

Centro de Ciências Naturais e Humanas (CCNH)  
Universidade Federal do ABC (UFABC)

## Fenômenos Mecânicos

### Aula 4

Prof. Marcelo A. Leigui de Oliveira  
(leigui@ufabc.edu.br)

03/03/2023



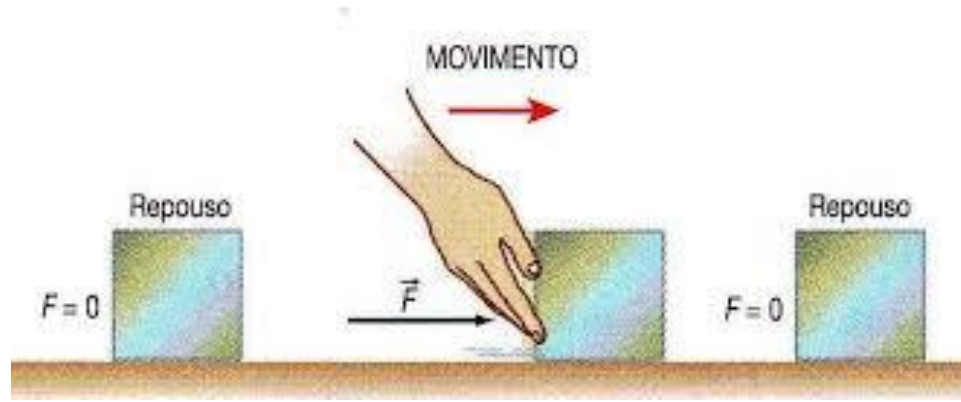
Universidade Federal do ABC



# O que veremos hoje...

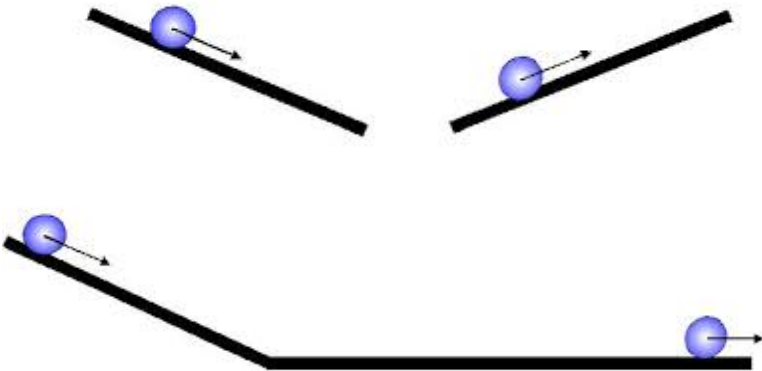
- O conceito de **Força**
- 1ª Lei de Newton - **Inércia**
- 2ª Lei de Newton - Princípio fundamental da dinâmica
  - ❖ Forças gravitacional e peso
- 3ª Lei de Newton - **Ação e reação**

# Primórdios



$$\vec{F} \propto \vec{v}$$

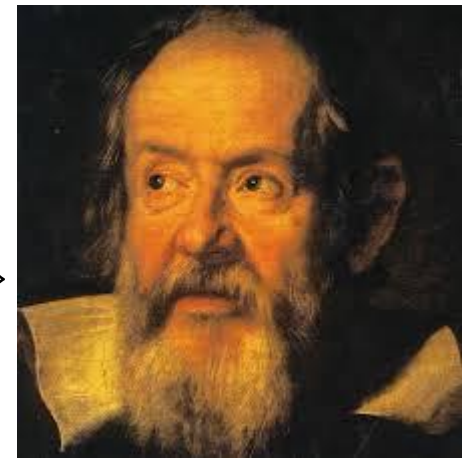
Aristóteles  
(384-322 a.C.)



Superfície perfeitamente lisa :

$$\Delta x = \frac{1}{2} at^2 = \frac{1}{2} (g \text{ sen } \theta) \Delta t^2 \Rightarrow$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{inércia} \\ \vec{F} \propto \vec{a} \end{array} \right.$$

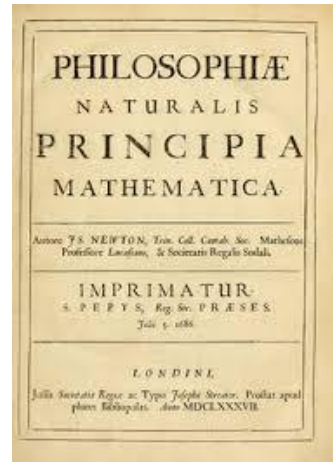


Galileu Galilei  
(1564-1642)

# Primórdios



Sir Isaac Newton  
(1642-1727)



Princípios Matemáticos da  
Filosofia Natural (1687)

➤ 3 leis (do movimento) de Newton:

1. Lei da Inércia

$$\sum \vec{F} = 0 \Rightarrow \vec{v} = cte$$

2. Princípio Fundamental da Dinâmica:  
força e quantidade de movimento

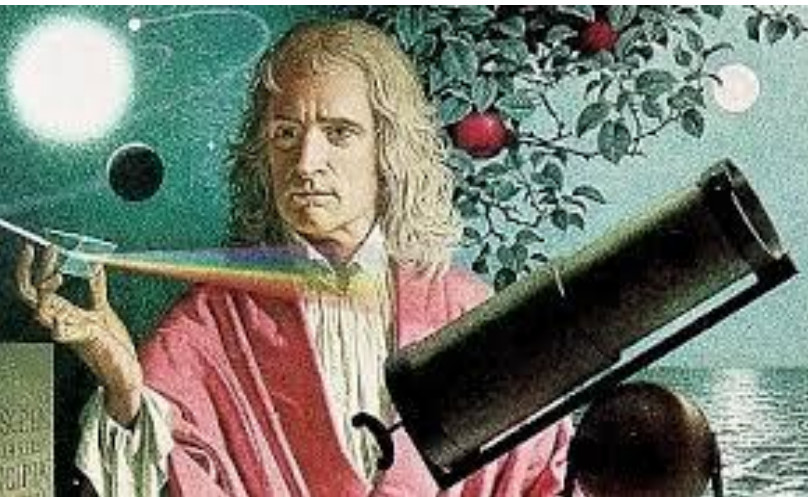
$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = m\vec{a}$$

3. Lei da Ação e Reação

$$\vec{F}_{AB} = -\vec{F}_{BA}$$

➤ Lei da Conservação da Quantidade de Movimento

➤ Lei da Gravitação Universal



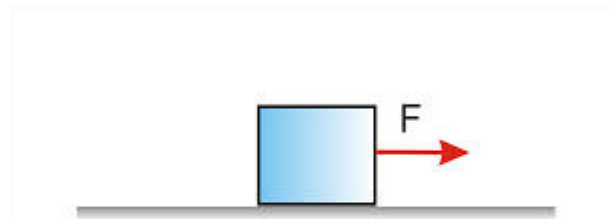


# Força

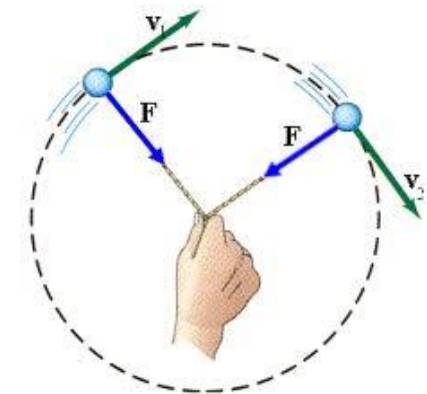
- A **Força** está associada ao resultado de alguma ação que provoque uma **modificação no estado de movimento de um corpo**, ou seja, **a variação na velocidade de um objeto**, causando sua **aceleração**



