Física

MECÂNICA

AUTOR
LOURIVAL GOMES DA SILVA FILHO

Recife, 2016

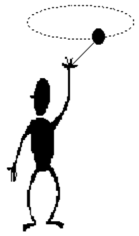
ÍNDICE

DINÂMICA

5 – MOVIMENTO CIRCULAR

5.1 - INTRODUÇÃO

Uma partícula está em movimento circular quando sua trajetória é uma circunferência, como por exemplo, a trajetória descrita por uma pedra que gira presa na ponta de um barbante ou um carrinho num *looping* de uma montanha-russa..



5.2- PERÍODO (T)

Período de um movimento é o intervalo de tempo mínimo para que um fenômeno cíclico se repita. Estudaremos no capítulo 5.5 o Movimento Circular Uniforme, para este tipo de movimento o período seria o tempo gasto para o móvel completar uma volta.

UNIDADE NO SI:

T => segundos (s)

5.3 - FREQÜÊNCIA (f)

Freqüência de um movimento periódico é o número de vezes de que um fenômeno se repete na unidade de tempo. No capítulo 6.5 teremos que o conceito de freqüência significará número de voltas realizadas na unidade de tempo. Matematicamente temos para um número n de voltas em um certo intervalo de tempo Δt:

$$\boxed{f = \frac{n}{\Delta t}}$$

UNIDADE NO SI:

f => rotações por segundos => Hertz (Hz)

Considerando uma única volta, ou seja, n = 1, o intervalo de tempo corresponde ao período T, se substituirmos essas considerações na relação matemática da freqüência, encontraremos uma relação entre freqüência e Período:

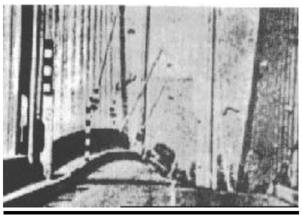
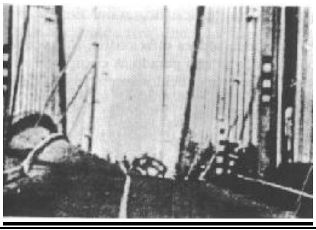
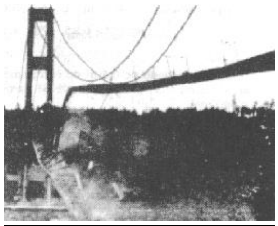
$$\boxed{f = \frac{1}{T}}$$

IMPORTANTE:

O conceito de freqüência é de extrema importância para o aluno. Todos os materiais são constituídos de uma freqüência natural, inclusive o ser humano com seus batimentos cardíacos. O fenômeno da ressonância acontece quando uma freqüência se iguala a freqüência natural de um material, ela pode produzir um resultado de oscilação, apenas ou de destruição.

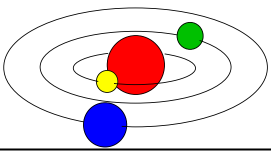
Em 1º de julho de 1940, a ponte Tacoma Narrow, construída em Puget Sound, no estado de Washington, EUA, foi inaugurada e caiu quatro meses depois. Um vento brando, mas com freqüência próxima da freqüência natural da estrutura, fez a ponte oscilar com amplitudes cada vez maiores até o rompimento de seu vão principal.

Após a sua destruição todas as pontes, antes da construção, passaram a realizar testes em túneis de vento, somente após a aprovação nestes testes é que elas eram construídas.

IMPORTANTE:

É importante dizer que os movimentos dos planetas, muitas vezes estudados como circunferências, na realidade são movimentos elípticos que se aproximam de circunferências, exatamente por esse fato é que eles, ao nível do 2º grau, são estudados como tal.



Exercício:

57) Um motor efetua 3000 rpm. Determine a freqüência e o período em unidades do SI.

