

## Forças e Leis de Newton



**Ígnez Caracelli**  
*ignez@ufscar.br*



*São Carlos, 4 de setembro de 2017.*

## Introdução

A área da física que investiga o movimento dos corpos materiais é a ***mecânica***

## Introdução

Os filósofos e astrônomos gregos foram os primeiros a tentar explicar o **movimento dos corpos**, da Terra e de outros corpos celestes

## Introdução

Estudo do **movimento dos corpos**  
principais cientistas:



**Aristóteles**



**Copérnico**



**Galileu**



**Newton**

## Introdução

**Mecânica Newtoniana** → se manteve inalterada até o início do século XX

## Introdução

**Mecânica Relativística** → aplicada ao estudo de corpos que se movem com velocidades próximas à da luz

**Mecânica Quântica** → aplicada ao estudo de fenômenos atômicos e nucleares

**Mecânica Clássica** → a qual não foi totalmente descartada já que é útil na descrição dos fenômenos macroscópicos.

## Introdução

### Mecânica Clássica

#### cinemática *velocidade e aceleração*

estudo geométrico do movimento,  
define:

movimento  
trajetória  
noções de referencial, posição e tempo

#### dinâmica

*massa, força, energia e quantidade de movimento.*

## Aristóteles

filósofo, cientista e educador grego, fundador da ciência lógica, viveu de 384 a 322 a.E.C., estabeleceu teorias acerca do movimento dos corpos e sobre a luz

Os conhecimentos e ensinamentos de Aristóteles, a princípio foram negados pela Igreja, que depois terminou incorporando-os à doutrina Cristã.



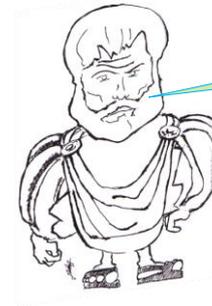
## Aristóteles

Embora hoje em dia, muitas das idéias propostas por Aristóteles possam parecer absurdas, temos que lembrar que seu grande mérito foi o de desenvolver um método sistemático para a ciência, e criando um **modelo** para explicar o **movimento dos corpos**.

## Aristóteles

A partir da observação do movimento dos corpos, Aristóteles explica o movimento dos corpos dizendo:

Qualquer objeto tem seu lugar apropriado na natureza; se o objeto estiver fora de seu lugar, se esforçará para alcançá-lo.



## Aristóteles

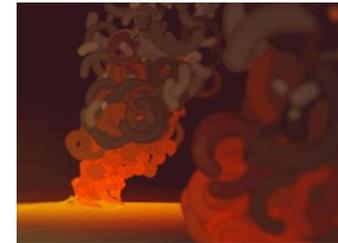
- A localização do objeto também dependia de sua constituição.
- Os quatro elementos que constituíam um objeto eram água, fogo, terra e ar.
- Qualquer objeto era constituído a partir de um dos elementos ou de sua combinação.

## Aristóteles

Dessa forma, um tijolo, constituído principalmente do elemento terra, tinha como lugar apropriado na natureza o chão (constituído de terra).

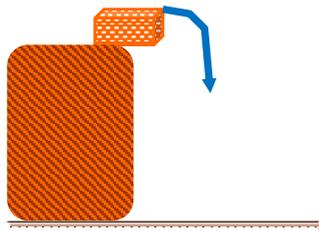


O lugar apropriado para fumaça seria o ar devido à natureza da fumaça (constituída principalmente de ar).



## Aristóteles

O tijolo cai porque é constituído do elemento terra, e se esforça para alcançar seu lugar apropriado: o chão.



## Aristóteles

Segundo Aristóteles, o movimento podia ser dividido em dois tipos:

- *movimento natural* (aquele que decorre da natureza do objeto).
- *movimento violento* (produzido por forças que empurravam ou puxavam o objeto).

## Aristóteles

Aristóteles afirmou que:

- o **movimento** é uma **mudança de lugar** e exige sempre uma **causa**,
- o repouso e o movimentos são dois fenômenos físicos totalmente distintos.
- não reconhecia a ideia de **inércia**.

## Aristóteles

Outra afirmação importante de Aristóteles, foi sobre o movimento de Terra.

A Terra ocupa seu lugar apropriado.

Não há força capaz de mover a Terra, logo ***a Terra não se move!***

## Nicolau Copérnico

A Terra gira em torno do Sol!



## Nicolau Copérnico

Copérnico viveu de 1473 a 1543.

Cerca de 17 séculos após Aristóteles, ainda eram essas as teorias oficiais sobre o movimento.

Muitos cientistas já haviam percebido que as teorias desenvolvidas por Aristóteles não descreviam corretamente o movimento dos corpos, e nem o da Terra.

## Nicolau Copérnico

Os filósofos do século XV aceitavam o **geocentrismo** como fora estruturado por Aristóteles e Ptolomeu.

Esse sistema cosmológico afirmava (corretamente) que a Terra era **esférica**, mas também afirmava (erradamente) que a **Terra estaria parada no centro do Universo** enquanto os corpos celestes orbitavam em círculos concêntricos ao seu redor.

## Nicolau Copérnico

Essa visão geocêntrica tradicional foi abalada por Copérnico em 1537, quando este começou a divulgar um **modelo cosmológico** em que os corpos celestes giravam ao redor do Sol, e não da Terra.

## Nicolau Copérnico

Os estudos de Copérnico indicavam que não eram os astros que giravam em torno da Terra, mas que **a Terra girava em torno do Sol**.

Suas ideias foram apresentadas pela primeira vez em 1510.

## Nicolau Copérnico

Seu trabalho intitulado De Revolutionibus Orbium Coelestium, acerca de sua teoria heliocêntrica, (a Terra gira em torno do Sol), foi publicada em 24 de maio de 1543, dia de sua morte.

## Galileu Galilei

Galileu viveu de **1564** a **1642**.

**1564** nasceu Shakespeare e morreu Michelangelo.

**1642** Newton nasceu.



## Galileu Galilei

Galileu foi um estudioso.

Estudou medicina em Pisa onde havia nascido, mas terminou optando pelo estudo da matemática, que realizou na Universidade de Pádua.

Galileu achava que a **matemática** era uma **ferramenta importante** para ajudar a descrever fenômenos não só de maneira qualitativa como vinha acontecendo, mas de maneira quantitativa.

## Galileu Galilei

Em sua publicação de 1623, *Il Saggiatore*, Galileu diz que *o livro da natureza está escrito na linguagem matemática... É necessário medir o que é mensurável e tornar mensurável aquilo que não é.*

## Galileu Galilei

- apoiava as ideias de Copérnico acerca do movimento da Terra.
- foi advertido pela Igreja a não divulgar nem apoiar as teorias de Copérnico.
- publicou suas ideias, em italiano ao invés do latim, como faziam os grandes da época.
- foi condenado pelo tribunal da Inquisição, e condenado a prisão perpétua domiciliar.

## Galileu Galilei

A Igreja só deixou de considerá-lo culpado no fim do século XX!

Em 31 de outubro de 1992, o papa João Paulo II reconheceu os enganos cometidos pelo tribunal eclesiástico que condenou Galileu Galilei à prisão.