$$\vec{F} \propto \frac{d}{dt} \vec{v}$$



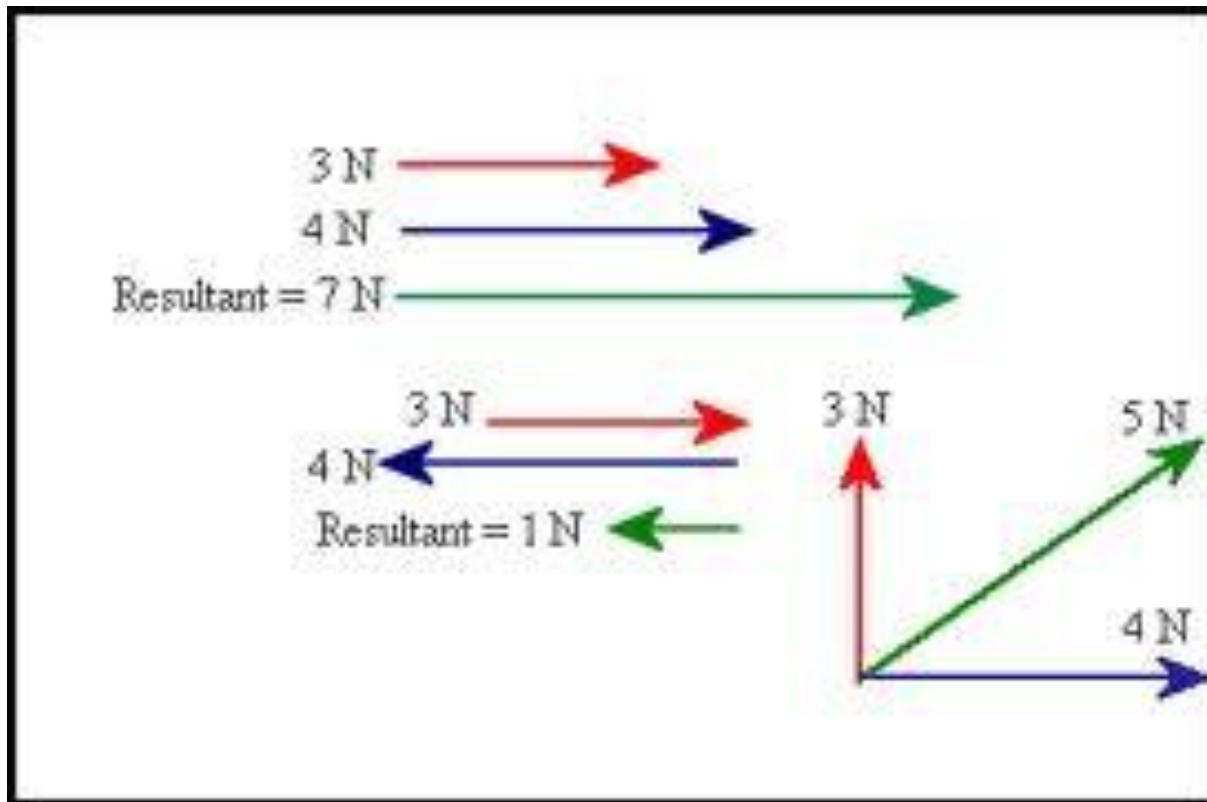
Variação no módulo da velocidade



Variação na direção da velocidade

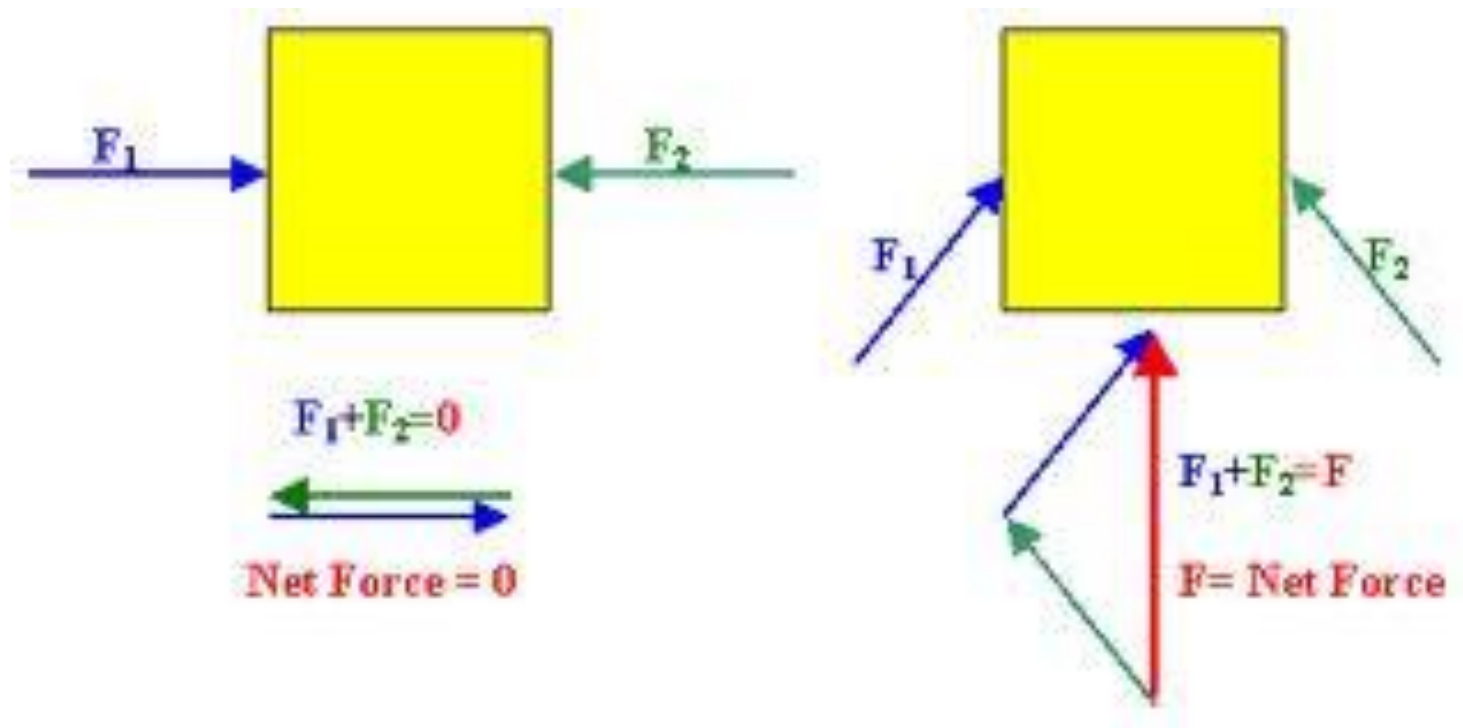
# Força Resultante

- A **força resultante** ou **força total** é a soma vetorial de todas as forças que atuam em um objeto.



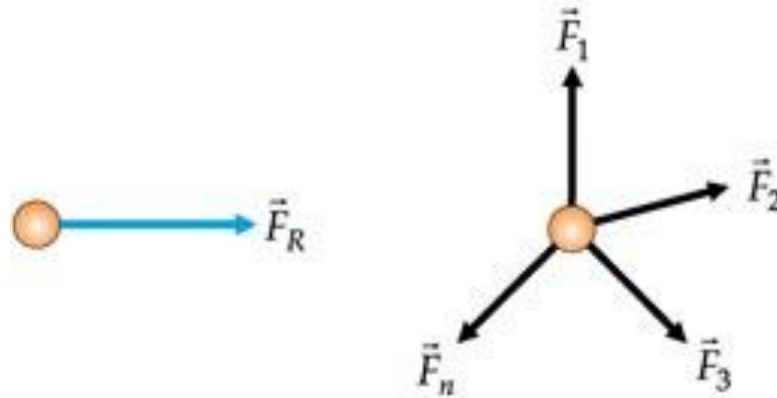
# Força Resultante

- A **força resultante** ou **força total** é a soma vetorial de todas as forças que atuam em um objeto.



