

# Eu tenho a força! Será?

Várias vezes vemos na televisão alguém gritando “Eu tenho a força” e, então, começa uma verdadeira pancadaria! Logo o super-herói sai do meio da confusão tirando pó do ombro, como se nada tivesse acontecido. De vez em quando, vemos também quedas-de-braço entre duas pessoas que ficam com os rostos vermelhos de tanto esforço, até que um deles vence a peleja!

Muitos são os exemplos nos quais vemos o conceito de força sendo utilizada. Vimos nas Aulas 6 e 7, vários exemplos que discutiam o conceito de **força** na Física, como podemos medir e operar com os vetores que representam as forças, por exemplo, a soma, a subtração e a decomposição de forças para compreender várias experiências do nosso dia-a-dia.

Vamos estudar aqui as leis de Newton, que são as leis que explicam os movimentos, ou seja, qual é a razão para que um objeto se movimenta ou não.

O criador do conceito de força, **Isaac Newton**, estava preocupado em compreender as causas do movimento – ele se perguntava qual era o motivo para um corpo se movimentar.

Por exemplo, ele respondeu uma pergunta que raramente nos fazemos:

**Quando jogamos uma pedra para longe, ela começa a se movimentar devido ao impulso dado pela mão. Mas, por que continua a se movimentar depois de estar solta, fora da mão?**

Na Grécia antiga, essa pergunta foi respondida da seguinte forma: a natureza não gosta do vácuo. Então, quando a pedra sai de nossas mãos, deixa vazio o lugar onde estava, o ar que estava na frente da pedra vai para trás dela, ocupa o lugar vazio e ao mesmo tempo, vai empurrando a pedra para frente.

Essa solução foi dada numa época em que não se acreditava que podia existir o vácuo, ou seja, a ausência de ar. Hoje sabemos que existe e é possível fazer vácuo. Um exemplo é a embalagem do café a vácuo, vendida no supermercado.

Na Lua, os astronautas arremessaram pedras, e nenhuma delas teve problema para continuar seu trajeto, apesar de não haver atmosfera no nosso satélite!

Newton enunciou três leis. Elas explicam o movimento da pedra e por que os objetos se movimentam.



O cientista inglês Isaac Newton (1642-1727) dedicou-se ao ensino universitário e ao estudo da Física, da Matemática, da Alquimia, da Teologia e, na fase final de sua vida, à Política.

## Primeira lei de Newton: lei da inércia

Um carro está parado. Se não houver motivo para que ele se movimente, ele vai se movimentar? É óbvio que não!

Se um carro está se movimentando e não há motivo para que ele pare, ele vai parar? É óbvio que não!

Essa é a primeira lei de Newton. De alguma forma já sabíamos essas respostas, mas foi Newton quem enunciou essas situações em forma de lei da natureza.

Se entendermos “motivo” como uma força, enunciaremos formalmente a lei como:

### Lei da Inércia

**Se a soma das forças que agem sobre um corpo for nula, ele manterá seu estado de *movimento*: se o corpo estiver em *repouso*, permanecerá em *repouso*; se estiver em *movimento*, sua velocidade será *constante*, ou seja, manterá um *movimento retilíneo uniforme*.**

**Inércia** é uma **propriedade** dos corpos. Todo corpo que não tem motivo para alterar seu estado de movimento, não vai alterá-lo.

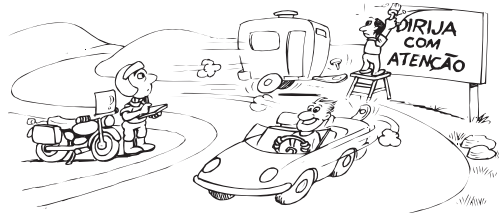


Figura 1

## Passo-a-passo

Muitas pessoas viajam na carroceria de um caminhão. Se no meio da viagem o caminhão precisa frear bruscamente, as pessoas que estão na carroceria do veículo continuam seu movimento sendo jogadas para frente, pois não havia motivo para que parassem. E terão o mesmo problema quando o caminhão que estava parado sair em disparada: todos serão jogados para trás (Fig. 2), pois não têm motivo para se mover – o caminhão sai e as pessoas ficam.