## Galileu Galilei

Para explicar o movimento dos corpos e principalmente o de queda dos corpos → imaginar uma situação de corpos caindo no *vácuo*.

A existência do vácuo havia sido descartada por Aristóteles e seus seguidores.

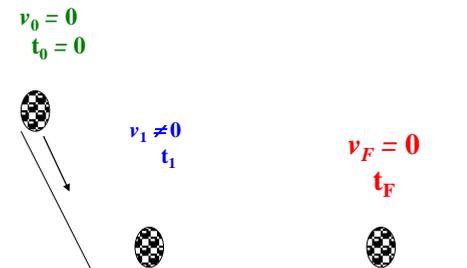
## Galileu Galilei

marcar tempo

precisão

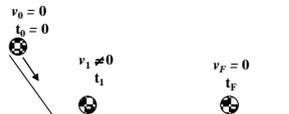
## Galileu Galilei

planos inclinados:



## Galileu Galilei × Aristóteles

A bola pára porque há atrito. Quanto maior o atrito, mais rápido o corpo irá parar. Quanto menor o atrito, a tendência será a bola adquirir velocidade constante. Se não houver atrito ou outras forças opostas ao movimento, o corpo permanece com velocidade constante movendo-se continuamente.



Para que a bola esteja em movimento, deve haver uma força empurrando ou puxando. Caso contrário, o objeto buscará seu estado natural que é o de repouso!



## Galileu Galilei

A idéia de Galileu sobre queda livre dos corpos, no vácuo - que não podia ser produzido, apenas imaginado, dizia que *dois objetos quaisquer caem e levam o mesmo tempo*.

Demonstrar esse princípio tornou-se uma das experiências clássicas da física.

## No espaço

O astronauta David R. Scott, da missão Apollo 15, na superfície da Lua, repetiu a experiência que muitos alunos da física fizeram em laboratório, de deixar uma pena e um martelo caírem e verificarem que caem no mesmo tempo.



David R. Scott

Astronauta da NASA	
Nacionalidade	norte-americano
Nascimento	6 de Junho de 1932 San Antonio, EUA
Tempo no espaço	22d 18h 53min
Missões	Gemini VIII, Apollo 9, Apollo 15

[http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/lunar/apollo\\_15\\_feather\\_drop.html](http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/lunar/apollo_15_feather_drop.html)

## No espaço



David R. Scott

[http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/lunar/apollo\\_15\\_feather\\_drop.html](http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/lunar/apollo_15_feather_drop.html)

## Galileu Galilei

Galileu foi um cientista muito produtivo:

- 1582, descreve as leis para os movimentos do pêndulo
- 1608 constrói, um dos primeiros telescópios e descobre as montanhas da Lua, quatro dos satélites de Júpiter (Io, Ganimedes, Calixto e Europa) e as fases de Vênus, descreve a rotação do Sol sobre seu eixo;
- 1638, descobre que a frequência das vibrações produzidas por um som determina seu tom.

## Galileu Galilei



*Os objetos caem e levam o mesmo tempo.*

*Se não houver forças externas a um corpo, ele continua movendo-se com velocidade constante.*

*A tendência dos corpos de resistir a mudanças no seu movimento e continuar em linha reta, é chamada de **inércia**.*

## Isaac Newton

Newton nasceu em **1642**, ano da morte de **Galileu**, em uma fazenda na Inglaterra, e viveu até 1727.

Em sua vida escolar e até formar-se na Universidade de Cambridge, não despertou a atenção de ninguém. Era um aluno comum.

## Isaac Newton

Dedicou-se a estudar  
as **leis do movimento**,  
a **lei da gravitação universal**,  
formulou **a teoria da natureza da luz**.

Para tudo isso, teve que usar ferramentas matemáticas, tal como Galileu já havia feito, e **inventou os métodos matemáticos do cálculo**.

## Isaac Newton

As **três leis de Newton** apareceram pela primeira vez em um dos mais importantes livros científicos:

*Principia Mathematica Philosophiae Naturalis*

publicado

em **latim** em 1687

em **inglês** em 1729

## Isaac Newton



As leis naturais não  
são maliciosas nem  
malévolas!

## Isaac Newton

Hoje, considera-se aquele aluno inexpressivo, como um dos grandes cientistas que o mundo teve.

Inaugurou uma época de esperança e inspiração não só a cientistas como a escritores, filósofos e pessoas de todos os ramos da vida que lideravam a Idade da Razão.



## Isaac Newton

Suas teorias dominaram o pensamento científico da época e continuam a ser importantes nos dias de hoje.

As *relações fundamentais* da **Mecânica Clássica** estão contidas nas *três leis de Newton do movimento*



## A primeira Lei de Newton: Lei da Inércia

A Mecânica Clássica ou newtoniana,

estuda o movimento através das idéias de *massa* e *força* e

relaciona estes conceitos físicos às grandezas *cinemáticas* de *deslocamento*, *velocidade* e *aceleração*.

## A primeira Lei de Newton: Lei da Inércia

Um corpo permanece em seu estado inicial de repouso ou de movimento com velocidade uniforme, a menos que sofra a ação de uma força resultante externa não nula.

### A primeira Lei de Newton: Lei da Inércia

*O que realmente quer dizer este enunciado?*

Um corpo permanece em seu estado inicial

*de repouso*

ou

*de movimento com velocidade uniforme,*

a menos que sofra a ação de uma **força resultante** externa não nula. ( $F_{res} \neq 0$ )

### A primeira Lei de Newton: Lei da Inércia

*O que realmente quer dizer este enunciado?*

Um corpo permanece em seu estado inicial

*de repouso*

ou

*de movimento com velocidade uniforme,*

então

$F_{res} = 0$

## A primeira Lei de Newton: Lei da Inércia

se **o corpo está em repouso**  $\rightarrow v = 0$   
 permanecerá em repouso

se **o corpo tem uma  $v_{\text{constante}} \neq 0$** , permanecerá  
 com essa velocidade

velocidade é uma grandeza vetorial

$\rightarrow$  **não** alterará seu módulo, direção ou sentido.

## A primeira Lei de Newton: Lei da Inércia

se

$$\vec{F}_{\text{resultante}} = \sum \vec{F} = 0$$

**o corpo permanece como está**



$v = 0$

ou



$v = \text{constante}$

## A primeira Lei de Newton: Lei da Inércia

a Lei de Newton *não faz distinção* entre um corpo em repouso (velocidade nula) e outro em movimento com velocidade constante.

Isso se deve ao fato que considerar o corpo em repouso ou em movimento com velocidade constante, depende do **sistema de coordenadas** no qual observa-se o movimento do corpo.

## A primeira Lei de Newton: Lei da Inércia

Os referenciais onde são válidas as leis de Newton são *referenciais inerciais*.

Qualquer referencial que se move com **velocidade constante** em relação a um referencial inercial, também é um *referencial inercial*.

Se o referencial for acelerado em relação a um referencial inercial, não é um referencial inercial.

## A primeira Lei de Newton: Lei da Inércia

Um corpo permanece em seu estado inicial a menos que sofra a ação de uma *força resultante* externa não nula.

$$F_{res} \neq 0$$

## A primeira Lei de Newton: Lei da Inércia

*Força* é uma **grandeza vetorial**

(tem módulo, direção e sentido)

e

pode ser, p. ex., um puxão ou empurrão dado ao corpo.

