

Finalmente, no intervalo de 7 s a 8 s, a aceleração é negativa – o vetor aceleração tem sentido oposto ao do vetor velocidade – e o elevador está freando (podemos dizer que o elevador está retardando, ou, ainda, desacelerando).

Os esquemas abaixo mostram a sensação do passageiro quanto ao efeito da aceleração sob seu corpo, ao detectar a aceleração. (Fig. 3.18)

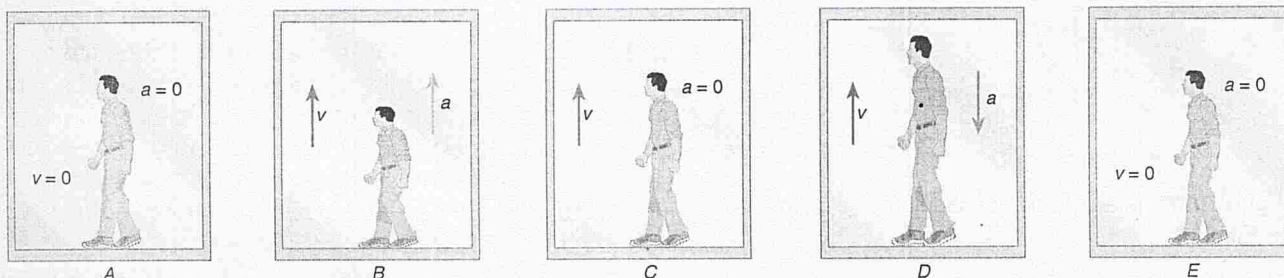


Figura 3.18 Efeitos da aceleração sob o corpo do passageiro.

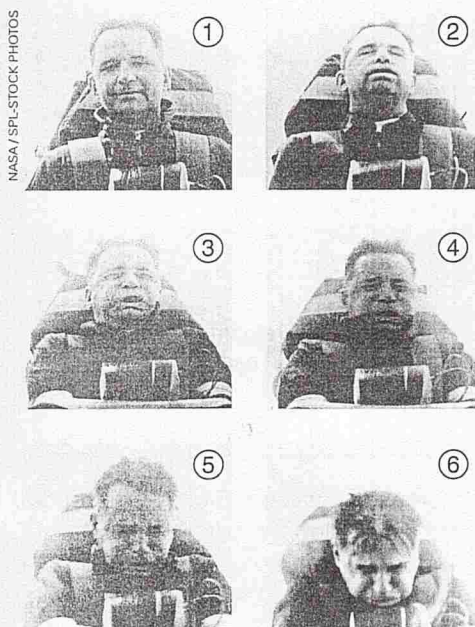


Figura 3.19 Coronel John P. Stapp em teste de aceleração.

Observe que o corpo não reage quando a velocidade é constante, ou seja, quando a aceleração é nula, e isso ocorre em A, C e E.

No instante representado em B, o elevador acelera (\vec{a} tem o mesmo sentido de \vec{v}) e, por inércia, resistimos e comprimimos ainda mais o piso do elevador; sentimo-nos como que esmagados.

No instante representado em D, o elevador está freando (\vec{a} tem sentido oposto ao de \vec{v}) e, por inércia, tendemos a continuar em movimento para cima. Assim, comprimimos menos o piso do elevador e sentimo-nos como que esticados.

É óbvio que os efeitos acima foram bastante exagerados para uma melhor compreensão. Em situações em que a aceleração assume valores baixos, como no caso do elevador, esses efeitos são bastante sutis. Quando um carro em alta velocidade passa por uma lombada suave, o "frio" na barriga é uma reação do corpo a uma aceleração mais intensa, algo em torno de $0,5 \cdot g$, ou cerca de 5 m/s^2 . Algo semelhante ocorre durante uma queda livre, como, por exemplo, durante um salto de *bungee jump*, em que o praticante fica sujeito a uma aceleração de $1 \cdot g$.

A seqüência de fotos mostra o coronel J. P. Stapp participando de um teste de aceleração, durante o programa de desenvolvimento do primeiro caça supersônico norte-americano. (Fig. 3.19) Um assento, montado sobre trilhos, foi rapidamente acelerado, propulsionado por um foguete e, então, freado em uma curta distância. A cobaia, devido às grandes acelerações, ficou cega por algumas horas.

Os pilotos de caça e os astronautas são submetidos a treinamentos constantes, de modo a poder suportar grandes acelerações. Durante esses treinamentos, os astronautas são colocados em um equipamento conhecido como "centrífuga" e postos a girar em um movimento circular. (Fig. 3.20) A aceleração a que são submetidos atinge valores bastante elevados (entre $10 \cdot g$ e $15 \cdot g$).

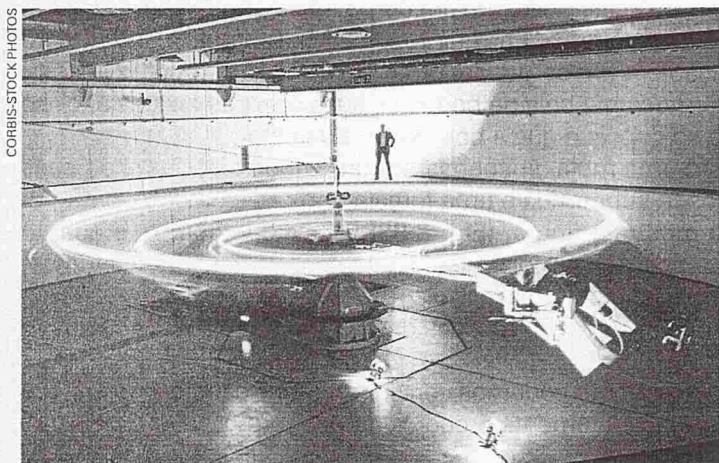


Figura 3.20 Centrífuga para treinamento de astronautas em Colônia, na Alemanha.

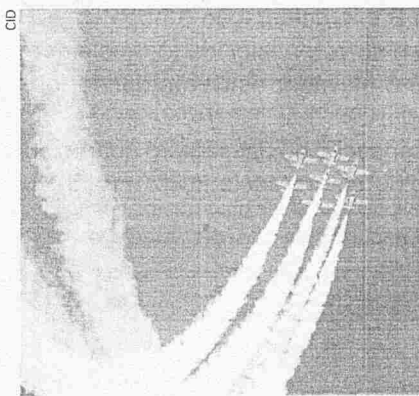


Figura 3.21 Manobra da Esquadrilha da Fumaça.

Os pilotos de caça, durante manobras radicais, como a retomada após um mergulho (Fig. 3.21), ficam submetidos a acelerações que podem atingir $8 \cdot g$ e, nessa situação, o fluxo de sangue para o cérebro pode diminuir drasticamente levando o piloto à inconsciência. Por esse motivo, os modernos trajes de vôo possuem um dispositivo que infla as pernas da calça do macacão de vôo, comprimindo as pernas do piloto e minimizando os efeitos da aceleração.

Acelerações ainda maiores são experimentadas por pilotos que se vêem obrigados a ejetar. (Fig. 3.22) Nesses casos, uma catapulta arremessa o assento, juntamente com o piloto, visando quebrar a cobertura do cockpit. Num segundo estágio, uma carga explosiva atua como foguete, visando acelerar ainda mais o conjunto até uma distância segura que permita a abertura do pára-quedas longe do avião abandonado. A aceleração a que o piloto fica submetido pode atingir valores entre $10 \cdot g$ e $20 \cdot g$, dependendo do tipo de avião.

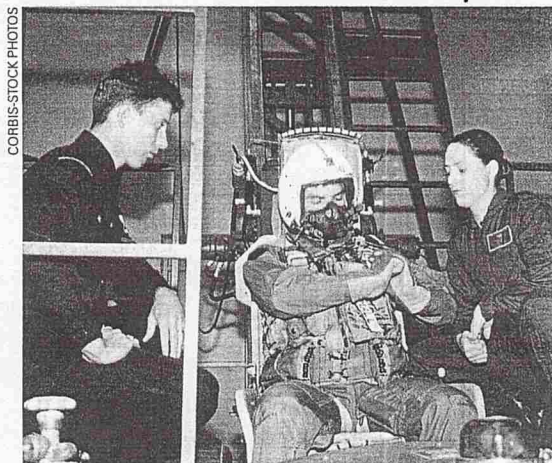


Figura 3.22 Piloto em treinamento para o uso do assento ejetor.

6 FORÇAS

Analisaremos, agora, algumas forças que são de importância fundamental no estudo da Mecânica. Para a completa caracterização dessas forças, devemos citar a direção na qual elas atuam, o seu sentido e a sua intensidade. As forças citadas a seguir são as que mais frequentemente comparecem em nosso dia-a-dia.

Força elástica — Dinamômetro

Já sabemos que uma força resultante pode provocar uma variação de velocidade, ou aceleração, em um corpo. Esse é o denominado **efeito dinâmico** de uma força. Entretanto, uma força também pode provocar deformação em um corpo, denominado **efeito estático**. Por exemplo, ao chutarmos uma bola de borracha, suas paredes inicialmente se deformam e só depois é que a bola passa a acelerar.

Considere uma mola, suspensa em um suporte por uma de suas extremidades, e submetida a uma força a partir da sua outra extremidade, como mostra a figura. (Fig. 3.23) É fácil perceber que quanto maior a força aplicada à mola mais ela irá se deformar, esticando-se. Cessada a aplicação da força, a mola retorna ao seu comprimento inicial. Assim, podemos medir a intensidade da força a partir da deformação da mola.

Experimentalmente podemos concluir: a intensidade da força F que deforma a mola é diretamente proporcional à deformação x que ela provoca.

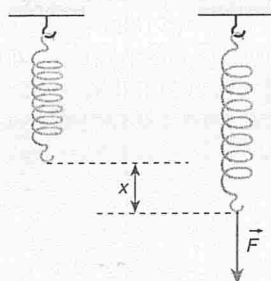


Figura 3.23 Mola deformada pela ação da força \vec{F} .

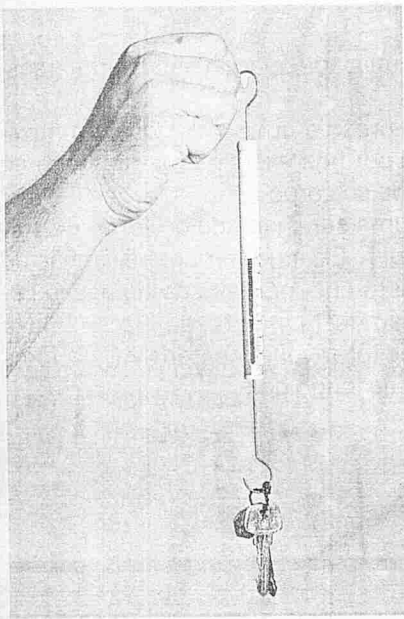


Figura 3.24 Dinamômetro.

Essa proporcionalidade entre a intensidade da força e a respectiva deformação permite-nos escrever:

$$F = k \cdot x$$

A expressão acima é conhecida como **lei de Hooke**, em homenagem ao físico inglês Robert Hooke (1635-1703), e nela a constante de proporcionalidade **k** é denominada **constante elástica da mola** e medida, no SI, em newton por metro (N/m).

O **dinamômetro** é um instrumento utilizado para medir forças. (Fig. 3.24) Consta basicamente de uma mola previamente calibrada, que, submetida à aplicação de uma força, sofre uma deformação. Conhecendo-se a deformação sofrida pela mola, pode-se obter a intensidade da força aplicada ao dinamômetro.

Peso e gravidade

Entre as forças existentes na Natureza há as que surgem durante o contato dos corpos, denominadas **forças de contato**, e as que atuam mesmo a distância, chamadas **forças de campo**.

