



CIÊNCIAS NATURAIS E SUAS TECNOLOGIAS



ENEM2011

## Módulo 1. Introdução à Cinemática

### 1. Cinemática

Descrição dos movimentos. Grandezas básicas utilizadas: espaço, tempo, velocidade e aceleração.

### 2. Ponto material

Corpo cujas dimensões tornam-se desprezíveis quando comparadas à extensão de seu movimento.

### 3. Referencial

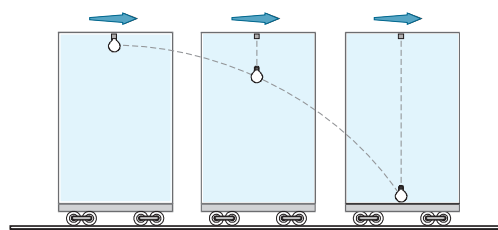
Local de observação. Ponto ou corpo em relação ao qual se define o repouso ou o movimento de objetos.

Um objeto pode estar ao mesmo tempo em repouso e em movimento, segundo dois referenciais diferentes.

### 4. Trajetória

Caminho traçado por um móvel em relação a um referencial. Mudando-se o referencial, a trajetória do móvel pode-se alterar.

#### Exemplo

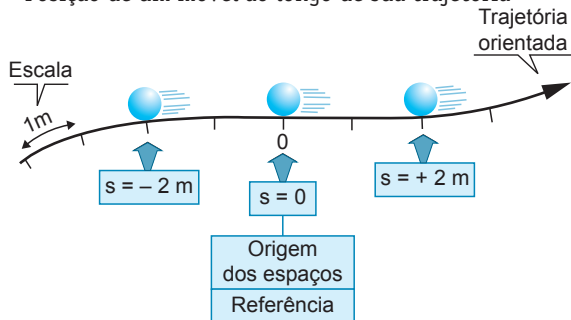


A lâmpada cai retilineamente em relação ao vagão e, ao mesmo tempo, parabolicamente em relação aos trilhos.

## Módulo 2. Espaço e tempo

### 1. Espaço

Posição de um móvel ao longo de sua trajetória



### 2. Função horária do espaço

Expressão da relação espaço-tempo de um móvel

Exemplo:  $s = 2 + 4 \cdot t$  (SI)\*

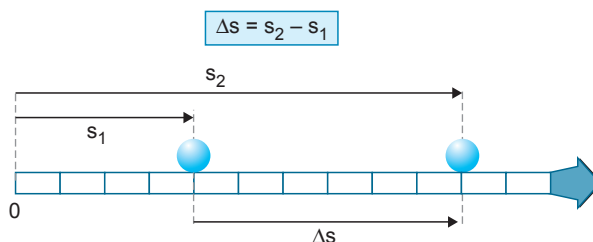
(\*) Sistema Internacional de unidades

Espaço: metros (m)

Tempo: segundos (s)

### 3. Deslocamento escalar

Medida da variação de espaço de um móvel



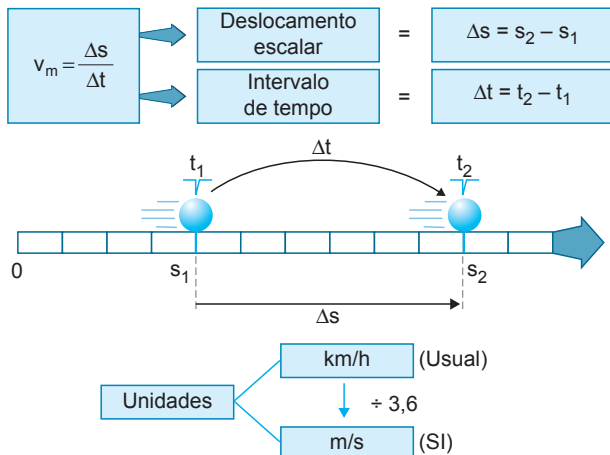
### 4. Sentidos de tráfego

<b>Progressivo</b>		s cresce $\Delta s > 0$
<b>Retrógrado</b>		s decresce $\Delta s < 0$

## Módulo 3. Velocidade escalar

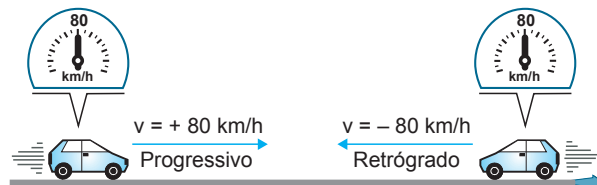
### 1. Velocidade escalar média

Velocidade escalar suposta constante num trajeto



### 2. Velocidade escalar instantânea

Velocidade escalar num exato instante. O velocímetro indica a sua intensidade (módulo de  $v$ ).



Cálculo  $v = \frac{ds}{dt} \Rightarrow$  Derivada da função horária do espaço

Exemplo:  $s = 2 \cdot t^3 \quad v = 2 \cdot 3 \cdot t^{3-1} \quad v = 6 \cdot t^2$

## Módulo 4. Movimento uniforme (I)

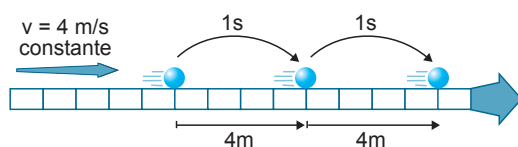
### 1. Definição

Movimento uniforme (MU):

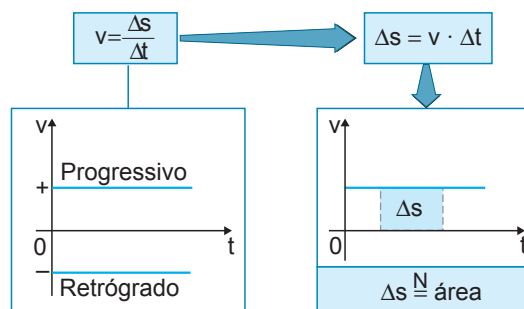
Velocidade escalar instantânea constante (não-nula).

Desloca  $\Delta s$  iguais em intervalos de tempo  $\Delta t$  iguais.

**Exemplo**

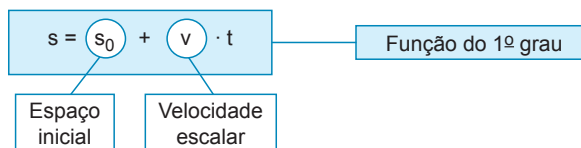


### 2. Velocidade escalar constante

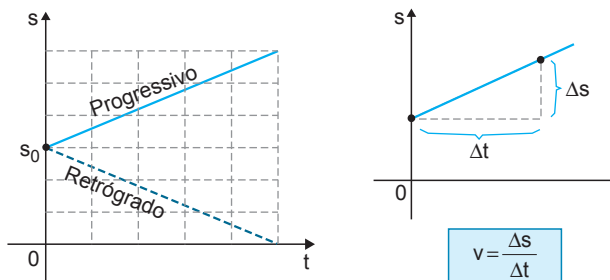


## Módulo 5. Movimento uniforme (II)

### 1. Função horária do espaço



## 2. Diagrama horário do espaço



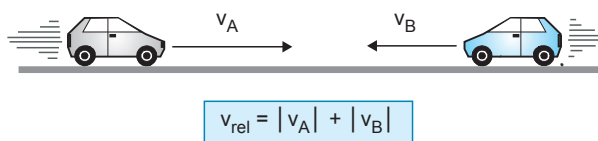
## Módulo 6. Velocidade relativa

### 1. Definição

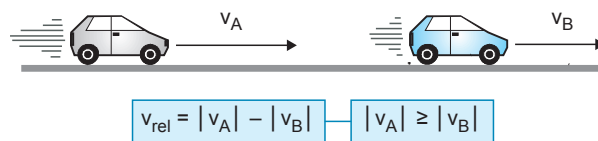
É a velocidade, em módulo, que um móvel possui em relação a um outro móvel tomado como referencial.