58) Determine, em unidades do SI, o período e a freqüência nos casos abaixo:
(a) ponteiro dos segundos de um relógio;

(b) ponteiro dos minutos de um relógio;
(c) ponteiro das horas de um relógio;
(d) movimento de rotação da Terra;
(e) movimento de Translação da Terra;

5.4 - Grandezas Angulares

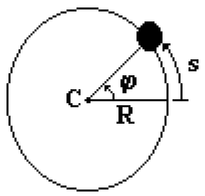
Para que tornemos mais simples o estudo do movimento circular, precisamos definir algumas grandezas angulares que serão extremamente úteis nos cálculos e interpretações desse tipo de movimento.

De modo geral, para converter uma grandeza escalar em uma grandeza angular, basta uma divisão pelo raio:

$$\boxed{\text{Grandeza Angular} = \frac{\text{Grandeza Escalar}}{\text{Raio}}}$$

5.4.1 - Espaço Angular (φ)

Considere um móvel em trajetória circular de raio R e centro C.



Podemos medir o espaço desse móvel pelo ângulo φ, medido a partir da origem O, ou através do espaço s, medido sobre a trajetória, evidentemente que se tratando de movimento circular é muito mais simples utilizarmos a grandeza angular para localizar o móvel .

Utilizando a regra geral de conversão entre grandeza angular e escalar, temos que:

$$\boxed{\varphi = \frac{s}{R}}$$

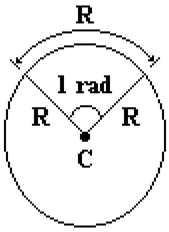
Unidade no SI:

φ => radiano (rad)

Convertendo graus em radianos:

$$\pi \text{ rad} = 180^o$$
$$2\pi \text{ rad} = 360^o$$

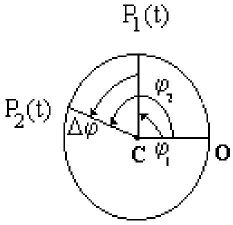
IMPORTANTE:
Radiano é o ângulo central que subentende um arco cujo a medida é igual ao raio da circunferência.



5.4.2 - Deslocamento Angular ($\Delta\varphi$)

Da mesma forma que o deslocamento escalar mostra a variação do espaço de um móvel entre dois pontos, o deslocamento angular determina a variação angular de dois pontos no Movimento Circular.

Observe o esquema:



- ☞ φ_1 é a posição angular do móvel no instante t_1.
- ☞ φ_2 é a posição angular do móvel no instante t_2.

Para determinarmos o deslocamento angular, basta fazer:

$$\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$$

UNIDADE NO SI:
$\Delta\varphi$ => radiano (rad)

5.4.3 - Velocidade Angular Média (V_m)

Velocidade angular média é a rapidez com que um móvel varia sua posição angular num intervalo de tempo Δt.

$$\boxed{\omega_m = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{t_2 - t_1}}$$

UNIDADE NO SI:
ω_m => radianos por segundo (rad/s)

Exercício:

59) Em 72 s um móvel cuja velocidade escalar é 20 km/h descreve uma trajetória circular de raio 100 m. Determine o ângulo descrito pelo móvel nesse intervalo.

DESAFIO:

6) Uma partícula executa um movimento circular de raio R com velocidade escalar v e velocidade angular ω. Uma outra partícula consegue fazer o mesmo movimento circular com velocidade escalar 2v. Nestas condições, qual será a velocidade angular da 2ª partícula em função da 1ª.

5.5 - MOVIMENTO CIRCULAR UNIFORME (MCU)

O Movimento Circular Uniforme é um movimento periódico, isto é, repete-se com as mesmas características em intervalos de tempos iguais. Como já vimos no MRU não ocorrem variações de velocidade escalar. A aceleração escalar é nula. Da mesma forma a velocidade angular será constante. Assim, quando $\Delta\varphi = 2\pi$ rad, temos $\Delta t = T$.

Logo:

$$\boxed{\omega = \frac{2\pi}{T}}$$

ou ainda,

$$\boxed{\omega = 2\pi . f}$$

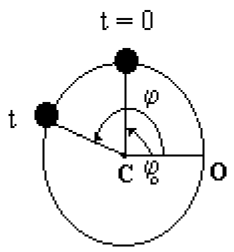
Utilizando a relação entre grandeza escalar e grandeza angular, podemos escrever uma relação entre velocidade escalar e velocidade anular:

$$\boxed{\omega = \frac{v}{R}}$$

5.5.1 - Equação Horária do MCU

Como fizemos no MRU, podemos estabelecer uma função horária para o MCU, função que relacionará a posição angular φ ocupada por um móvel e o respectivo tempo t.