Ao abandonar uma pedrinha a uma certa altura do chão, a partir do repouso, você nota que, durante a queda, a velocidade dela aumenta. Obviamente uma força deve estar agindo sobre a pedrinha, pois sua velocidade está variando, ou seja, a pedrinha está acelerando.

Os objetos caem porque a Terra exerce uma força sobre eles, mesmo quando não estão em contato com a Terra. A força de atração gravitacional que a Terra exerce sobre todos os objetos, denominada **peso**, depende da massa do corpo em queda. Quanto maior a massa do corpo, maior também será o seu peso.

A **gravidade** é uma propriedade não apenas da Terra, mas de toda matéria. Cada corpo no Universo exerce uma força de atração sobre todos os outros, que depende não só das massas dos objetos como também da distância entre eles.

A atração entre a maioria dos objetos que manipulamos em nosso cotidiano é muito pequena porque as massas envolvidas são também muito pequenas. Para se ter uma idéia, a força de atração entre uma rocha de 5 toneladas e uma bola de tênis de mesa é menor que o peso de um fio de cabelo. Entretanto, quando consideramos um objeto qualquer atraído pela Terra, a força de atração é considerável, pois a massa do planeta é muito grande, cerca de $6 \cdot 10^{24}$ kg.

O peso \vec{P} de um corpo é uma força com direção vertical e sentido para baixo. A intensidade (ou módulo) da força peso de um corpo é dada por:

$$P = m \cdot g$$

Na expressão acima, g é a aceleração da gravidade e m a massa do corpo. Conforme vimos anteriormente, nas proximidades da Terra g tem valor de aproximadamente 10 m/s^2 .

O peso de um corpo pode ser medido diretamente com o auxílio de uma balança de molas. Observe que o peso de um corpo pode variar de lugar para lugar, dependendo do valor da aceleração gravitacional, mas sua massa permanece constante. A figura ao lado mostra-nos um mesmo corpo, com massa 60 kg, sendo pesado na Terra ($g_{\text{Terra}} = 10 \text{ m/s}^2$) e

na Lua ($g_{\text{Lua}} = \frac{g_{\text{Terra}}}{6}$). (Fig. 3.25)

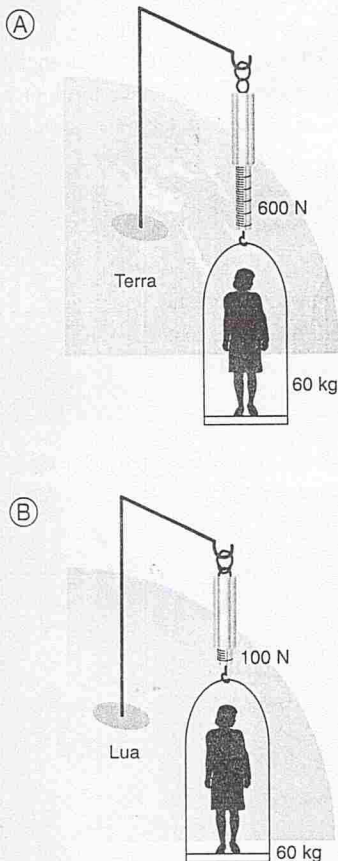


Figura 3.25 Pesos de um corpo de massa 60 kg. (A) Na Terra, 600 N e (B) na Lua, 100 N.

Tração em um fio

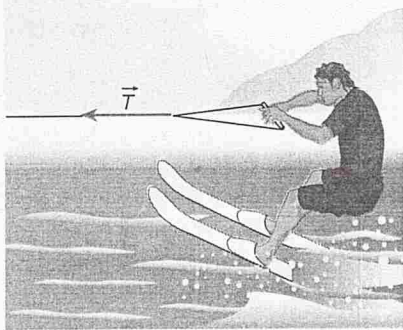


Figura 3.26 A força de tração aplicada por um fio tem sempre a direção do fio.

Os fios são, em geral, de grande utilidade quando desejamos transmitir forças.

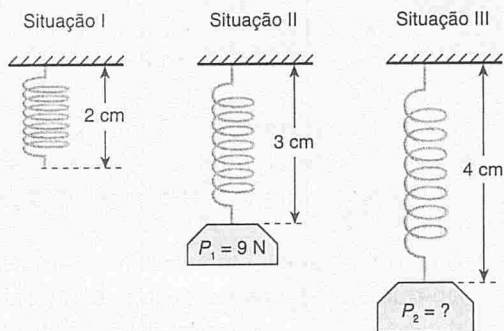
Considere, por exemplo, um fio preso a um corpo. Quando puxamos sua outra extremidade, a força por nós exercida se transmite ao longo do fio e termina por ser aplicada ao corpo.

A força aplicada por um fio costuma ser chamada de **força de tração** e, geralmente, é representada por \vec{T} . Ela atua sempre na direção do fio e no sentido de puxar o corpo, visto que, por falta de rigidez, é impossível a um fio empurrar o corpo ao qual está preso. (Fig. 3.26) No caso de um fio ideal – com massa desprezível e inextensível – a força aplicada é integralmente transmitida ao longo dele.

EXERCÍCIOS

- 31 Uma mola tem constante elástica igual a 1.000 N/m.
- Que força deve ser aplicada a essa mola para esticá-la 5 cm?
 - Qual é a deformação que essa mola sofre ao ser tracionada por uma força de intensidade 150 N?

- 32 (U. Uberaba-MG) A figura abaixo mostra uma mola de massa desprezível e de constante elástica k em três situações distintas de equilíbrio estático.



De acordo com as situações I e II, pode-se afirmar que a situação III ocorre somente se:

- $P_2 = 36$ N
- $P_2 = 27$ N
- $P_2 = 18$ N
- $P_2 = 45$ N

- 33 Um corpo, na Terra, tem peso de 580 N. Considere que a aceleração gravitacional da Terra é de 10 m/s^2 .

- Qual é a massa desse corpo?
- Qual será o peso desse mesmo corpo em um local no qual a aceleração gravitacional é 6 m/s^2 ?

- 34 (UFCE) Um astronauta tem massa de 120 kg. Na Lua, onde $g = 1,6 \text{ m/s}^2$, sua massa e seu peso serão, respectivamente:

- 120 kg e 192 N
- 192 kg e 192 N
- 120 kg e 120 N
- 192 kg e 120 N

- 35 (U. F. Viçosa-MG) Um astronauta leva uma caixa da Terra até a Lua. Podemos dizer que o esforço que ele fará para carregar a caixa na Lua será:

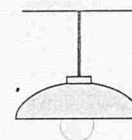
- maior que na Terra, já que a massa da caixa diminuirá e seu peso aumentará.

- maior que na Terra, já que a massa da caixa permanecerá constante e seu peso aumentará.
- menor que na Terra, já que a massa da caixa diminuirá e seu peso permanecerá constante.
- menor que na Terra, já que a massa da caixa aumentará e seu peso diminuirá.
- menor que na Terra, já que a massa da caixa permanecerá constante e seu peso diminuirá.

- 36 (Unip-SP) Uma balança de farmácia (balança de mola) foi graduada em kg, em um local onde $g = 9,8 \text{ m/s}^2$. A balança é levada para um local onde $g = 10 \text{ m/s}^2$. Nesse novo local, uma pessoa de massa 49 kg sobe na balança. A leitura na balança será:

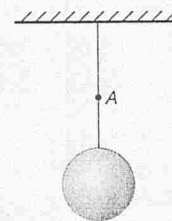
- 9,8 kg
- 10 kg
- 49 kg
- 50 kg
- 490 kg

- 37 Uma luminária com massa 2 kg está suspensa na vertical e presa por um fio ao teto de uma sala, conforme a figura ao lado. (Dado: $g = 10 \text{ m/s}^2$.)



- Qual é o peso da luminária?
- Qual é a intensidade da força resultante que atua sobre ela?
- Qual é a intensidade da força de tração no fio que sustenta a luminária?

- 38 (EsPCEX-SP) A esfera de ferro maciça e homogênea de massa 20 kg está suspensa em equilíbrio, conforme a figura ao lado. O módulo da força resultante no ponto A do fio ideal, utilizando o sistema internacional de unidades, é:



- 200 kg
- 20 kg
- 20 N
- 0 N
- 200 N

(Dado: $g = 10 \text{ m/s}^2$.)

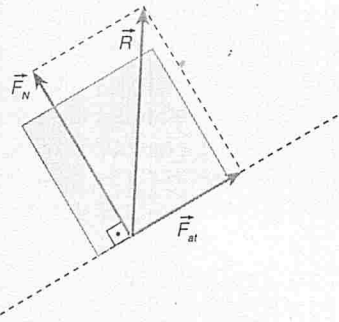


Figura 3.27 Componentes da força \vec{R} agindo em um corpo em repouso sobre um plano inclinado.

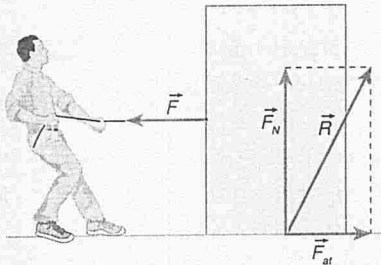


Figura 3.28 Caixa em repouso, na iminência de movimento.

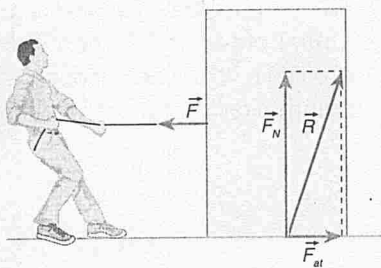


Figura 3.29 Caixa em movimento com velocidade constante.

Força de reação normal do apoio e força de atrito

Quando dois corpos estão em contato e se existir uma tendência de deslizamento das superfícies em contato, surge entre elas uma força interativa \vec{R} , que pode ser decomposta em duas componentes ortogonais, ou seja, perpendiculares uma à outra.

A componente que age na direção perpendicular às superfícies costuma ser denominada **reação normal de apoio** e geralmente é representada por \vec{F}_N . A componente que age na direção tangente às superfícies recebe o nome de **força de atrito** e é representada por \vec{F}_{at} . (Fig. 3.27)

A força de atrito surge apenas quando as superfícies em contato tendem a deslizar uma em relação à outra ou quando de fato deslizam. Ela atua no sentido de se opor à tendência de deslizamento das superfícies, ou ao deslizamento efetivo entre elas.

Imaginemos, então, uma caixa de madeira em repouso sobre uma superfície horizontal. Para colocá-la em movimento, uma força solicitadora \vec{F} deverá ser exercida para vencer sua inércia. (Fig. 3.28) Obviamente quanto maior a massa da caixa, maior a força solicitadora que teremos de aplicar.

Quando as duas superfícies em contato, mesmo solicitadas, ainda não deslizam uma em relação à outra, a força de atrito é denominada **força de atrito estático** e sua intensidade F_{at} é tal que:

$$F_{at} \leq \mu_e \cdot F_N, \text{ em que } \mu_e \text{ é o coeficiente de atrito estático.}$$

Observe que a força de atrito estático tem intensidade variável, sendo igual à intensidade da força solicitadora enquanto não há um deslizamento efetivo entre as duas superfícies. A força de atrito estático assume seu valor máximo, $F_{at(max)} = \mu_e \cdot F_N$, quando as superfícies estão na iminência de deslizamento.

Com a caixa já em movimento com velocidade constante, é fácil perceber que a força necessária para mantê-la nesse estado é menor que a aplicada para iniciar o movimento. (Fig. 3.29) A força solicitadora continua equilibrando a força de atrito, agora denominada **força de atrito de deslizamento dinâmico**.

Em outras palavras, a força de atrito de deslizamento dinâmico geralmente é menor que a força de atrito estático.