## A primeira Lei de Newton: Lei da Inércia

a única maneira de alterar o movimento inicial será aplicando uma  $F_{\text{resultante}} \neq 0$

sobre um corpo podem atuar inúmeras forças.

*resultante das forças* é a soma de todas as forças que atuam sobre o corpo.

## A primeira Lei de Newton: Lei da Inércia

se houver uma única força,  $F_{\text{resultante}} \neq 0 \rightarrow$  provocará uma mudança no movimento do corpo.

se houver mais de uma força:

se  $\sum \vec{F} = 0$  não ocorre mudança no movimento inicial

Se  $\sum \vec{F} \neq 0$  ocorre alteração no movimento do corpo

## A primeira Lei de Newton: Lei da Inércia

$$\vec{F}_{\text{resultante}} = \sum \vec{F} = 0$$

*o corpo permanece como está*



$$v = 0$$

ou

$$v = \text{constante}$$

$$\vec{F}_{\text{resultante}} = \sum \vec{F} \neq 0$$

*o movimento do corpo é alterado*



$$v \neq 0$$

ou

$$v \neq \text{constante}$$

## A primeira Lei de Newton: Lei da Inércia

*Quais as implicações desse enunciado?*

**inércia**

*A tendência que o corpo tem de permanecer como está ou de resistir a alterações ao seu movimento é chamada de inércia.*

## A primeira Lei de Newton: Lei da Inércia

Quais as implicações desse enunciado?

$$\sum \vec{F} = 0$$

consequência  $\Rightarrow$  equilíbrio

equilíbrio estático  
equilíbrio dinâmico

## Equilíbrio

Quais as implicações desse enunciado?

se  $\sum \vec{F} = 0$

o corpo permanece como está:

a velocidade do corpo é constante

$v = 0$  ou  $v = \text{constante}$

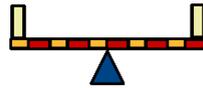
equilíbrio estático

equilíbrio dinâmico

## Equilíbrio

### Sobre o equilíbrio

Quando um **sistema está em equilíbrio**,  
**não tem tendência a mudar**  
 em uma ou outra direção  
 e permanecerá nesse estado  
 até que  
 o sistema **seja perturbado externamente**.



## Equilíbrio

### Sobre o equilíbrio térmico

um corpo está em equilíbrio térmico  
 com as vizinhanças  
 quando **não há uma tendência do calor fluir**  
 na direção do corpo para a vizinhança  
 ou da vizinhança para o corpo

## Equilíbrio

### *equilíbrio físico*

**No equilíbrio físico,  
não há tendência do corpo passar  
de uma forma a outra da matéria  
(p. ex., quando gelo e água estão em equilíbrio)**

## Equilíbrio

### *equilíbrio químico*

**mistura de substâncias em equilíbrio químico não  
tem tendência nem para produzir mais  
produtos ou para voltar aos reagentes.**

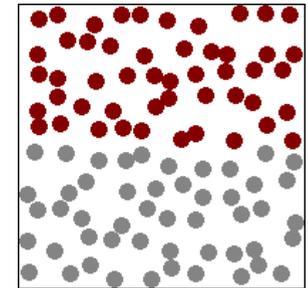
## Equilíbrio

Devemos fazer uma distinção entre o **equilíbrio estático** e **equilíbrio dinâmico**.

**equilíbrio estático** exemplo de equilíbrio estático é o de um corpo parado, sem movimento

**equilíbrio dinâmico** equilíbrio dinâmico implica em uma atividade contínua, uma condição na qual um processo direto e seu inverso acontecem a taxas iguais

## Equilíbrio Dinâmico



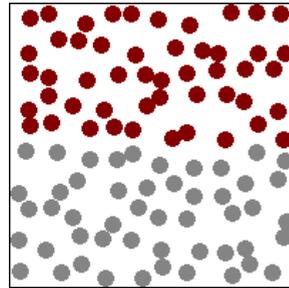
**equilíbrio dinâmico** implica em uma atividade contínua, uma condição na qual um processo direto e seu inverso acontecem a taxas iguais

## Equilíbrio Dinâmico

Após o equilíbrio ter sido atingido, se pudéssemos marcar as moléculas e observá-las, veríamos que elas continuariam passando de um lado a outro da membrana de diálise.

As moléculas não ficam paradas

**equilíbrio dinâmico**



## Equilíbrio Estático

equilíbrio estático

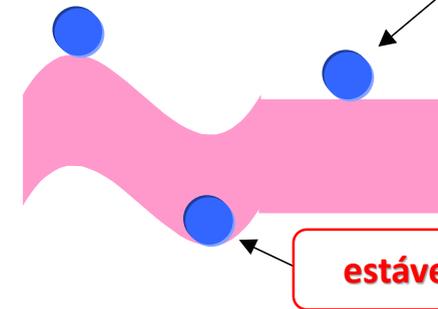
pode ser de três tipos:

**estável**  
**instável**  
**indiferente**

instável

indiferente

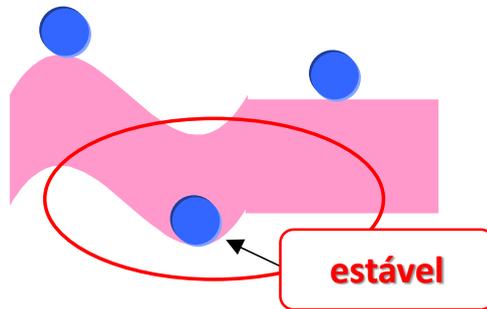
estável



## Equilíbrio Estático

### equilíbrio estável

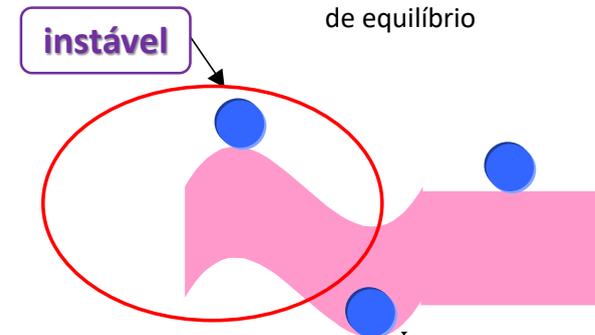
se afastarmos a bola um pouco da posição de equilíbrio, a tendência é que **retorne à mesma posição de equilíbrio**.