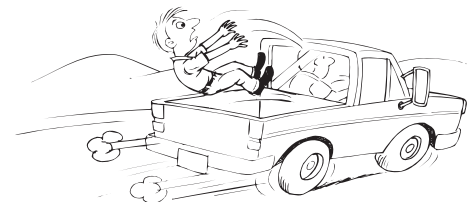


Figura 2

Muitos cavaleiros, ao saltar obstáculos com seu cavalo, podem encontrar dificuldades, quando o cavalo vem em disparada e refuga na hora do salto: o cavaleiro vai para o outro lado da cerca, mas sem o cavalo!



Figura 3

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  $\text{m/s}^2$  precisamos que a velocidade seja em  $\text{m/s}$  e não em  $\text{km/h}$ . 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  $\text{km/h}$  para  $\text{m/s}$  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:

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

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:

$$\vec{F}_{\text{resultante}} = m \cdot \vec{a}$$

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 de 0 km/h até 8 km/h, em 10 s

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:

$$\text{com uma pessoa,} \quad a_1 = \frac{DV_1}{Dt} = \frac{0,28 - 0}{10 - 0} = 0,028 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\text{com duas pessoas,} \quad a_2 = \frac{DV_2}{Dt} = \frac{0,56 - 0}{10 - 0} = 0,056 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\text{com quatro pessoas,} \quad a_3 = \frac{DV_3}{Dt} = \frac{1,1 - 0}{10 - 0} = 0,11 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\text{com oito pessoas,} \quad a_8 = \frac{DV_8}{Dt} = \frac{2,2 - 0}{10 - 0} = 0,22 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

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

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

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/s<sup>2</sup>. 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.

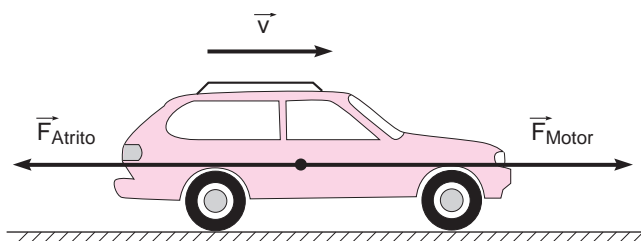


Figura 5

### 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.

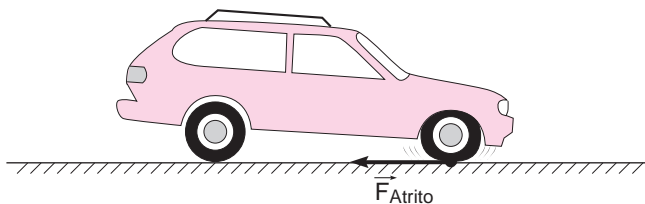
### Observação

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.



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.

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 empurrarmos 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.



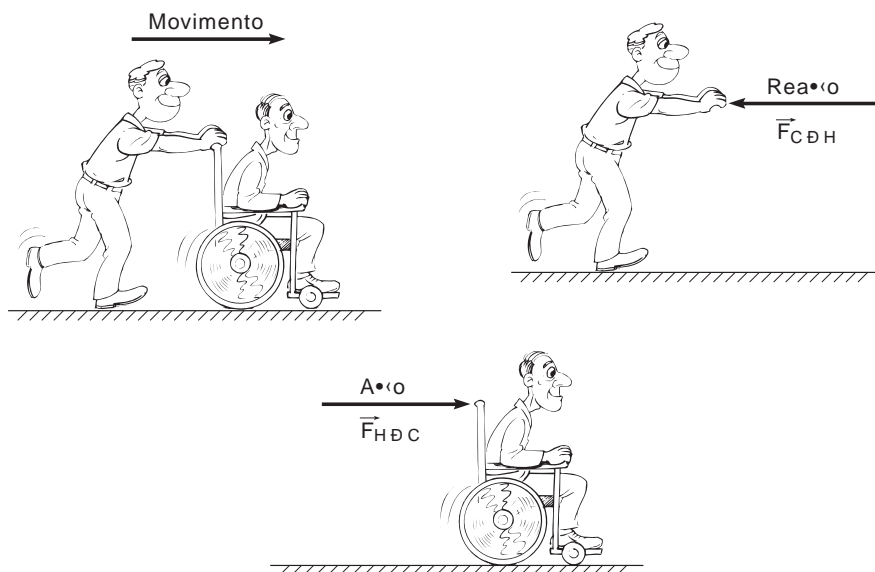


Figura 8

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  $10 \text{ m/s}^2$ . 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  $5 \text{ m/s}^2$ , quando está com uma carga de 5 toneladas (5.000 kg).