A força de atrito de deslizamento dinâmico (ou cinético) tem intensidade constante dada por:

$$F_{at} = \mu_d \cdot F_N, \text{ em que } \mu_d \text{ é o coeficiente de atrito dinâmico.}$$

Mas, se você deixar de puxar a caixa, ela provavelmente irá se movimentar por mais uma pequena distância e gradativamente diminuirá sua velocidade até parar por completo. Obviamente quanto mais liso for o chão, maior será a distância que a caixa irá percorrer até parar, pois a força de atrito será menor. Como regra geral, a força de atrito entre duas superfícies que se tocam depende do acabamento dessas superfícies: quanto mais lisas as superfícies, menor será a força de atrito.

O acabamento das superfícies – mais áspero ou mais liso – está representado nas duas expressões anteriores pelo coeficiente de atrito estático e pelo coeficiente de atrito dinâmico.

A relação entre a força solicitadora e a força de atrito pode ser mais bem entendida a partir de um gráfico. O diagrama abaixo mostra-nos a intensidade da força de atrito em função da intensidade da força solicitadora. (Fig. 3.30) Observe que o deslizamento apenas se inicia quando a intensidade da força solicitadora ultrapassa o valor máximo da força de atrito estático.

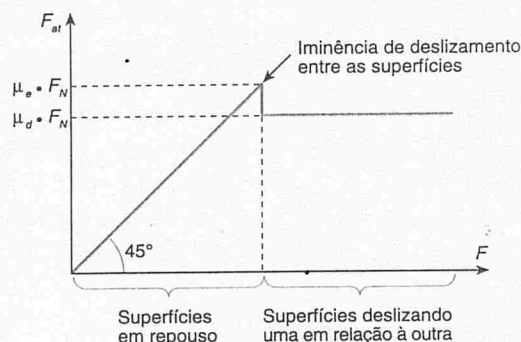


Figura 3.30 Intensidade da força de atrito (F_{at}) em função da intensidade da força solicitadora (F).

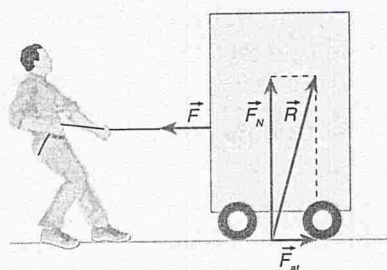


Figura 3.31 Caixa, sobre rodas, em movimento com velocidade constante.

A força de atrito pode ser diminuída se providenciarmos uma lubrificação – com óleo ou graxa – entre as superfícies em contato. E pode ser ainda menor se utilizarmos rodas. (Fig. 3.31)

Muitas vezes, principalmente em máquinas e equipamentos mecânicos, o atrito é algo indesejável, pois gera calor e desgaste de peças e requer uma potência adicional para as máquinas manterem o desempenho.

Entretanto, é impossível imaginar como seria o mundo se não existisse atrito. É graças ao atrito entre o solo e os nossos pés que podemos caminhar (tente andar sobre um chão liso e ensaboado ou então sobre uma pista de gelo). Quando usamos uma caneta para escrever em uma folha de papel, fazemos uso do atrito (tente escrever com uma caneta esferográfica em uma placa de vidro liso e veja o que acontece). O atrito permite que os carros se movimentem e também parem, quando necessário.

Aplicação Tecnológica

Sistema de freios convencionais × Sistema de freios ABS

Uma aplicação tecnológica bastante importante do atrito diz respeito à diferença entre o atrito estático e o atrito dinâmico de deslizamento. Conforme podemos constatar no gráfico anterior, a força de atrito estático, quando na iminência de movimento, é maior que a força de atrito cinético de deslizamento.

Em um veículo com sistema de freios convencionais, durante uma freada, geralmente as rodas do automóvel travam e se arrastam pela superfície de apoio e, desse modo, existe um movimento relativo entre o pneu e o chão. A força de atrito de deslizamento dinâmico entre o pneu e o chão é a força responsável pela desaceleração que o carro sofre durante essa freada.

Mais recentemente alguns veículos têm chegado da fábrica já equipados com o chamado sistema de freios ABS, usado inicialmente nos carros de Fórmula 1. O freio ABS é dotado de um mecanismo que impede o travamento das rodas durante a freada. Enquanto o motorista está pisando o freio, as rodas continuam a girar de modo controlado, sem deslizar. Assim, o ponto do pneu em contato com o chão está em repouso relativamente ao chão. Nessa situação, a força de atrito entre o pneu e o chão é a força de atrito estático, maior que a força de atrito de deslizamento dinâmico. Portanto, com uma força de atrito maior a desaceleração do carro também é maior e o carro pára em uma distância menor. Ponto para os engenheiros da Fórmula 1.

Túneis de vento

O túnel de vento é um equipamento bastante usado, principalmente nas indústrias aeronáutica e automobilística. Simula as condições encontradas por qualquer objeto que se move através do ar. O objeto em estudo permanece imóvel, enquanto o ar, ou outro gás qualquer, é forçado contra ele.

Esse equipamento pode ser usado para estudar o efeito do movimento do ar em objetos como aviões, espaçonaves, mísseis, automóveis, edifícios e pontes.

No caso de um carro, por exemplo, fiapos de lã são fixados à carroceria do veículo e, de acordo com as correntes de ar que a circulam, podem ser introduzidas modificações, ainda durante a fase de projeto, de modo a reduzir a força de resistência do ar e melhorar a performance do modelo, principalmente quanto ao consumo de combustível.

Um túnel de vento pode variar de tamanho, desde alguns poucos centímetros até vários metros. Uma grande área de secção transversal para testes torna mais difícil desenvolver e sustentar as altas velocidades do fluxo de ar. Este é o principal problema encontrado nos túneis de vento supersônicos e hipersônicos em que as potências requeridas são tão grandes que exigem túneis de dimensões pequenas. Por outro lado, nos túneis em que a velocidade do fluxo de ar não precisa ser muito alta, o fluxo pode ser mantido por ventiladores.

Túneis especiais podem simular as condições de vôo supersônico em que o atrito com o ar pode gerar grandes quantidades de calor. Outros são projetados para simular condições de vôo a grandes altitudes e são importantes nos testes de aviões a jato de passageiros.

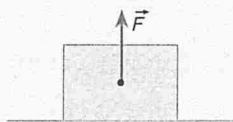


A fumaça, no túnel de vento, permite ao esquiador descobrir a posição que apresenta menor resistência ao movimento.

PHILIPPE PLAILLY / SPL-STOCK PHOTOS

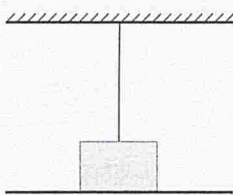
EXERCÍCIOS

39 (U. F. Santa Maria-RS) Uma força \vec{F} de módulo igual a 20 N é aplicada, verticalmente, sobre um corpo de 10 kg, em repouso sobre uma superfície horizontal, como indica a figura. O módulo (em N) da força normal sobre o corpo, considerando o módulo da aceleração gravitacional como 10 m/s^2 , é:



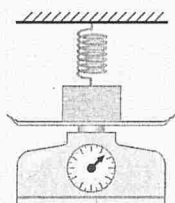
- a) 120 b) 100 c) 90 d) 80 e) 0

40 (U. E. Sudoeste da Bahia) A figura apresenta um corpo de 10 N de peso, preso por um fio ideal e apoiado numa superfície horizontal. Sabendo-se que a tração no fio é igual a 4 N, a intensidade da força que a superfície exerce sobre o bloco, em N, é:



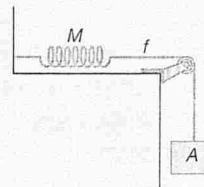
- a) 6 b) 7 c) 8 d) 9 e) 10

41 (PUC-SP) A mola da figura tem constante elástica 20 N/m e encontra-se deformada de 20 cm sob a ação do corpo A cujo peso é 5 N. Nessa situação, a balança, graduada em newtons, marca:



- a) 1 N d) 4 N
b) 2 N e) 5 N
c) 3 N

42 (U. E. Sudoeste da Bahia) A figura apresenta um corpo A ligado à mola M, através do fio ideal F. Supondo-se que a constante elástica da mola é k, que o módulo da aceleração da gravidade é g e que não existe atrito na roldana, a massa de A que provoca um alongamento, Δx , da mola é:

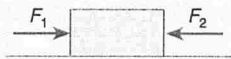


- a) $\frac{k \cdot g}{\Delta x}$ c) $\frac{\Delta x + g}{k}$ e) $k \cdot \Delta x$
b) $\frac{k \cdot \Delta x}{g}$ d) $k \cdot \Delta x \cdot g$

43 (U. F. Santa Maria-RS) Um bloco com peso de módulo 15 N encontra-se em repouso sobre uma superfície horizontal. Sendo 0,4 o coeficiente de atrito estático entre eles, o módulo da força de atrito, enquanto o bloco permanece em repouso, é:

- a) sempre igual ao módulo da força horizontal aplicada ao bloco, até o valor máximo de 6 N.
b) 6 N, para qualquer módulo da força horizontal aplicada ao bloco.
c) sempre menor que o módulo da força horizontal aplicada ao bloco, até o valor máximo de 6 N.
d) sempre maior que o módulo da força horizontal aplicada ao bloco, com um valor máximo de 6 N.
e) 15 N, para qualquer módulo da força horizontal aplicada ao bloco.

44 (UFCE) O bloco mostrado na figura está em repouso sob a ação da força horizontal F_1 , de módulo igual a 10 N, e da força de atrito entre o bloco e a superfície. Se uma outra força horizontal F_2 , de módulo igual a 2 N e sentido contrário, for aplicada ao bloco, a força resultante sobre o mesmo será:

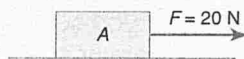


- a) nula c) 8 N e) 12 N
b) 2 N d) 10 N

45 Um corpo com massa 10 kg é arrastado, com velocidade constante, ao longo de um plano horizontal por meio de uma força horizontal de intensidade 30 N. Considere $g = 10 \text{ m/s}^2$.

- a) Determine a intensidade das forças: peso do corpo, reação normal do apoio e atrito.
b) Determine o valor do coeficiente de atrito dinâmico de deslizamento entre o corpo e a superfície de apoio.

46 (U. Caxias do Sul-RS) O bloco A de massa $m = 4 \text{ kg}$ desloca-se com velocidade constante $v = 2 \text{ m/s}$ sobre uma superfície horizontal, como mostra a figura. Com a ajuda dos dados e da figura, é correto afirmar que:

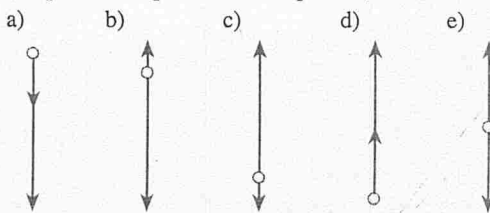


- a) a força de atrito entre o bloco e a superfície é nula.
b) a força resultante das forças que atuam sobre o bloco é nula.
c) a força de atrito entre o bloco e a superfície horizontal vale menos do que 20 N.
d) o peso do bloco é igual a 20 N.
e) o coeficiente de atrito cinético entre o bloco e a superfície vale 0,8.

47 (U. F. Santa Maria-RS) Um corpo de massa igual a 10 kg desliza, em movimento retilíneo uniforme, sobre uma mesa horizontal, sob a ação de uma força horizontal de módulo 10 N. Considerando a aceleração gravitacional com módulo 10 m/s^2 , o coeficiente de atrito cinético entre o corpo e a mesa é:

- a) 10 c) 0,1 e) zero
b) 1 d) 0,01

48 (EsPCEX-SP) Na superfície da Terra, uma pessoa lança uma pedra verticalmente para cima. Considerando-se que a resistência do ar não é desprezível, assinale a alternativa que representa as forças que atuam na pedra, no instante em que ela está passando pelo ponto médio de sua trajetória, durante a subida (despreze o empuxo exercido pelo ar).



