NOTA DE AULA

02

**UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS**

DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICA E FÍSICA

Disciplina: FÍSICA GERAL E EXPERIMENTAL I (MAF 2201)

Coordenador: PROF. EDSON VAZ

**CAPÍTULOS: 05 e 06**

## CAPÍTULO 5 – FORÇA E MOVIMENTO

Uma interação que pode causar uma aceleração de um corpo (mudança na velocidade) é uma grandeza vetorial chamada de força.

A relação entre uma força e a aceleração que ela causa foi descrita por Isaac Newton (1642 – 1727). O estudo desta relação, como apresentado por Newton, é chamado de mecânica newtoniana.

A mecânica newtoniana não se aplica a todas as situações. Se as velocidades dos corpos que interagem são muito grandes, devemos substituir a mecânica newtoniana pela teoria da relatividade especial de Einstein, que vale em qualquer velocidade, inclusive aquelas próximas à da luz. Se os corpos que interagem estiverem na escala da estrutura atômica, devemos substituir a mecânica newtoniana pela mecânica quântica. Hoje em dia, os físicos encaram a mecânica newtoniana como um caso especial destas duas teorias mais abrangentes.

### PRIMEIRA LEI DE NEWTON – LEI DA INÉRCIA

Considere um corpo sobre o qual a força resultante é nula. Se o corpo estiver em repouso, ele permanecerá em repouso. Se o corpo estiver em movimento, ele permanecerá em movimento com velocidade constante (aceleração nula).

A força resultante sobre um corpo é a soma vetorial de todas as forças que agem nele. A força resultante possui o mesmo efeito sobre o corpo que todas as forças individuais juntas. Este fato é chamado de princípio da superposição de forças.

### SISTEMAS DE REFERÊNCIA INERCIAIS

A primeira Lei de Newton não é válida em todos os sistemas de referência, mas sempre podemos achar sistemas de referência nos quais ela (e o resta da mecânica newtoniana) é verdadeira. Tais referenciais são chamadas de sistemas de referência inerciais ou simplesmente referenciais inerciais.

**SEGUNDA LEI DE NEWTON**

A força resultante sobre um corpo é igual ao produto da massa do corpo pela aceleração do corpo. Em termo de equação temos

$$\vec{F}_{res} = m.\vec{a}$$

Que pode ser escrita em termos das componentes como

$$F_{res,x} = m.a_x\,,\quad F_{res,y} = m.a_y\,,\quad F_{res,z} = m.a_z$$

**TERCEIRA LEI DE NEWTON – Lei de Ação e Reação**

Sempre que um corpo exerce uma força sobre outro, o segundo também exercerá sobre o primeiro uma força igual em intensidade, de sentido oposto e com a mesma linha de ação (mesma direção).

Devemos observar que as duas forças que formam o par ação e reação sempre atuam em corpos diferentes.

**ALGUMAS FORÇAS ESPECIAIS**

<u>O PESO</u>

O peso $W$ de um corpo é igual ao módulo da força gravitacional que age sobre o corpo.

$$W = mg$$

O aluno não deve confundir o peso (módulo de uma força) com a massa (propriedade intrínseca) do corpo.

<u>FORÇA NORMAL</u>

Quando um corpo comprime uma superfície, a superfície reage empurrando o corpo com uma força normal – que é perpendicular á superfície de contato.

<u>FORÇA DE ATRITO</u>

A força de atrito é uma força que age sobre um corpo quando o corpo desliza ou tenta deslizar sobre uma superfície. Esta força é sempre paralela à superfície e está no sentido oposto ao movimento do corpo.

<u>FORÇA DE TRAÇÃO</u>

Quando um fio é preso a um corpo e é bem esticado, o fio puxa o corpo com um força $\vec{T}$ na direção do fio e no sentido que se afasta do corpo. Está força é freqüentemente chamada de força de tração.

Para um fio inextensível e de massa desprezível, os puxões nas duas extremidades do fio possuem o mesmo módulo T, mesmo que o fio se desloque ao redor de uma roldana de massa e atrito desprezíveis.

**DIAGRAMA DE CORPO LIVRE** (corpo isolado)

Para resolvermos problemas envolvendo a segunda Lei de Newton, freqüentemente desenhamos um diagrama de corpo livre em que o único corpo apresentado é aquele para a qual estamos somando forças. Somente as forças que atuam no corpo considerado devem ser consideradas.

- O aluno deverá estudar (no livro) da pág. 70 até 83, resolvendo os pontos de verificação (1,2,3,4,5,6,7,8), os problemas resolvidos (5.1, 5.2, 5.3, 5.4, 5.5, 5.6, 5.7, 5.8, 5.9) e os exercícios (1 até 34) da lista 02.