### 2. Regra prática

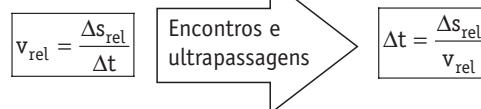
#### 2.1. Móveis em sentidos opostos



#### 2.2. Móveis no mesmo sentido



### 3. Movimento uniforme relativo



## Módulo 7. Aceleração escalar

### 1. Conceito

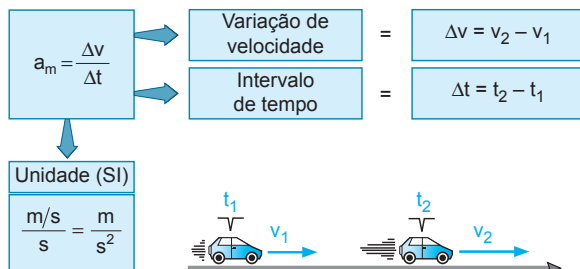
Indica o ritmo com que a velocidade escalar varia.

$a > 0 \rightarrow v$  aumentando

$a < 0 \rightarrow v$  diminuindo

### 2. Aceleração escalar média

Aceleração escalar suposta constante num trajeto.



### 3. Aceleração escalar instantânea

$$v = \frac{dv}{dt} \Rightarrow \text{Derivada da função horária da velocidade}$$

Seqüência de derivadas:

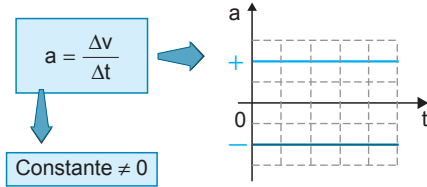
$$s = f(t) \xrightarrow{ds/dt} v = f(t) \xrightarrow{dv/dt} a = f(t)$$

### 4. Classificação

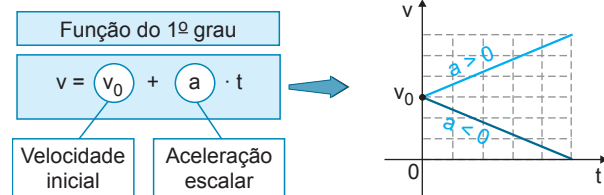
Acelerado	$ v $ <b>crece</b>	$v$ e $a$ sinais iguais
Retardado	$ v $ <b>decresce</b>	$v$ e $a$ sinais opostos
Uniforme	$ v $ <b>constante</b>	$a = 0$

## Módulo 8. Movimento uniformemente variado (I)

### 1. Definição

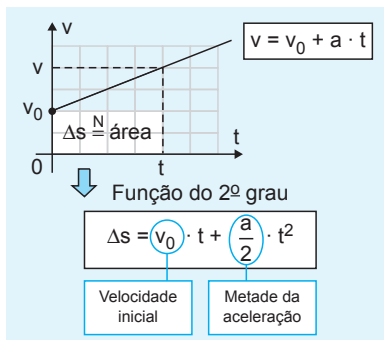


### 2. Função horária da velocidade escalar

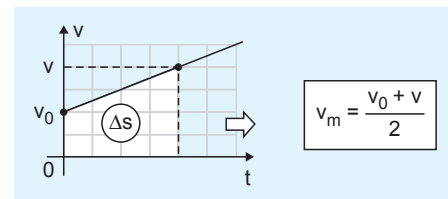


## Módulo 9. Movimento uniformemente variado (II)

### 1. Deslocamento escalar



### 2. Velocidade escalar média



### 3. Equação de Torricelli

$$v^2 = v_0^2 + 2 \cdot a \cdot \Delta s$$

## Módulo 10. Movimento uniformemente variado (III)

### 1. Função horária do espaço

Função do 2º grau

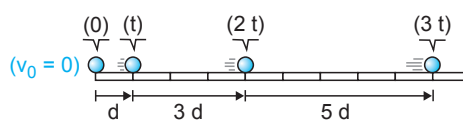
$$s = s_0 + v_0 \cdot t + \frac{a}{2} \cdot t^2$$

Espaço inicial

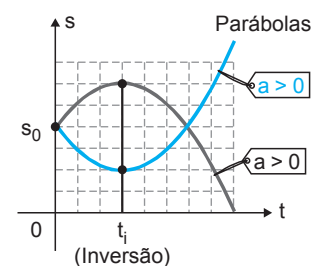
Velocidade inicial

Metade da aceleração

### 2. Deslocamentos sucessivos

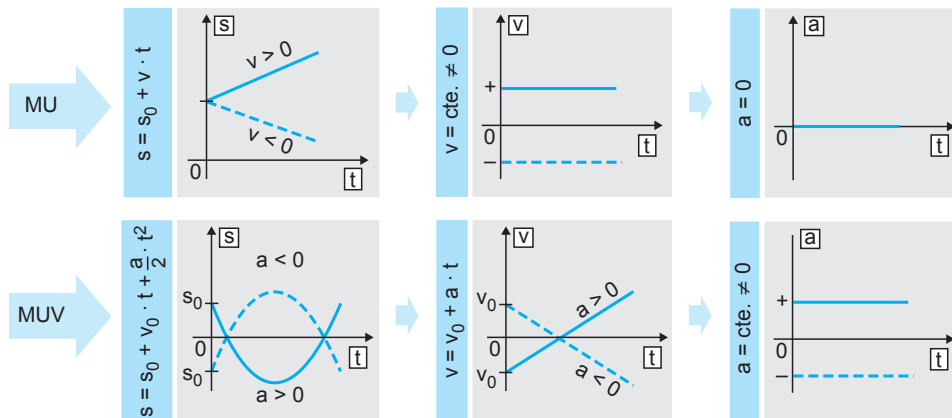


### 3. Diagrama horário do espaço



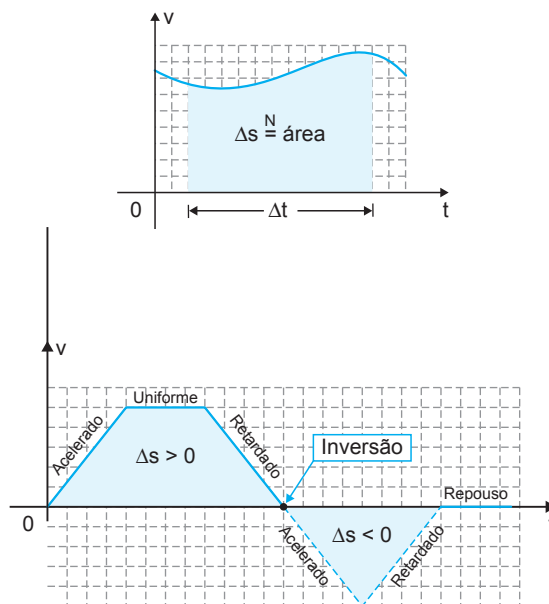
## Módulo 11. Diagramas horários (I)

Análise dos diagramas horários de MU e MUV



## Módulo 12. Diagramas horários (II)

Gráfico velocidade x tempo

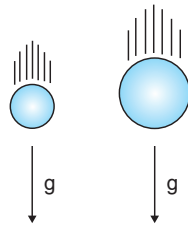


## Módulo 13. Queda livre

### 1. Experiência de Galileu

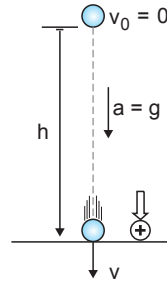
Todos os corpos soltos num mesmo local, livres da resistência do ar, caem com uma mesma aceleração, quaisquer que sejam suas massas. Essa aceleração é a gravidade ( $g$ ).