49 Um pára-quadista e seu equipamento, com massa total 90 kg, cai sob a ação da gravidade e sofre uma força de resistência do ar dada por $F_r = 36 \cdot v^2$. Considere que a aceleração gravitacional é de 10 m/s^2 .

- a) Qual é o peso do conjunto pára-quadista e equipamento?
b) Qual é a intensidade da força de resistência do ar quando o pára-quadista passa a cair com velocidade constante?
c) Qual é a velocidade limite durante a descida?

7 O PRINCÍPIO FUNDAMENTAL DA DINÂMICA

Conforme vimos anteriormente, no item 4 deste capítulo, de acordo com o princípio da inércia, um corpo só pode sair de seu estado de repouso ou de movimento retilíneo com velocidade constante se sobre ele atuar uma força resultante externa.

Você deve estar se perguntando: "E o que acontece se existir uma força resultante externa agindo no corpo?"

A resposta é: "O corpo ficará sujeito a uma aceleração!" Em outras palavras, um corpo sujeito a uma força resultante externa movimentar-se com velocidade variável, ou seja, acelera.

É intuitivo perceber que, se quisermos acelerar um corpo, por exemplo, desde o repouso até 30 km/h, em um intervalo de tempo de 30 s (isso equivale a uma aceleração de 1 km/h a cada 1 s), a intensidade da força que teremos de aplicar dependerá da massa do corpo. Se o corpo for, por exemplo, uma bicicleta, é óbvio que a força necessária será muito menor do que se se tratasse de um carro. Ou seja, quanto maior a massa do corpo maior deverá ser a intensidade da força para alcançar uma determinada aceleração.

Essa relação entre a massa e a força resultante externa foi obtida por Isaac Newton e constitui a **segunda lei de Newton** dos movimentos, também conhecida como **princípio fundamental da dinâmica**.

O princípio fundamental da dinâmica estabelece que:

A aceleração de um corpo submetido a uma força resultante externa é inversamente proporcional à sua massa.

Assim, para uma dada força resultante externa \vec{F}_{res} , quanto maior a massa m do corpo tanto menor será a aceleração \vec{a} adquirida. Na forma de equação, a segunda lei de Newton é dada por:

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

Observe que essa equação vetorial impõe que a força resultante e a aceleração tenham a mesma direção e o mesmo sentido. (Fig. 3.36)

No SI, as unidades de medida usadas são o newton (N), para a força resultante externa, o quilograma (kg), para a massa, e o metro por segundo por segundo (m/s^2), para a aceleração.

Essa relação entre a força resultante externa e a correspondente aceleração adquirida pelo corpo no qual a força age é bastante útil para analisar situações comuns em nosso cotidiano.

Vamos tomar como exemplo as corridas de *dragsters* muito comuns nos Estados Unidos. Nessas competições, o veículo deve atingir a velocidade máxima possível e parar em uma pista com pouco mais de 400 m (um quarto de milha) de comprimento total.

Os *dragsters* são veículos que podem atingir acelerações bastante altas. Eles podem acelerar de 0 a 165 milhas/hora, equivalente a 265 km/h (ou 73,7 m/s), em apenas 8,4 segundos, em um percurso de pouco mais de 300 m. Isso representa uma aceleração média de aproximadamente $8,8 m/s^2$.

Para atingir uma aceleração dessa magnitude, a força que impulsiona o carro deve ser elevada, e isso é conseguido com um motor bastante potente, algo em torno de 800 hp. Para se ter uma idéia dessa potência, basta dizer que a de um carro popular varia de 70 a, no máximo, 100 hp.

Mas apenas um motor potente não garante as altas acelerações necessárias. O carro deve ter também uma massa relativamente pequena, que, por segurança, incluindo a do piloto, não deve ser menor que 954 kg (ou 2.100 libras). Repare que esse tipo de veículo é praticamente um motor sobre rodas. (Fig. 3.37)

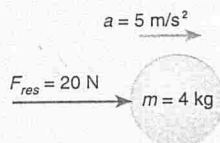


Figura 3.36 Um corpo sendo acelerado por uma força resultante externa.

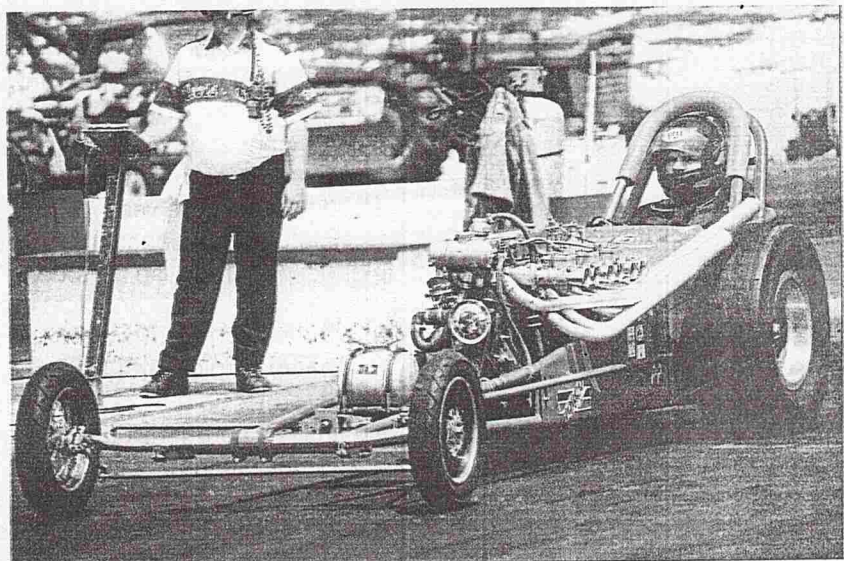


Figura 3.37 Modelo típico de *dragster*.

Após essa arrancada, parar um *dragster* em pouco menos de 100 m, que é o comprimento restante da pista, é outro sério problema. Não basta o sistema de freios do veículo para fazê-lo. A desaceleração é promovida, em grande parte, por um aumento da força de resistência do ar. Um grande pára-quadás ajuda a frear o carro, de forma semelhante aos aviões de combate e aos ônibus espaciais. (Fig. 3.38)

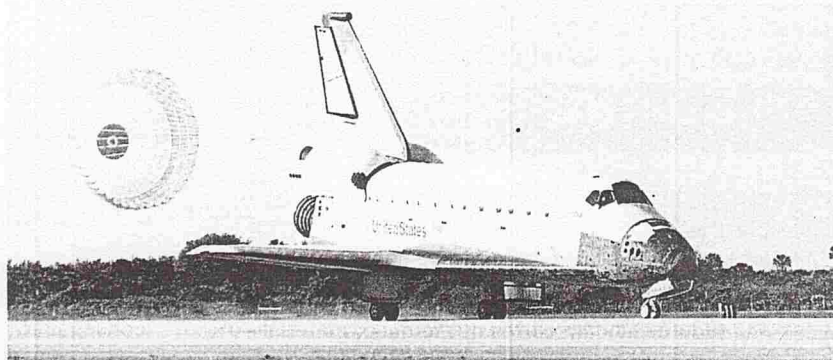


Figura 3.38 Ônibus espacial sendo freado com ajuda de um pára-quadás.

Vamos a um exemplo de aplicação do princípio fundamental da dinâmica.

Considere o *dragster* descrito no texto anterior e determine a intensidade da força resultante média que age sobre o veículo durante a arrancada.

De acordo com o texto, a aceleração média desenvolvida durante a arrancada é de $8,8 \text{ m/s}^2$ e a massa total do carro, com o piloto, é de 954 kg .

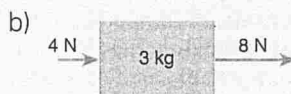
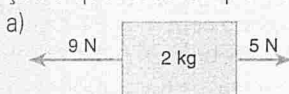
Temos, então: $a = 8,8 \text{ m/s}^2$ e $m = 954 \text{ kg}$.

O princípio fundamental da dinâmica estabelece que: $F_{res} = m \cdot a$

Portanto: $F_{res} = 954 \cdot 8,8 \Rightarrow F_{res} = 8.395 \text{ N}$

Observe no exemplo a seguir como podemos aplicar o princípio fundamental da dinâmica a sistemas em que comparecem mais de uma força.

Em cada uma das situações mostradas abaixo determine o módulo, a direção e o sentido da aceleração a que cada corpo está submetido.



Devemos determinar inicialmente, em cada um dos casos, o módulo, a direção e o sentido da força resultante que atua no corpo. Pelo princípio fundamental da dinâmica, a força resultante e a aceleração têm sempre mesma direção e mesmo sentido, e seus módulos são tais que $F_{res} = m \cdot a$

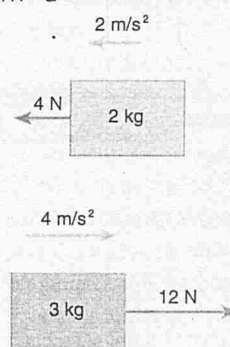
a) O corpo está sendo puxado, para a esquerda, por uma força de intensidade 9 N e, para a direita, por uma outra força de intensidade 5 N .

A força resultante está orientada para a esquerda e tem intensidade igual a 4 N (dada pela diferença: $9 \text{ N} - 5 \text{ N}$).

Portanto, a aceleração tem a mesma direção da força resultante e sentido para a esquerda. Seu módulo é dado por: $F_{res} = m \cdot a \Rightarrow 4 = 2 \cdot a \Rightarrow a = 2 \text{ m/s}^2$

b) Nesse caso o corpo está sendo empurrado para a direita por uma força de intensidade 4 N e puxado, também para a direita, por uma outra força de intensidade 8 N . A força resultante está orientada para a direita e tem intensidade 12 N (dada pela soma: $4 \text{ N} + 8 \text{ N}$).

A aceleração tem a mesma direção e sentido da força resultante, para a direita. Seu módulo é dado por: $F_{res} = m \cdot a \Rightarrow 12 = 3 \cdot a \Rightarrow a = 4 \text{ m/s}^2$



Você sabe por quê?

É bastante comum nos depararmos com a situação na qual um carro e um caminhão estão emparelhados aguardando o sinal verde do semáforo.

Você sabe por quê, quando o sinal fica verde, o carro quase sempre sai na frente, apesar de o caminhão ter um motor mais potente?

O que diz a Mídia!

Reportagem

Mais leves, mais rápidos

Montadoras lançam carros de alumínio, material 40% mais leve que o aço, para ganhar velocidade sem aumentar o consumo de gasolina

Comum em esquadrias e utensílios domésticos, o alumínio ganha espaço na *nova geração* de carrões luxuosos e potentes. Os modelos importados mais cobijados são feitos agora do metal prateado, mais leve e resistente à corrosão que o aço. Ao longo da década de 90, os projetistas das máquinas de sonhos introduziram o metal em componentes mecânicos, parte da estrutura e peças grandes, como portas e capôs, dos veículos. Hoje, carros forjados inteiramente em alumínio começam a sair das fábricas.

Como é cerca de 40% mais leve que o aço, sua utilização reduz o peso da estrutura do chassi e da carroceria e aumenta o desempenho do carro, sem exigir um motor mais potente. "Podemos fazer carros mais velozes, reduzindo o consumo e a emissão de poluentes", conta Celso Fogaça, gerente de produtos da BMW do Brasil.

A produção de um carro todo de alumínio é um desafio para os projetistas. Além de mais caro, é mais frágil que o aço. Para fazer o Z8, o conversível de R\$ 480 mil da BMW, a empresa alemã rompeu com o processo tradicional de criação de um automóvel. Geralmente, os projetistas partem de um modelo com capota e simplesmente cortam o teto do veículo. Depois, acrescentam barras e suportes para compensar a perda de sustentação da carroceria. Com o Z8, os

engenheiros da BMW desenvolveram um esqueleto metálico de alumínio. Em simulações de computador, conseguiram uma estrutura ideal, capaz de dar resistência a um cabriolé. Na fábrica, essa estrutura é montada com precisão milimétrica e revestida de cerca de 400 placas de alumínio, formando a carroceria e o chassi. É um trabalho quase artesanal. A onda está começando cautelosamente. "Por enquanto, as montadoras lançam modelos de alumínio para mostrar ao mercado que têm tecnologia de ponta para produzi-los", explica Fogaça, da BMW. "É o momento de marcar posição, porque o alumínio será cada vez mais usado."