**CAPÍTULO 06**

FORÇA DE ATRITO

Quando uma força $\vec{F}$ é aplicada a um corpo, tendendo a fazer com que ele deslize sobre uma superfície, a superfície exerce uma força de atrito sobre o corpo. A força de atrito é paralela à superfície e está orientada de modo a se opor ao deslizamento. Se o corpo não deslizar, a força de atrito é uma força de atrito estático $\vec{f}_s$. Se houver deslizamento, a força de atrito será uma força de atrito cinético $\vec{f}_k$.

TRÊS PROPRIEDADES DO ATRITO

1. Se o corpo não se move, então a força de atrito estático $\vec{f}_s$ e a componente de $\vec{F}$ que é paralela à superfície se equilibram (elas possuem mesmo módulo, mesma direção e sentidos opostos). Se essa componente de $\vec{F}$ aumenta, a intensidade de $\vec{f}_S$ também aumenta, mantendo o equilíbrio.
2. O módulo de $\vec{f}_s$ possui um valor máximo igual ao produto do coeficiente de atrito estático pelo módulo da força normal exercida pela superfície sobre o corpo $\left(f_{s,\max} = \mu_s.N\right)$. Se o módulo da componente de $\vec{F}$ que é paralela à superfície exceder $f_{s,\max}$, o corpo começa a deslizar ao longo da superfície. A força de atrito estático pode ter qualquer valor entre zero e o seu valor máximo. Assim

$$f_s \leq \mu_s.N$$

o sinal de igualdade vale apenas quando o componente de $\vec{F}$ paralela a superfície, está a ponto de fazer o corpo se movimentar.

3. Se o corpo começar a deslizar ao longo da superfície, o módulo da força de atrito cinético $\vec{f}_K$ é dado por

   $f_K = \mu_K.N$ onde $\mu_K$ é o coeficiente de atrito cinético.

- O aluno deverá estudar (no livro) da pág. 95 até 97, resolvendo os pontos de verificação (1,2), os problemas resolvidos (6.1, 6.2, 6.3) e os exercícios (35 até 55) da lista 02.

FORÇA DE ARRASTO E VELOCIDADE TERMINAL

Quando ocorre movimento relativo entre o ar (ou algum outro fluído) e um corpo, o corpo sofre a ação de uma força de resistência, denominada força de arrasto $\vec{D}$ que se opõe ao movimento relativo e que aponta na direção em que o fluído escoa em relação ao corpo. A intensidade de $\vec{D}$ é dada por

$$D = \frac{1}{2} C \rho A v^2$$

onde:

C – é o coeficiente de arrasto

$\rho$ - é a densidade do ar

$A$ - é a área de seção transversal efetiva do corpo (área de uma seção transversal perpendicular à velocidade relativa *v*).

$v$ - é a velocidade relativa entre o corpo e o ar.

Quando um objeto rombudo, imerso no ar, tiver caído por um tempo suficiente, os módulos da força de arrasto $\vec{D}$ e da força gravitacional $\vec{F}_g$ que agem sobre o corpo se igualam. O corpo então passa a cair com uma velocidade constante, chamada de velocidade terminal $v_t$, dada por

$$v_t = \sqrt{\frac{2F_g}{C \rho A}}$$

MOVIMENTO CIRCULAR UNIFORME

Quando um corpo se move em um círculo (ou arco de círculo) com velocidade de módulo constante *v*, diz-se que ele está em movimento circular uniforme. A velocidade é um vetor e não um escalar. Assim, mesmo que a velocidade mude apenas de direção, ainda há uma aceleração. No movimento circular e uniforme esta aceleração está sempre na direção radial voltada para o centro do círculo e é chamada de aceleração centrípeta, sendo o seu módulo dada por

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

Onde R é o raio da trajetória e *v* é o módulo da velocidade do corpo.

Esta aceleração se deve a uma força centrípeta resultante, dirigida para o centro de curvatura da trajetória da partícula, cuja intensidade é dada por

$$F = m\frac{v^2}{R}$$

onde *m* é a massa da partícula.

- O aluno deverá estudar (no livro) da pág. 99 até 103, resolvendo os pontos de verificação (3,4,5,6), os problemas resolvidos (6.4, 6.5, 6.6, 6.7, 6.8, 6.9) e os exercícios (56 até 64) da lista 02.

Antes de iniciarmos o estudo do nosso próximo assunto, iremos introduzir a multiplicação de vetores.

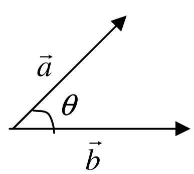
Há duas formas de se multiplicar um vetor por outro vetor: uma delas produz um escalar (chamado de produto escalar) e a outra produz um novo vetor (chamado de produto vetorial)

## PRODUTO ESCALAR

O produto escalar entre dois vetores $\vec{a}$ e $\vec{b}$, escrito como $\vec{a} \cdot \vec{b}$, é definido como

$$\vec{a} \cdot \vec{b} = a\, b \cos\theta$$

Onde a e b são respectivamente os módulos dos vetores $\vec{a}$ e $\vec{b}$, sendo θ o ângulo entre as direções de $\vec{a}$ e $\vec{b}$**,** como está representado na figura abaixo