## Equilíbrio Estático

### equilíbrio instável

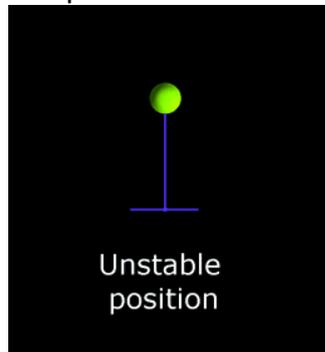
se afastarmos a bola um pouco da posição de equilíbrio a tendência será de **afastar-se** mais ainda da posição de equilíbrio



## Equilíbrio Estático

### equilíbrio instável

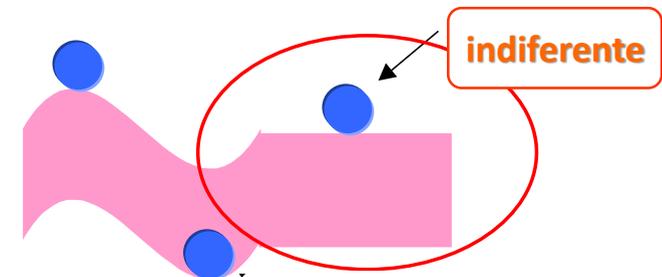
se afastarmos a bola um pouco da posição de equilíbrio a tendência será de *afastar-se* mais ainda da posição de equilíbrio



## Equilíbrio Estático

### equilíbrio indiferente

qualquer afastamento da posição de equilíbrio imposto à bola, fará que ela encontre uma *nova posição de equilíbrio*



## A Primeira Lei de Newton

### O Princípio da Inércia

**inércia:**

*A tendência que o corpo tem de permanecer como está ou de resistir a alterações ao seu movimento é chamada de inércia.*



**Newton**

## A Segunda Lei de Newton

### O princípio fundamental da dinâmica

## A Segunda Lei de Newton

A aceleração de um corpo é **inversamente** proporcional à **massa** do corpo e **diretamente** proporcional à **força** resultante que atua sobre ele.



**Newton**

## A Segunda Lei de Newton

A aceleração de um corpo ***a*** é **inversamente** proporcional à massa ***m*** do corpo

$$a \propto \frac{1}{m}$$

## A Segunda Lei de Newton

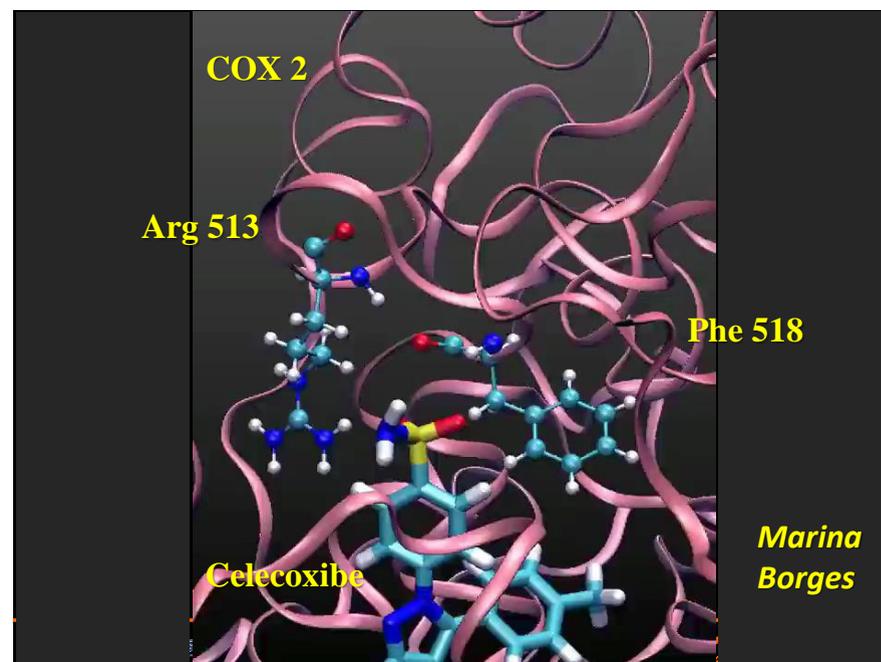
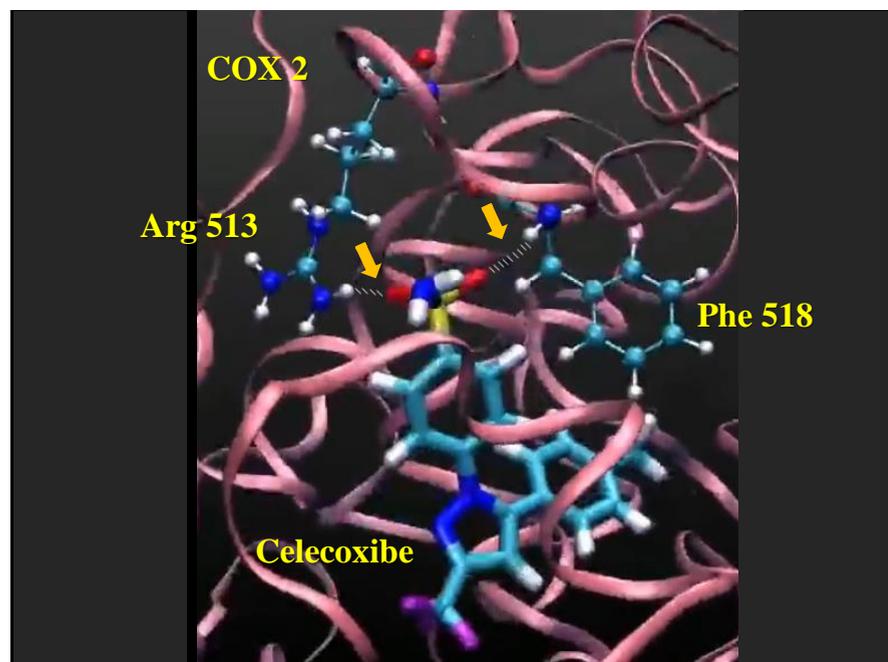
A aceleração de um corpo  $a$  é  
*diretamente* proporcional  
 à força resultante  $F$  que atua sobre ele.

$$a \propto F$$

## A Segunda Lei de Newton

O que realmente quer dizer este enunciado?

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



## A Segunda Lei de Newton

O que realmente quer dizer este enunciado?

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

$F$  e  $a$  grandezas vetoriais

$m$  constante de proporcionalidade entre elas uma grandeza escalar.

$F$  e  $a$  têm sempre o mesmo sentido e direção.

## A Segunda Lei de Newton

Quais as implicações desse enunciado?

*força*

A partir da 1a. e 2a. leis aparece a definição de força.

Podemos dizer que *força* é qualquer influência que provoca a modificação da velocidade do corpo, isto é, a aceleração.

## A Segunda Lei de Newton

Quais as implicações desse enunciado?

### *massa*

- É uma **propriedade intrínseca** do corpo
- mede sua **resistência à aceleração**.
- A massa de um corpo não depende de sua localização.

## A Segunda Lei de Newton

Quais as implicações desse enunciado?

### *comparação entre massas*

Pode-se comparar as massas de dois corpos mediante a aplicação de forças.

## A Segunda Lei de Newton

### comparação entre massas

A razão entre as massas dos corpos é igual à razão inversa entre as acelerações provocadas pela mesma força.

## A Segunda Lei de Newton

### comparação entre massas

a força  $F$  é aplicada ao corpo de massa  $m_1$  provoca uma aceleração  $a_1$ ;

a mesma  $F$  é aplicada ao corpo de massa  $m_2$

provoca uma aceleração  $a_2$  então:

$$F = m_1 \cdot a_1 \text{ e}$$

$$F = m_2 \cdot a_2 \text{ então: } \frac{m_1}{m_2} = \frac{a_2}{a_1}$$

## A Segunda Lei de Newton

### *unidades de massa e força*

No SI:

a unidade de **massa**  $m$  é o quilograma (kg)

a unidade de **força**  $F$  é o newton (N).

a unidade de **massa** é uma das sete **unidades básicas**

a unidade de **força** é uma **unidade derivada** e

newton é o nome que se deu à ( $\text{kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2$ )

## A Terceira Lei de Newton

### O princípio de ação e reação

## A Terceira Lei de Newton

*“Sempre que um corpo exerce uma força sobre outro corpo, este exerce uma força igual e oposta sobre o primeiro”.*



**Newton**

## A Terceira Lei de Newton

*O que realmente quer dizer este enunciado?*

Aqui aparece uma **força de interação**, pois há dois corpos, um exercendo força sobre o outro.