# Força Resultante

- A **força resultante** ou **força total** é a soma vetorial de todas as forças que atuam em um objeto.



$$\vec{F}_R = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n$$

**Principal característica:** produzir o mesmo efeito que todas as forças juntas. Não é uma força aplicada no corpo e sim a que substitui as forças atuantes



# Força

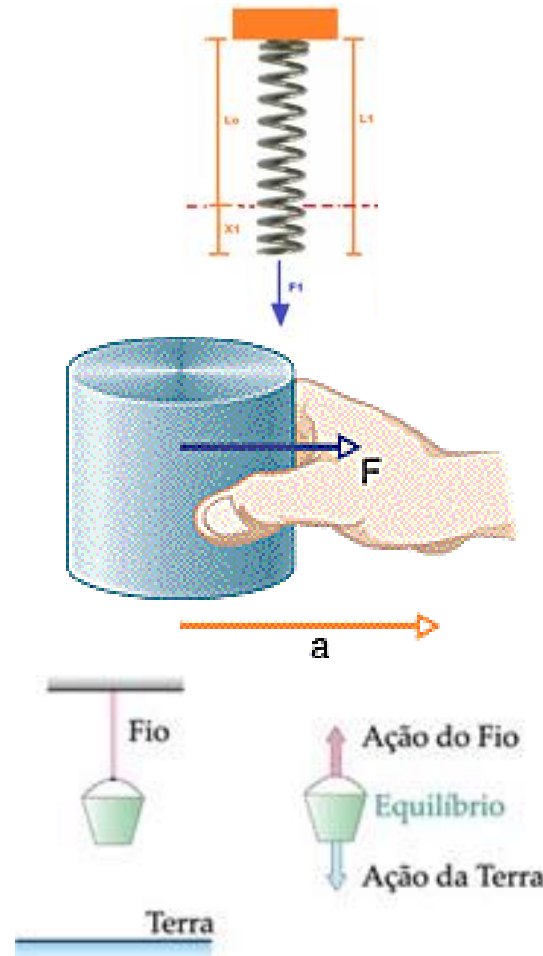
**Grandeza vetorial** (com intensidade, direção e sentido) capaz de colocar um **corpo em movimento**, de **modificar o movimento de um corpo** e de **deformar um corpo**

Efeitos

Deformação

Alteração de velocidade

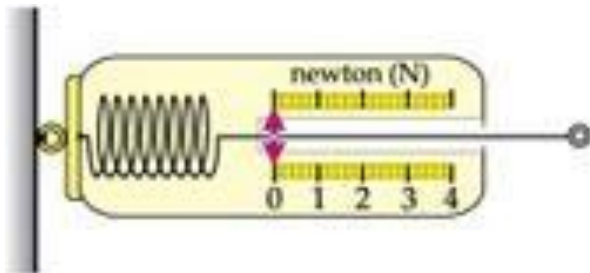
Equilíbrio



# Medidas de força

- Uma **mola** pode ser usada para calibrar a **magnitude da força**

E a intensidade de uma força pode ser medida através de um aparelho denominado **dinamômetro**



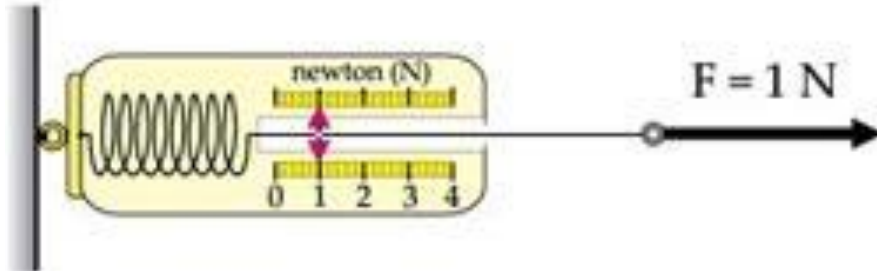
No SI, a **unidade de medida de força** é o **newton (N)**:

$$1 N = 1 kg \cdot m / s^2$$

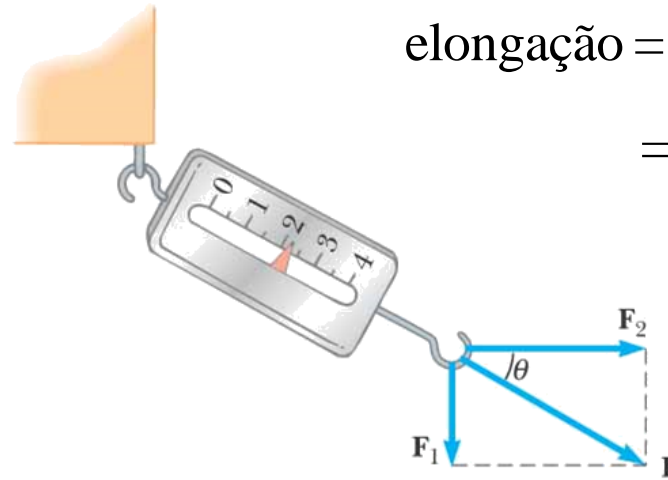
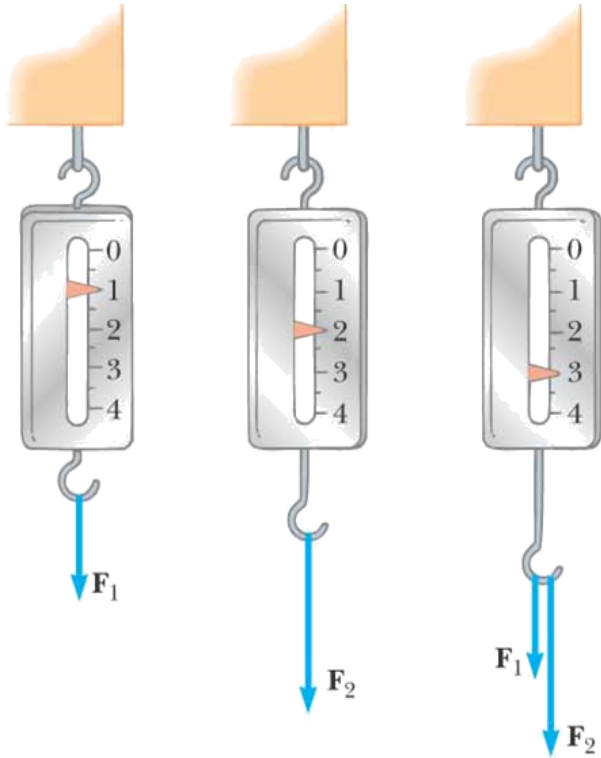
$$= 10^5 \text{ dina} = 0,2248 \text{ lb}$$

Pode-se utilizar o **quilograma-força (kgf)**:

$$1 \text{ kgf} = 9,8 N$$



# Medidas de forças

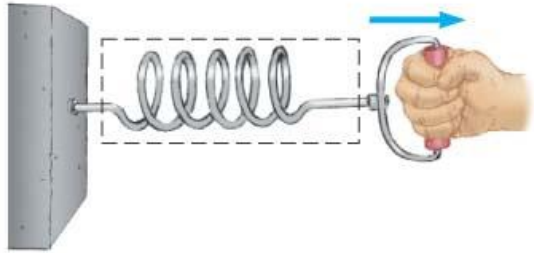


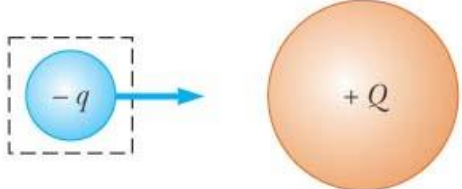

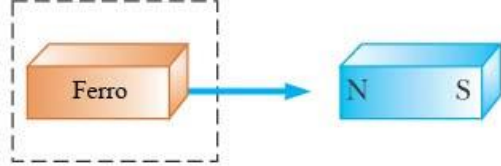


$$\begin{aligned}\text{elongação} &= \sqrt{(1,00)^2 + (2,00)^2} \text{ cm} \\ &= \sqrt{5,00} \text{ cm} = 2,24 \text{ cm}\end{aligned}$$

- **Forças são vetores.** Portanto, é necessário usar as regras para **adição vetorial** para encontrar a **força resultante** atuando num objeto

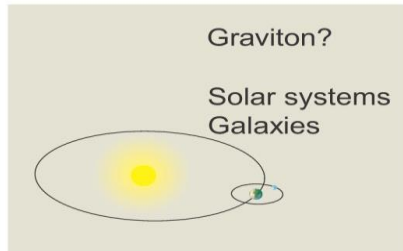
# Classes de Forças

- **Forças de contato** envolvem **contato físico** entre dois objetos
- **Forças de campo** atuam através do **espaço vazio**