A Audi foi a primeira companhia a fazer carros de alumínio em larga escala. O primeiro passo foi o A8, sedã de luxo lançado em 1994. Vendido por US\$ 75 mil na Europa, conquistou um público entusiasmado mas restrito. Neste ano [2000], a montadora alemã começou a fabricar outro modelo de alumínio, o A2, a um preço bem mais razoável: US\$ 13 mil. A Audi espera vender 80 mil carros por ano. A única limitação é a complexa linha de montagem na cidade de Neckarsulm, na Alemanha. Depois que todas as partes estão soldadas, a carcaça do carro passa por um forno aquecido a 250 graus Celsius durante 45 minutos. "Isso dá a tempera, a resistência do metal", explica Jaroslav Sussland, diretor de vendas da Audi. Graças à leveza do alumínio, o carro com motor 1.4 chega a 173 quilômetros por hora e roda 16 quilômetros com 1 litro de combustível.

MANSUR, Alexandre. *Época*, Globo, n. 130, 13 de novembro de 2000.

EXERCÍCIOS

50 Uma mesma força resultante é aplicada a dois corpos diferentes, *A* e *B*, inicialmente em repouso, durante um mesmo intervalo de tempo. O corpo *A* atinge, então, a velocidade de 3 m/s e o corpo *B* atinge a velocidade de 7 m/s. Qual dos dois corpos tem maior massa?

51 Que força resultante é necessária para acelerar uma bicicleta, juntamente com seu ocupante, com massa total de 60 kg a 1,5 m/s²?

52 (Unep-BA) Uma força de 20 N, quando aplicada sobre um corpo, provoca nele uma aceleração de 5 m/s². Logo, a massa do corpo é igual a:

- a) 4 kg c) 6 kg e) 10 kg
b) 5 kg d) 7 kg

53 Um avião com massa de 4.000 kg é acelerado por uma força resultante de intensidade 24.000 N. Qual é a aceleração adquirida pelo avião?

54 (Uneb-BA) Um elevador de 500 kg de massa sobe acelerado a 2 m/s^2 . Considerando $g = 10 \text{ m/s}^2$, a tração, em newtons, no cabo que o sustenta, é de:

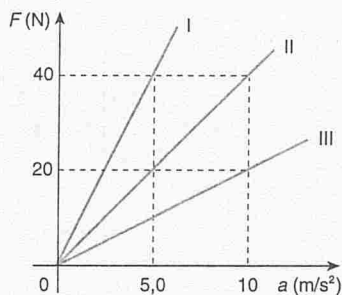
- a) 6.000 c) 4.000 e) 2.000
b) 5.000 d) 3.000

55 Uma força resultante com intensidade 80 N acelera uma massa de 20 kg a 4 m/s^2 .

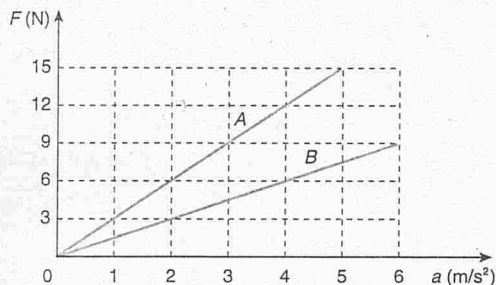
- a) Se a massa do corpo dobrar, qual deverá ser a intensidade da nova força resultante aplicada ao corpo para manter a mesma aceleração?
b) Se a massa do corpo dobrar e a força resultante permanecer inalterada, qual será a nova aceleração adquirida pelo corpo?

56 (ESPM-SP) Construiu-se o gráfico do módulo da força resultante em função da aceleração que o corpo I adquire. Repetiu-se o procedimento para os corpos II e III. Os resultados estão apresentados no gráfico ao lado. As massas dos corpos I, II e III são, em kg, respectivamente:

- a) 2,0; 4,0 e 8,0
b) 4,0; 8,0 e 16
c) 8,0; 4,0 e 2,0
d) 16; 8,0 e 4,0
e) 20; 40 e 20

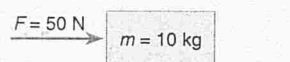


57 O diagrama seguinte mostra como varia a aceleração a de dois corpos, A e B, em função da força resultante F que age sobre ele.



- a) Com base nas informações do gráfico, determine as massas de cada um dos dois corpos, A e B.
b) Calcule a aceleração adquirida pelo corpo A, quando sobre ele atua uma força resultante de intensidade 27 N.
c) Calcule a intensidade da força resultante que atua sobre o corpo B, quando este desenvolve uma aceleração de 10 m/s^2 .

58 A figura abaixo representa um corpo de massa 10 kg, empurrado ao longo de um plano horizontal por uma força horizontal de intensidade 50 N. (Considere $g = 10 \text{ m/s}^2$.)



- a) Se desprezarmos o atrito, qual é a aceleração adquirida pelo corpo?
b) Se considerarmos que o coeficiente de atrito entre o corpo e a superfície de apoio é $\mu_a = 0,4$, qual será a nova aceleração adquirida pelo corpo?

59 Um corpo, partindo do repouso, é acelerado por uma força resultante de intensidade 100 N e, 10 s após iniciado o movimento, atinge a velocidade de 20 m/s.

- a) Qual é o módulo da aceleração média adquirida pelo corpo?
b) Qual é a velocidade do corpo, 3 s após o início do movimento?
c) Qual é a massa do corpo?

60 (U. F. Viçosa-MG) Uma caixa de 10 kg é puxada sobre uma mesa por uma força de 50 N para a direita, deslocando-se com uma aceleração de $2,0 \text{ m/s}^2$. Nessa situação, a força de atrito sobre a caixa é, em newtons:

- a) 50 b) 40 c) 20 d) 30 e) 10

61 (Vunesp) Um bloco de madeira de 2,0 kg, puxado por um fio ao qual se aplica uma força de 14 N que atua paralelamente à superfície plana e horizontal sobre a qual o bloco se apóia, apresenta uma aceleração de $3,0 \text{ m/s}^2$. Este resultado pode ser explicado se se admitir que também atua no bloco uma força de atrito cuja intensidade, em newtons, vale:

- a) 6 b) 7 c) 8 d) 14 e) 20

62 (U. F. Viçosa-MG) Um menino entra em um elevador com uma sacola de supermercado contendo 3 litros de leite, o que equivale à carga máxima que as alças da sacola podem suportar. Considerando que o elevador, partindo do repouso, subirá até o andar desejado, o instante mais provável para que as alças sejam arrebentadas é:

- a) no final da subida, quando o elevador está em movimento desacelerado.
b) no início da subida, quando o elevador está em movimento acelerado.
c) durante o movimento intermediário do elevador, quando ele está em movimento uniforme.
d) após parar no andar desejado.
e) em qualquer instante do movimento com igual probabilidade.

63 (U. F. Lavras-MG) Um bloco de peso igual a 50 N encontra-se sobre uma balança no piso de um elevador. Se o elevador sobe com aceleração igual, em módulo, à metade da aceleração da gravidade local, pode-se afirmar que:

- a) a leitura da balança será de 25 N.
b) a leitura da balança permanece inalterada.
c) a leitura da balança será de 75 N.
d) a leitura da balança será de 100 N.
e) a leitura da balança será de 200 N.

64 (PUC/Campinas-SP) Uma pessoa de massa igual a 60 kg está num elevador, em cima de uma balança de banheiro, num local onde a aceleração da gravidade é considerada $10,0 \text{ m/s}^2$. Durante pequenos intervalos de tempo o elevador pode sofrer acelerações muito fortes. Nessas condições, pode-se afirmar corretamente que, quando o elevador:

- a) sobe em movimento acelerado com aceleração igual a $10,0 \text{ m/s}^2$, a balança indica $1,2 \cdot 10^3 \text{ N}$.
b) sobe em movimento retardado de aceleração igual a $10,0 \text{ m/s}^2$, a balança indica 600 N.
c) desce em movimento acelerado com aceleração igual a $10,0 \text{ m/s}^2$, a balança indica $1,2 \cdot 10^3 \text{ N}$.
d) desce em movimento retardado de aceleração igual a $10,0 \text{ m/s}^2$, a balança indica 900 N.
e) desce em movimento uniforme, a balança indica 300 N.

Vimos anteriormente que força é o agente físico capaz de provocar uma variação de velocidade em um corpo e também pode ser responsável por uma deformação.

Suponha que durante um jogo de futebol, você se prepara para bater uma falta. Quando seu pé atinge a bola, durante o chute, esta sofre uma variação de velocidade. Podemos então concluir que seu pé aplicou sobre a bola uma força responsável pela aceleração da bola. Entretanto, ao chutar a bola, a velocidade de seu pé também irá variar. Quem estará aplicando essa força ao seu pé para desacelerá-lo? A resposta é: a bola.

Se o seu pé aplica uma força na bola, então, simultaneamente, a bola aplicará uma força ao seu pé. Essa constatação é conhecida como **princípio da ação e reação** (ou **terceira lei de Newton**) e pode ser assim enunciado:

Quando um corpo A exerce uma força \vec{F}_A num corpo B, este exerce em A uma força \vec{F}_B . As forças \vec{F}_A e \vec{F}_B têm mesma intensidade, mesma direção e sentidos opostos.

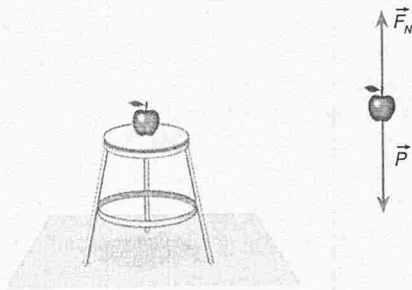


Figura 3.39

Se chamarmos uma das forças de **ação**, a outra será denominada **reação**. Portanto, para toda ação há sempre uma reação de mesma intensidade, mesma direção e sentido contrário.

Para aplicarmos o princípio da ação e reação, devemos ter sempre dois corpos. Consideremos um banquinho apoiado no solo e uma maçã sobre o banquinho. Na maçã age a força peso \vec{P} (que é a força com que a Terra atrai a maçã) e a força de reação normal do apoio \vec{F}_N (que é a força que o banquinho exerce sobre a maçã), com direção perpendicular às superfícies de contato. (Fig. 3.39)

Onde estão aplicadas as correspondentes reações?

A reação do peso \vec{P} da maçã é a força $-\vec{P}$ aplicada ao centro da Terra. A reação da força normal \vec{F}_N é a força $-\vec{F}_N$ aplicada no banquinho. (Fig. 3.40)



Figura 3.40 Reações das forças que agem na maçã: (A) $-\vec{P}$ e (B) $-\vec{F}_N$.