E o que temos é um **par de forças**:

uma de ação

outra de reação

## A Terceira Lei de Newton

Quando caminhamos empurramos o chão para trás e o chão nos empurra para a frente.

Aparece um **par de forças**:

a força que aplicamos ao chão e

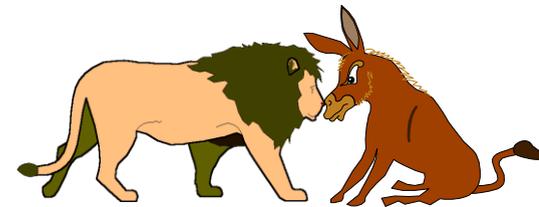
a força que o chão aplica em nós.

As duas forças tem mesmo módulo, mesma direção e sentidos opostos.

Estas **forças não se anulam**: cada uma está em outro corpo.

## A Terceira Lei de Newton

o leão empurra o burro e  
o burro empurra o leão



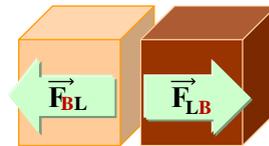
## A Terceira Lei de Newton

esquema da situação:

cada um é um bloco

$F_{LB}$ : a força que o leão aplica ao burro

$F_{BL}$ : a força que o burro aplica ao leão



$$\mathbf{F}_{LB} = -\mathbf{F}_{BL}$$

## A Terceira Lei de Newton

No exemplo estamos considerando o leão e o burro, como **dois corpos**.

Podemos até dizer que a **vizinhança** em torno deles é a **natureza**.

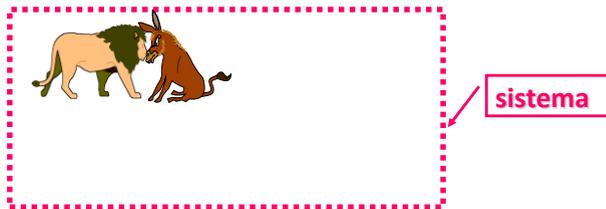


## A Terceira Lei de Newton

Considerando o caso de maneira diferente.

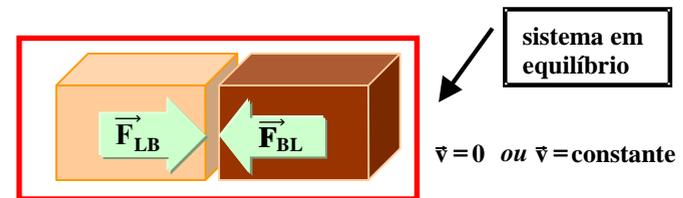
O leão e o burro (caso em estudo) são o nosso **sistema**.

Nessa situação, o **par de forças** é **interno** ao sistema e nesse caso (e **somente nesse caso**) as forças se cancelam mutuamente.



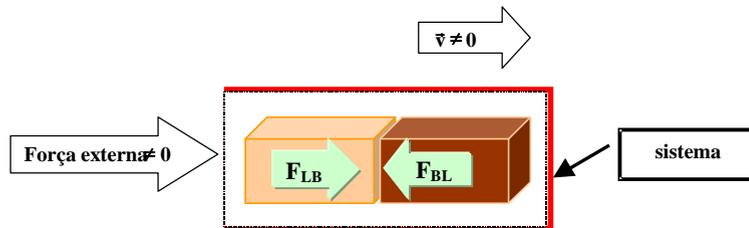
## A Terceira Lei de Newton

Se o sistema está em equilíbrio:



## A Terceira Lei de Newton

Se o sistema sai do equilíbrio é porque há **forças externas** (com resultante não nula) atuando sobre ele.



## Forças da Natureza

O estudo de forças pode se preocupar com sua **origem** (o que provoca a força)

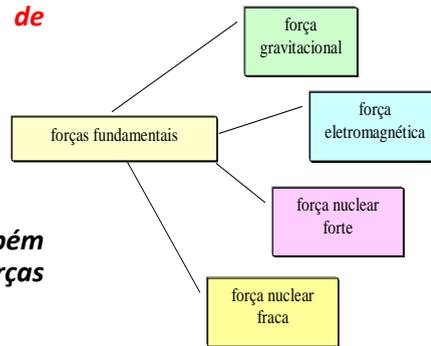
ou

com o **efeito** ela que produz, que é o caso de estudo do movimento de um corpo sujeito à ação de uma força.

## Forças da Natureza

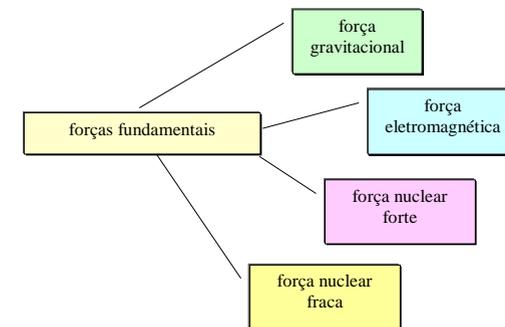
forças fundamentais - forças de campo

quanto à sua **origem**, podem ser **gravitacionais**, **eletromagnéticas**, **nucleares fortes** (também conhecidas como **forças nucleares fracas**).



## Forças da Natureza

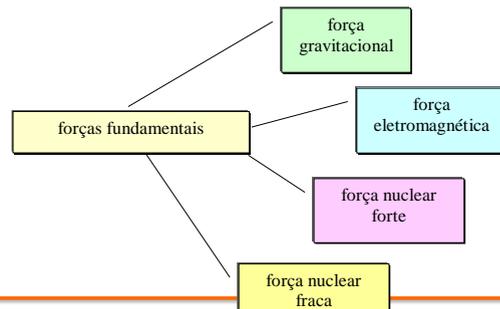
Estas forças são **forças de campo** atuam à distância, raios de ação vão desde  $10^{-16} m$  até milhões de anos-luz (1 ano-luz = distância percorrida pela luz em um ano =  $9,5 \times 10^{15} m$ )



## Força Gravitacional

A **força gravitacional** entre a Terra e um corpo nas vizinhanças da Terra é a **força peso**.

As **forças gravitacionais do sol e da lua sobre os oceanos da Terra, são responsáveis pelas marés.**



## Forças Eletromagnéticas

**forças eletromagnéticas:**

incluem as

**forças elétricas e**

**forças magnéticas.**



A **força de atração entre pedacinhos de papel e um pente (que acaba de passar pelos cabelos e ser eletrizado)**



**é um exemplo de **força elétrica**.**

## Forças Eletromagnéticas

As forças *eletromagnéticas* incluem as *forças elétricas* e *forças magnéticas*.