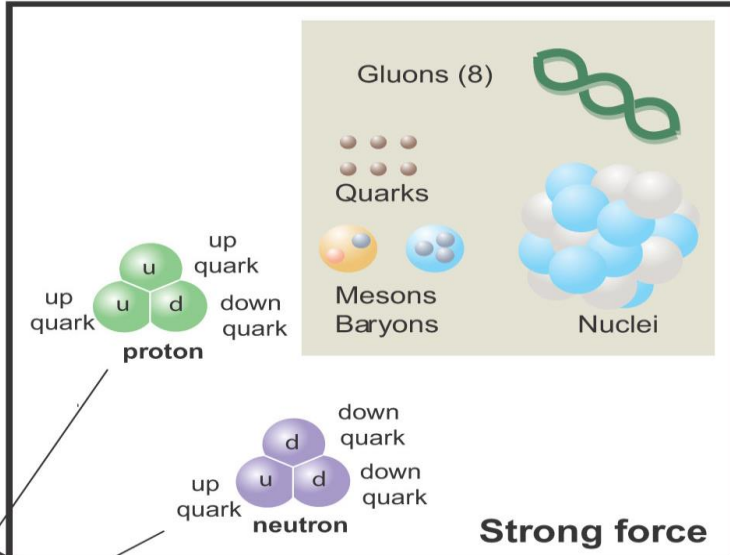
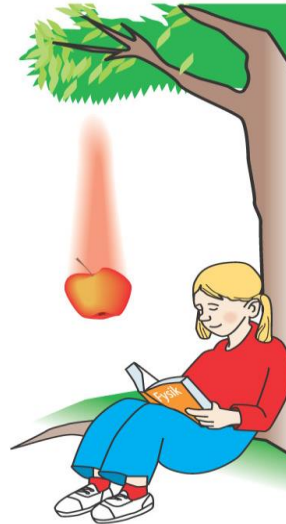
Forças de contato	Forças de campo
	
	
	

# Forças fundamentais

Illustration: Typoform

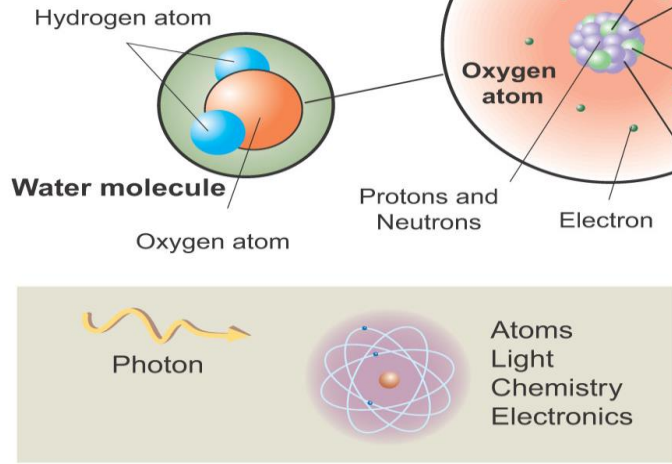


## Gravity Force

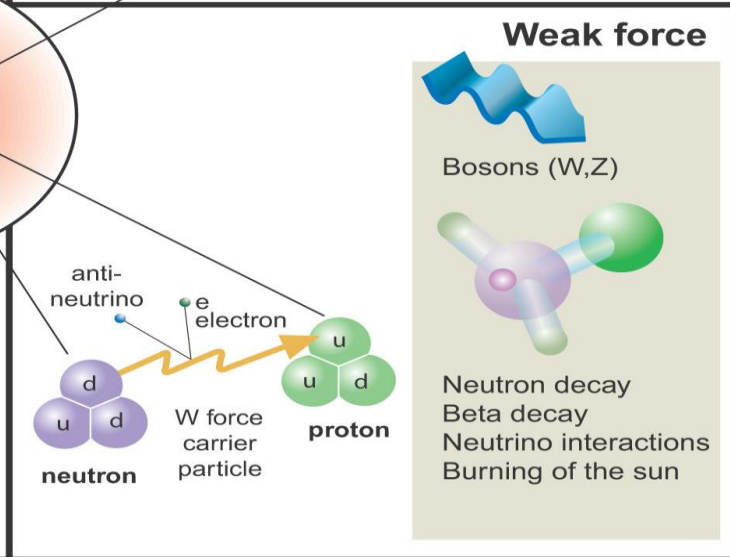


## Strong force

## Electromagnetic force



## Weak force

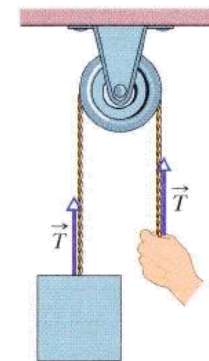
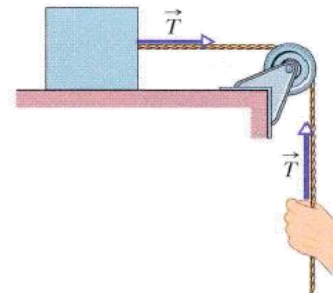
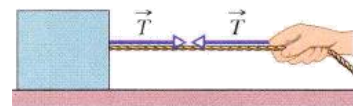


# Exemplos de classes de forças

**Força Peso:** força de campo gravitacional que a Terra exerce sobre qualquer objeto colocado próximo à sua superfície. Ela tem **direção vertical e sentido para baixo**

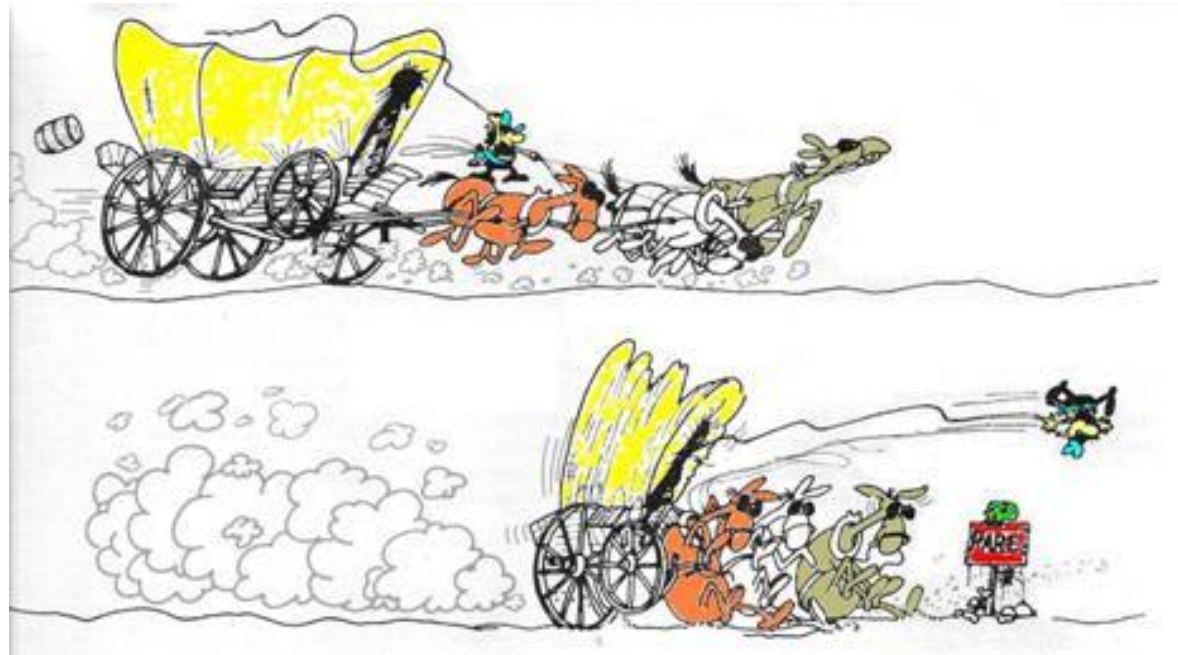
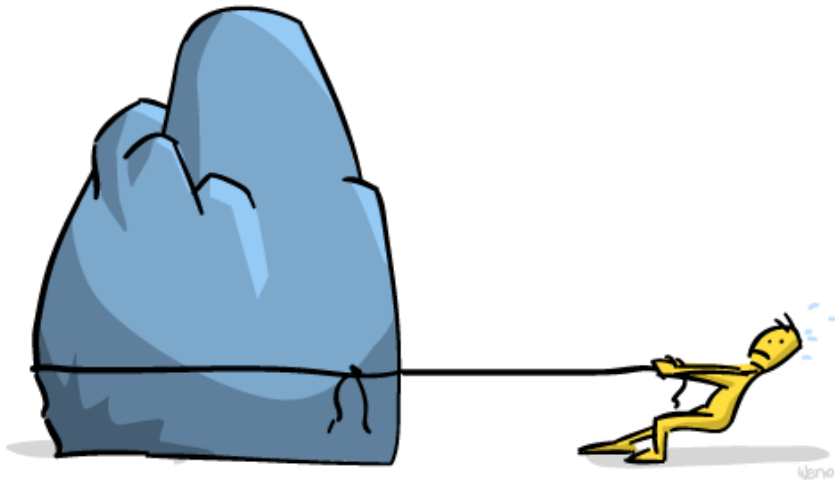