Próximo da superfície da Terra:  $g \cong 10 \text{ m/s}^2$



MUV vertical

### 2. Cálculos usuais



Altura descida  $h = \frac{g}{2} \cdot t^2$   $\Rightarrow$  Tempo de queda  $t_q = \sqrt{\frac{2 \cdot h}{g}}$

Velocidade atingida  $v = g \cdot t$  ou  $v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$

## Módulo 14. Lançamento vertical para cima

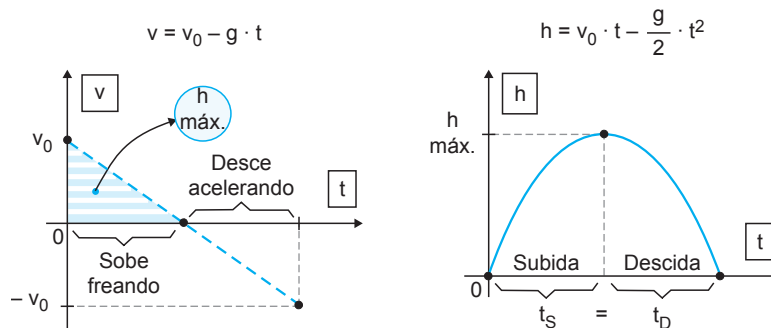
### 1. Aceleração escalar de voo

$a = -g$

Desprezando-se os efeitos do ar e orientando-se a trajetória para cima

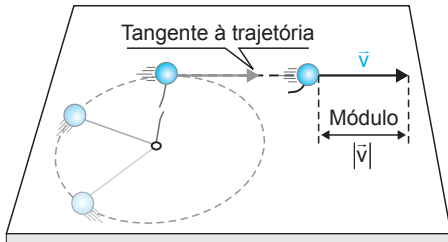
Subida retardada	$v > 0$	$a = -g$
Descida acelerada	$v < 0$	$a = -g$

### 2. Funções horárias

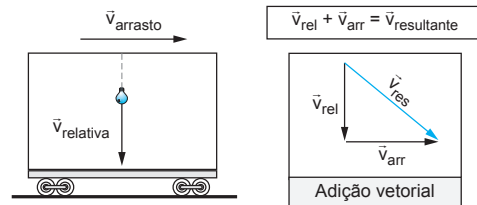


## Módulo 15 · Velocidade vetorial

### 1. Vetor velocidade

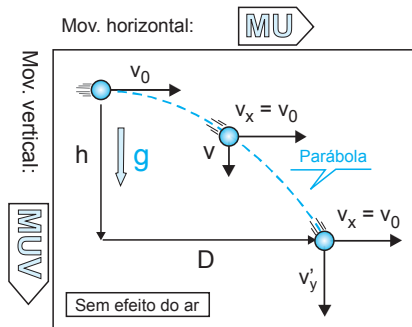


### 2. Composição de velocidades



## Módulo 16 · Lançamento horizontal

### 1. Movimentos componentes



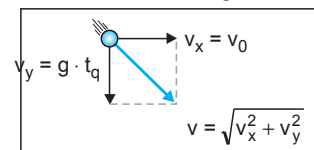
### 2. Cálculos usuais

Altura  $h = \frac{g}{2} \cdot t^2$   $\Rightarrow$  Tempo de queda  $t_q = \sqrt{\frac{2 \cdot h}{g}}$

Alcance horizontal

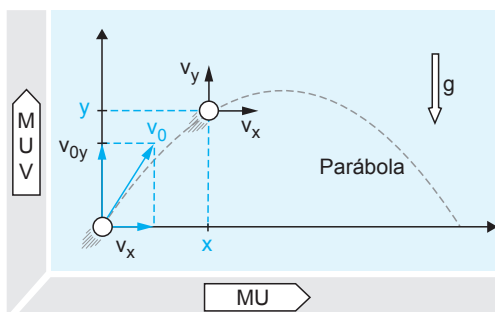
$$D = v_0 \cdot t_q$$

Velocidade atingida

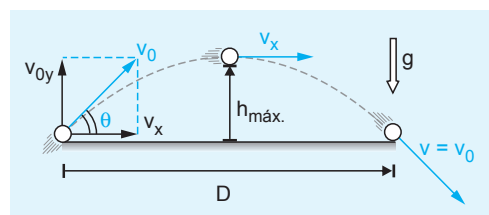


## Módulo 17 · Lançamento oblíquo

### 1. Movimentos componentes



### 2. Cálculos básicos



Componente de  $V_0$

$$\begin{cases} v_x = v_0 \cdot \cos \theta \\ v_{0y} = v_0 \cdot \sin \theta \end{cases}$$

Altura máxima

$$h_{\text{máx.}} = \frac{v_{0y}^2}{2 \cdot g} = \frac{(v_0 \cdot \sin \theta)^2}{2 \cdot g}$$

Tempo total de vo

$$T = 2 \cdot t_s = \frac{2 \cdot v_0 \cdot \sin \theta}{g}$$

Alcance horizontal

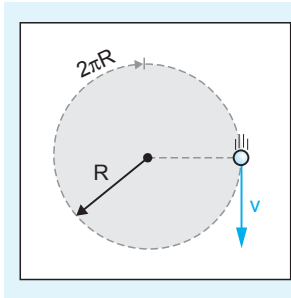
$$D = v_x \cdot T = \frac{v_0^2 \cdot \sin 2\theta}{g}$$

Mov. horizontal	MU
$a_x = 0$	
$v_x = \text{constante}$	
$x = v_x \cdot t$	

Mov. vertical	MUV
$a_y = -g$	
$v_y = v_{0y} - g \cdot t$	
$y = v_{0y} \cdot t - \frac{g}{2} \cdot t^2$	



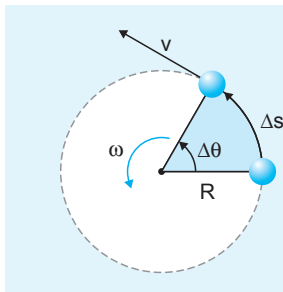
## Módulo 18 · Movimento circular uniforme (I)



Grandezas escalares constantes		Unidades (SI)
<b>Período</b>	$T = \Delta t$ de uma volta	segundo (s)
<b>Frequência</b>	$f = \frac{n^\circ \text{ de voltas}}{\Delta t} = \frac{1}{T}$	hertz (Hz) rps
<b>Velocidade linear</b>	$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{2\pi R}{T} = 2\pi R \cdot f$	m/s

Rolamento uniforme	
$v_{\text{Eixo}} = \frac{2\pi R}{T} = 2\pi R \cdot f$	

## Módulo 19 · Movimento circular uniforme (II)

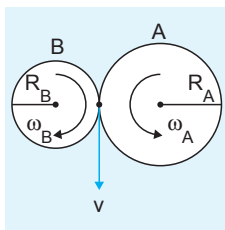


Grandezas angulares		Unidades
<b>Deslocamento angular</b>	$\Delta\theta = \text{ângulo girado} = \frac{\Delta s}{R}$	radiano (rad)
<b>Velocidade angular</b>	$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{2\pi}{T} = 2\pi \cdot f$	rad/s
Relação importante: $v = \omega \cdot R$		