*Dois ímãs que se atraem ou se repelem são exemplo de força magnética.*

## Forças Eletromagnéticas

As forças *eletromagnéticas* incluem as *forças elétricas* e *forças magnéticas*.

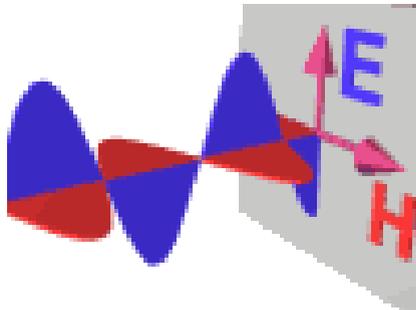
*Muitas vezes a força eletromagnética >>> força gravitacional como é o caso das forças exercidas entre partículas elementares carregadas.*

*A força de atração entre um próton e um elétron é da ordem de  $10^{36}$  vezes a atração gravitacional entre eles.*

*Nesse caso a força gravitacional (que obviamente existe, pois estão nas vizinhanças da Terra), pode ser desprezada frente à força eletromagnética (que é muito mais intensa nesse caso).*

## Forças Eletromagnéticas

As forças **eletromagnéticas** incluem as **forças elétricas** e **forças magnéticas**.  
Em uma onda eletromagnética (luz)



## Forças Nucleares

As forças **nucleares** são forças de curto alcance.

As **forças nucleares fortes** ocorrem entre partículas elementares denominadas **hádrons**.

**hádrons**: prótons e nêutrons, constituintes do núcleo atômico

**hádrons**: responsáveis por manter o núcleo

(há uma intensa força de repulsão entre os prótons do núcleo, superada por estas forças nucleares fortes).

## Forças Nucleares

As forças **nucleares** são forças de curto alcance.

As **forças nucleares fracas** ocorrem entre  
elétrons e prótons e  
elétrons e nêutrons

(que aparecem, p. ex., no decaimento radioativo tipo beta).

## Forças de Contacto

São forças que exigem o **contato direto** entre os corpos e constituem a maioria das forças que observamos no dia-a-dia.

## Forças de Contacto

força de um corpo pendurado em um fio (*tensão*)

força exercida por uma mola (*força elástica*)

força que empurra o chão para trás quando queremos andar para a frente (*força de atrito*)

força que faz com que um pára-quedista não caia em queda livre (*a força de resistência do ar*)

força que um livro apoiado sobre uma mesa exerce sobre a mesa e que a mesa exerce sobre o livro (*força normal*).

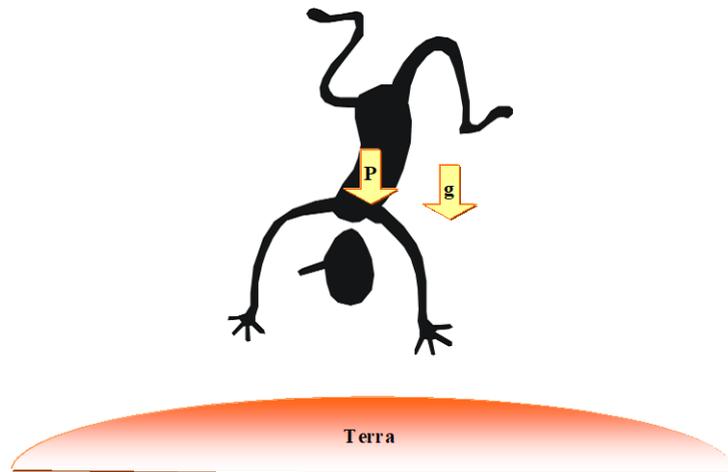
## Força Peso

A força mais comum é a *força de atração gravitacional*, que a Terra exerce sobre um corpo que está nas suas vizinhanças.

Quando um corpo cai nas vizinhanças da Terra (se considerarmos que não há forças de resistência do ar), está sob a *ação de uma força de atração*, a força denominada *peso* e cairá em queda livre.

O corpo *é atraído* pela Terra.

## Força Peso



## Força Peso

*força*

2a. Lei de Newton:  $F = m a$

$F$  e  $a$  são vetores;

$F$  e  $a$  tem mesma direção e sentido

*força*  $F =$  peso  $P$

*massa*  $= m$

*aceleração*  $a =$

*aceleração da gravidade*  $g$

*força peso*  $P$

2a. Lei de Newton:  $P = m g$

$P$  e  $g$  são vetores;

$P$  e  $g$  tem mesma direção e sentido

$g = 9,81 \text{ m/s}^2$  nas vizinhanças da Terra

## Força Normal

### força normal

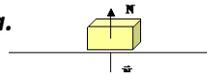
Considere um objeto colocado sobre uma mesa.

Ele está em equilíbrio ( $v = 0$ ).

Se ele está em equilíbrio:

ou não há forças atuando sobre ele,

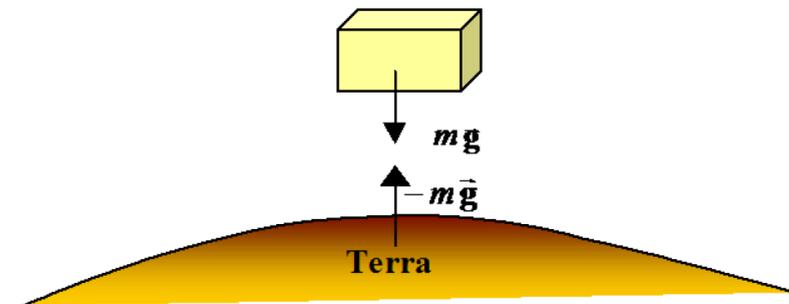
ou a resultante das forças é nula.



Sabemos que qualquer corpo nas vizinhanças da Terra **sofre a ação da gravidade**.

Sobre esse corpo apoiado sobre a mesa há portanto pelo menos uma força: a força peso,  $P = mg$

## Força Peso



## Força Normal e Força Peso

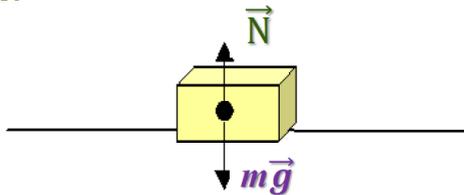
Para resultante nula:

força de **mesma direção** que a força peso

de **mesma intensidade** e

de **sentido oposto**

**força normal**  $\vec{N}$



## Força Normal

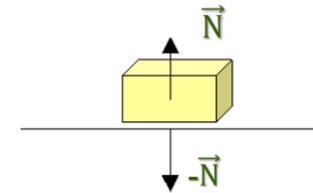
**força normal**

O bloco apoiado sobre a mesa  
exerce uma força sobre a mesa

*pele princípio de ação e reação,*

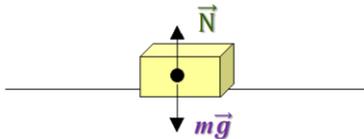
a mesa exerce uma força **igual e oposta**  
sobre o bloco.

A normal recebe esse nome por ser uma  
força de compressão sempre  
perpendicular à superfície de  
contato.