**Força de Tração ou Tensão:** força de contato aplicada por um fio (ou eventualmente por uma barra) sobre um corpo. A força de tração tem a **direção do fio e sentido de puxar**





# 1ª Lei de Newton



# 1ª Lei de Newton

## Princípio da Inércia



Fonte: oglobo.globo.com

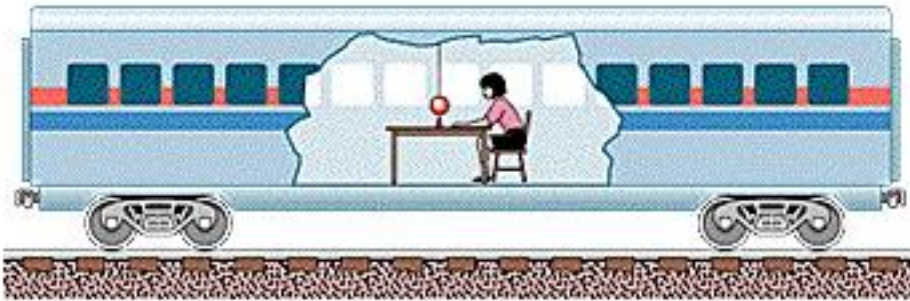
"Todo corpo permanece em seu estado de repouso ou de movimento retilíneo uniforme, a menos que seja obrigado a mudar seu estado por forças impressas a ele"

# 1ª Lei de Newton

Um corpo **isolado** mantém a velocidade constante:

$$\vec{v} = \vec{v}_0 = cte \longrightarrow \vec{v} = cte \quad (\text{Repouso - caso particular})$$

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = 0$$



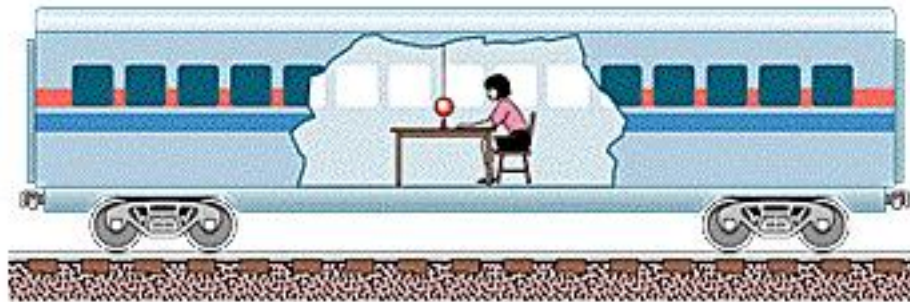
O sistema de referência do observador para qual a 1ª Lei de Newton é válido é um **sistema de referência inercial**

$$\sum \vec{F} = 0 \Leftrightarrow \vec{v} = const.$$



# 1ª Lei de Newton

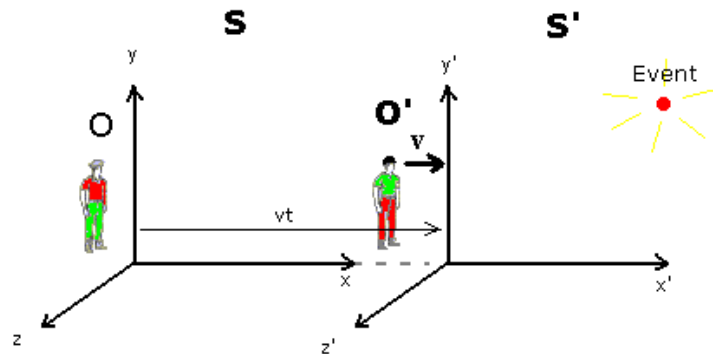
- Se um objeto **não interage com outros objetos**, é possível identificar um referencial no qual o objeto tem **aceleração zero**
  - Esta também é chamada de **Lei da Inércia**
  - Ela define um **conjunto de referenciais**, chamados de **referenciais inerciais**
  - Nós o definiremos como **sistema de referência inercial**



# Referenciais inerciais

- Qualquer **referencial inercial** que se move com **velocidade constante** relativa a outro referencial inercial é **um referencial inercial**
- Um **referencial inercial** que se move com **velocidade constante** relativa a uma estrela distante, por exemplo, é a **melhor aproximação de um referencial inercial**

Transformation of Coordinates

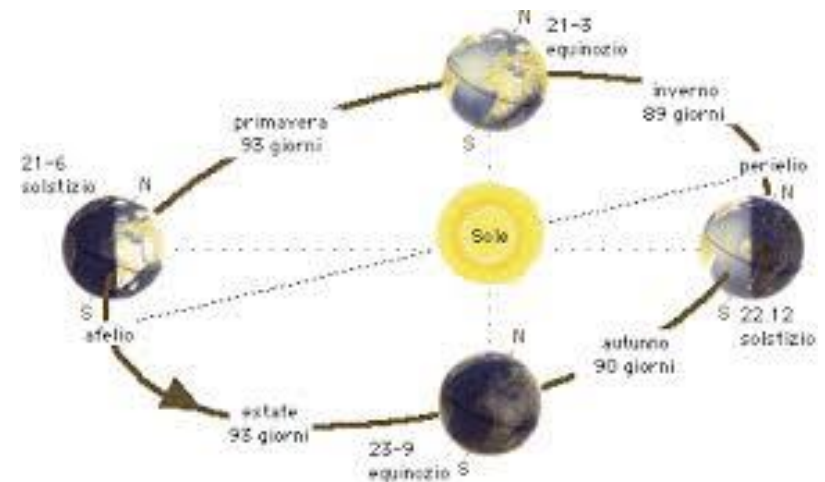
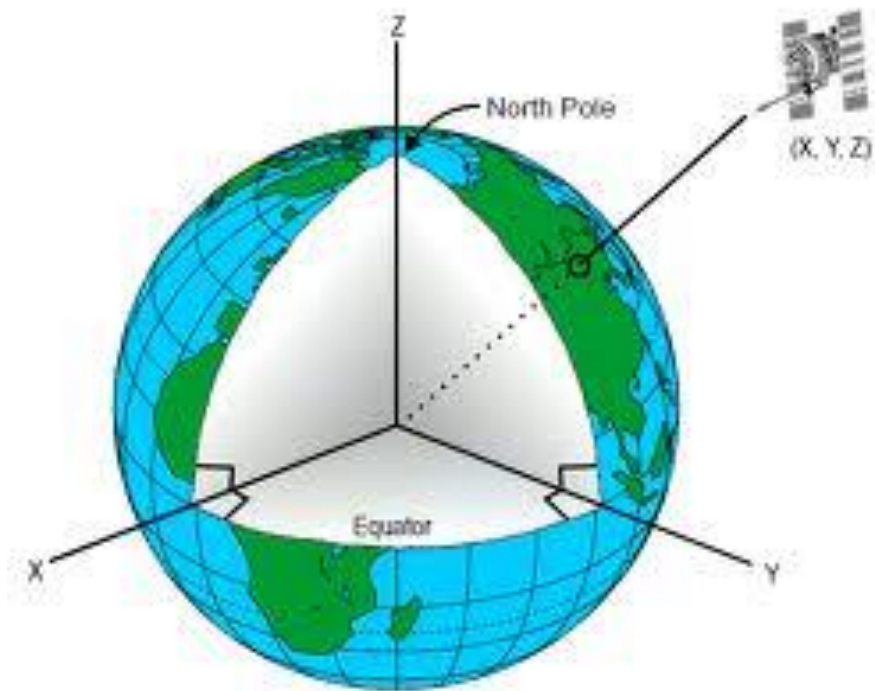


The observers are moving at a relative velocity of  $v$  and each observer has their own set of coordinates  $(x, y, z, t)$  and  $(x', y', z', t')$ . What coordinates do they assign to the event?



