

Gaspar saiu com seu Fusquinha para fazer um passeio. Como estava apressado, saiu sem verificar os pneus do carro, que estavam "carecas". No meio do passeio, começou a chover. Ele ligou o limpador de pára-brisa, acendeu os faróis, por precaução e, nesse momento, viu uma barreira de terra caída no meio da estrada. Rapidamente pisou no freio, mas, com a chuva, a lama e os pneus lisos não houve motivo, ou seja, não houve nenhuma **força** contrária ao movimento que fizesse o carro parar. O Fusca foi derrapando em Movimento Retilíneo Uniforme até bater num monte de areia, que exerceu uma **força** contrária ao movimento, e ele parou.

Sabemos que os corpos mais pesados têm maior inércia do que os mais leves. Assim, é mais difícil movimentar um corpo pesado do que um corpo leve, porque o mais pesado exige muito mais força.

Uma pergunta: é possível medir a inércia de um corpo?

Segunda lei de Newton: lei da força

É muito mais fácil empurrar um Fusquinha do que um caminhão. Assim como é muito mais fácil parar o Fusca do que o caminhão, se ambos tiverem a mesma velocidade. Isso é óbvio!

É sobre isso que a segunda lei de Newton trata: qual é a relação entre o movimento dos objetos e a **força** aplicada sobre eles.

Newton desenvolveu uma expressão matemática para descrever essa relação. Essa expressão matemática pode nos fazer compreender melhor as coisas que acontecem no nosso dia-a-dia. Por exemplo: um carrinho de mão vazio é muito mais fácil de carregar do que um carrinho de mão cheio de terra. Ou, ainda, o ônibus com poucos passageiros sobe com muito mais facilidade uma ladeira do que quando está lotado. Em compensação, quando o motor do ônibus pifa, é melhor que a lotação esteja completa, pois será mais fácil empurrar um ônibus com a ajuda de muitas pessoas do que com a de pouca gente!

Figura 4

Passo-a-passo

Vamos retomar a situação em que Gaspar bateu no monte de areia. Quando tentou pôr de novo em funcionamento o motor de seu Fusquinha, não conseguiu. Gaspar desceu do carro e foi pedir ajuda num bar próximo. Lá encontrou sua amiga Maristela, que se dispôs imediatamente a ajudá-lo.

Gaspar entrou no Fusca e Maristela começou a empurrá-lo. Mas o Fusca mal saiu do lugar. Maristela, então, foi chamando um a um dos seus amigos para ajudar a empurrar o Fusca. Gaspar que estava dentro do Fusca começou a observar o seguinte:

- Com uma pessoa, o Fusca que estava parado alcançou uma velocidade de 4 km/h, num tempo de 10 s (segundos).
- Com duas pessoas, o Fusca, de 0 km/h alcançou 8 km/h, em 10 s.
- Com quatro pessoas, a velocidade variou de 0 km/h até 16 km/h, em 10 s.
- Com oito pessoas, a velocidade variou de 0 km/h até 32 km/h, em 10 s.

TABELA 1			
NÚMERO DE PESSOAS	VELOCIDADE INICIAL (km/h)	VELOCIDADE FINAL (km/h)	TEMPO (s)
1	0	4	10
2	0	8	10
4	0	16	10
8	0	32	10

Recordando

Lembrete: como já vimos, para calcular a aceleração em **m/s²** precisamos que a velocidade seja em **m/s** e não em **km/h**. Para isso, fazemos a seguinte transformação:

$$1 \frac{\text{Km}}{\text{h}} = \frac{1.000 \text{ m}}{60 \text{ min}} = \frac{1.000 \text{ m}}{60 \cdot 60 \text{ s}} = \frac{1.000 \text{ m}}{3.600 \text{ s}} = \frac{1}{3,6} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

ou seja, para transformar qualquer velocidade de km/h para m/s devemos fazer a seguinte conta, por exemplo:

$$v_{\text{final}} = 4 \frac{\text{Km}}{\text{h}} = 4 \cdot 1 \frac{\text{Km}}{\text{h}} = 4 \cdot \frac{1}{3,6} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}} = 1,1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Se calcularmos a aceleração do Fusca, teremos:

com um homem: $a_1 = \frac{D v_1}{D t} = \frac{1,1 - 0}{10 - 0} = 0,11 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

com dois homens: $a_2 = \frac{D v_2}{D t} = \frac{2,2 - 0}{10 - 0} = 0,22 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

