação fica por conta da 2ª Lei de Newton, o Princípio Fundamental da Dinâmica, que diz que a força resultante ($\vec{F}_R$) aplicada em um corpo, pode ser expressa pelo produto entre massa e aceleração.

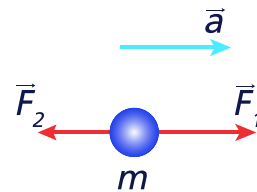
$$\vec{F}_R = m \cdot \vec{a}$$

Dessa expressão, devemos tirar a noção de que a força resultante e a aceleração têm mesma direção e sentido. Além disso, ao determinarmos o módulo da força, podemos analisar apenas a expressão $F_R = m \cdot a$, em que:

- F_R : módulo da força resultante que atua sobre o corpo;
- m : massa do corpo;
- a : módulo da aceleração do corpo.

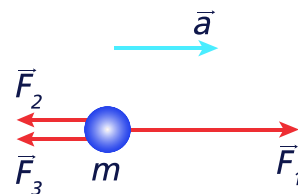
A força deve ser a soma resultante, pois, em diversas situações, iremos nos deparar com mais uma força sendo aplicada ao corpo. Assim, é válido relembrar algumas situações:

Situação 1:



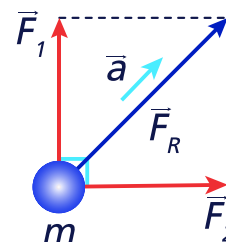
$$\begin{aligned}\vec{F}_r &= m\vec{a} \\ F_r &= F_1 - F_2 \\ F_1 - F_2 &= ma\end{aligned}$$

Situação 2:

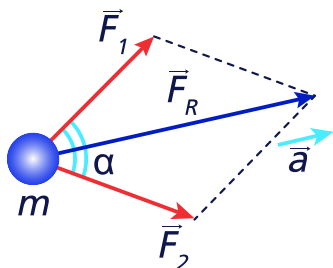


$$\begin{aligned}\vec{F}_r &= m\vec{a} \\ F_r &= F_1 - F_2 - F_3 \\ F_1 - F_2 - F_3 &= ma\end{aligned}$$

Situação 3:



$$\begin{aligned}\vec{F}_R &= m\vec{a} \\ F_R^2 &= F_1^2 + F_2^2\end{aligned}$$

Situação 4:

$$\vec{F}_R = m\vec{a}$$

$$F_R^2 = F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2\cos\alpha$$

A unidade de força no SI é o Newton (N). O valor de 1 N corresponde à força necessária para acelerar uma massa de 1 kg a 1 m/s².

$$F = ma \Rightarrow 1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot 1 \text{ m/s}^2$$

4.1. Aplicação: 2ª Lei de Newton

Vamos analisar essa questão do G1 – IFCE, do ano de 2020:

A segunda lei de Newton afirma que o módulo da aceleração adquirida por um corpo é proporcional à intensidade da força resultante sobre ele e inversamente proporcional à sua massa. Assim, observando a figura abaixo e admitindo que a superfície seja horizontal, a aceleração da caixa retangular, sabendo que sua massa é de 2,5 kg e as forças F_1 e F_2 são horizontais e opostas, em m/s², é igual a



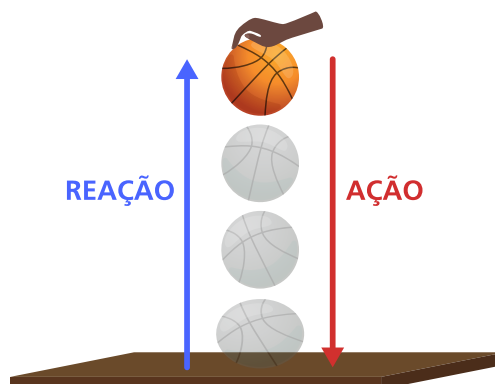
- a) 8,0.
- b) 7,0.
- c) 6,0.
- d) 5,0.
- e) 4,0.