Figura 3.41

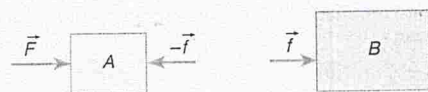


Figura 3.42

Considere dois blocos, A e B, apoiados sobre uma mesa horizontal lisa e submetidos a uma força \vec{F} . (Fig. 3.41)

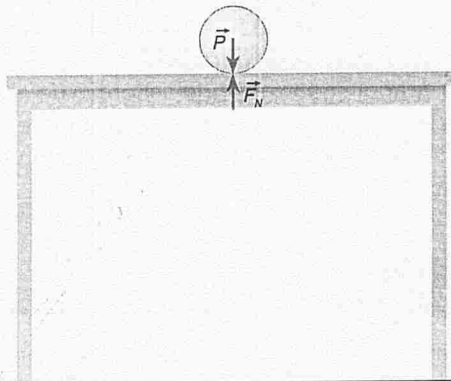
Obviamente o bloco A, sujeito à força \vec{F} , estará acelerando e o bloco B necessariamente deverá ter a mesma aceleração de A, pois segue à sua frente. A força que acelera o bloco B é a força \vec{f} aplicada por A. Mas se A age sobre B, então o bloco B deverá reagir sobre o bloco A com uma força de mesma intensidade, mesma direção e sentido contrário. Tal força é a reação $-\vec{f}$. (Fig. 3.42)

65 Em seu livro *Princípios matemáticos de Filosofia Natural*, Isaac Newton sintetiza a Mecânica e o método de Galileu e a Astronomia de Copérnico e Kepler, e enuncia as três leis fundamentais do movimento, que constituem toda a base sobre a qual se estrutura a Mecânica. A seguir, vamos apresentar a terceira lei do movimento como foi originalmente enunciada por Newton: “A toda ação há sempre oposta uma reação igual”.

Nas próprias palavras de Newton: “Seja o que for que puxe ou empurre alguma coisa, é, da mesma forma, puxado ou empurrado por ela”.

Baseado no texto acima e em seus conhecimentos de Mecânica, analise as proposições abaixo e indique as corretas.

- A reação do peso de um corpo é uma força aplicada no centro da Terra.
- Um corpo de massa $m = 5,0$ kg, num local onde a aceleração gravitacional é $g = 10$ m/s², atrai a Terra com força de intensidade de 50 N.
- Um cavalo puxa uma carroça com uma certa força. Pela terceira Lei de Newton, a carroça exerce no cavalo outra força de mesma intensidade, mesma direção e sentido contrário. Pode-se concluir que essas forças se equilibram e que o cavalo não consegue movimentar a carroça.
- Um automóvel possui tração nas quatro rodas e encontra-se parado numa estrada de terra. Ao partir, acelerando bruscamente, o movimento dos pneus lança terra em sentido oposto ao do movimento do carro.
- Numa bola, em repouso sobre uma mesa, atuam o peso \vec{P} e a força normal \vec{F}_N , conforme mostra a figura abaixo:



Pode-se afirmar que \vec{P} e \vec{F}_N constituem um par de ação e reação.

66 (Cesgranrio) Uma pessoa empurra uma mesa, inicialmente em repouso, de forma a imprimir-lhe um movimento uniformemente acelerado, durante 2,0 segundos. Sejam F_1 e F_2 , respectivamente, o módulo da força que a mesa exerce sobre a pessoa. A esse respeito, assinale a opção totalmente correta.

- $F_1 > F_2$, em virtude da Segunda Lei de Newton.
- $F_1 > F_2$, em virtude da Primeira Lei de Newton.
- $F_1 = F_2$, em virtude da Terceira Lei de Newton.
- $F_1 = F_2$, em virtude da Segunda Lei de Newton.
- $F_1 = F_2$, em virtude da Primeira Lei de Newton.

66

67 (PUC-RJ) Uma locomotiva puxa uma série de vagões, a partir do repouso. Qual é a análise correta da situação?

- A locomotiva pode mover o trem somente se for mais pesada do que os vagões.
- A força que a locomotiva exerce nos vagões é tão intensa quanto a que os vagões exercem na locomotiva; no entanto, a força de atrito na locomotiva é grande e é para a frente, enquanto que a que ocorre nos vagões é pequena e para trás.
- O trem se move porque a locomotiva dá um rápido puxão nos vagões e, momentaneamente, essa força é maior do que a que os vagões exercem na locomotiva.
- O trem se move para a frente porque a locomotiva puxa os vagões para a frente com uma força maior do que a força com a qual os vagões puxam a locomotiva para trás.
- Porque a ação é sempre igual à reação, a locomotiva não consegue puxar os vagões.

68 (UNB-DF) Os versos a seguir fazem parte da música *Morena de Angola*, de Chico Buarque de Holanda.

“Morena de Angola que leva o chocalho amarrado na canela. Será que ela mexe o chocalho ou o chocalho é que mexe com ela?”

Acerca da situação física apresentada nesse fragmento da música, julgue os itens abaixo.

- Para mexer o chocalho, a morena de Angola aplica-lhe uma força.
- Como a morena “leva o chocalho amarrado na canela”, ou seja, o chocalho movimenta-se juntamente com ela, conclui-se que o módulo da força que o chocalho exerce sobre a morena é menor que o módulo da força que a morena exerce sobre o chocalho.

69 (PUC-SP) Com base no princípio de ação e reação, responda:

- A afirmação abaixo está certa ou errada? Justifique. “Quando exercemos uma força \vec{F} numa mesa, esta exerce uma força oposta $-\vec{F}$ que anula a força \vec{F} , de modo que a força resultante sobre a mesa é nula e ela, portanto, não se move.”
- Descreva uma situação em que se evidenciem as forças de ação e de reação (mostre como as duas forças estão agindo).

70 (U. F. Viçosa-MG) Um automóvel colide frontalmente com uma carreta. No momento da colisão, é correto afirmar que a intensidade da força que a carreta exerce sobre o automóvel é:

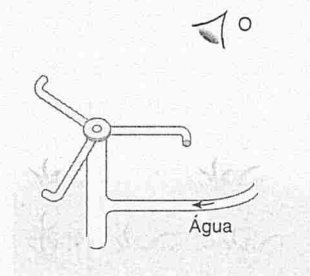
- maior que a intensidade da força que o automóvel exerce sobre a carreta e em sentido contrário.
- maior que a intensidade da força que o automóvel exerce sobre a carreta e no mesmo sentido.
- igual à intensidade da força que o automóvel exerce sobre a carreta e no mesmo sentido.
- igual à intensidade da força que o automóvel exerce sobre a carreta e em sentido contrário.
- menor que a intensidade da força que o automóvel exerce sobre a carreta e no mesmo sentido.

71 (UFRO) As naves espaciais, ao se moverem no vácuo, realizam as manobras de desacelerar e virar à esquerda, respectivamente, lançando gases

- no mesmo sentido do seu movimento e para a esquerda.
- no mesmo sentido do seu movimento e para a direita.
- no sentido contrário ao seu movimento e para a direita.
- no sentido contrário ao seu movimento e para a esquerda.

72 Numa avenida, ocorre a colisão de um automóvel com uma moto. De acordo com o princípio da ação e reação, a força que o automóvel exerce na moto tem a mesma intensidade da força que a moto exerce no automóvel. Mas por que a moto sofre mais danos que o automóvel?

73 Um regador rotativo, utilizado na irrigação de um jardim, é constituído de tubos capazes de girar em torno de um eixo. A água entra pelo centro do conjunto. Em que sentido (horário ou anti-horário) o regador gira, em relação ao observador O? Explique.



Aplicando as 3 leis de Newton

O princípio fundamental da dinâmica e o princípio da inércia podem ser aplicados, juntamente com o princípio da ação e reação, a problemas mais "complicados", envolvendo dois ou mais corpos.

Analise os exemplos a seguir e observe que a resolução segue linhas gerais.

Inicialmente devemos considerar todas as forças externas que agem no corpo, ou corpos, e representá-las; isso corresponde à aplicação do princípio da ação e reação.

Na direção em que a aceleração do corpo é nula, pelo princípio da inércia, ou pelo princípio fundamental da dinâmica, a força resultante deve ser nula.

Na direção da aceleração, a força resultante deve ter a mesma direção e o mesmo sentido da aceleração e deve, ainda, obedecer ao princípio fundamental da dinâmica.

Acompanhe esse próximo exemplo numérico. Teremos, agora, dois corpos em contato um com o outro e empurrados por uma força.

O esquema ao lado mostra dois corpos, A e B, com massas respectivamente iguais a 6 kg e 9 kg, apoiados em uma mesa horizontal lisa e sujeitos à força horizontal \vec{F} de intensidade 45 N. Determine:

- a aceleração adquirida pelos corpos;
- a intensidade da força que o corpo A aplica no corpo B.

Devemos inicialmente representar as forças que agem em cada um dos corpos. A figura ao lado mostra-nos essas forças. A força f é a força de contato entre os corpos A e B.

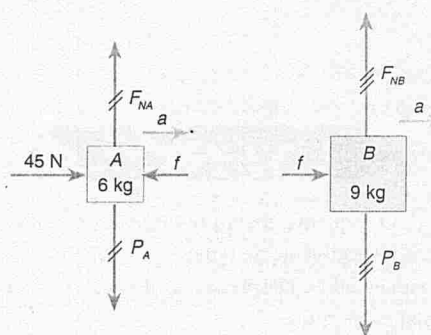
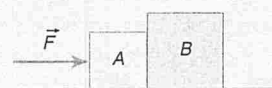
Como os corpos se movimentam na horizontal, podemos concluir que na vertical a aceleração é nula e, conseqüentemente, a força resultante vertical em cada um dos corpos é nula. Assim, teremos:

$$P_A = F_{NA} \text{ e } P_B = F_{NB}$$

Na horizontal, pelo princípio fundamental da dinâmica, devemos ter:

$$\begin{cases} 45 - f = 6 \cdot a & (\text{para o corpo A}) \\ f = 9 \cdot a & (\text{para o corpo B}) \end{cases}$$

Somando-se, membro a membro, as duas equações, obtemos: $45 = 15 \cdot a \Rightarrow a = 3 \text{ m/s}^2$
Substituindo-se esse valor de a na equação do corpo B, teremos: $f = 9 \cdot 3 \Rightarrow f = 27 \text{ N}$

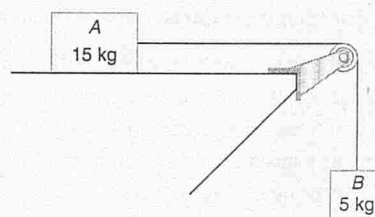


O exemplo seguinte apresenta um corpo apoiado sobre uma mesa e unido por um fio (que passa por uma roldana) a um outro corpo suspenso. Lembre-se de que se o bloco puxa o fio, pelo princípio da ação e reação, o fio puxa o bloco.

O bloco A, apoiado na mesa, tem massa 15 kg e o bloco B, suspenso, tem massa 5 kg.

O coeficiente de atrito entre o bloco A e a mesa vale 0,20. Considere que o fio utilizado para unir os blocos é ideal e que a aceleração gravitacional vale 10 m/s^2 .

- Qual é a aceleração adquirida pelos corpos durante seus movimentos?
- Qual é a tração no fio ideal?

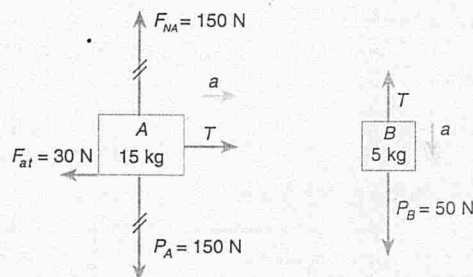


- De modo análogo ao que fizemos no exemplo anterior, devemos inicialmente representar as forças que agem nos dois blocos, como na figura ao lado.

No bloco A, que se movimentará na horizontal, atuam as forças peso P_A , reação normal do apoio F_{NA} , tração T no fio e a força de atrito F_{at} . No bloco B atuam apenas as forças peso P_B e tração T no fio. Os pesos de A e de B foram calculados por $P = m \cdot g$ e a força de atrito que atua no bloco apoiado, por $F_{at} = \mu \cdot F_{NA}$.

Observe que a força que tende a movimentar o sistema – o peso do bloco suspenso – é maior que a força de atrito atuando no bloco apoiado. Dessa maneira, a aceleração adquirida pelo bloco A é orientada para a direita e, conseqüentemente, a aceleração de B é orientada para baixo.