Partido desta definição, é claro que se os dois vetores forem perpendiculares ($\theta = 90^o$), teremos $\vec{a} \cdot \vec{b} = 0$, se $\theta = 0^o \Rightarrow \vec{a} \cdot \vec{b} = a \,.\, b$ e se $\theta = 180^o \Rightarrow \vec{a} \cdot \vec{b} = - a \,.\, b$

**EXERCÍCIO**

1. Mostre que produto escalar entre dois vetores $\vec{a}$ e $\vec{b}$ pode ser escrito como

$$\vec{a} \cdot \vec{b} = a_x\, b_x + a_y\, b_y + a_z\, b_z$$

PRODUTO VETORIAL

O produto vetorial de dois vetores, $\vec{a}$ e $\vec{b}$, representados por $\vec{a}$ x $\vec{b}$, é um vetor $\vec{c}$ cujo módulo $c$ é dado pela expressão $c = ab\ sen\theta$,

Onde $\theta$ é o <u>menor</u> dos ângulos entre as direções de $\vec{a}$ e $\vec{b}$. A direção de $\vec{c}$ é perpendicular ao plano formado por $\vec{a}$ e $\vec{b}$ e o sentido ao longo desta direção pode ser dado pela regra da mão direita.

Quando $\vec{a}$ **e** $\vec{b}$ forem paralelos ou antiparalelos $(\theta = 0\ ou\ \theta = 180º)$, $\vec{a} \times \vec{b} = 0$.

EXERCÍCIO

2. Mostre que o produto vetorial entre dois vetores $\vec{a}$ e $\vec{b}$ pode ser escrito como

$$\vec{a}\ \ \text{x}\ \vec{b}\ = (a_y b_z - b_y a_z)\hat{i} + (a_z b_x - b_z a_x)\hat{j} + (a_x b_y - b_x a_y)\hat{k}$$

a) usando a propriedade distributiva
b) usando o determinante

<u>CONDIÇÕES DE EQUILÍBRIO</u>

**Centro de massa**

Centro de massa de um corpo é o ponto geométrico no qual se pode considerar concentrada toda a massa do corpo (ou sistema) em estudo.

**Centro de gravidade**

Centro de gravidade de um corpo é o ponto onde podemos considerar aplicado o seu peso.

**Observação:**

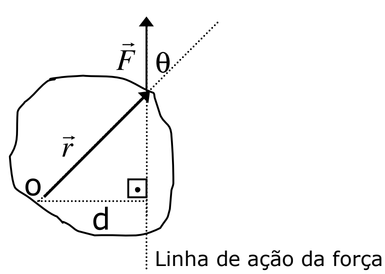
Quando a aceleração da gravidade é constante em todos os pontos de um sistema, o seu centro de gravidade coincide com o centro de massa.

**Momento ou Torque de uma força $\vec{\Gamma}$**

A tendência de uma força a causar rotação depende da linha ao longo da qual ela atua, e também de sua intensidade. Para abrir uma porta, a força será mais eficiente quando aplicada mais longe da dobradiça.

O momento ou torque $\left(\vec{\Gamma}\right)$ de uma força $\vec{F}$, que atua em um corpo, em relação a um eixo que passa pelo ponto O, é definido por:

$$\vec{\Gamma} = \vec{r} \times \vec{F} \Rightarrow \Gamma = F.r.sen\theta$$




o módulo do torque de uma força em relação a um eixo que passa pelo ponto O, pode ser calculado por

$$\Gamma = F.d$$

onde: d (distância perpendicular de O até a linha de ação da força) é o braço de alavanca da força $\vec{F}$ .

**Observação**:

O torque de uma força em relação a um ponto é uma grandeza vetorial. Mas quando utilizarmos somente forças coplanares, a direção será a mesma para todas as forças e neste caso, bastará adotarmos uma convenção de sinais para os sentidos dos torques.

- Quando **F** tende a girar o corpo no sentido anti-horário o torque é positivo.
- Quando **F** tende a girar o corpo no sentido horário, o torque é negativo.

**Torque resultante de um sistema de forças**

O torque resultante de um sistema de forças coplanares, em relação a um eixo, é obtido pela soma algébrica dos torques de cada uma das forças, em relação ao eixo.

**Primeira condição de equilíbrio**

Quando um corpo está em equilíbrio a soma vetorial, ou resultante, de todas as forças que atuam sobre ele tem de ser zero. Assim, para um corpo em equilíbrio, temos que:

$$\sum \vec{F} = 0 \Rightarrow \sum F_x = 0, \sum F_y = 0 \ e \ \sum F_z = 0$$

**Segunda condição de equilíbrio**

A Segunda condição de equilíbrio de um corpo rígido corresponde à ausência de qualquer tendência à rotação: A soma dos torques de todas as forças que atuam sobre um corpo, calculadas em relação a um eixo, tem que ser zero.

- O aluno deverá resolver os exercícios (65 até 73) da lista 02.