# Referenciais inerciais

- Nós podemos considerar a Terra como uma aproximação de tal sistema de referência





# Referenciais inerciais

- Nós podemos considerar a Terra como uma aproximação de tal sistema de referência



Jean-Bernard-Leon Foucault  
(1819-1868)

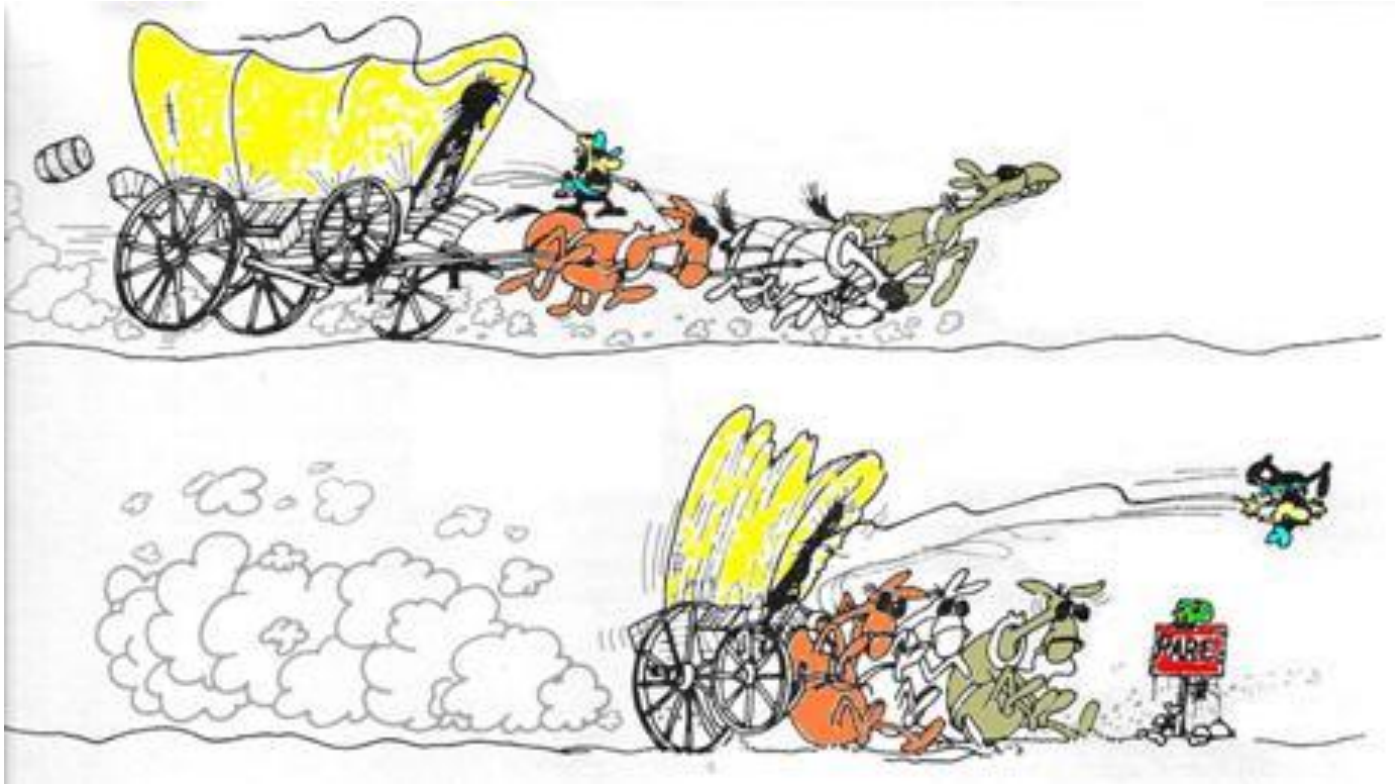
Pêndulo de Foucault (1851)

# 1ª Lei de Newton - consideração alternativa

- Se na ausência de forças externas, quando visto de um sistema de referência inercial, um objeto em repouso permanece em repouso e um objeto em movimento continua em movimento com velocidade constante
- A 1ª Lei de Newton descreve o que acontece na ausência de uma força
- Ela também nos diz que quando nenhuma força atua em um objeto, a aceleração do objeto é zero

# 1ª Lei de Newton

- O que você acha:  
a carroça é ou não um referencial inercial?



- Mas e se quisermos modificar o estado do movimento de um certo objeto?



# Inércia e Massa

- A tendência de um objeto em resistir a qualquer tentativa de mudança em sua velocidade é chamada de inércia
- Massa é a propriedade de um objeto que especifica quanta resistência um objeto exibe a mudanças na velocidade
  - A massa é uma propriedade inerente de um objeto
  - A massa é independente das vizinhanças do objeto
  - A massa é independente do método usado para medi-la
  - A massa é uma quantidade escalar
  - A unidade de massa no SI é o quilograma (kg)

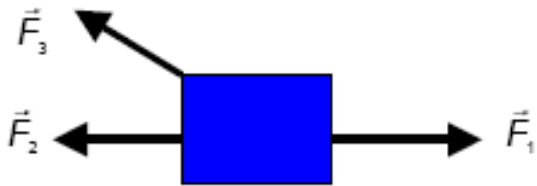


# 2ª Lei de Newton

## Princípio Fundamental da Dinâmica

"A resultante das forças que atuam sobre um corpo é igual ao produto da sua massa pela aceleração com a qual ele irá se movimentar"

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 = \vec{F} = m\vec{a}$$



$$\sum \vec{F} = m\vec{a} \Rightarrow \begin{cases} \sum F_x = ma_x \\ \sum F_y = ma_y \\ \sum F_z = ma_z \end{cases}$$

SISTEMA	FORÇA	MASSA	ACELERAÇÃO
SI	newton (N)	quilograma (kg)	m / s <sup>2</sup>
CGS <sup>a</sup>	dina	grama (g)	cm / s <sup>2</sup>
Inglês <sup>b</sup>	libra (lb)	slug	ft / s <sup>2</sup>

<sup>a</sup>1 dina = 1 g cm/s<sup>2</sup>

<sup>b</sup>1lb = 1 slug ft/s<sup>2</sup>



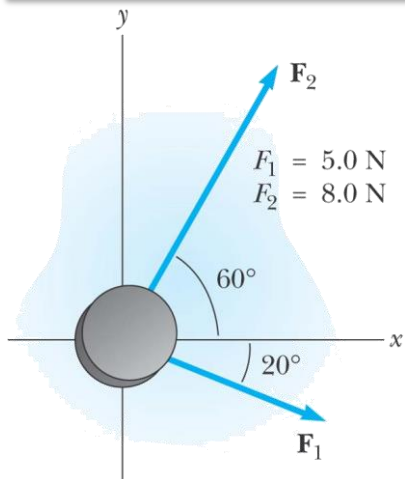
# 2ª Lei de Newton

- Quando vista a partir de um referencial inercial, a aceleração de um objeto é diretamente proporcional à força resultante atuando nele e inversamente proporcional à sua massa
  - A força é a causa da mudança no movimento, medida pela aceleração
- Algebricamente

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

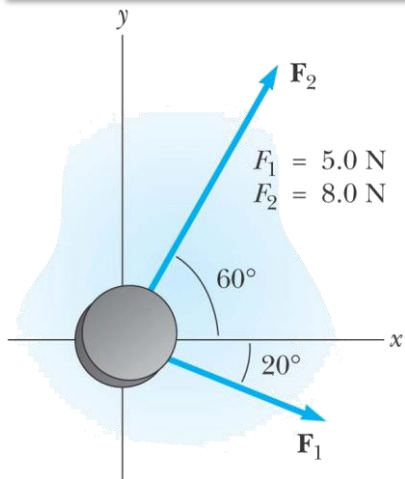
# Exemplo 1

Um disco de hóquei de 0,30 kg desliza sobre uma superfície sem atrito horizontal de um ringue de gelo. Ele é golpeado simultaneamente por dois bastões de hóquei. As duas forças constantes que agem sobre o disco como consequência dos bastões de hóquei são paralelas à superfície de gelo. A força  $\mathbf{F}_1$  tem módulo de 5,0 N e  $\mathbf{F}_2$  tem módulo de 8,0 N. Determine a aceleração do disco enquanto ele está em contato com os dois bastões.



# Exemplo 1

Um disco de hóquei de 0,30 kg desliza sobre uma superfície sem atrito horizontal de um ringue de gelo. Ele é golpeado simultaneamente por dois bastões de hóquei. As duas forças constantes que agem sobre o disco como consequência dos bastões de hóquei são paralelas à superfície de gelo. A força  $F_1$  tem módulo de 5,0 N e  $F_2$  tem módulo de 8,0 N. Determine a aceleração do disco enquanto ele está em contato com os dois bastões.