Observe o esquema abaixo:



☞ móvel parte de uma posição inicial φ_o no instante t = 0;
☞ Num instante t qualquer ele estará na posição angular φ.

DEMONSTRAÇÃO

Partindo da definição da velocidade angular:	$\omega = \dfrac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \dfrac{\varphi_2 - \varphi_1}{t_2 - t_1}$
Aplicando as observações descritas acima, temos:	$\omega = \dfrac{\varphi - \varphi_o}{t - 0}$
Simplificando a expressão, temos que:	$\omega . t = \varphi - \varphi_o$
Isolando o espaço φ, fica:	$\varphi_o + \omega . t = \varphi$
Portanto a Função Horária do MCU é dada por:	$\boxed{\varphi = \varphi_o + \omega . t}$

5.5.2 - Aceleração do Movimento Circular

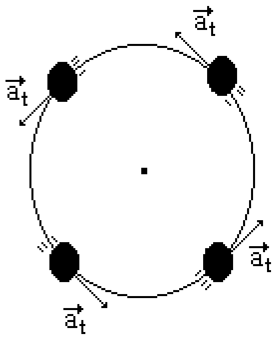
Se o movimento é uniforme, existirá aceleração ?

Já estudamos que a aceleração é a grandeza física que indica a taxa da variação da velocidade na unidade de tempo. Esta variação pode ocorrer tanto na direção como em intensidade. Assim a aceleração instantânea deve ser estudada a partir de duas componentes:

ACELERAÇÃO TANGENCIAL (a_t)

Possui a função de alterar o módulo do vetor velocidade.
Módulo: igual a aceleração escalar.

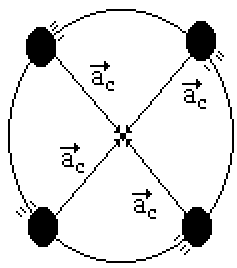
$$\boxed{a_t = a}$$



ACELERAÇÃO CENTRÍPETA (a_t)

Possui a função de alterar apenas a direção do vetor velocidade. É exatamente essa função que faz a existência do movimento circular, caso a aceleração centrípeta seja igual a zero o movimento será retilíneo.
Módulo:

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



Portanto, a resposta da pergunta inicial é que existe aceleração no Movimento Circular Uniforme; é a aceleração centrípeta, pois sem ela o movimento não seria circular.

Exercício:

60) Um ponto material em MCU efetua 120 rpm. O raio da trajetória é de 20 cm. Determine:
(a) a freqüência, em Hz;
(b) o período, em s;
(c) a velocidade angular;
(d) a velocidade escalar, em m/s;
(e) a aceleração centrípeta, em m/s^2.

61) Um ponto material é animado de movimento regido pela equação:

$$\varphi = \frac{\pi}{2} + 8\pi . t \quad \text{(SI)}$$

Determine:
(a) a posição angular inicial e a velocidade angular;
(b) o período;
(c) a freqüência

62) Uma partícula movimenta-se ao longo de uma circunferência de raio igual a 0,5 m obedecendo à equação horária:

$$s = 5 + 20t \quad \text{(SI)}$$

Pede-se:
(a) a equação angular do movimento;
(b) a velocidade angular;
(c) a aceleração centrípeta.

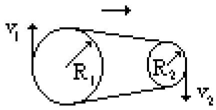
DESAFIO:

7) Acabamos de mostrar uma relação entre aceleração centrípeta e velocidade escalar. Determine a partir desta relação, uma equação que relacione aceleração centrípeta e velocidade angular.

5.6 - POLIAS E ENGRENAGENS

Desde acoplamento das duas catracas de uma bicicleta até acoplamentos mais complexos de máquinas industriais, existem muitas associações de polias. Passemos a estudar seu princípio básico.