Pelo princípio fundamental da dinâmica, teremos:



$$\begin{cases} T - 30 = 15 \cdot a \text{ (bloco A)} \\ 50 - T = 5 \cdot a \text{ (bloco B)} \end{cases}$$

Observe que, mais uma vez, chegamos a um sistema de 2 equações e 2 incógnitas: a e T .

A resolução do sistema, mais uma vez, será feita por adição, isto é, somaremos membro a membro as duas equações (observe que isso elimina a incógnita T). Obtemos então:

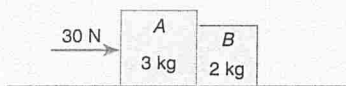
$$50 - 30 = 20 \cdot a \Rightarrow 20 = 20 \cdot a \Rightarrow a = 1 \text{ m/s}^2$$

- A tração no fio ideal pode ser agora obtida pela substituição de $a = 1 \text{ m/s}^2$ em qualquer uma das equações do sistema. Então, com a na equação do bloco A, teremos:

$$T - 30 = 15 \cdot 1 \Rightarrow T - 30 = 15 \Rightarrow T = 45 \text{ N}$$

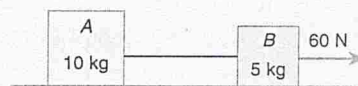
EXERCÍCIOS

74 O esquema abaixo representa dois blocos, A e B, com massas respectivamente iguais a 3 kg e 2 kg sujeitos à força de intensidade 30 N. Despreze o atrito entre os blocos e o piso horizontal e determine:



- a aceleração dos blocos;
- a intensidade da força que o bloco A aplica no bloco B.

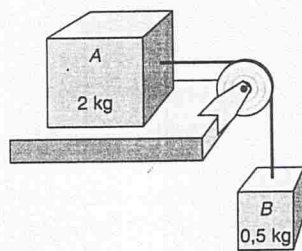
75 Os blocos A e B, mostrados na figura a seguir, com massas respectivamente iguais a 10 kg e 5 kg, são arrastados pela força de intensidade 60 N. O coeficiente de atrito dinâmico entre os blocos e o piso de apoio vale 0,3 e o fio que une os blocos é ideal. Considere $g = 10 \text{ m/s}^2$. Determine:



- a aceleração adquirida pelos corpos;
- a intensidade da força de tração no fio.

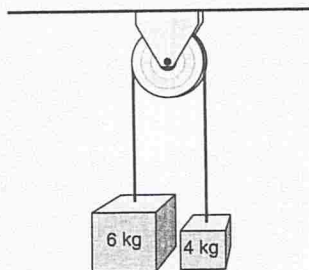
76 Um corpo com massa 2 kg está apoiado sobre uma mesa lisa e ligado, por um fio ideal, ao bloco suspenso de massa 0,5 kg. Considere $g = 10 \text{ m/s}^2$.

- Qual é a aceleração dos blocos?
- Qual é a intensidade da força tensora do fio?



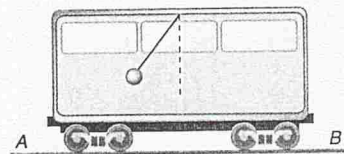
77 O dispositivo mostrado no esquema ao lado é chamado "máquina de Atwood" e pode ser usado para estudar a queda dos corpos. Os corpos suspensos em cada uma das extremidades do fio ideal têm massas de 6 kg e de 4 kg. Considere que a aceleração gravitacional tem módulo igual a 10 m/s^2 .

- Se os corpos são abandonados, qual é a aceleração que eles adquirem?
- Qual é a tração no fio ideal durante o movimento dos corpos?

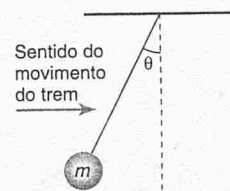


78 (U. E. Londrina-PR) Um observador vê um pêndulo preso ao teto de um vagão e deslocado da vertical como mostra a figura ao lado. Sabendo que o vagão se desloca em trajetória retilínea, ele pode estar se movendo de:

- A para B, com velocidade constante.
- B para A, com velocidade constante.
- A para B, com sua velocidade diminuindo.
- B para A, com sua velocidade aumentando.
- B para A, com sua velocidade diminuindo.



79 Um aluno, após estudar o princípio da inércia e o princípio fundamental da dinâmica, resolveu testar a teoria em uma situação prática. Para isso prendeu um pedaço de fio dental a uma pequena bolinha de aço e, munido de um transferidor, resolveu medir a aceleração desenvolvida por um carro do metrô durante sua arrancada. A figura mostra a situação da bolinha e do fio durante a arrancada do trem. Considerando que a aceleração gravitacional g é conhecida, qual é a aceleração desenvolvida pelo metrô durante essa arrancada?



9 A ACELERAÇÃO CENTRÍPETA

Uma situação bastante comum no dia-a-dia é a de um carro que, ao tentar fazer uma curva, acaba por derrapar. Muitos fatores podem contribuir para que isso ocorra: excesso de velocidade, desgaste dos pneus, pista escorregadia e, até mesmo, um erro de projeto em que o raio da curva tenha sido mal calculado.

Sempre que um corpo se movimenta em trajetória não-retilínea, age sobre ele uma força cujo efeito é alterar a direção do vetor velocidade, de modo a permitir que o móvel percorra essa trajetória em curva. Essa força é denominada **força resultante centrípeta** e é geralmente representada por \vec{F}_c .

A palavra *centrípeta* significa literalmente: "que se dirige para o centro"; "que procura se aproximar do centro".

A força resultante centrípeta deve ter sempre direção perpendicular à trajetória – portanto, perpendicular à do vetor velocidade – e orientada para o centro da curva.

De acordo com o princípio fundamental da dinâmica, essa força deve proporcionar ao móvel uma aceleração também perpendicular à direção da velocidade e, ainda, orientada para o centro da curva.

Essa aceleração, que provoca uma variação na direção do vetor velocidade, é denominada **aceleração centrípeta** e representada por \vec{a}_c .

Se você amarrar um fio a um corpo e o girar ao redor de si em uma trajetória circular, então, a resultante entre a força de tração no fio e o peso do corpo será a resultante centrípeta. Se o fio arrebentar, a força de tração deixa de existir e, pelo princípio da inércia, o corpo tenderá a um movimento em linha reta, saindo na direção tangente à trajetória. Sem uma aceleração centrípeta é impossível um corpo percorrer uma trajetória curvilínea. (Fig. 3.48)

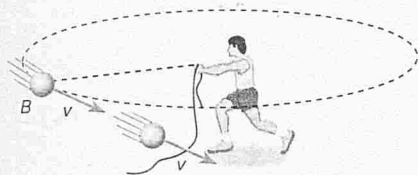


Figura 3.48 No ponto B, o fio é rompido e o corpo, por inércia, segue uma direção tangente à trajetória circular.

Pode-se demonstrar que a aceleração centrípeta tem módulo dado por:

$$a_c = \frac{v^2}{R}$$

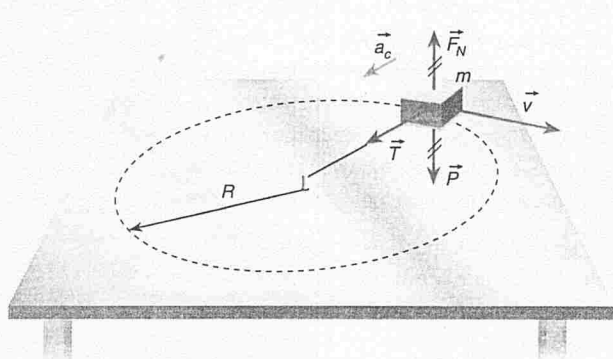


Figura 3.49 Forças aplicadas em um corpo de massa m .

Considere um corpo de massa m , preso por um fio, movimentando-se sobre uma superfície horizontal lisa em uma trajetória circular de raio R . As forças que atuam sobre o corpo são: seu peso \vec{P} , a força de reação normal do apoio \vec{F}_N e a força de tração \vec{T} aplicada pelo fio. (Fig. 3.49)

Na direção vertical, a força resultante deve necessariamente ser nula, pois a aceleração nessa direção é nula (o corpo move-se apenas no plano horizontal).

A força resultante sobre o corpo é a tração \vec{T} , aplicada pelo fio, e é essa força que desempenha o papel de força resultante centrípeta. Pelo princípio fundamental da dinâmica, temos:

$$\vec{F}_{res} = m \cdot \vec{a} \Rightarrow F_{res} = m \cdot a \Rightarrow T = m \cdot a_c \Rightarrow T = m \cdot \frac{v^2}{R}$$

A aceleração centrípeta ($a_c = \frac{v^2}{R}$) pode ser calculada, ainda, por

uma outra expressão.

Considere um corpo que descreve um movimento com velocidade escalar constante, v , em uma trajetória circular de raio R . (Fig. 3.50)

Vamos chamar de T o intervalo de tempo necessário para que o corpo complete uma volta em sua trajetória. Esse intervalo de tempo recebe o nome de **período** do movimento.

Como a velocidade escalar do móvel é constante, então em qualquer instante sua velocidade v será igual à velocidade escalar média, ou seja: $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$.

Podemos, também, calcular a **velocidade angular** ω do móvel. A velocidade angular indica a rapidez com que ocorre um deslocamento

angular $\Delta\phi$ do móvel em um intervalo de tempo Δt . Então: $\omega = \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$

Em uma volta completa: $\Delta s = 2 \cdot \pi \cdot R$, $\Delta\phi = 2 \cdot \pi$ rad e $\Delta t = T$

Assim, a velocidade escalar v é dada por:

$$v = \frac{2 \cdot \pi \cdot R}{T} \Rightarrow v = \frac{2 \cdot \pi}{T} \cdot R$$

Observe que a grandeza $\frac{2 \cdot \pi}{T}$ corresponde a um deslocamento angular de $2 \cdot \pi$ radianos (uma volta completa) durante um período T e é a **velocidade angular** no movimento circular:

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi}{T} \Rightarrow v = \omega \cdot R$$

Finalmente podemos obter uma nova expressão para o cálculo da aceleração centrípeta:

$$a_c = \frac{v^2}{R} \Rightarrow a_c = \frac{(\omega \cdot R)^2}{R} \Rightarrow a_c = \frac{\omega^2 \cdot R^2}{R} \Rightarrow a_c = \omega^2 \cdot R$$

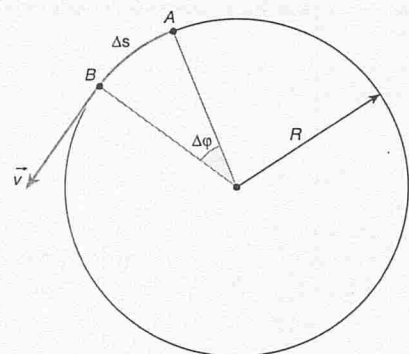


Figura 3.50

Vamos mostrar como essa teoria pode ser aplicada a um problema cotidiano. Acompanhe o exemplo a seguir.

Um carro com massa 1.000 kg, em um plano horizontal, descreve uma curva circular com raio de 100 m, mantendo uma velocidade constante. O coeficiente de atrito entre os pneus e a pista vale 0,4. Considerando que a aceleração gravitacional vale 10 m/s^2 , determine a máxima velocidade que o carro pode desenvolver para não derrapar.

As forças que atuam no carro são mostradas na figura ao lado. São elas:

- o peso \vec{P} do carro;
- a força de reação normal do apoio \vec{F}_N ; e
- a força de atrito \vec{F}_{at} .

Na direção vertical, a força resultante deve ser nula, pois a velocidade do carro, nessa direção, não varia ($F_N = m \cdot g$).