com quatro homens: $a_3 = \frac{D v_3}{D t} = \frac{4,4 - 0}{10 - 0} = 0,44 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

com oito homens: $a_8 = \frac{D v_8}{D t} = \frac{8,8 - 0}{10 - 0} = 0,88 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Vamos supor que cada homem faça 100 unidades de força (newtons), podemos ver que:

$$\begin{aligned} F_{1 \text{ homem}} &= F_1 = 100 \text{ N} \\ F_{2 \text{ homens}} &= F_1 + F_1 = 2F_1 = F_2 = 200 \text{ N} \\ F_{4 \text{ homens}} &= F_2 + F_2 = 4F_1 = F_4 = 400 \text{ N} \\ F_{8 \text{ homens}} &= F_4 + F_4 = 8F_1 = F_8 = 800 \text{ N} \end{aligned}$$

onde, em cada situação, olhamos para a **soma das forças** que estão agindo sobre o veículo.

Assim, dividindo a força realizada pelos homens pela aceleração produzida no Fusquinha, teremos:

$$\frac{F_1}{a_1} = \frac{100}{0,11} = \frac{F_2}{a_2} = \frac{200}{0,22} = \frac{F_4}{a_4} = \frac{400}{0,44} = \frac{F_8}{a_8} = \frac{800}{0,88} = 909,9 \frac{\text{N}}{\text{m/s}^2} \text{ } \mathbb{P} \text{ constante}$$

Podemos ver que a **força é diretamente proporcional à aceleração**, isto é, quanto maior for a força, maior será a aceleração. Podemos então escrever de modo geral:

$$\mathbb{P} \quad F_{\text{resultante}} = m \cdot a$$

onde m é uma constante. Mas o que será esse m , essa curiosa constante?

Vamos imaginar que Gaspar estivesse num pequeno caminhão em vez de num Fusquinha. Quando fossem empurrar o caminhão, Gaspar observaria o seguinte:

Com uma pessoa, o caminhão, que estava parado alcançou uma velocidade de 1 km/h, num tempo de 10 s (segundos).

Com duas pessoas, o caminhão, de 0 km/h alcançou 2 km/h, em 10 s

Com quatro pessoas, a velocidade variou de 0 km/h até 4 km/h, em 10 s

Com oito pessoas, a velocidade variou e 0 km/h até 8 km/h, em 10 s

TABELA 2			
NÚMERO DE PESSOAS	VELOCIDADE INICIAL (KM/H)	VELOCIDADE FINAL (KM/H)	TEMPO (s)
1	0	1	10
2	0	2	10
4	0	4	10
8	0	8	10

Se calcularmos a aceleração do caminhão, teremos:

com uma pessoa, $a_1 = \frac{Dv_1}{Dt} = \frac{0,28 - 0}{10 - 0} = 0,028 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

com duas pessoas, $a_2 = \frac{Dv_2}{Dt} = \frac{0,56 - 0}{10 - 0} = 0,056 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

com quatro pessoas, $a_3 = \frac{Dv_3}{Dt} = \frac{1,1 - 0}{10 - 0} = 0,11 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

com oito pessoas, $a_8 = \frac{Dv_8}{Dt} = \frac{2,2 - 0}{10 - 0} = 0,22 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Como cada pessoa faz 100 unidades de força (newton), podemos ver que a razão

$$\frac{F_1}{a_1} = \frac{100}{0,028} = \frac{F_2}{a_2} = \frac{200}{0,056} = \frac{F_4}{a_4} = \frac{400}{0,11} = \frac{F_8}{a_8} = \frac{800}{0,22} = 3571 \frac{\text{N}}{\text{m/s}^2} \text{ } \mathbb{P} \text{ constante}$$

o que, mais uma vez, é surpreendente.

Podemos ver que essa constante é bem maior no caso do caminhão do que no caso do Fusca. Essa constante tem um nome: nós a chamamos de **massa**.

Massa de um corpo é a medida de sua inércia!