## Exemplos de Forças

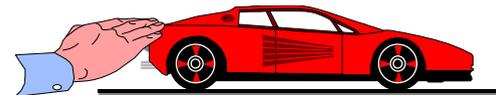
Nesse caso a força peso  $P$  e a normal  $N$  tem mesma intensidade



se estivéssemos em um plano inclinado,  $P$  e  $N$  não teriam mesma intensidade.

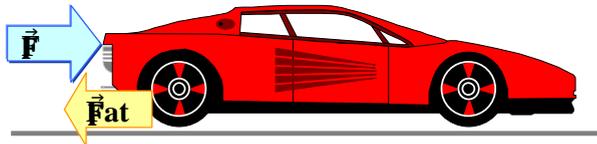
## Força de Atrito

Ao tentarmos empurrar um objeto apoiado sobre uma superfície, pode ser que este, pelo menos inicialmente, não sofra deslocamento.



## Força de Atrito

ao empurrarmos o carro aplicando sobre ele uma força  $F$  em uma dada direção, aparece uma  $F_{at}$  em sentido oposto, de resistência ao movimento.



## Força de Atrito

O que está acontecendo?

O piso exerce uma força oposta ao movimento, paralela à superfície, chamada *força de atrito estático*.

É uma força de resistência ao movimento.



## Força de Atrito Estático

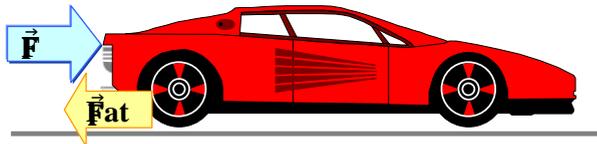
A **Fat estático** equilibra a força  $F$  que estamos fazendo para empurrar o carro.

**Fat estático** aparece pela ligação entre as moléculas do objeto que estamos tentando empurrar (no caso, os pneus) e o piso.

Quanto mais empurramos ( $F \uparrow$ )

$F \uparrow \rightarrow \uparrow \text{Fat estático}$

até que atinge um valor máximo (**Fat<sub>máx</sub>**).



## Força de Atrito

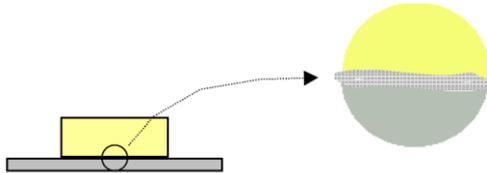
Se  $F > \text{Fat máx}$ ,

o objeto começa a se deslocar  $\rightarrow v \neq 0$

Quando o objeto está se deslocando, **formam-se e quebram-se ligações** entre o piso e o objeto, e até mesmo pequenos pedaços da superfície são arrancados

(p. ex., um pneu ficando "careca" com o uso)

## Força de Atrito



A região de contato é na realidade menor que a área do bloco. Há pequenas regiões de contato (saliências e reentrâncias), quando as duas superfícies estão em contato. quando as **superfícies são de mesma natureza** as forças de contato são chamadas de **coesão** quando são de **natureza diferente** recebe o nome de **adesão**.

## Força de Atrito Cinético

Mesmo depois de termos conseguido que o objeto se mova, a **força oposta ao movimento** continua a existir, e no caso é conhecida como **força de atrito cinético**.

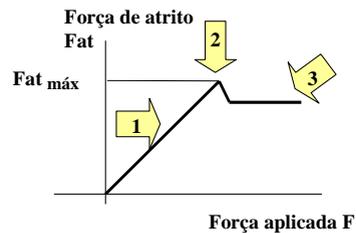
A **força de atrito cinético** (conhecida também como força de atrito **dinâmico**, de **escorregamento** ou de **deslizamento**)

**força de atrito cinético** < **força de atrito estático**

Para manter o objeto deslizando com velocidade constante, é preciso que a

$F = F_{at}$  (no caso, atrito cinético).

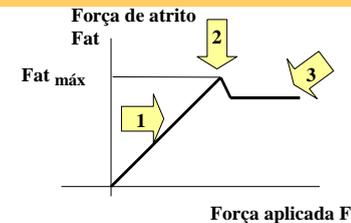
## Força de Atrito



inicialmente  $F$  e  $Fat$  são proporcionais (região 1)

à medida  $F \uparrow \rightarrow \uparrow Fat$  *estático* (oposta ao movimento)  
até que se atinge a  $Fat$  *máx* (região 2).

## Força de Atrito



Depois do ponto 2 onde a  $Fat$  *máx* (atrito estático), o corpo começa a se deslocar,

$F$  que precisamos fazer para que se desloque com  $v$  constante é > do que a que tivemos que fazer para iniciar o deslocamento (região 3),

e nesse caso a força oposta ao movimento é a *força de atrito cinético*.

## Força de Atrito

**Fat**  $\propto$  **N** entre as duas superfícies.

constante de proporcionalidade  $\rightarrow$  **coeficiente de atrito**,  
letra grega  $\mu$  (lê-se mu) .

**atrito estático**  $\rightarrow$

constante de proporcionalidade:  
coeficiente de atrito estático  $\mu_e$

**atrito cinético**  $\rightarrow$

constante de proporcionalidade:  
coeficiente de atrito cinético  $\mu_c$

## Força de Atrito

**força máxima de atrito estático** **Fat máx**

$$F_{at \text{ máx}} = \mu_e N.$$

**força de atrito cinético**

$$F_{at \text{ cinético}} = \mu_c N$$

## Força de Atrito

**Tabela 1** - Valores aproximados para  
Coeficientes de atrito estático ( $\mu_e$ ) e cinético ( $\mu_c$ )

Material	$\mu_e$	$\mu_c$
borracha sobre concreto (seco)	1,02	0,80
borracha sobre concreto (molhado)	0,30	0,25
vidro sobre vidro	0,9	0,4
aço sobre aço	0,7	0,6
bronze sobre aço	0,5	0,4
cobre sobre ferro fundido	1,1	0,3
teflon sobre teflon	0,04	0,04
junta óssea lubrificada	0,003	
junta tendão e bainha do músculo	0,013	

## Força de Atrito

na Tabela 1:

$$\mu_{\text{biológicos}} < \mu_{\text{materiais em geral}}$$

aplicações *ao estudo dos movimentos* que fazemos,  
como p.ex.,

qual o desempenho de nossas juntas,

como se comportam as juntas de atletas,

casos em que há uma maior exigência de movimentos  
e conseqüentemente das articulações

## Força de Atrito

### *articulações*

lugar onde pode ocorrer movimento entre duas ou mais partes de um esqueleto ou de tecidos rígidos

## Força de Atrito

vertebrados → 3 tipos de articulações

- as que se movem livremente ou *sinuiais*, que incluem as articulações do quadril;
- as articulações *pivota*s, como na base do pescoço e
- as articulações em *dobradiça*, como no cotovelo e no joelho.