O disco é modelado como uma partícula sob a ação de uma força resultante. A componente da força resultante na direção  $x$  é:

$$\begin{aligned}\sum F_x &= F_{1x} + F_{2x} = F_1 \cos 20^\circ + F_2 \cos 60^\circ \\ &= (5,0 \text{ N})(0,940) + (8,0 \text{ N})(0,500) = 8,7 \text{ N}\end{aligned}$$

Na direção  $y$ , a força resultante é:

$$\begin{aligned}\sum F_y &= F_{1y} + F_{2y} = -F_1 \sin 20^\circ + F_2 \sin 60^\circ \\ &= -(5,0 \text{ N})(0,342) + (8,0 \text{ N})(0,866) = 5,2 \text{ N}\end{aligned}$$

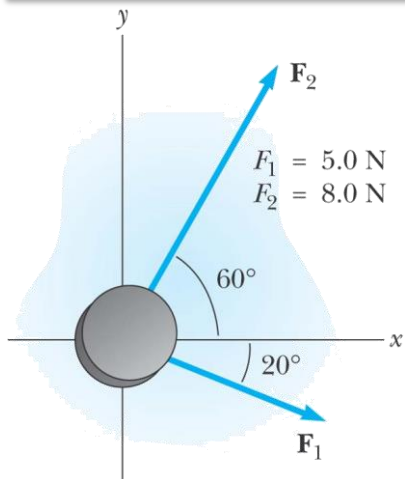
Utilizando a 2ª Lei de Newton em cada direção, temos:

$$a_x = \frac{\sum F_x}{m} = \frac{8,7 \text{ N}}{0,30 \text{ kg}} = 29 \text{ m/s}^2$$

$$a_y = \frac{\sum F_y}{m} = \frac{5,2 \text{ N}}{0,30 \text{ kg}} = 17 \text{ m/s}^2$$

# Exemplo 1, cont.

Um disco de hóquei de 0,30 kg desliza sobre uma superfície sem atrito horizontal de um ringue de gelo. Ele é golpeado simultaneamente por dois bastões de hóquei. As duas forças constantes que agem sobre o disco como consequência dos bastões de hóquei são paralelas à superfície de gelo. A força  $F_1$  tem módulo de 5,0 N e  $F_2$  tem módulo de 8,0 N. Determine a aceleração do disco enquanto ele está em contato com os dois bastões.



A aceleração tem módulo de:

$$a = \sqrt{(29)^2 + (17)^2} \text{ m/s}^2 = 34 \text{ m/s}^2$$

e sua direção é:

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{a_y}{a_x} \right) = \tan^{-1} \left( \frac{17}{29} \right) = 30^\circ$$

Determine as componentes de uma terceira força que, quando aplicada ao disco juntamente com as duas forças, faz com que este tenha aceleração nula.

# Força gravitacional

- A força exercida pela Terra sobre um corpo é a **força gravitacional**,  $F_g$ 
  - Ela é **direcionada para o centro da Terra**
  - Seu **módulo** é chamado **peso** ( $F_g$ ) do corpo
  - Para um **corpo em queda livre**, a **aceleração** é  $g$
  - **Desconsiderando a resistência do ar**, somente a **força gravitacional** atua sobre o corpo. Assim:

$$\vec{F} = \vec{F}_g$$

- Como, neste caso,  $a = g$

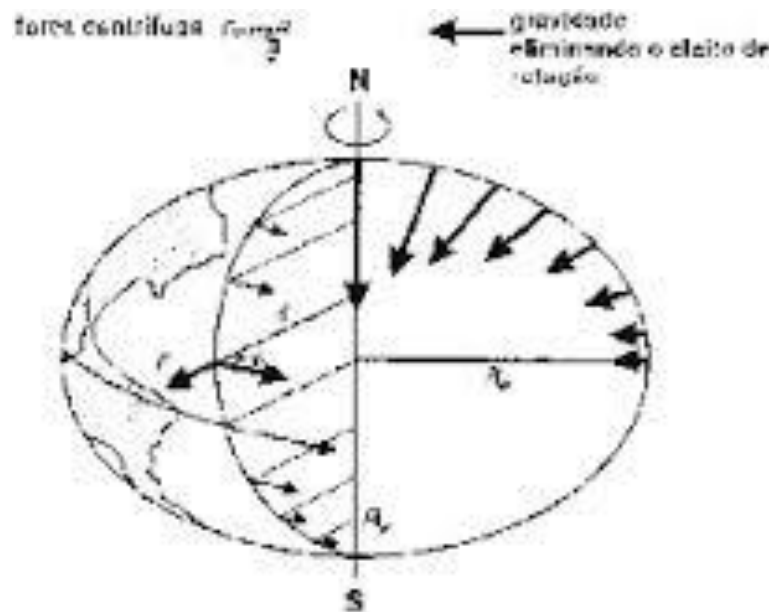
$$\vec{F} = m\vec{a} = \vec{F}_g = m\vec{g}$$

- Massa e peso são duas quantidades diferentes
- Peso é igual à magnitude da força gravitacional exercida em um objeto
  - O peso variará com a localidade



# Considerações sobre o peso

- Como o **peso** depende de  $g$ , ele se **modifica com o local**
  - Corpos **pesam menos** a **altas altitudes** do que ao **nível do mar**
  - $g$  **diminui** ao aumentarmos a **distância ao centro da Terra**
  - *O peso não é uma propriedade inerente a um corpo*



# Considerações sobre o peso

- Nas **leis de Newton**, a **massa** é chamada de **massa inercial** e mede a resistência a uma mudança no movimento do objeto em resposta a uma força externa.
- Na **força gravitacional**, a **massa** faz o papel de determinar a **intensidade da atração gravitacional** entre o **corpo** e a **Terra**.
- Experimentos mostram que a **massa gravitacional** e a **massa inercial** têm o **mesmo valor**.

# Considerações sobre o peso



1912 Albert Einstein tem “a idéia mais feliz de sua vida”.



**Princípio da Equivalência:** Um sistema inercial no qual há um campo de gravitação uniforme com aceleração da gravidade é equivalente a um sistema não-inercial, sem campo de gravitação, com a mesma aceleração.

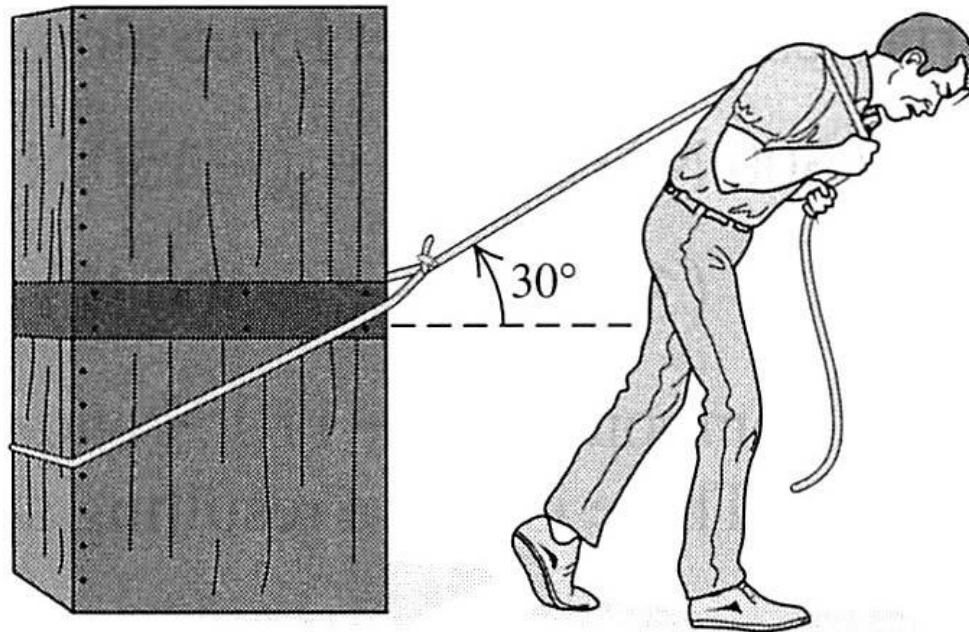
Um corpo com 6,0 kg sofre aceleração de  $2,0 \text{ m/s}^2$ . (a) Qual é o módulo da força resultante agindo sobre o corpo? (b) Se essa mesma força for aplicada a um corpo de 4,0 kg, que aceleração ela produz?

Um corpo com 6,0 kg sofre aceleração de  $2,0 \text{ m/s}^2$ . (a) Qual é o módulo da força resultante agindo sobre o corpo? (b) Se essa mesma força for aplicada a um corpo de 4,0 kg, que aceleração ela produz?

