

# Ou vai ou racha!



**S**empre que se empurra algum móvel pesado em casa, passa-se por um grande problema: além de termos que arrastar o móvel, o chão fica todo arranhado.

Quando se tem um móvel com muitas coisas dentro, a primeira coisa que se faz é esvaziar o móvel, deixando-o totalmente vazio. Todos os copos, pratos e panelas são retirados. Mas nem sempre adianta, pois ele pode ser muito pesado, mesmo estando vazio.

O enorme móvel tem que ser deslocado da cozinha para a sala, mas com seu peso, a tarefa se torna quase impossível!

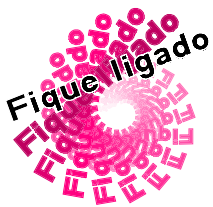
São chamados então os familiares, se ainda assim não for possível, são chamados, também, os amigos e mais os vizinhos, se necessário!

Com essa multidão, o móvel mal saiu do lugar. Quando todos se cansaram, o tumulto logo virou uma grande festa. Os copos, que foram tirados do armário, rapidamente ficaram cheios de cerveja, num mar de piadas e brincadeiras com os amigos e vizinhos que há muito não conversavam.

Esse problema foi resolvido com uma grande festa.



Figura 1



**Haveria outra maneira de resolver esse problema sem que fosse necessário dar uma festa?**

Em nossa vida diária, encontramos alguma forma de resistência sempre que queremos empurrar alguma coisa: um carro quebrado, ou, por exemplo, quando estamos num restaurante e uma pessoa não levanta a cadeira para sentar, mas a arrasta fazendo um barulho terrível; quando vemos uma criança brincando com o vento, colocando a mão para o lado de fora do carro em movimento; quando vamos à beira-mar e não conseguimos correr dentro da água com facilidade; ou, ainda, quando esquecemos de colocar óleo no auto-móvel e o motor trava.

Podemos ver que existe, em quase todo movimento no nosso dia-a-dia, uma força contrária, que chamamos de **força de atrito!**

Essa força está presente quando tentamos colocar um parafuso na parede e não conseguimos girá-lo mais. Pode ser encontrada quando um carro está na estrada e o vento que sentimos na janela é o mesmo ar que se choca contra o pára-brisa, exercendo uma força de resistência ao movimento do carro.

Podemos ver, também, algumas formas de se tentar driblar o atrito; um exemplo, está na maior aerodinâmica dos carros de Fórmula 1. Temos outro nos nadadores que raspam a cabeça e pernas para que os pêlos do corpo não atrapalhem seu movimento na água; ou, ainda, na criança que põe a mãozinha para fora da janela do carro e fica mexendo-a até encontrar a posição de menor resistência. São inúmeros os exemplos de nossa vida onde surgem as forças de resistência ao movimento.

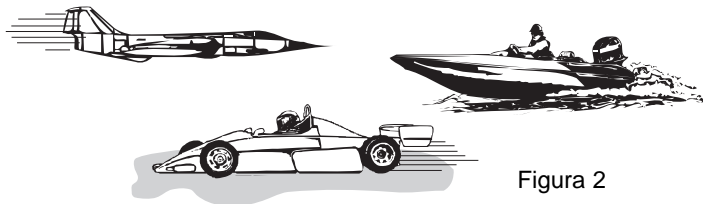


Figura 2

Mas vamos compreender o que ocorreu com o armário, usando as leis de Newton. Como vimos, o armário não se moveu; ou seja, na linguagem da Física, a **soma das forças** que estavam agindo sobre o armário era **igual a zero**.

Podemos usar novamente os três passos que aprendemos nas aulas anteriores e, assim, **estudar e propor alguma solução** para o problema do armário.

### 1º passo – Isolamento

No diagrama de forças que está na Figura 3, podemos ver quatro forças aplicadas ao armário:

- a força de atração que a Terra exerce sobre todos os corpos que estão perto da sua superfície, o **peso** ( $\vec{P}_A$ );
- a força ( $\vec{F}$ ) que **as pessoas estão fazendo** sobre armário;
- a força que o chão faz para sustentar o armário ( $\vec{N}$ ), que chamamos de **força normal**, por ser uma força que está sempre perpendicular em relação à superfície de contato entre o corpo e o solo;
- a força que o chão faz para impedir que o armário vá para frente ( $\vec{f}_{at}$ ), que chamamos de **força de atrito**.