## Exemplos de Forças

### articulações

*que se movem ligeiramente,*

*nas quais os ossos têm a capacidade de ficar uns por cima dos outros em pequena extensão, ocorrem ao longo da espinha,*

*que não se movem*

*incluem as suturas do ossos do crânio, que são móveis apenas nos bebês.*

## Exemplos de Forças

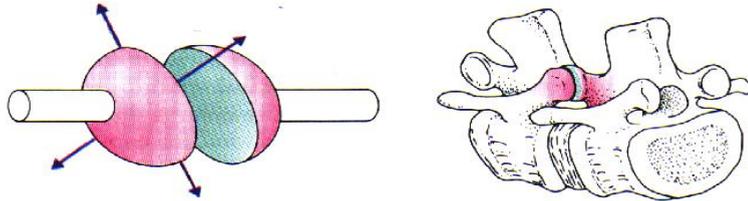
As *articulações móveis*, colocam em contato superfícies articulares lisas, recobertas de cartilagem e separadas por uma cavidade articular;

*as duas extremidades ósseas são reunidas por uma cápsula articular e ligamentos;*

*a face interna da cápsula é recoberta pela membrana sinovial, que secreta um líquido incolor, viscoso, oleoso: a *sinóvia*.*

## Exemplos de Forças

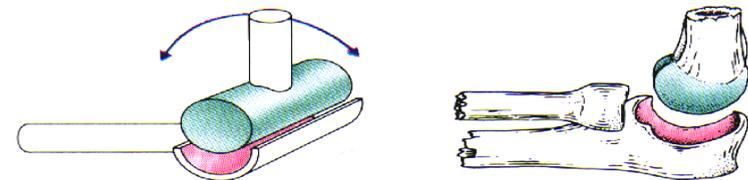
### articulações



Em uma articulação de deslizamento, duas superfícies planas tocam-se fornecendo os movimentos de torção e encurvamento. Um exemplo é a articulação entre as projeções sobre vértebras adjacentes da espinha.

## Exemplos de Forças

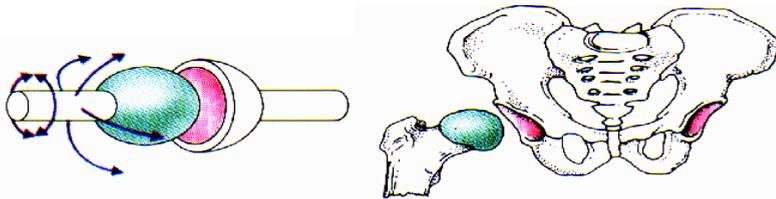
### articulações



Em uma articulação de eixo, a mobilidade em apenas um único plano é combinada com a resistência, como na articulação do cotovelo.

## Exemplos de Forças

### articulações



Em uma articulação esférica ou rótula, a extremidade arredondada de um osso ajusta-se a uma cavidade em forma de taça localizada no outro, como na articulação do fêmur.

## Força de Resistência dos Fluidos

Quando um corpo se move no interior de um *fluido* (líquido ou gás), sofre a ação de uma *força contrária ao movimento*.

Essa força pode ser chamada de *força de atrito do fluido*, *força de atrito viscoso* ou simplesmente *força de resistência do fluido*.

## Força de Resistência dos Fluidos

Normalmente esta força aumenta com a velocidade e pode ser representada como:

$$F = k v^n$$

onde:

- $v$  é o módulo da velocidade do corpo em relação ao fluido
- $n$  é uma constante que depende da ordem de grandeza da velocidade e do tamanho do corpo; para a maioria dos casos  $n = 1$  ou  $n = 2$ .

## Força de Resistência dos Fluidos

Normalmente esta força aumenta com a velocidade e pode ser representada como:

$$F = k v^n$$

onde:

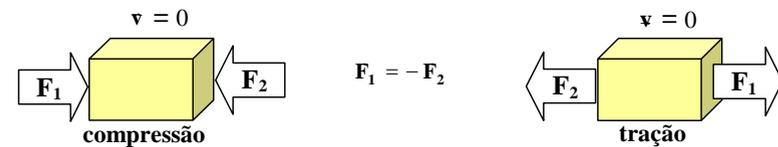
- $k$  é uma constante que depende da natureza do fluido (bem como de sua temperatura e densidade), do formato do corpo e da área da maior seção reta do corpo, perpendicular à do movimento. Quanto maior a área, maior o valor de  $k$ .

Um pára-quadista em seu salto sofre ação de forças de resistência do ar, também chamada de força de arraste.

## Forças de Compressão

- Um corpo pode estar em repouso por ausências de forças atuando sobre ele ou porque a resultante das forças é nula.
- Entretanto, essa segunda possibilidade, do ponto de vista do corpo é diferente da primeira. No segundo caso ele está sob ação de forças de **compressão**.
- Dependendo da natureza do corpo e da intensidade dessas forças podem ocorrer deformações ou rupturas do mesmo.

## Forças de Compressão e de Tração



## Forças de Tração

- Como no caso anterior, o corpo também estará em repouso com duas forças iguais e opostas atuando sobre ele, conforme o esquema apresentado na figura.
- Da mesma forma, dependendo da natureza do corpo e da intensidade dessas forças podem ocorrer deformações ou rupturas do mesmo.

## Forças Elásticas

De forma geral, todos os corpos sofrem *deformações*, isto é alterações em suas dimensões lineares, quando submetidos à *forças de compressão ou de tração*.

Essas variações lineares  $\Delta x$ , são determinadas pelas diferenças entre o comprimento final  $x$ , devido à ação das forças e o comprimento inicial  $x_0$ .

Assim:

$$\Delta x = x - x_0$$



## Forças Elásticas

A partir de dados experimentais, verificou-se que a maior parte dos materiais (metais, madeira, borracha, ossos), quando submetidos a forças  $F$  de pequena intensidade,  $\Delta x$  é proporcional a  $F$ , ou seja

$$F = -k(x - x_0) = -k \Delta x$$

## Forças Elásticas

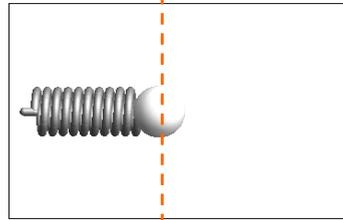
$$F = -k(x - x_0) = -k \Delta x$$

chamada de **lei de Hooke** e a constante de proporcionalidade  $k$ , é chamada de constante elástica do material.

Normalmente esta lei é apresentada para o caso de uma mola, onde  $k$  é a constante da mola.

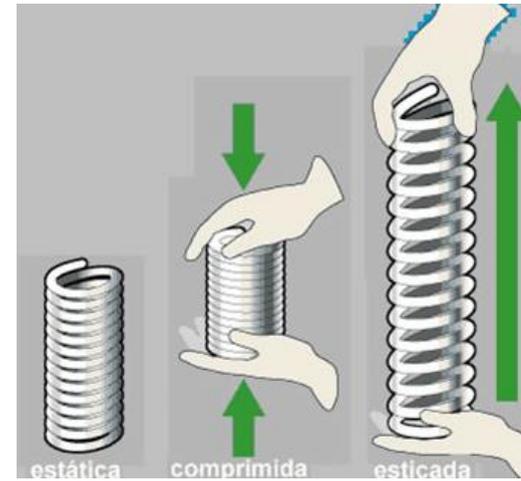
## Forças Elásticas

$$F = -k(x - x_0) = -k \Delta x$$

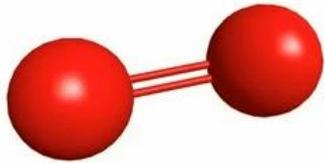


$x = 0$

## Forças Elásticas



## Forças Elásticas



MakeAGIF.com