Nessa questão, temos o simples caso de aplicação de forças na mesma direção, no entanto, com sentidos opostos. Dessa forma, a força resultante se dá pelo caso número 1, entre as imagens anteriores. Por isso, teremos:

$$F_R = ma \Rightarrow F_2 - F_1 = ma \Rightarrow 32 - 12 = 2,5 a \Rightarrow a = 8 \text{ m/s}^2$$

5. Terceira Lei de Newton ou Lei da Ação e Reação

Observe as situações a seguir:



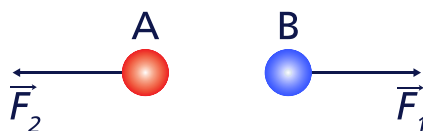
Na primeira imagem, temos uma bola de basquete quicando no chão. Nessa situação, a bola aplica uma força no solo que, por sua vez, aplica uma força na bola que a faz voltar para a mão do jogador.

Na segunda imagem, vemos uma famosa cena de desenhos animados, na qual uma bala de canhão é arremessada. Esse arremesso gera uma reação que empurra o canhão para trás.

Na terceira imagem, temos um foguete que libera gases em combustão para um sentido enquanto o módulo espacial movimenta-se em sentido contrário.

Em todos esses casos, temos algo em comum: a 3ª Lei de Newton, conhecida com Ação e Reação. Assim, pode-

mos analisar as situações de forma geral, supondo dois corpos, A e B. Se A exerce uma força $\vec{F}_1$ sobre B, em forma de reação, uma força $\vec{F}_2$ será exercida de B sobre A, como no esquema abaixo:



As características dessas forças seguem o seguinte padrão:

- Ambos têm módulo igual, assim, representamos por $|\vec{F}_1| = |\vec{F}_2|$;
- $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_2$ têm mesma direção;
- $\vec{F}_1$ e $\vec{F}_2$ têm sentidos opostos.

A 3ª Lei de Newton não tem uma fórmula ao certo, mas pode ser representada matematicamente como:

$$|\vec{F}_1| = - |\vec{F}_2|;$$

Observação: esse sinal de menos caracteriza o sentido oposto entre as forças. Além disso, nenhuma delas pode ser chamada de ação e a outra reação, pois acontecem simultaneamente.



Multiplataformas: Vídeo

Experimentos das 3 Leis de Newton para fazer em casa!



Aplicações Práticas

1. (Famema 2023) Considere uma caixa em repouso no centro do tampo horizontal de uma mesa. A permanência do repouso justifica-se porque

- o peso da caixa é vertical e para baixo.
- a resultante das forças sobre a caixa é nula.
- a inércia da caixa é nula.
- não atuam forças sobre a caixa.
- o atrito sobre a caixa é estático.

Resposta:

[B]

De acordo com a 1ª lei de Newton (princípio da inércia), se um corpo está em repouso ou em movimento retilíneo e uniforme, a resultante das forças agindo sobre ele é nula.

2. (G1 - ifce 2019) Um corpo de massa 3 kg encontra-se em repouso sobre uma trajetória retilínea. Sob ação de uma força resultante, constante, atinge, após 8 segundos, a velocidade de 144 km/h. A intensidade da força resultante que age no corpo, em N, é

- 3.
- 12.
- 9.
- 6.
- 15.

Resposta:

[E]

Pelo Princípio Fundamental da Dinâmica, a força resultante é:

$$F_r = m \cdot a$$

Assim como a força resultante, a aceleração também é constante e a obtemos com a equação da velocidade em função do tempo:

$$v = v_0 + a \cdot t$$

Passando a velocidade final aos 8 segundos para m/s e colocando na equação:

$$v = 144 \frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot \frac{1 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{3,6 \frac{\text{km}}{\text{h}}} \therefore v = 40 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Assim,

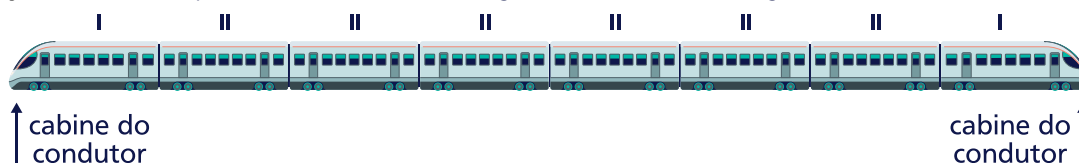
$$a = \frac{v - v_0}{t} = \frac{40 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{8 \text{s}} \therefore a = 5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Finalmente, com a aceleração podemos obter a força resultante.