Vamos entender melhor a força de atrito:

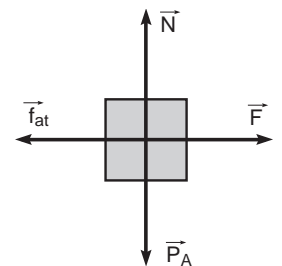


Figura 3

### Força de atrito

A força normal e a força de atrito representam a resistência que o chão faz para impedir o movimento do armário.

Existe uma correspondência entre essas duas forças. A força de resistência exercida pelo chão é uma força só, como podemos ver no diagrama ao lado:

As forças que chamamos de **normal** e de **atrito** são, na verdade, os componentes da força de resistência (Figura 4). A força normal é a parte da força de resistência que impede que o **armário desça**, enquanto a força de atrito é a parte da força de resistência que impede que o corpo **se desloque na direção da força F**.

Por isso, existe uma relação entre essas duas forças, ou seja, é possível mostrar que seus **módulos** são **diretamente proporcionais**:

$$f_{at} = \mu \cdot N$$

ou seja, se  $N$  aumenta,  $f_{at}$  também aumenta.

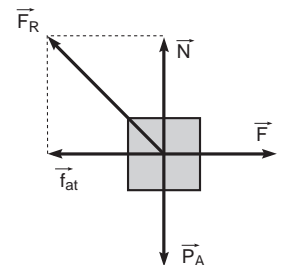


Figura 4

A constante  $\mu$  nos informa se o solo exerce muito ou pouco atrito sobre o corpo que está em contato com ele. Ou seja, se  $\mu$  é grande, temos um solo muito áspero, com muito atrito, enquanto se  $\mu$  é pequeno, o solo é mais liso, com pouco atrito.

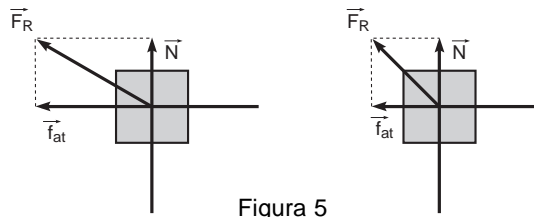


Figura 5

$\mu$  grande  $\rightarrow$   $f_{at}$  grande e  $\mu$  pequeno  $\rightarrow$   $f_{at}$  pequeno.  $N$  é constante nos dois casos! Mas o que ocorre com a força de atrito quando o corpo está parado?

### Atrito estático e atrito dinâmico

Se não há alguém puxando ou empurrando o armário, não haverá motivo para que o solo impeça seu movimento (Figura 6); mas, se começamos a empurrar o armário com uma força pequena, que não é suficiente ainda para que ele se mova, (por exemplo, o armário sendo empurrado por uma pessoa), podemos ver que aparece uma força de atrito para impedir que o armário ande, e, à medida que mais pessoas vão empurrando, a força de atrito vai aumentando, até que, finalmente, um número suficiente de pessoas consiga empurrar o armário. Isso significa que a força de atrito parou de crescer.

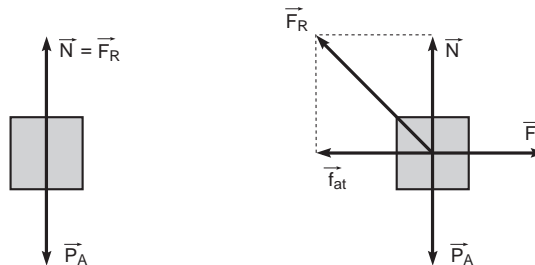


Figura 6

Podemos fazer um gráfico do comportamento da força de atrito em relação à força que está sendo aplicada no armário (Figura 7)

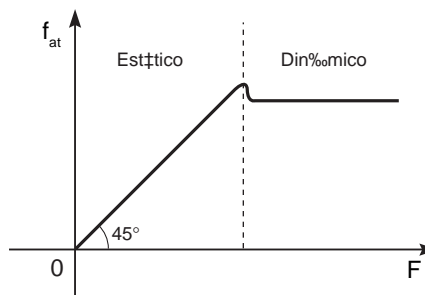


Figura 7. Gráfico  $f_{at}$  X  $F$

Enquanto a força de atrito está aumentando, o armário não se move. Chamamos, nessa situação, o atrito de: **atrito estático**.