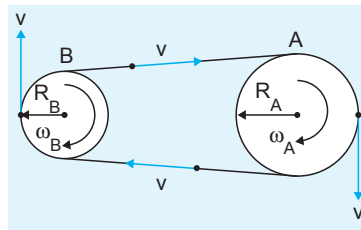
## Módulo 20 · Movimento circular uniforme (III)

### Transmissão de movimento circular

#### Transmissão por contato



#### Transmissão por correia



#### Velocidade linear transmitida

$$v = \omega_A \cdot R_A = \omega_B \cdot R_B$$

$$v = 2\pi f_A \cdot R_A = 2\pi f_B \cdot R_B$$

$$\downarrow$$

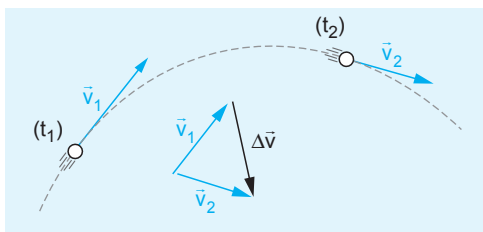
$$f_A \cdot R_A = f_B \cdot R_B$$

## Módulo 21 · Aceleração vetorial (I)

### 1. Variação do vetor velocidade

- A intensidade de  $\vec{v}$  varia quando o movimento for acelerado ou retardado.
- A direção de  $\vec{v}$  varia quando o movimento tiver trajetória curvilínea.
- Vetor indicativo da variação de velocidade:

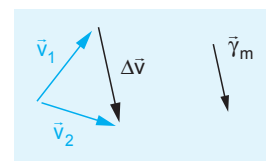
$$\Delta \vec{v} = \vec{v}_2 - \vec{v}_1$$



### 2. Aceleração vetorial média

$$\vec{\gamma}_m = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

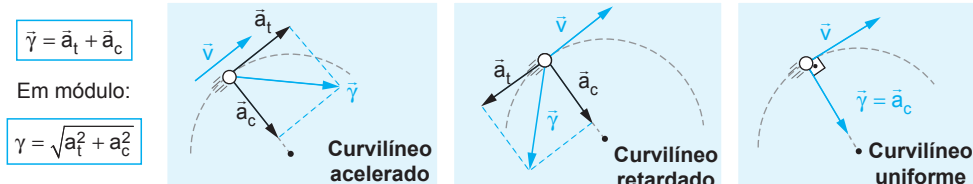
$\vec{\gamma}_m$  e  $\Delta \vec{v}$  possuem mesma direção e mesmo sentido.



#### Observação

$\vec{v} = \text{constante} \Rightarrow \Delta \vec{v} = \vec{0} \Rightarrow$  Repouso ou MRU

## Módulo 22. Aceleração vetorial (II)



### 1. Aceleração tangencial

Varia a intensidade da velocidade ( $\vec{v}$ ). Só existe em movimentos acelerados ou retardados.

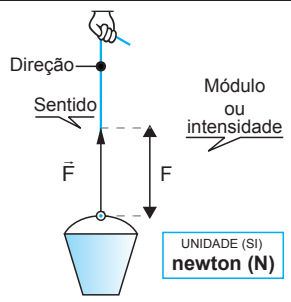
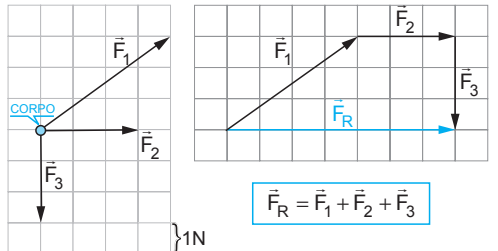
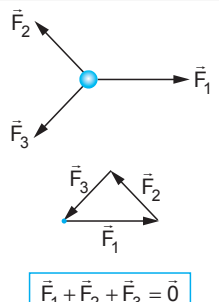
<b>Módulo</b>	$ \vec{a}_t  =  a $ (módulo da aceleração escalar)
<b>Direção</b>	Tangente à trajetória (a mesma de $\vec{v}$ )
<b>Sentido</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Igual ao de <math>\vec{v}</math>, quando acelerado.</li> <li>• Oposto ao de <math>\vec{v}</math>, quando retardado.</li> </ul>

### 2. Aceleração centrípeta

Varia apenas a direção da velocidade ( $\vec{v}$ ), ou seja, só existe em movimento com trajetórias curvilíneas.

<b>Módulo</b>	$ \vec{a}_c  = \frac{v^2}{R}$ $\left\{ \begin{array}{l} v: \text{velocidade escalar} \\ R: \text{raio instantâneo da curva} \end{array} \right.$
<b>Direção</b>	Perpendicular a $\vec{v}$
<b>Sentido</b>	Orientado para o centro da curva

## Módulo 23. Introdução à Dinâmica

Vetor força	Força resultante	Equilíbrio de forças
Fruto da interação	Força equivalente às forças atuantes num corpo	$F_R = 0$
 <p>Direção Sentido Módulo ou intensidade</p> <p>UNIDADE (SI) <b>newton (N)</b></p>	<p>Obtenção: adição vetorial</p>  $\vec{F}_R = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3$	 $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 = \vec{0}$
Efeitos Alteração de velocidade Produção de deformação Geração de equilíbrio	Forças atuantes <ul style="list-style-type: none"> <li>• De campo: <b>peso, elétrica e magnética</b></li> <li>• De contato: <b>tração, normal, atrito</b> etc.</li> </ul>	Estados de equilíbrio <ul style="list-style-type: none"> <li>• Repouso</li> <li>• MRU</li> </ul>

## Módulo 24 · Primeira lei de Newton

### 1. Inércia

É a tendência natural que os corpos possuem em manter velocidade constante.

- Corpo em repouso  $\Rightarrow$  tende a ficar em repouso.
- Corpo em movimento  $\Rightarrow$  tende a ficar em MRU.

Esquemáticamente, o princípio da inércia pode ser exposto assim:

$$\vec{F} = \vec{0} \Leftrightarrow \vec{v} = \text{constante} \begin{cases} \text{Repouso} \\ \text{ou MRU} \end{cases}$$

Equilíbrio

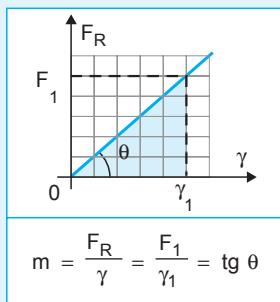
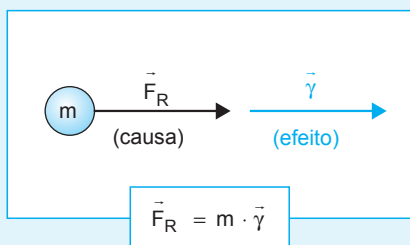
### 2. Primeira lei de Newton ou princípio da inércia

Se a resultante das forças atuantes num corpo é nula, então o corpo se encontra em repouso ou em movimento retilíneo uniforme.

### 3. Referencial inercial

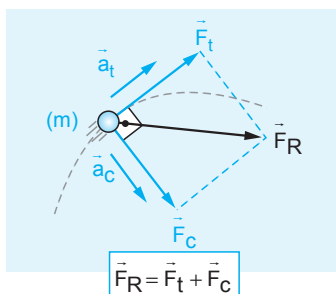
Referencial que comprova a lei da inércia: sistema de referência que não possui aceleração em relação às estrelas "fixas" (sistema inercial primário). Dentro de limites, a Terra pode ser considerada um referencial inercial.