$$F_r = m \cdot a \Rightarrow F_r = 3 \text{kg} \cdot 5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \therefore F_r = 15 \text{N}$$

TEXTO PARA A PRÓXIMA QUESTÃO:

Características da composição			
Geral	aceleração constante		1,10 m/s ²
	desaceleração constante		1,25 m/s ²
	quantidade de vagões	tipo I	2
		tipo II	6
	massa média por passageiro		60 kg
Por vagão	comprimento médio		22,0 m
	largura		3,00 m
	altura		3,60 m
	massa	tipo I	38.000 kg
		tipo II	35.000 kg
	capacidade máxima		8 passageiros/m ²

3. (Uerj 2019) Uma composição de metrô, com oito vagões, está ilustrada na imagem abaixo.

Considerando as massas de cada tipo de vagão, e desprezando as forças de atrito, estime, em newtons, a força resultante que atua na composição quando ela se desloca sem passageiros e com aceleração constante.

Resposta:

De acordo com os dados fornecidos no início da prova, temos:

Massa da composição:

$$M = 2 \cdot 38000 + 6 \cdot 35000$$

$$M = 286000 \text{ kg}$$

Sendo assim, a força resultante será:

$$FR = m \cdot a = 286000 \cdot 1,1$$

$$\therefore FR = 314600 \text{ N}$$

4. (Ufrn) Em Tirinhas, é muito comum encontrarmos situações que envolvem conceitos de Física e que, inclusive, têm sua parte cômica relacionada, de alguma forma, com a Física.

Considere a tirinha envolvendo a “Turma da Mônica”, mostrada a seguir.



Supondo que o sistema se encontra em equilíbrio, é correto afirmar que, de acordo com a Lei da Ação e Reação (3ª Lei de Newton),

- a) a força que a Mônica exerce sobre a corda e a força que os meninos exercem sobre a corda formam um par ação-reação.
- b) a força que a Mônica exerce sobre o chão e a força que a corda faz sobre a Mônica formam um par ação-reação.
- c) a força que a Mônica exerce sobre a corda e a força que a corda faz sobre a Mônica formam um par ação-reação.
- d) a força que a Mônica exerce sobre a corda e a força que os meninos exercem sobre o chão formam um par ação-reação.

Resposta:

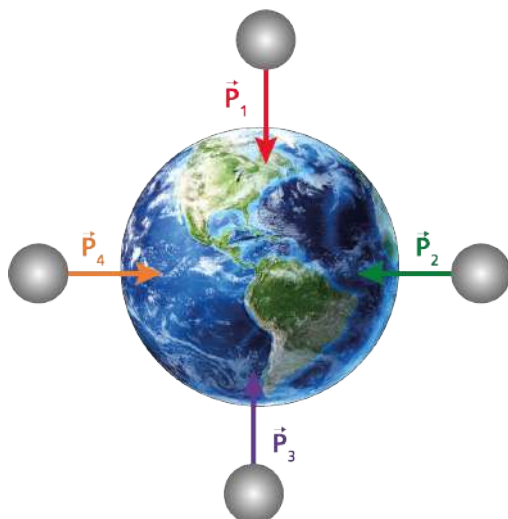
[C]

A Lei da Ação e Reação (3ª Lei de Newton) afirma que as forças do par Ação-Reação:

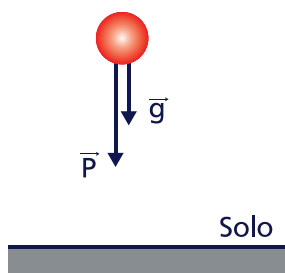
- São da mesma interação (Mônica-corda);
- Agem em corpos diferentes (uma na Mônica e a outra na corda), portanto não se equilibram, pois agem em corpos diferentes;
- São recíprocas (Mônica na corda/corda na Mônica) e simultâneas;
- Têm mesma intensidade, mesma direção e sentidos opostos.