Vejamos a ilustração:



Admitindo que a correia (ou corrente, no caso da bicicleta) seja indeformável, podemos afirmar que a velocidade escalar tanto na posição 1 como na posição 2 é a mesma (repare que a velocidade escalar seria a velocidade na correia):

$$\boxed{v_1 = v_2}$$

DEMONSTRAÇÃO

Partindo da afirmação anterior, temos:	$v_1 = v_2$
Como já sabemos que $v = \omega . R$, teremos:	$\omega_1 . R_1 = \omega_2 . R_2$
Também sabemos que $\omega = 2\pi . f$, logo:	$\cancel{2\pi} . f_1 . R_1 = \cancel{2\pi} . f_2 . R_2$
Após as simplificações, temos a relação entre as freqüências da engrenagem:	$\boxed{f_1 . R_1 = f_2 . R_2}$

A Bicicleta e a Física

O sistema constituído por pedal, coroa, catraca e corrente de uma bicicleta é um exemplo de transmissão de movimento circular. Ao pedal vamos imprimir um movimento circular uniforme.

- ☞ O movimento circular do pedal é transmitida à coroa com a mesma velocidade angular, pois estão acoplados um ao outro e são coaxiais.

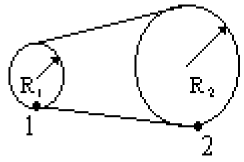
- ☞ A corrente transmite o movimento da coroa para a catraca da roda traseira de tal maneira que os dentes periféricos da coroa e da catraca tenham a mesma velocidade linear. Isso faz com que a catraca adquira uma velocidade angular maior que a do pedal. Essa relação dependerá dos diâmetros da catraca e da coroa.

☞ O movimento circular da catraca é transmitido para a roda traseira da bicicleta com a mesma velocidade angular, pois elas estão acopladas ao mesmo eixo.

A cada volta do pedal corresponderão algumas voltas na roda traseira. Por exemplo, se a coroa tiver um diâmetro duas vezes maior que o da catraca, a cada volta do pedal corresponderão duas voltas da roda traseira. Isso faz com que o ciclista ou queira mais força (para vencer uma subida qualquer), ou, então, queira mais velocidade (quando acaba a subida).

Exercício:

63) Dois cilindros, 1 e 2, giram ligados por uma correia que não desliza sobre eles, conforme a figura. Os valores dos raios são: R_1 = 20 cm e R_2 = 60 cm. Sendo a freqüência de rotação do cilindro 1 igual a 15 rpm, qual é:
(a) a freqüência do cilindro 2 ?
(b) a velocidade linear da correia em m/s ?
(c) a velocidade angular da polia 1 ?
(d) a velocidade angular da polia 2 ?



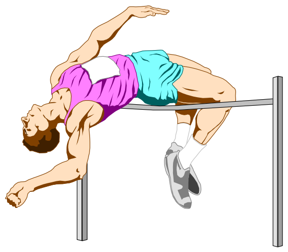
Exercício Complementar:

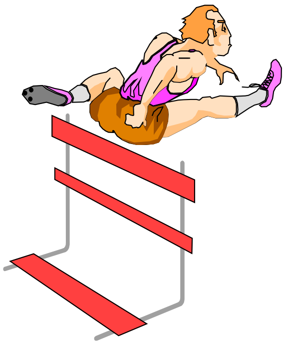
64) O planeta Mercúrio efetua uma volta em torno do Sol em 88 dias (isto é, um ano em Mercúrio é igual a 88 dias terrestres). Determine seu período em segundos e sua freqüência.

65) O raio da Terra é de 6400 km. Calcule a velocidade linear de um ponto do equador que se desloca devido à rotação da Terra. Dê a resposta em km/h e considere $\pi = 3$.

66) A órbita da Terra em torno do Sol pode ser considerada aproximadamente circular e de raio 1,5 . 10^8 km. Determine, nessas condições, a velocidade linear da Terra em torno do Sol. Dê a resposta em km/s. Considere 1 ano aproximadamente 3,1 . 10^7 s e faça $\pi = 3{,}1$.

67> Um automóvel percorre uma pista circular de 1 km de raio, com velocidade de 36 km/h.
(a) Em quanto tempo o automóvel percorre um arco de circunferência de 30^o ?
(b) Qual a aceleração centrípeta do automóvel ?