Mas como assim? Vimos que com o mesmo número de pessoas é muito mais fácil acelerar o Fusca do que o caminhão, ou seja, o caminhão tem muito mais inércia do que o Fusquinha, ou ainda, a **massa** do caminhão é muito maior do que a do Fusca. Então, as massas são:

$$m_{\text{Fusca}} = 909,9 \frac{\text{N}}{\text{m/s}^2} = 909,9 \text{ kg}$$

$$m_{\text{Caminhão}} = 3.571 \frac{\text{N}}{\text{m/s}^2} = 3.571 \text{ kg}$$

O símbolo **kg** é a representação de **quilograma**, a unidade de massa. Uma unidade bastante conhecida, usada para medir o tão popular “peso das coisas”, na feira, que na realidade é a **massa** dos produtos. Agora poderemos prever qual é a força que age sobre um corpo se soubermos sua massa e a sua aceleração. Veja o exemplo a seguir.

Passo-a-passo

Um automóvel com massa de 1.200 kg está acelerando a uma razão de 10 m/s, a cada segundo, ou seja, tem uma aceleração de 10 m/s². Qual é a intensidade da força resultante que age sobre o automóvel? (Isto é, a força do motor menos a força de resistência que o ar e o solo fazem sobre o carro – força de atrito.)

Basta usarmos a segunda lei de Newton:

$$F_{\text{resultante}} = F_{\text{motor}} - F_{\text{atrito}} = ma \quad \text{e} \quad F = 1.200 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 12.000 \text{ N}$$

Ou seja, o carro está sob a ação de uma força de 12.000 newtons.

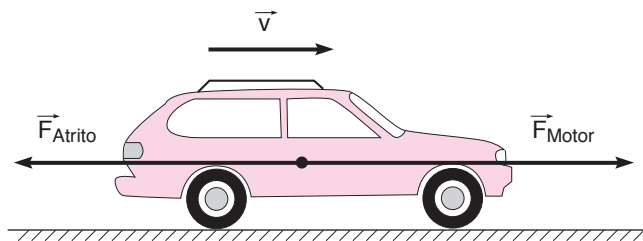


Figura 5

Terceira lei de Newton: ação e reação

8

Ou: quem empurra quem?

Podemos tocar numa parede sem que ela toque na gente? É óbvio que não!

Podemos empurrar um móvel (ou qualquer outra coisa), sem que ele nos empurre? É óbvio que não!

Essa pergunta pode ser feita também da seguinte forma: podemos fazer força sobre um objeto sem que esse faça força sobre nós? A resposta é **não**. Quando fazemos força sobre alguma coisa, essa coisa também faz força sobre nós.

Observação

Não é necessário que um corpo toque em outro para realizar uma força sobre aquele. Por exemplo, um ímã não precisa tocar em outro para atraí-lo, assim como a Terra nos atrai, mesmo quando não tocamos no chão; basta que pulemos para experimentar esse fato. Chamamos esse fenômeno de “interação à distância”, enquanto que as forças que necessitam de contato para serem transmitidas, chamamos de “forças de interação por contato”.

Passo-a-passo

Voltemos ao caso de Gaspar. Vamos imaginar que ele tivesse verificado os pneus antes da viagem e que tivesse colocado pneus novos. No momento que ele visse a barreira caída, pisaria no freio e o carro, com pneus novos, daria uma pequena derrapada, mas, logo em seguida, ia desacelerar até parar.

Podemos compreender essa situação em termos das leis de Newton. Ou seja, para que o carro pare é necessário um motivo, uma força, e a única coisa que estava em contato com o carro, no momento da freada, era o asfalto da estrada. O pneu parou de rodar e começou a raspar no asfalto, fazendo força sobre ele. O asfalto por sua vez, exerceu uma força de mesma intensidade e de sentido contrário sobre o pneu, fazendo com que o carro parasse.

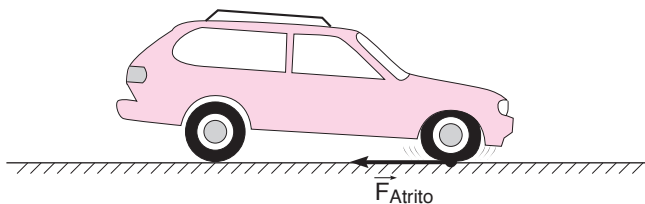


Figura 6

Será isso verdade?

Podemos verificar: na realidade, Gaspar não checkou seus pneus e sofreu o acidente. Na freada, os pneus completamente lisos, não tocam no asfalto, pois, entre o pneu e o asfalto, a água forma uma camada fina que impede o contato entre os dois; com isso, o carro perde contato com o solo, não tendo assim motivo, ou uma força que o faça parar. Desliza até bater em algum “motivo” que o detenha, mas esse motivo pode ser, infelizmente, o caminhão da frente ou mesmo uma parede.