## Módulo 25 · Segunda lei de Newton



Unidades (SI)
$u(m) = \text{kg}$
$u(\gamma) = \text{m/s}^2$
$u(F) = \text{N} = \text{kg} \cdot \text{m/s}^2$

## Módulo 26 · Componentes da força resultante



•  $\vec{F}_t$  produz  $\vec{a}_t \Rightarrow \vec{F}_t = m \cdot \vec{a}_t$

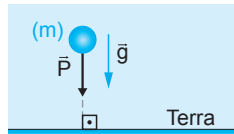
•  $\vec{F}_c$  produz  $\vec{a}_c \Rightarrow \vec{F}_c = m \cdot \vec{a}_c$

## Módulo 27. Força peso e resistência do ar

### 1. Força peso

$$P = m \cdot g$$

N kg m/s<sup>2</sup>

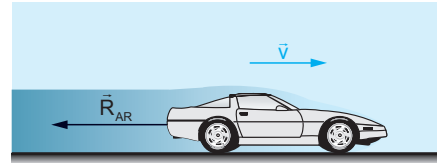


Não confunda massa e peso.

**Massa:** grandeza escalar que representa a **medida da inércia** do corpo.

**Peso:** grandeza **vetorial** que representa a **força gravitacional** com que a Terra atrai o corpo.

### 2. Força de resistência do ar



$$R_{AR} = k \cdot v^2$$

Velocidade do corpo no ar

**k:** constante que depende do formato do corpo, da área de sua maior seção transversal ao movimento e da densidade do ar.

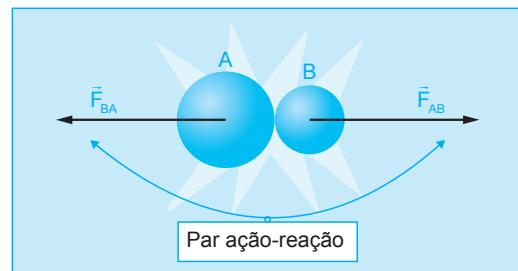
## Módulo 28. Terceira lei de Newton

### Princípio da ação e reação

Se um corpo A aplicar uma força sobre um corpo B, receberá dele uma força de mesma intensidade, mesma direção e sentido oposto à força que aplicou em B.

### Observação

As forças de ação e reação são de mesma natureza (ambas de contato ou ambas de campo), possuem o mesmo nome (o nome da interação) e atuam sempre em corpos diferentes, logo não se equilibram.

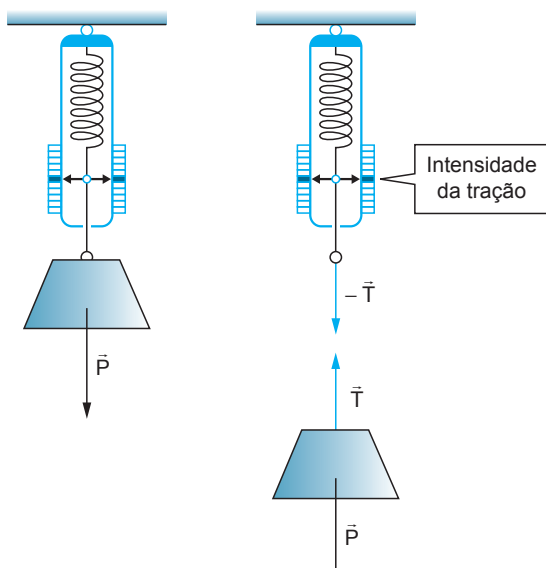


$$\vec{F}_{AB} = -\vec{F}_{BA}$$

## Módulo 29. Dinamômetro

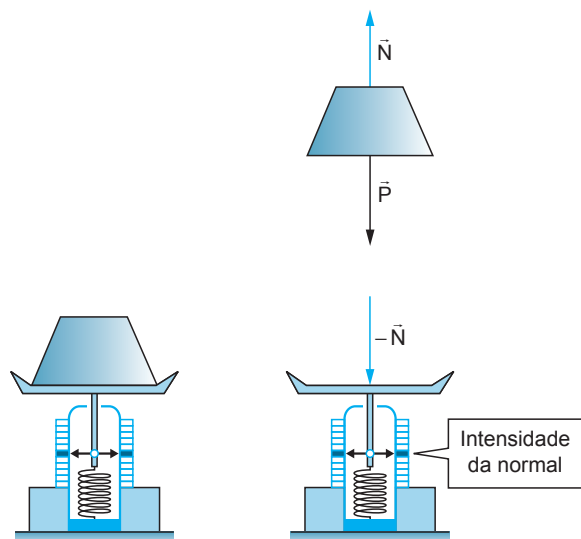
### 1. Dinamômetro de tração

Medidor de força de tração



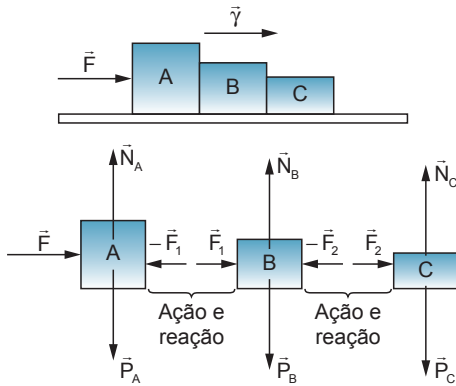
### 2. Dinamômetro de compressão

Medidor de força normal

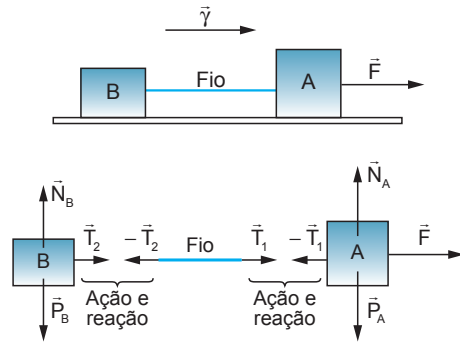


## Módulo 30 · Leis de Newton aplicadas em sistemas (I)

### 1. Blocos comprimidos

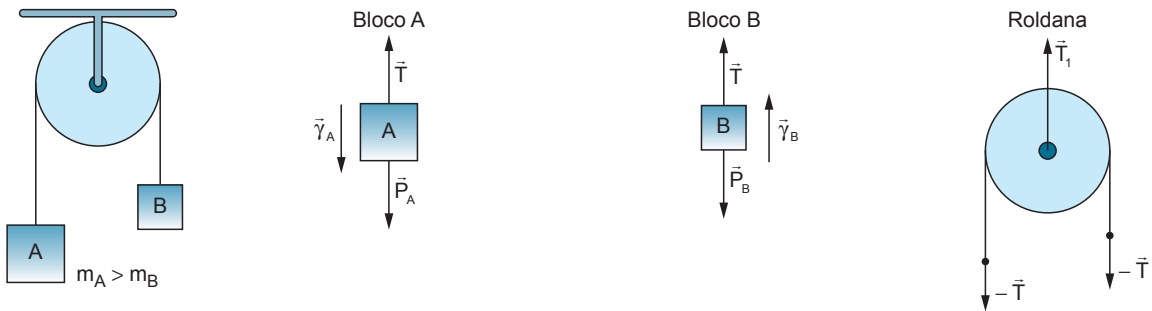


### 2. Blocos tracionados

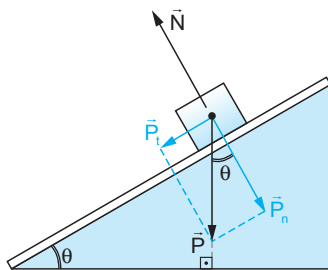


## Módulo 31 · Leis de Newton aplicadas em sistemas (II)

### 1. Máquina de Atwood



## Módulo 32 · Plano inclinado



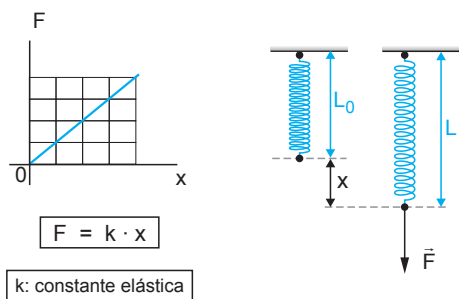
### Componentes da força peso

- Componente tangencial:  $P_t = P \cdot \text{sen } \theta$
- Componente normal:  $P_n = P \cdot \text{cos } \theta$