Um carro com  $1,80 \times 10^3 \text{ kg}$  está viajando em uma linha reta à velocidade escalar de  $25,0 \text{ m/s}$ . Qual é o módulo da força horizontal constante necessária para fazer o carro parar a uma distância de  $80,0 \text{ m}$ ?

# Exercícios

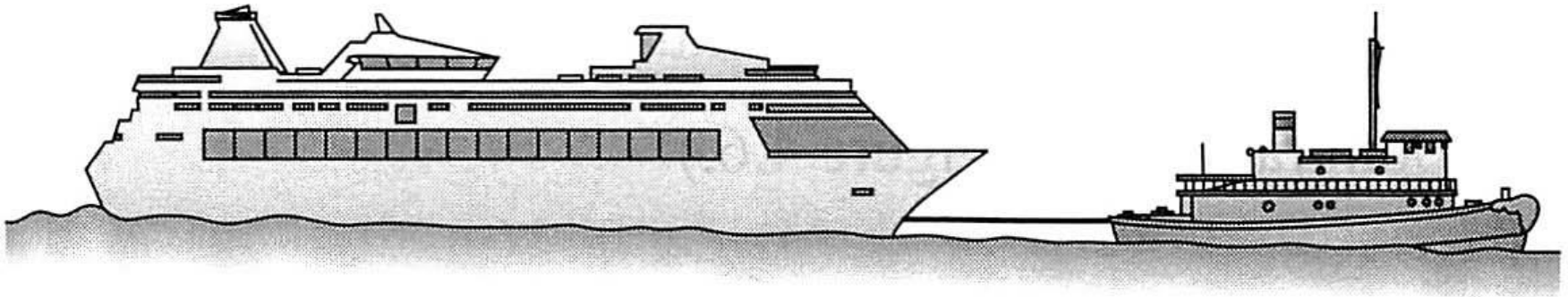
Um carregador usa um cabo para arrastar uma caixa pelo chão como mostra a figura. Ao puxar o cabo, ele exerce uma força de 300 N, a um ângulo de  $30^\circ$  em relação ao solo. A caixa pesa 500 N e o solo exerce uma força normal de 350 N sobre a caixa e uma força de atrito de 150 N contra o movimento. Encontre a força resultante sobre a caixa. Você acha que a caixa vai acelerar?





## Usando a 2ª Lei de Newton para estimar a massa de um navio

Um rebocador puxa um navio de cruzeiro conforme a figura. Podemos estimar a aceleração notando que o rebocador leva 60 s para mover o navio por 100 m a partir do repouso. Se o rebocador exerce uma força propulsora de  $3 \times 10^6$  N, qual deve ser a massa do navio? Despreze a resistência da água e assuma que o rebocador acelera uniformemente.



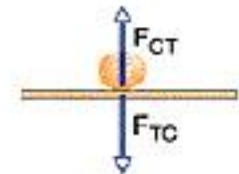
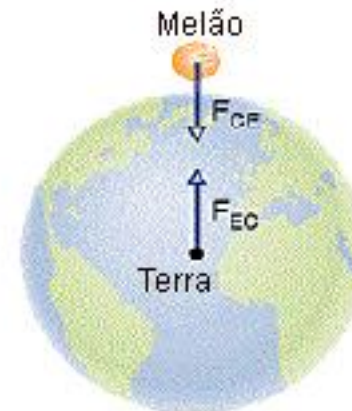
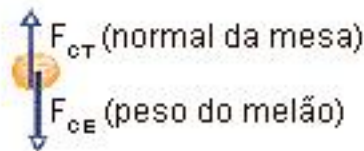
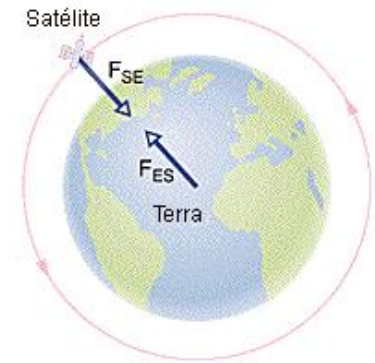
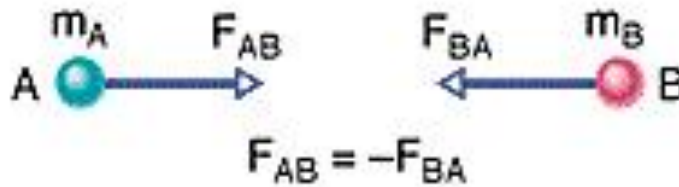
*\*Leia sobre estimativa ordem de grandeza no capítulo 1, seção 1.5 do Serway vol.1.*

# 3ª Lei de Newton

## Princípio da Ação e Reação

A toda força de ação corresponde uma força de reação de mesmo módulo e sentido contrário. As forças de ação e reação agem, necessariamente, em corpos diferentes, e nunca no mesmo corpo

**Exemplos:** Força peso, força eletrostática



# 3ª Lei de Newton, definição alternativa

- Forças sempre ocorrem em pares
- Uma força isolada não pode existir
- A força de ação é igual em módulo à força de reação, mas tem sentido oposto
  - Não importa qual força é considerada de ação ou de reação
  - As forças de ação e reação devem atuar em objetos diferentes e ser do mesmo tipo

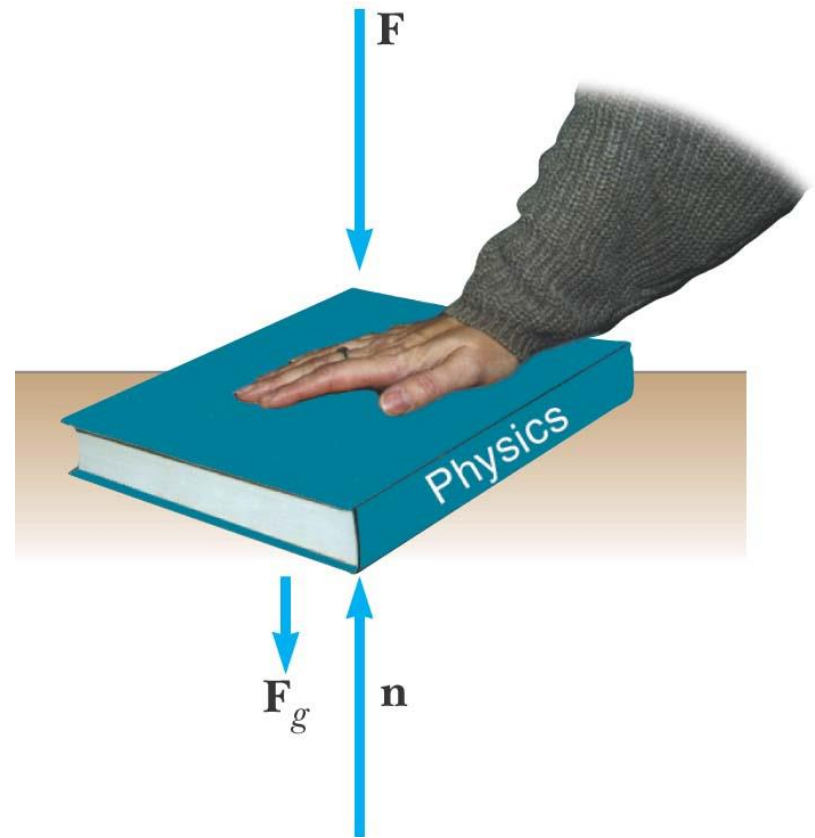
# Nota sobre a força normal

➤ A **força normal** **não é** sempre igual à **força gravitacional** do objeto

➤ Por exemplo, neste caso

$$\sum F_y = n - F_g - F = 0$$

$$\Rightarrow n = F_g + F$$



# Nota sobre a força normal

*Uma pessoa de 100 kg sobe em uma balança dentro de um elevador. Qual é a aceleração do elevador quando a escala da balança indicar:*

- (a) 150 kg*
- (b) 100 kg*
- (c) 50 kg*

*Em qual caso a pessoa se sentirá mais pesada que o normal?*

*Em qual caso ela se sentirá mais leve?*

*Em qual caso ela se sentirá normal?*

# Bibliografia

Serway, R. A.; Jewett Jr., J. W. *Princípios de Física - Mecânica Clássica*, Vol. 1, cap. 4, Cengage Learning, 2004.

Young, H. D.; Freedman, R. A. *Sears & Zemansky, Física I - Mecânica*, vol. 1, Pearson Education do Brasil, 2008.