DINÂMICA

6 – LEIS DE NEWTON

6.1 - INTRODUÇÃO

A Mecânica é a parte da física que estuda o movimento. Pelo que sabemos, há pelo menos cerca de 2000 anos o homem já se preocupava em explicar os movimentos, tanto dos corpos terrestres como dos corpos celestes. No entanto, foi Isaac Newton o primeiro a apresentar uma teoria que realmente explicava os movimentos, em trabalho intitulado "*Princípios Matemáticos da Filosofia Natural* ", publicado em 1686. O sucesso da Mecânica Newtoniana foi imediato e duradouro; ela reinou soberanamente por mais de 200 anos.

Houve, é verdade, a necessidade de alguns aperfeiçoamentos, os quais foram feitos mais tarde por outros físicos. No entanto a base da Mecânica de Newton permaneceu inalterada até o começo do século XX, quando surgiram duas novas mecânicas, a Mecânica Relativística (Albert Einstein) e a Mecânica Quântica (Planck), para explicar certos fatos que a Mecânica Newtoniana não conseguia explicar. A partir do surgimento destas duas novas mecânicas, a Mecânica Newtoniana passou a ser chamada de Mecânica Clássica, e é esta mecânica que estaremos estudando nos próximos capítulos, pois ela continua válida para a maioria dos movimentos que lidamos. A mecânica relativística só é realmente necessária quando os corpos se movem com velocidades muito altas (v > 3000 km/s), enquanto a mecânica quântica só é realmente necessária para o estudo dos fenômenos atômicos e nucleares.

É costume dividir a Mecânica Clássica em três partes como já vimos anteriormente. A partir de agora passaremos a estudar a Dinâmica parte da física que relaciona grandezas como velocidade aceleração com outras grandezas, massa, força, energia e quantidade de movimento, entre outras. Comecemos, então este estudo pelo conceito de Força.

6.2 - FORÇA

O Conceito de força está ligado a idéia de empurrar ou puxar algo. Para Newton, a grandeza força está associada à mudança de velocidade e veremos isso quando estudarmos a 2ª Lei de Newton.
Uma característica importante da Força é que ela é uma grandeza vetorial, isto é, para sua perfeita caracterização é necessário fornecer seu módulo, sua direção e seu sentido.

UNIDADE NO SI:

F => Newton (N)

ATENÇÃO!

☞ que representa 1 Newton ?

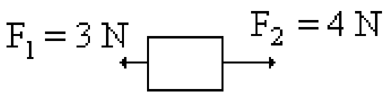
$1\ N = 1\ kg\ .\ m/s^2$

- ☞ A soma vetorial de duas ou mais forças, chama-se Força Resultante.
- ☞ Costuma-se dizer que o efeito de uma força pode ser a produção de aceleração ou a deformação de um corpo, porém, ao deformarmos um corpo estamos produzindo a aceleração de seus átomos que estavam em "repouso" e ganharam uma certa velocidade.

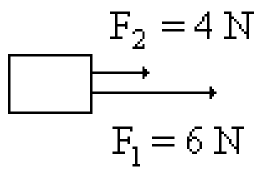
Exercício:

68) Em cada caso abaixo determine o módulo da força resultante que atua no corpo.

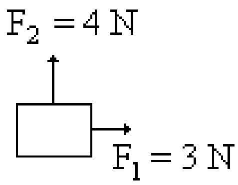
(a)



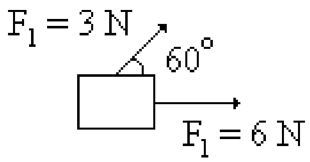
(b)



(c)



(d)



6.3 – PRINCÍPIO DA INÉRCIA – 1ª LEI DE NEWTON

“Todo corpo continua em seu estado de repouso ou de movimento uniforme em uma linha reta, a menos que ele seja forçado a mudar aquele estado por forças imprimidas sobre ele”. (Isaac Newton -)

O princípio da Inércia nos mostra que um corpo não sairá de seu estado de equilíbrio a menos que uma força atue sobre ele, fazendo assim que este corpo saia desse estado. Em outras palavras poderíamos dizer que a 1ª Lei de Newton, nos ensina como manter um corpo em equilíbrio.