## Módulo 33 · Força elástica

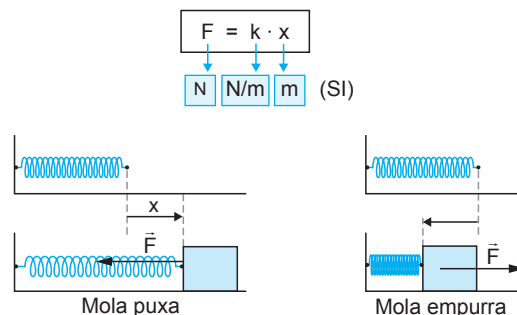
### 1. Lei de Hooke

A intensidade da força deformadora ( $F$ ) de uma mola ideal é diretamente proporcional à deformação ( $x$ ) produzida.

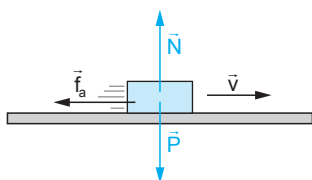


### 2. Força elástica

É a força transmitida por uma mola deformada.



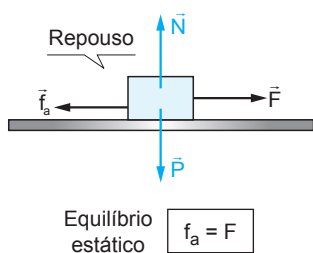
## Módulo 34 · Força de atrito dinâmico



$$f_a = \mu_d \cdot N$$

$\mu_d$ : coeficiente de atrito dinâmico ou cinético  
 $N$ : intensidade da força normal de compressão

## Módulo 35 · Força de atrito estático



Na iminência de deslizamento, a força de atrito estático atinge um valor máximo expresso por:

$$f_{a\text{máx.}} = \mu_e \cdot N$$

$\mu_e$ : coeficiente de atrito estático ( $\mu_e \geq \mu_d$ )  
 $N$ : intensidade da força normal de compressão

## Módulo 36 · Dinâmica do movimento circular (I)

### Movimento circular uniforme

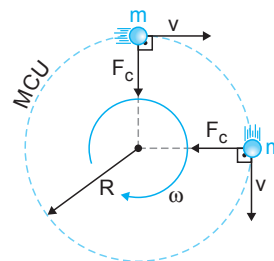
No MCU, a força resultante é centrípeta.

$$F_c = m \cdot a_c$$

ou

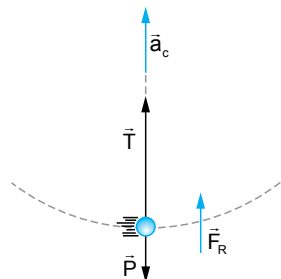
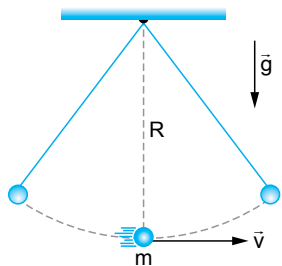
$$a_c = \frac{v^2}{R}$$

$$a_c = \omega^2 \cdot R$$



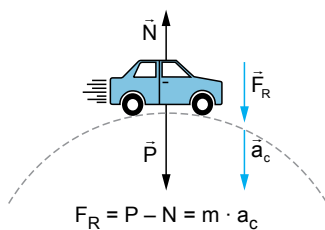
## Módulo 37 · Dinâmica do movimento circular (II)

### 1. Pêndulo simples

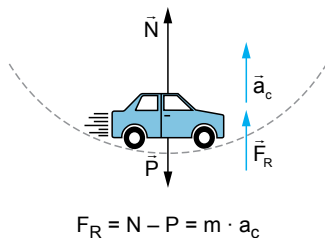


### 2. Curvas verticais

No ponto mais alto:

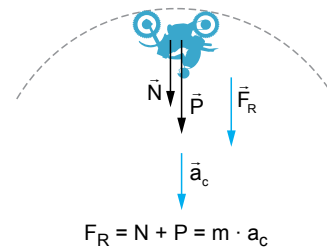


No ponto mais baixo:

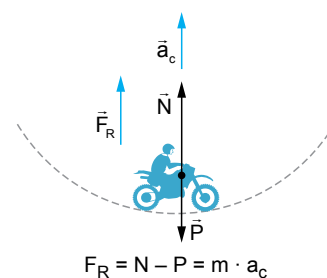


### 3. Globo da morte

No ponto mais alto:

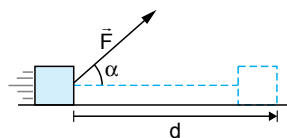


No ponto mais baixo:



## Módulo 38 · Trabalho

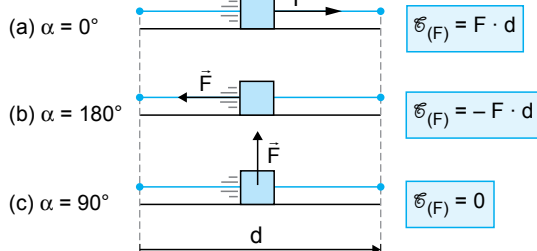
### 1. Trabalho de uma força constante



$$\mathcal{E}_{(F)} = F \cdot d \cdot \cos \alpha$$

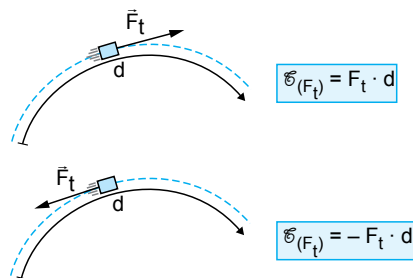
Unidade (SI):  $N \cdot m = J$  (joule)

Casos usuais

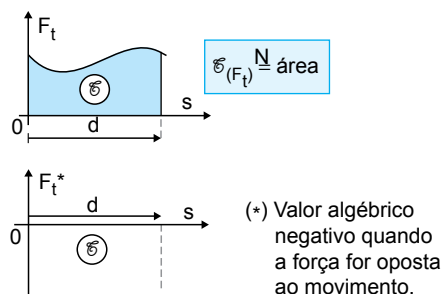


### 2. Trabalho de uma força tangencial

1º caso  $F_t = \text{cte}$  (intensidade constante)



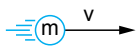
2º caso  $F_t \neq \text{cte}$  (intensidade variável)



## Módulo 39. Teorema da energia cinética

### 1. Energia cinética

É a energia que um corpo possui por ter velocidade.