6. Peso de um corpo

Como vimos na 2ª Lei de Newton, um corpo dotado de massa e aceleração sofre ação de uma força. Se pensarmos em um objeto que esteja bem próximo à Terra de tal forma ele seja submetido à sua atração gravitacional, este também sofre ação de uma força. Nesse caso, a aceleração é a aceleração da gravidade (g) e nomeamos tal força como força Peso.



Como é possível observar na figura, cada força tem uma direção e um sentido diferente, apesar de todas apontarem para o centro da Terra. No entanto, em uma região relativamente pequena na superfície do planeta, a direção e o sentido dessa força é o que aponta para o centro da Terra, numa perpendicular ao plano do chão, como no esquema a seguir:



Dado um corpo de massa m abandonado a uma determinada altura do solo, se desconsiderarmos quaisquer forças dissipativas, teremos a situação em que a única força que age sobre o corpo é resultante força peso $\vec{P}$. Dado também que a aceleração do corpo durante a queda e a aceleração da gravidade, com a auxílio da 2ª Lei de Newton, definimos a força peso como:

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

$$\vec{P} = m \cdot \vec{g}$$

O valor de g dependerá exclusivamente do local em que estamos fazendo a análise. Na Terra, na Lua ou em outros planetas e satélites, g tem variação em seu módulo.



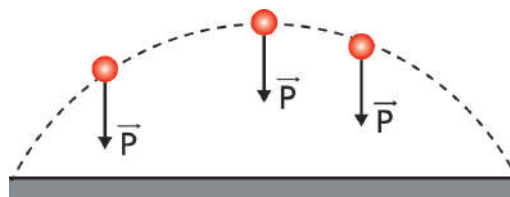
Interdisciplinaridade

É de senso comum utilizarmos a palavra peso quando nos referimos a nossa massa. Quando perguntam nosso peso, outro erro conceitual da física acontece, pois, quando respondemos, algo como a frase a seguir é dita: "Eu peso 70 quilos".

O peso é uma força que, por sua vez, é uma grandeza vetorial, enquanto a massa é uma grandeza escalar. O correto seria perguntar a massa da pessoa, pois o peso seria necessário fazer os cálculos com o valor da aceleração da gravidade e responder em unidades de força. Além disso, a massa também não pode ser respondida em quilos, apenas. Quilo é um prefixo que representa uma grandeza sendo multiplicada por 1000. A unidade de massa mais comum é o grama, portanto, a resposta do nosso exemplo seria 70 quilogramas, caso fosse perguntado sua massa, e, aproximadamente 700 N, se fosse perguntando o peso na Terra.

6.1. A força-peso e o lançamento de projéteis

Durante um lançamento horizontal ou um lançamento balístico, se desprezarmos as forças dissipativas do ar, teremos como resultante das forças que agem sobre o objeto lançado, a força peso. Supondo um alcance pequeno no lançamento, em relação ao tamanho da Terra, a direção do peso é vertical, como na figura a seguir. Desse modo, o peso é a força que age resultando na aceleração do corpo nessa componente do movimento. Já na direção horizontal não há forças e, por esse motivo, a velocidade em relação a x ($\vec{V}_{0x}$) é constante.



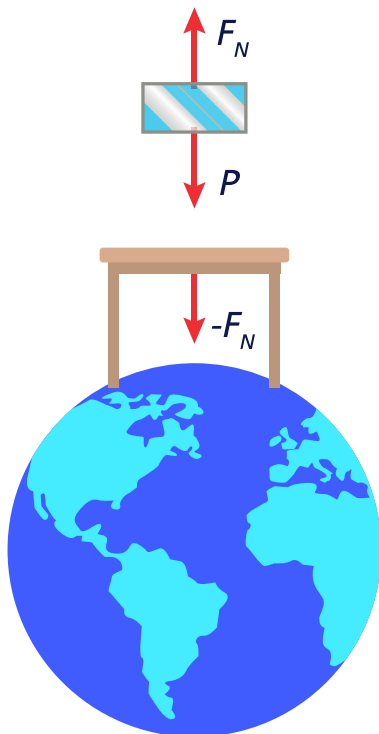
6.2. O quilograma-força

No Sistema Internacional de Medidas, o SI, a unidade de força é o Newton (N). Contudo, a força nada mais é que o produto entre a massa, dada em quilogramas (kg) e a aceleração, dada em metros por segundo ao quadrado (m/s^2). É comum vermos então a unidade $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Mas uma outra unidade também é vista o **quilograma-força**, ou o kgf. O quilograma-força é a intensidade de uma força igual à intensidade do peso de um corpo de massa 1 kg, considerando o valor da aceleração da gravidade $g = 9,80665 \text{ m/s}^2$. Daí, teremos:

$$\begin{array}{ccccc} P & = & m & \cdot & g \\ \downarrow & & \downarrow & & \downarrow \\ 1 \text{ kgf} & = & (1 \text{ kg}) & \cdot & (9,80665 \text{ m/s}^2) \\ 1 \text{ kgf} & = & 9,80665 \text{ N} & \text{ ou } & 1 \text{ kgf} \approx 9,81 \text{ N} \end{array}$$

7. Força Normal

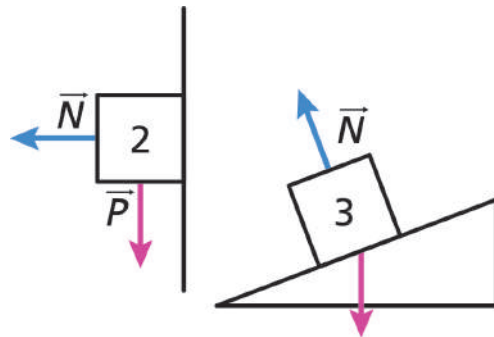
Vamos considerar o esquema a seguir, em que temos uma mesa apoiada sobre a Terra e, sobre a mesa, um bloco. A Terra aplica sobre o bloco uma força $\vec{P}$. Como reação à ação dessa força, o bloco aplica na Terra uma força igual e de sentido oposto: $-\vec{P}$



Entretanto, outra força de contato está presente nessa situação, pois o bloco exerce uma força de compressão sobre a mesa, e como anteriormente, pela 3ª Lei de Newton, a mesa aplica uma força sobre o bloco. As forças $\vec{P}$ e $-\vec{P}$ formam um par ação-reação, assim como o par $\vec{N}$ e $-\vec{N}$.

Essa força de contato será chamada de **força normal**, pois sua direção é perpendicular à superfície de contato, ou seja, ela é "normal" à superfície. Em geral, utilizamos o esquema simplificado de forças, em que aparecem apenas a força peso e a força normal aplicada pela mesa sobre o corpo.

Observação: Peso e Normal não fazem par ação-reação, como é comum pensarmos, uma vez que as duas forças estão no mesmo corpo e, para formar par ação-reação, cada um deve estar em um corpo diferente. Além disso, temos estas outras situações que mostram Peso e Normal com direções diferentes, o que colabora para anular essa possibilidade:



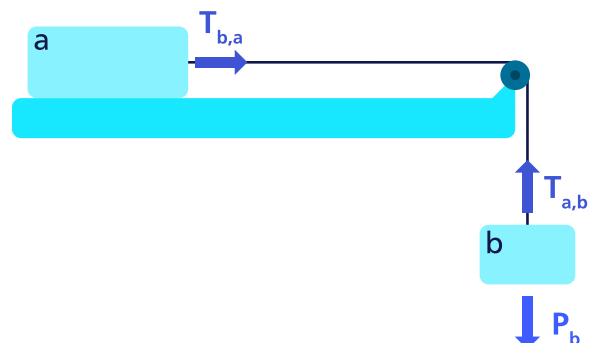
8. Sistema de corpos

Sistema de corpos são vistos em todas as situações em que mais de um corpo é envolvido. Esses casos mais complexos requerem uma análise mais atenta para as forças atreladas a cada um dos corpos associados no sistema.