8

Há vários exemplos nos quais podemos verificar a terceira lei de Newton, como as situações apresentadas na Figura 7.

Figura 7

Podemos então escrever a terceira lei de Newton de uma forma mais precisa:

Se um corpo A faz uma força sobre o corpo B, o corpo B faz ao mesmo tempo uma força de mesma intensidade e de sentido contrário sobre o corpo A.

Podemos expressar essa lei na forma matemática:

$$\vec{F}_{A \otimes B} = -\vec{F}_{B \otimes A}$$

Essa lei nos revela que ninguém **tem a força**, uma **força** não aparece sozinha, ela sempre aparece quando, no mínimo, dois corpos interagem um com o outro.

Isso é óbvio! Para que alguém faça uma força, é preciso ter um outro objeto para exercer essa força, caso contrário não haverá força. E, quando houver esse objeto, ele também fará força sobre quem o estiver empurrando, uma **força de mesmo valor e no sentido oposto**.

Mas há um detalhe muito importante: as **forças de ação e reação** estão sempre em corpos diferentes, ou seja, se empurramos uma parede, a força que se faz sobre a parede, está na parede, a força que a parede faz, isto é, a reação da parede, estará em quem a empurrou.

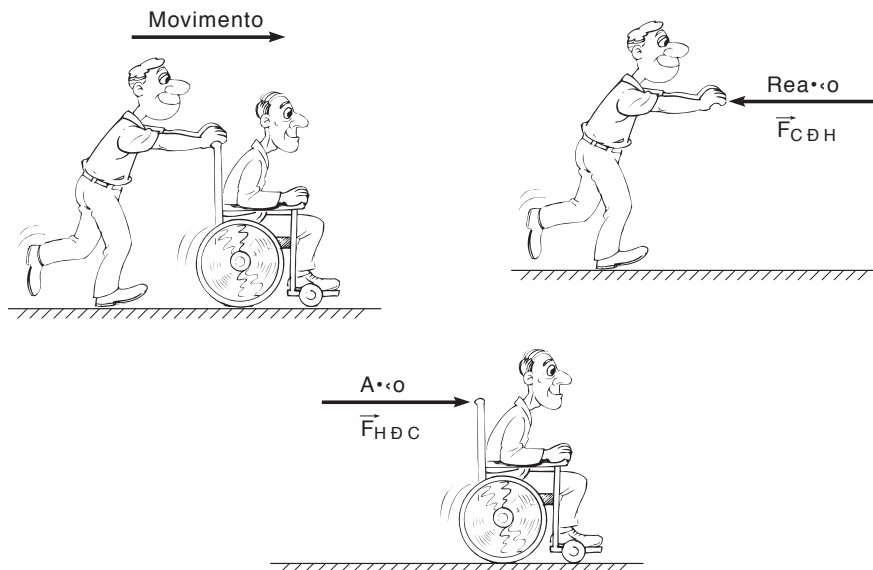


Figura 8

Nesta aula você aprendeu que:

- nunca devemos usar as três leis de Newton separadas, pois na verdade são necessárias todas juntas para que possamos compreender os fenômenos da Mecânica;
- um corpo só altera seu estado de movimento quando a soma das forças que agem sobre ele é diferente de zero;
- a soma de forças (resultante) é igual à massa do corpo vezes sua aceleração;
- todo corpo que exerce uma força sobre outro corpo, recebe uma força de reação de mesma intensidade em mesma direção, mas de sentido contrário.



Exercício 1

Explique, usando as três leis de Newton, por que quando estamos em um ônibus e ele freia repentinamente, temos a impressão de que somos lançados para frente.

Exercício 2

Ao estudar Cinemática, descobrimos que os corpos caem, quando não há interferência da atmosfera, com uma aceleração de 10 m/s^2 . Podemos, então, calcular a força com que a Terra nos atrai para o solo. Uma menina tem 45 quilogramas de massa. Qual é a força de atração com que a Terra atrai essa menina?

Exercício 3

Para pensar: se, quando empurramos um carro, este faz uma força de mesma intensidade no sentido contrário, por que então conseguimos empurrá-lo?

Exercício 4

Calcule a força motora de um caminhão que tem uma aceleração de 5 m/s^2 , quando está com uma carga de 5 toneladas (5.000 kg).