Quando a força que está sendo feita sobre o armário aumenta o suficiente para movimentá-lo, a força de atrito passa a ter seu valor constante, chamamos então, nessa situação, o atrito de **atrito dinâmico**.

Um exemplo muito comum disso acontece quando empurramos um carro: inicialmente começamos a fazer uma certa força e vamos aumentando essa força até que o carro comece a andar; nesse momento, a força que fazemos para empurrar o carro é menor do que no instante anterior em que o carro ainda estava parado.

É preciso observar que, em cada uma dessas situações, o coeficiente de atrito é diferente apesar de estarmos olhando para o mesmo corpo, ou seja, estando ele parado ou em movimento.

Por isso, haverá o coeficiente de atrito estático ( $\mu_e$ ) e o coeficiente de atrito cinético ( $\mu_c$ ), que serão usados, dependendo se o objeto que está sob a ação da força de atrito estiver parado ou se movendo.

### Aspectos positivos da força de atrito

Nem sempre a força de atrito nos atrapalha nas tarefas que temos que cumprir. Ao contrário, muitas vezes ela nos ajuda.

Por exemplo, quando andamos, estamos “empurrando” o chão para trás e este nos empurra para frente, permitindo que andemos. Imagine se caminhássemos sobre uma superfície de gelo, ou mesmo por um chão cheio de cera, teríamos problemas para nos deslocar, pois não haveria atrito.

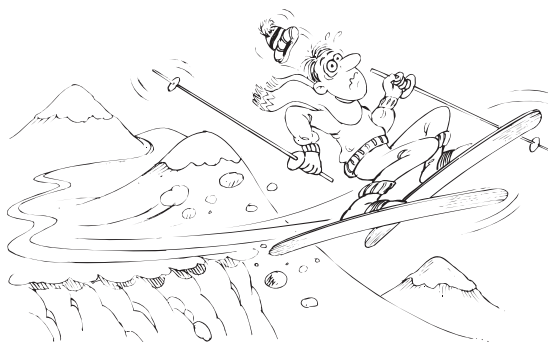


Figura 8

Um automóvel anda para a frente quando seus pneus “empurram” o chão para trás e este os empurra para frente. Quando o carro faz uma curva, isso ocorre porque existe o atrito entre o pneu e o chão; se não houvesse esse atrito o carro sairia reto nas curvas.

Em várias indústrias, existem esteiras para transporte de material, desde grãos de trigo a limalha de ferro (esta última para ser jogada em fornos). Essas esteiras transportam o material porque existe um atrito entre elas e o material. Se não houvesse, o material ficaria escorregando na esteira sem conseguir sair do lugar.

Vários são os exemplos em que o atrito nos ajuda em nosso dia-a-dia.

Mas, voltemos ao problema do armário. Como já fizemos o **isolamento**, agora vamos ao segundo passo: **construir as equações dinâmicas**, usando a segunda lei de Newton.

### 2º passo – equações dinâmicas

Qual será a força mínima que deve ser feita para que o armário se mova, supondo que o armário tenha um peso de 200 kg e que o coeficiente de atrito estático entre o solo e o armário  $\mu_e$  seja igual 0,5?

Sabendo que ele não vai se mover no sentido vertical, por isso, podemos escrever que a soma das forças na vertical é igual a zero:

$$P - N = 0 \rightarrow N = P$$

Supondo a força máxima que podemos fazer para que o armário esteja prestes a se mover, mas que ainda não tenha se movido:

$$F - f_{\text{at}} = 0 \Rightarrow F = f_{\text{at}}$$

Obteremos, então, duas equações dinâmicas:

$$N = P \quad \text{e} \quad F = f_{\text{at}}$$

Podemos, assim, passar para o terceiro passo que resolve esse sistema de duas equações e duas incógnitas (F e N):

### Solução das equações dinâmicas

Na primeira equação temos que:

$$N = P = mg = 200 \text{ kg} \cdot 10 \text{ m/s} = 2.000 \text{ N} \quad N = 2.000 \text{ N}$$

Na segunda equação, precisamos lembrar da relação entre a força de atrito e a força normal:

$$F = F_{\text{at}} = m\mu \cdot N = 0,5 \cdot 2.000 = 1.000 \text{ N} \quad F = 1.000 \text{ N}$$

Essa é a força máxima que podemos fazer antes que o armário se mova. Essa força é equivalente a levantar um peso de 100 kg.