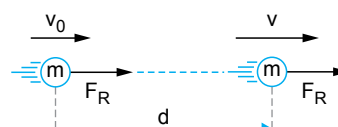


$$E_c = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

Unidade (SI): joule (J)

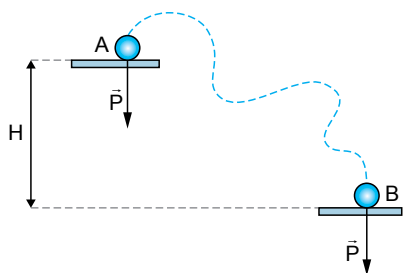
### 2. Teorema da energia cinética

O trabalho da resultante das forças atuantes em um corpo é igual à variação da energia cinética do corpo.



$$\mathcal{E}(F_R) = \Delta E_c = \frac{m \cdot v^2}{2} - \frac{m \cdot v_0^2}{2}$$

## Módulo 40. Trabalho da força peso



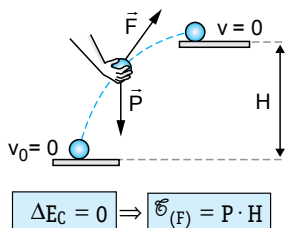
Na descida de A para B:  $\mathcal{E}(P) = P \cdot H$

Na subida de B para A:  $\mathcal{E}(P) = -P \cdot H$

O trabalho da força peso **independe da trajetória**.

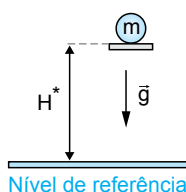
## Módulo 41. Energia potencial gravitacional

### 1. Trabalho para levantar um corpo



### 2. Energia potencial gravitacional

É a energia que um corpo possui em razão de sua posição (altura) no campo gravitacional.

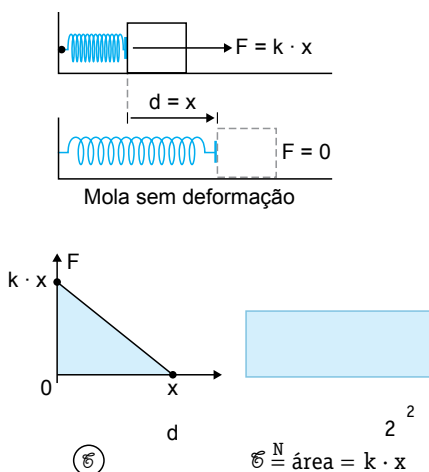


$$E_{pg} = m \cdot g \cdot H$$

(\*) Para um corpo extenso, a altura (H) será a do seu centro de massa.

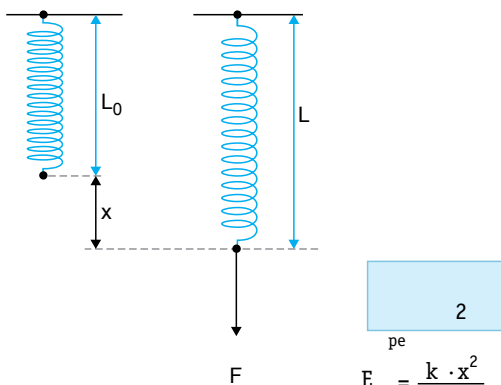
## Módulo 42. Energia potencial elástica

### 1. Trabalho da força elástica



### 2. Energia potencial elástica

É a energia que uma mola armazena quando se encontra deformada.





## Módulo 43 · Sistemas conservativos

### 1. Energia mecânica

$$E_m = E_c + E_{pg} + E_{pe}$$

$\frac{mv^2}{2}$

$mgH$

$\frac{kx^2}{2}$

### 2. Conservação da energia mecânica

$$E_{m_{inicial}} = E_{m_{final}}$$

A energia mecânica de um sistema se mantém constante quando nele só operam forças do tipo conservativas: força peso, força elástica e forças cujo trabalho total é nulo.

## Módulo 44 · Sistemas não-conservativos

### 1. Teorema da energia mecânica

$$E_{m_{final}} = E_{m_{inicial}} + \mathcal{E}_{\text{forças não-conservativas}}$$

### 2. Sistemas dissipativos

$$E_{m_{diss.}} = E_{m_{inicial}} - E_{m_{final}} \Rightarrow \mathcal{E}_{diss.}^* = \Delta E_m$$

(\*) O trabalho das forças dissipativas (atrito dinâmico e resistência de fluidos) transforma a energia mecânica dissipada em energia térmica (calor).

## Módulo 45 · Potência mecânica

### 1. Conceito

A potência mecânica mede a rapidez com que um dispositivo transfere ou transforma energia mecânica, através do trabalho de sua força.

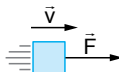
Unidade (SI): watt (W)  $\rightarrow W = J/s$

### 2. Potência média

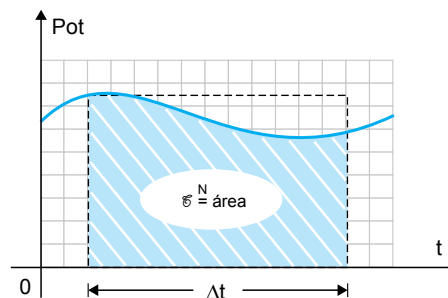
$$Pot_m = \frac{\mathcal{E}}{\Delta t} = \frac{\Delta E_m}{\Delta t}$$

### 3. Potência instantânea de uma força

$$Pot = F \cdot v$$

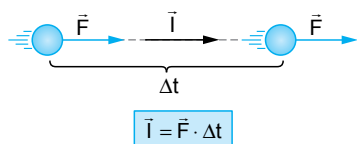


### 4. Diagrama horário da potência



## Módulo 46 · Impulso e quantidade de movimento

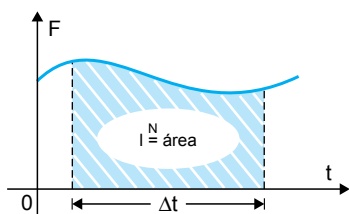
### 1. Impulso de uma força constante



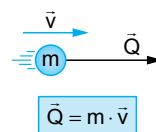
Unidade no SI:  $N \cdot s = kg \cdot m/s$

### 2. Impulso de uma força variável

Se uma força tiver direção constante e intensidade variando no decorrer do tempo, seu impulso será calculado por meio da **área** sob o gráfico **força x tempo**.



### 3. Quantidade de movimento



Unidade no SI:  $kg \cdot m/s$

#### Observações:

- $u(I) = u(Q) = kg \cdot m/s$
- $\vec{Q} = cte \Rightarrow$  Repouso ou MRU
- Também é denominado **momento linear**.

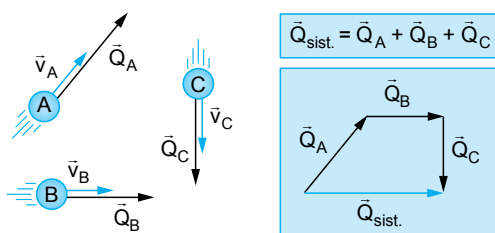
### 4. Teorema do impulso

“O impulso da resultante das forças atuantes sobre uma partícula, num certo intervalo de tempo, é igual à variação da quantidade de movimento da partícula nesse mesmo intervalo de tempo.”

$$\vec{I}_R = \Delta \vec{Q}$$

## Módulo 47 · Sistemas isolados

### 1. Quantidade de movimento de um sistema

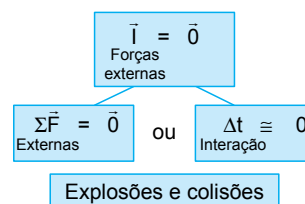


Quando as velocidades tiverem mesma direção:

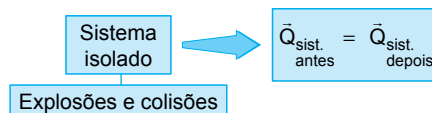
$$Q_{sist.} = m_A \cdot v_A + m_B \cdot v_B + m_C \cdot v_C$$