A força que mantém o carro descrevendo a curva é a força de atrito, orientada para o centro O da curva e que desempenha o papel de força resultante centrípeta. Ou seja:

$$\vec{F}_{res} = m \cdot \vec{a}_c \Rightarrow F_{res} = m \cdot a_c \Rightarrow F_{at} = m \cdot \frac{v^2}{R} \quad (I)$$

É importante ressaltar que essa força de atrito tem intensidade variável com a velocidade: em baixas velocidades, ela tem pequena intensidade; em velocidades mais altas, intensidade maior.

Quando o carro estiver desenvolvendo a máxima velocidade possível, na iminência de derrapar, a força de atrito atinge seu valor máximo, dado por:

$$F_{at(máx)} = \mu \cdot F_N = \mu \cdot m \cdot g \quad (II)$$

Portanto, para o carro não derrapar, devemos ter:

$$F_{at} \leq F_{at(máx)} \quad (III)$$

De (I), (II) e (III), temos: $m \cdot \frac{v^2}{R} \leq \mu \cdot m \cdot g \Rightarrow v^2 \leq \mu \cdot R \cdot g \Rightarrow v \leq \sqrt{\mu \cdot R \cdot g}$

Observe que a máxima velocidade possível não depende da massa do carro, mas, basicamente, do raio da curva e do coeficiente de atrito, este último ligado principalmente às características do pneu e do piso da estrada.

Aplicando os valores numéricos fornecidos no enunciado do problema, obtemos:

$$v \leq \sqrt{0,4 \cdot 100 \cdot 10} \Rightarrow v \leq \sqrt{400} \Rightarrow v \leq 20 \text{ m/s} = 72 \text{ km/h}$$

Portanto, a máxima velocidade que o carro pode desenvolver ao realizar a curva, para não derrapar, é 72 km/h.

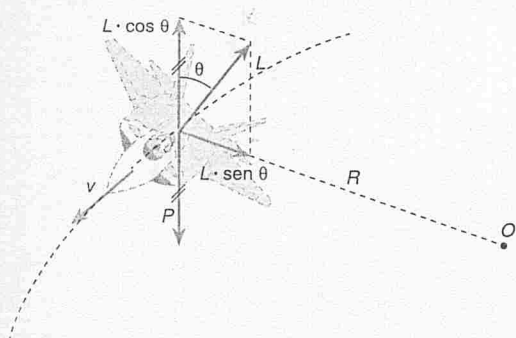
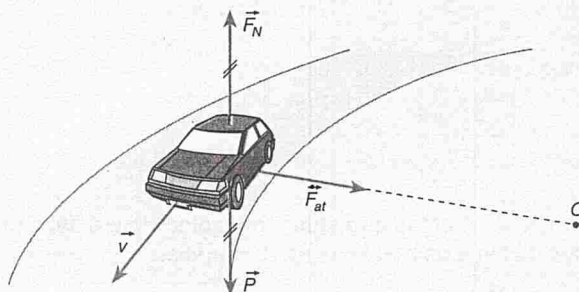


Figura 3.51 Forças que atuam no avião e as componentes da força de sustentação.

Muitas situações cotidianas provam que um corpo que realiza uma curva deve ter uma força resultante, ou uma componente dela, orientada para o centro da curva. Observe, a seguir, algumas dessas situações e as forças que atuam no corpo em movimento.

Um avião, ao descrever uma curva em um plano horizontal, deve inclinar-se. O peso P e a força de sustentação L (do inglês *lifting*), fornecida pelas asas, atuam no avião. (Fig. 3.51) A componente horizontal da força de sustentação $L \cdot \text{sen} \theta$ é a resultante centrípeta. Na direção vertical, as forças peso e componente vertical da sustentação devem se equilibrar para manter o avião estável.

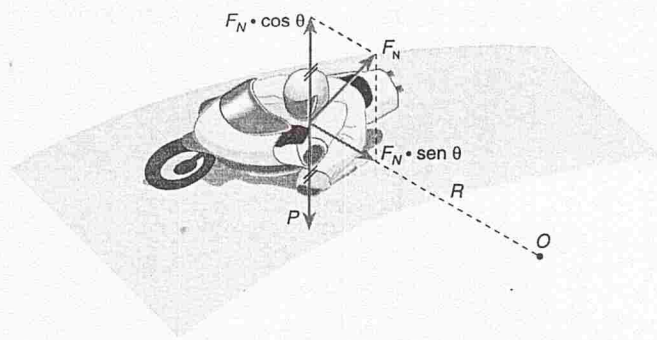


Figura 3.52 Forças que atuam na motocicleta e as componentes da força de reação normal do apoio.

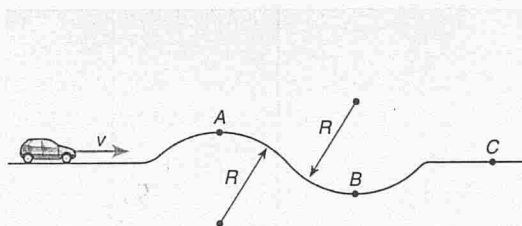
Um ciclista ou um motociclista, ao descrever uma curva inclinada de ângulo θ com a horizontal, pode percorrer a curva, mesmo na ausência de atrito, e atingir velocidades mais altas do que se a pista fosse horizontal. A componente horizontal da força de reação normal do apoio $F_N \cdot \sin \theta$, desempenha o papel de resultante centrípeta. Na direção vertical, as forças P (peso) e $F_N \cdot \cos \theta$ (componente vertical da reação normal do apoio) se equilibram. (Fig. 3.52) Naturalmente a existência de atrito contribui para gerar uma força de atrito, também orientada para o centro da curva e que contribui para a resultante centrípeta.

EXERCÍCIOS

80 (Uneb-BA) Uma partícula de massa 1 kg move-se em uma trajetória circular de raio 2 m com velocidade constante de 4 m/s. O módulo da força centrípeta que atua sobre a partícula é
a) 2 N b) 3 N c) 4 N d) 6 N e) 8 N

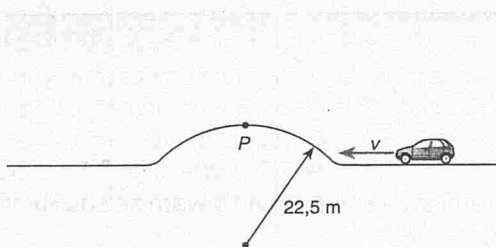
81 (Inst. Nac. de Tel. de Santa Rita do Sapucaí-MG) Um móvel está animado de movimento circular uniforme e faz uma volta completa na circunferência em 3 s. Sabendo-se que o raio da circunferência tem comprimento igual a 6 m, determine:
a) a velocidade angular do móvel;
b) o módulo da aceleração centrípeta do móvel.

82 A figura a seguir ilustra o perfil de uma pista pela qual um carro viaja a uma velocidade constante de 108 km/h. O carro tem massa 1.000 kg e os raios indicados na figura valem 100 m.

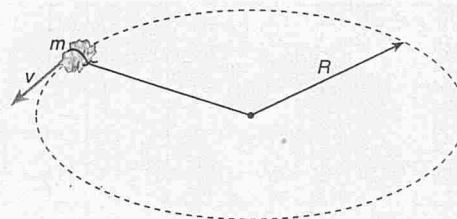


Considerando que a aceleração gravitacional é de 10 m/s^2 , determine a intensidade da força de reação normal do apoio F_N que age no carro quando ele estiver passando pelos pontos A, B e C da estrada.

83 Um carro com massa de 800 kg, desenvolvendo uma velocidade v constante, passa por uma lombada com raio de 22,5 m. Determine a máxima velocidade que o carro deve ter para, no ponto mais alto da lombada (ponto P), não perder o contato com a pista. Adote $g = 10 \text{ m/s}^2$.

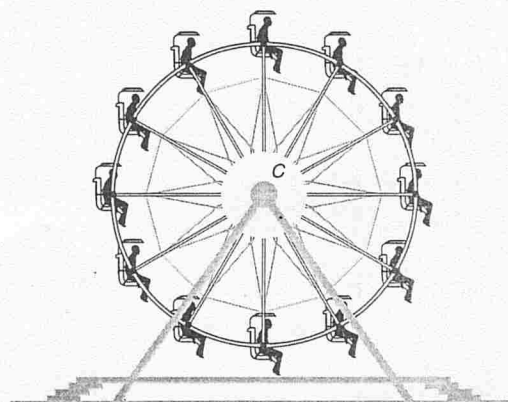


84 Uma pedra com massa de 2 kg, presa a um fio, descreve uma trajetória circular com raio de 8 m, em um plano horizontal liso. O fio que mantém a pedra na trajetória suporta uma tração máxima de 100 N. Qual é a máxima velocidade que a pedra poderá desenvolver para não arrebentar o fio que a mantém na trajetória circular?



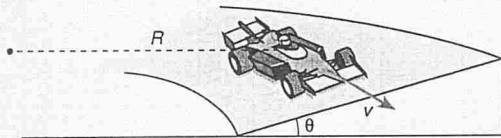
85 (UFRJ) A figura representa uma roda-gigante que gira com velocidade angular constante em torno do eixo horizontal fixo que passa por seu centro C.

Numa das cadeiras há um passageiro, de 60 kg de massa, sentado sobre uma balança de mola (dinamômetro), cuja indicação varia de acordo com a posição do passageiro. No ponto mais alto da trajetória, o dinamômetro indica 234 N e, no ponto mais baixo, indica 954 N. Considere a variação do comprimento da mola desprezível quando comparada ao raio da roda. Calcule o valor da aceleração local da gravidade.

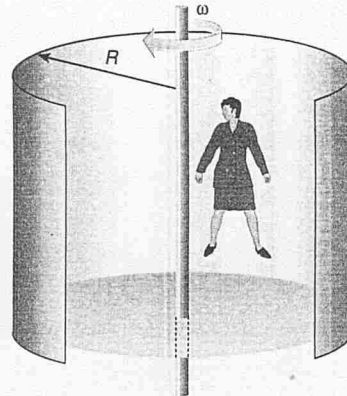


86 Uma atração bastante apreciada nos espetáculos circenses é o globo da morte, constituído por uma casca esférica, dentro da qual um motociclista realiza acrobacias. O ponto alto da apresentação acontece quando o motociclista percorre a trajetória circular no plano vertical. Considere que o globo tem raio R e que a aceleração gravitacional vale g . Determine a velocidade mínima que o motociclista deve ter no ponto mais alto de sua trajetória para não perder contato com o globo.

87 Nas corridas em circuito oval da Fórmula Indy as pistas são acentuadamente inclinadas. Isso permite aos carros atingirem velocidades bem mais altas do que se as pistas fossem horizontais. A figura abaixo mostra-nos um carro percorrendo uma curva de raio R em uma pista que forma um ângulo θ com a horizontal. Desprezando os atritos, determine a velocidade v que o carro deve manter para realizar a curva. A aceleração gravitacional é igual a g .



88 Em alguns parques de diversão, existe um brinquedo chamado rotor. O brinquedo consiste basicamente em um cilindro com eixo vertical, em que as pessoas entram e encostam-se à parede. O cilindro passa, então, a girar com velocidade angular ω crescente. Atingida uma determinada velocidade, o chão é baixado e as pessoas permanecem "grudadas" à parede do cilindro, conforme nos mostra a figura abaixo. Considere g a aceleração gravitacional e μ o coeficiente de atrito entre a pessoa e a parede do cilindro. Determine a menor velocidade angular ω que o cilindro com raio R deve desenvolver para que a pessoa não escorregue.



Sugestão de leitura

Os movimentos – Pequena abordagem sobre Mecânica, de Nicolau Gilberto Ferraro (São Paulo, Editora Moderna, 4. ed., 2000, Coleção Desafios)

O autor apresenta uma introdução ao estudo dos movimentos dos corpos, a Mecânica. Descreve o empenho de pensadores e cientistas como Galileu, Newton e Einstein na formulação de teorias e leis que explicam os movimentos.