Com isso, pudemos prever a força mínima que devemos fazer para que o armário esteja prestes a se mover. Mas precisamos de alguma forma diminuir a força de atrito para empurrar com mais facilidade o armário. Uma solução já havia sido dada, que é simplesmente diminuir o peso do armário, com isso diminuimos a força normal e, conseqüentemente, a força de atrito.

Mas às vezes isso não é suficiente. Precisamos controlar a força de atrito de outra forma: a única forma que nos resta, fora controlar o peso do armário, é controlar a força de atrito pelo coeficiente de atrito ( $\mu$ ). No coeficiente de atrito, está a informação se o atrito entre duas superfícies é grande ou não.

Se o atrito entre o chão e o armário é grande, temos que colocar algum material entre o armário e o chão que diminua o coeficiente de atrito.

Vamos supor que o chão é de madeira. Uma forma de diminuir o atrito seria colocar um pano entre o armário e o chão. Alguns móveis poderiam ser rapidamente movimentados com essa solução, principalmente os de fundo muito áspero.

Uma outra forma seria colocar cera no chão. Assim como a água provoca a derrapagem de um carro, por se transformar numa pequena camada entre o pneu e o asfalto, fazendo com que o carro perca o contato com o asfalto, a cera faria o mesmo papel, seria uma pequena camada entre o móvel e o chão de modo que este deslizaria pela madeira. Andar num chão encerado, é uma experiência muito comum e pode provocar grandes quedas e escorregões!

Essas são soluções que podem ser aplicadas em várias situações, por exemplo quando queremos pendurar um quadro ou prender uma estante na parede; fazemos um furo e colocamos uma bucha, mas quando posicionamos o parafuso, temos dificuldade para girá-lo até o fim da bucha. Isso pode ser solucionado colocando-se um pouco de óleo de cozinha, ou mesmo um lubrificante dentro da bucha, que tem a função de diminuir o atrito entre o parafuso e a bucha.

Vimos nesta aula:

- O conceito de **força de atrito** ( $f_{at}$ );
- sua relação com a força normal ( $N$ );  
que pode ser representada pela equação:

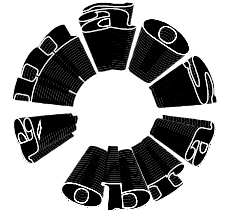
$$F_{at} = \mu N$$

- vimos também como resolver situações em que o atrito atrapalha nosso serviço, ou seja, podemos planejar para antecipar as conseqüências do movimento de um corpo em situações onde haja atrito;
- e outras situações em que o atrito nos ajuda a realizar movimentos ou tarefas.



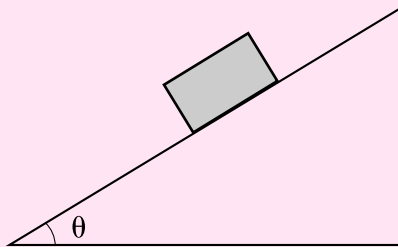
### Exercício 1

Para pensar: nas fábricas de automóvel, são pintados carros de várias cores. O que aconteceria se a lataria do carro fosse muito lisa? A tinta se “prenderia” na lataria?



### Exercício 2

Na figura abaixo, vemos um plano, que tem uma inclinação segundo o ângulo  $\theta$  com a horizontal. Qual será a inclinação máxima que o plano pode ter sem que a caixa escorregue ladeira abaixo? Suponha que a massa  $m$  da caixa seja igual a 100 kg e que o coeficiente de atrito estático  $\mu$  seja igual a 0,5.



### Exercício 3

Um operário deseja empurrar uma caixa de 100 kg, sobre uma superfície de madeira, mas não sabe quanta força no mínimo terá que fazer para conseguir seu intento. Para descobrir, ele precisa obter o coeficiente de atrito estático entre o fundo da caixa e a superfície. Portanto, realiza a seguinte experiência: coloca a caixa sobre um pedaço de madeira e, com seu macaco hidráulico, vai inclinando o conjunto como vemos na figura abaixo. Finalmente, ele mede o ângulo em que a caixa começa a deslizar. Faz isso várias vezes e descobre um valor médio de  $26,5^\circ$ , para o ângulo. Dadas essas informações, qual é o coeficiente de atrito entre a caixa e a madeira?