8.1. Força de tração ou tensão em um fio

Se uma força é aplicada utilizando um fio, temos uma nova situação. Diferente das forças de contato, a tração utiliza um fio, cujo objetivo é transmitir forças e gerar o movimento. Observe o esquema a seguir:



Sendo assim, considerando um fio ideal, ou seja, inextensível (que não estica) e de massa desprezível, as forças de contato em seus extremos têm a mesma intensidade T e são chamadas forças de tração. Nessa situação apresentada, o bloco b puxa o bloco a com seu peso, a partir da corda que transmite essa força entre os blocos. A questão é que o bloco a também puxa o bloco b , com mesma intensidade e, já que o fio é ideal, a equação se simplifica:

$$T_{ab} - T_{ba} = 0$$

OU

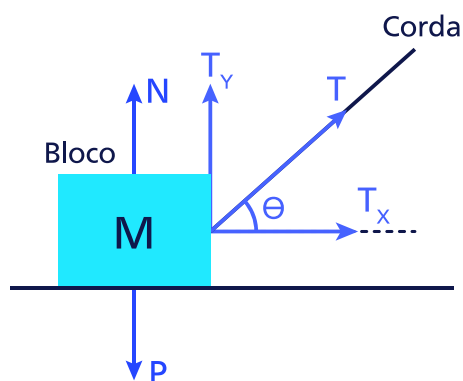
$$T_{ab} = T_{ba}$$

Portanto, fazendo $T_{ab} = T_{ba} = T$.

Um outro esquema muito utilizado aparece quando temos duas caixas, conectadas por um fio ideal, sendo puxadas por outro fio ideal. Na prática, o esquema simplificado mostra as forças que atuam nos blocos:



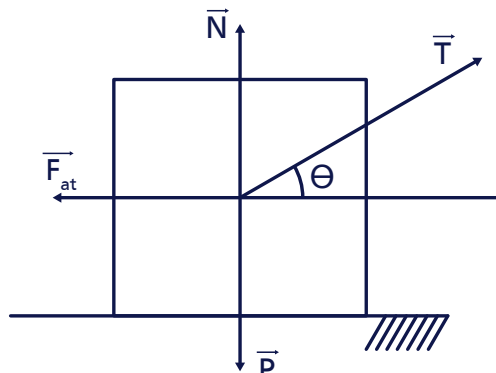
Caso haja uma inclinação nessa corda, de forma que o bloco seja puxado por uma força não paralela ao chão, devemos nos lembrar de decompor essas forças:





Aplicações Práticas

1. (Fuvest-Ete 2022) Uma força de tração T é aplicada em um ângulo $0 < \theta < 90^\circ$ sobre um bloco de peso P , que permanece em repouso. Estão agindo também a força normal N e uma força de atrito F_{at} , conforme mostrado no diagrama:



Indique a alternativa que relaciona corretamente as forças F , P , N e F_{at} :

Note e Adote:

Assuma as direções e sentidos das forças conforme desenhado, mas as magnitudes são arbitrárias e não representadas em escala.

a) $T > F_{at}$ e $N < P$

b) $T < F_{at}$ e $N = P$

c) $T = F_{at}$ e $N = P$

d) $T = F_{at}$ e $N > P$

e) $T < F_{at}$ e $N < P$

Resposta:

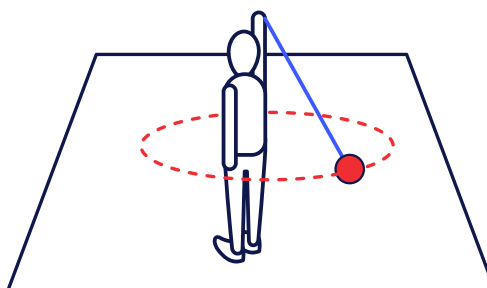
[A]

Dado que o bloco se encontra em repouso, devemos ter:

$$T \cos \theta = F_{at} \Rightarrow T > F_{at}$$

$$N + T \sin \theta = P \Rightarrow N < P$$

2. (Unesp 2022) Um garoto gira uma esfera de 500 g ao redor de seu corpo, mantendo o braço esticado na vertical e segurando um fio ideal de comprimento 65 cm, conforme a figura. A esfera gira em uma trajetória circular contida em um plano horizontal de raio de curvatura 60 cm.



Adotando $g = 10 \text{ m/s}^2$ e desprezando a resistência do ar, a intensidade da força de tração que atua no fio é

a) 18 N.

b) 12 N.

c) 13 N.

d) 15 N.