Velocidades escalares

### 2. Sistema mecanicamente isolado

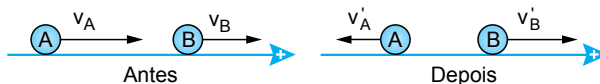


### 3. Conservação da quantidade de movimento



**Módulo 48 · Sistemas isolados: exercícios**

## Módulo 49 • Colisões frontais



### 1. Conservação da quantidade de movimento

$$Q_{\text{sist. antes}} = Q_{\text{sist. depois}}$$

$$m_A \cdot v_A + m_B \cdot v_B = m_A \cdot v'_A + m_B \cdot v'_B$$

Velocidades escalares

### 2. Coeficiente de restituição

$$e = \frac{\text{velocidade relativa de afastamento}}{\text{velocidade relativa de aproximação}}$$

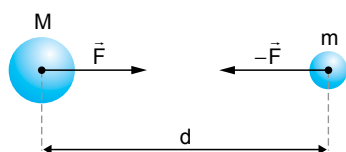
$$e = \frac{v'_B - v'_A}{v_A - v_B} \quad (\text{velocidades escalares})$$

Tipos de choques	Coeficiente de restituição	Energia mecânica
Perfeitamente elástico	$e = 1$	Conservada
Parcialmente elástico	$0 < e < 1$	Não conservada
Perfeitamente inelástico	$e = 0$	Perda máxima

## Módulo 50 • Força e campo gravitacional

### 1. Lei da gravitação universal

Matéria atrai matéria na razão direta do produto de suas massas e na razão inversa do quadrado da distância entre seus centros de massa.

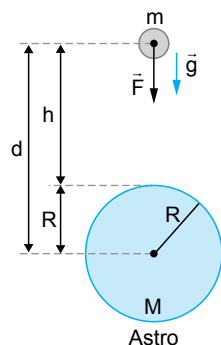


Força de atração gravitacional

$$F = G \cdot \frac{M \cdot m}{d^2}$$

Constante universal:  $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2}$

## 2. Campo gravitacional



$$g = G \cdot \frac{M}{d^2}$$

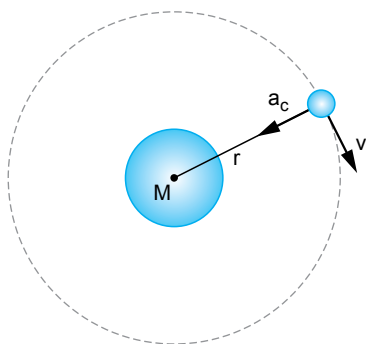
→ Massa do astro  
→  $d = R + h$

Na superfície do astro esférico:

$$g_0 = G \cdot \frac{M}{R^2}$$

→ Massa do astro  
→ Raio do astro

## Módulo 51. Satélite em órbita circular



MCU

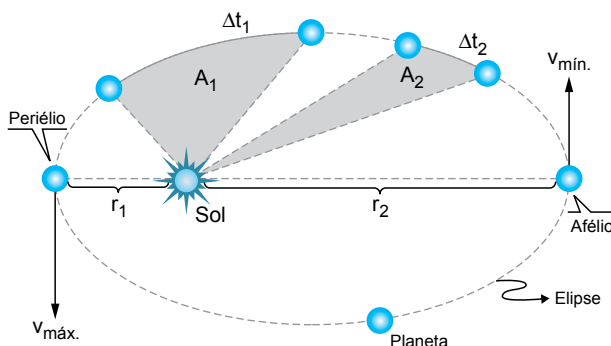
- Aceleração centrípeta:  $a_c = g = \frac{GM}{r^2}$

- Velocidade orbital:  $v = \sqrt{r \cdot g} = \sqrt{\frac{GM}{r}}$

- Período orbital:  $T = \frac{2\pi \cdot r}{v} = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{r^3}{GM}}$

## Módulo 52. Leis de Kepler

### 1. Lei das órbitas



### 2. Lei das áreas

$$\Delta t_1 = \Delta t_2 \Rightarrow A_1 = A_2$$

### 3. Lei dos períodos

$$\frac{T^2}{R^3} = k \text{ (constante)}$$

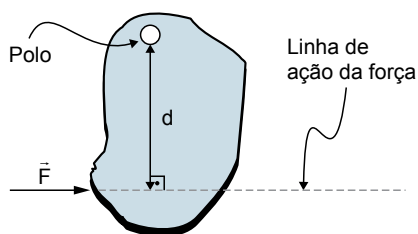
Em que:

- T = período de translação do planeta (ano do planeta)

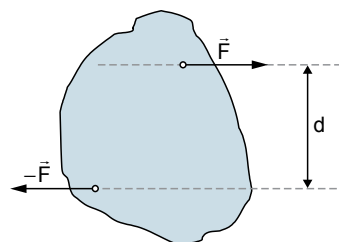
- $R = \frac{r_1 + r_2}{2}$  (raio médio da órbita)

## Módulo 53. Equilíbrio de corpo extenso

Momento de uma força:  $M = \pm |\vec{F}| \cdot d$



Binário ou conjugado:  $C = \pm |\vec{F}| \cdot d$



Condições de equilíbrio estático do corpo extenso

- Para não transladar:  $\vec{F}_R = \vec{0}$
- Para não girar:  $\Sigma \vec{M} = \vec{0}$  (qualquer que seja o polo considerado)

## Módulo 54. Densidade e pressão

Massa específica ( $\mu$ ): substância

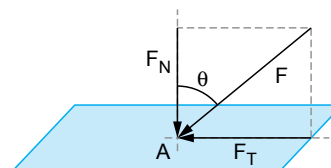
$$\mu = \frac{m}{V}$$

Conceito de pressão

$$p = \frac{F_N}{A}$$

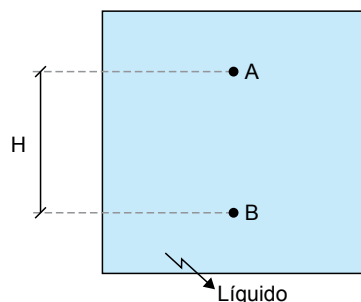
Densidade ( $d$ ): corpo

$$d = \frac{m}{V}$$



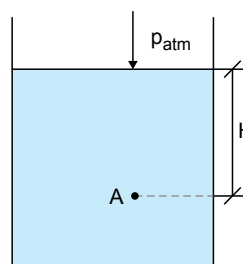
## Módulo 55. Teorema de Stevin

Pressão hidrostática: teorema de Stevin



$$p_B - p_A = \mu \cdot g \cdot H$$

Pressão total em um ponto



$$p_A = \mu \cdot g \cdot H + p_{atm}$$

Para líquidos em equilíbrio

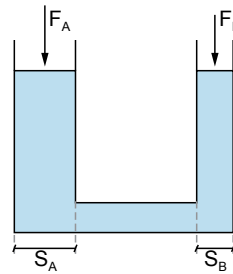
Pontos dentro de um mesmo líquido e na mesma linha horizontal suportam a mesma pressão.

## Módulo 56 · Teorema de Pascal

### 1. Teorema de Pascal

Os líquidos transmitem integralmente as variações de pressão que recebem.

### 2. Prensa hidráulica



$$\frac{F_A}{S_A} = \frac{F_B}{S_B}$$

## Módulo 57 · Força de empuxo

### Teorema de Arquimedes

Todo corpo submerso total ou parcialmente num fluido em equilíbrio recebe deste uma força vertical para cima, denominada empuxo, cujo módulo é igual ao do peso do volume de fluido deslocado.

$$E = \mu_L \cdot V_{\text{sub}} \cdot g$$

$\left\{ \begin{array}{l} \mu_L: \text{ massa específica do fluido} \\ V_{\text{sub}}: \text{ volume submerso do corpo} \\ g: \text{ aceleração da gravidade local} \end{array} \right.$