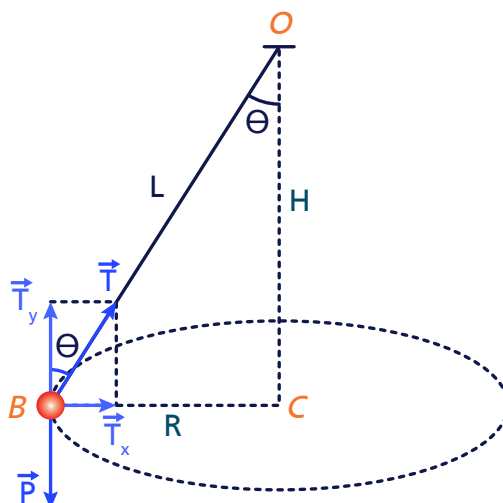
e) 8 N.

Resposta:

[C]

O sistema esfera-fio constitui um pêndulo cônico, como ilustrado na figura.

Dados: $L = 65 \text{ cm}$, $R = 60 \text{ cm}$, $m = 500 \text{ g} = 0,5 \text{ kg}$ e $g = 10 \text{ m/s}^2$.



Aplicando Pitágoras ao triângulo OCB:

$$H^2 + R^2 = L^2 \Rightarrow H^2 = 65^2 - 60^2 = 4.225 - 3.600 \Rightarrow H = \sqrt{625} \Rightarrow \boxed{H = 25\text{cm}}$$

Como o movimento se dá num plano horizontal, as forças verticais se equilibram. Assim:

$$T_y = P \Rightarrow T \cos \theta = mg \Rightarrow T = \frac{mg}{\cos \theta} \Rightarrow T = \frac{mg}{H/L} \Rightarrow T = \frac{mgL}{H} \Rightarrow$$

$$T = \frac{0,5 \times 10 \times 65}{25} \Rightarrow \boxed{T = 13\text{N}}$$

3. (Famerp 2020) Em um local em que a aceleração gravitacional vale 10 m/s^2 , uma pessoa eleva um objeto de peso 400 N por meio de uma roldana fixa, conforme mostra a figura, utilizando uma corda que suporta, no máximo, uma tração igual a 520 N .



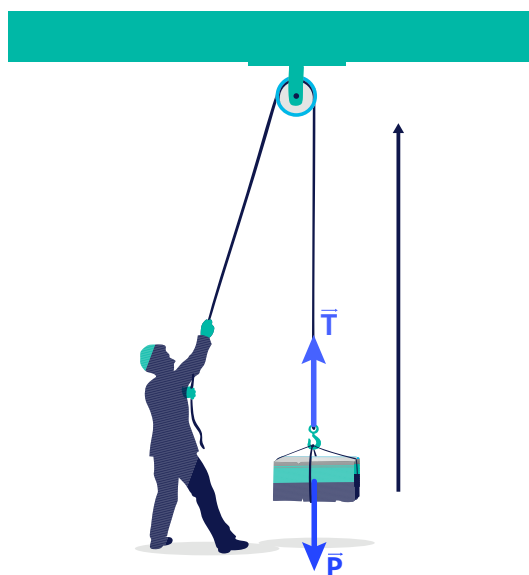
A máxima aceleração que a pessoa pode imprimir ao objeto durante a subida, sem que a corda se rompa, é

- a) $6,0 \text{ m/s}^2$. b) 13 m/s^2 . c) $8,0 \text{ m/s}^2$. d) $2,0 \text{ m/s}^2$.
e) $3,0 \text{ m/s}^2$.

Resposta:

[E]

De acordo com o diagrama de corpo livre abaixo, podemos utilizar o Princípio Fundamental da Dinâmica:



$$F_R = m \cdot a$$

$$T - P = m \cdot a$$

$$a_{\max} = \frac{T_{\max} - P}{m}$$

$$a_{\max} = \frac{520 \text{ N} - 400 \text{ N}}{40 \text{ kg}} = \frac{120 \text{ N}}{40 \text{ kg}} \therefore a_{\max} = 3 \text{ m/s}^2$$