É importante conhecer o significado do termo equilíbrio. Um corpo pode estar em equilíbrio de duas formas (em ambos os casos a resultante das forças que atua sobre esse corpo é nula):

- ☞ EQUILÍBRIO ESTÁTICO → v = 0 (Repouso).
- ☞ EQUILÍBRIO DINÂMICO → v = constante (Movimento Retilíneo Uniforme - MRU).

Ainda podemos interpretar o Princípio da Inércia da seguinte forma: Todo corpo possui uma tendência natural de se manter constante sua velocidade vetorial (módulo, direção e sentido); a medida dessa tendência é a sua **MASSA (m)**.

UNIDADE NO SI:

m => quilograma (kg)

Vamos, agora, procurar entender o Princípio da Inércia através de um exemplo. Quando estamos dentro de um ônibus parado e ele inicia o seu movimento, sentimos atirados repentinamente para trás, isto é, tendemos a manter nosso estado original de repouso (fig. 1). Por outro lado, se o ônibus frear, diminuindo assim sua velocidade, seremos atirados para frente, mais uma vez tendendo a manter o nosso estado original, agora de movimento (fig. 2).

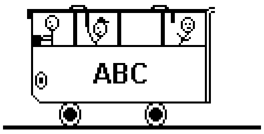
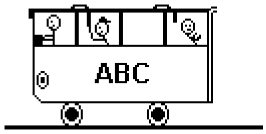
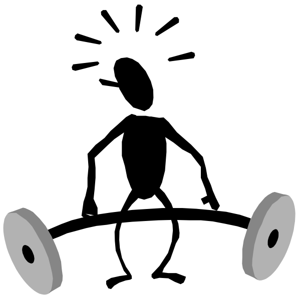
	

FIGURA 1	FIGURA 2

6.4 – PRINCÍPIO FUNDAMENTAL – 2ª LEI DE NEWTON



"A mudança de movimento é proporcional à força motora imprimida, e é produzida na direção da linha reta na qual aquela força é imprimida". (Isaac Newton -)

O Princípio Fundamental (PF) nos mostra como fazer para tirar um corpo do estado de equilíbrio. Em outras palavras a 2ª Lei de Newton estabelece que se houver uma força resultante atuando sobre o corpo, a velocidade vetorial desse corpo sofrerá alterações, ou seja, a força resultante atuando sobre o corpo fará surgir nele uma aceleração.

Expressando esse Princípio, matematicamente, temos:

$$\boxed{F_R = m.a}$$

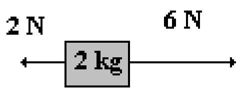
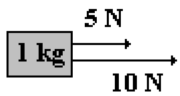
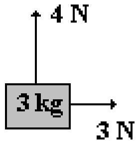
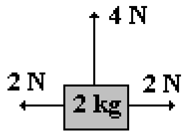
UNIDADES NO SI:

$F_R \rightarrow$ Força =>Newton (N)
$m \rightarrow$ massa => quilograma (kg)
$a \rightarrow$ aceleração => metros por segundo ao quadrado(m/s^2)

ATENÇÃO!
A direção e o sentido da Força Resultante serão sempre iguais à aceleração.

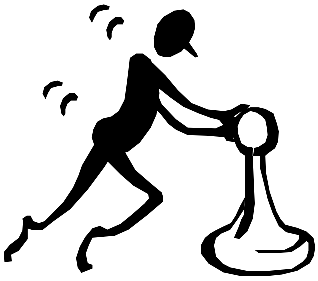
Exercício:

69) As figuras abaixo mostram as forças que agem em um corpo, bem como a massa de cada corpo. Para cada um dos casos apresentados, determine a força resultante (módulo, direção e sentido) que age sobre o corpo e a aceleração a que este fica sujeito.

(a) 	(b) 
(c) 	(d) 

70) A equação horária da velocidade de uma partícula em movimento retilíneo é $v = 4 + 2.t$ (SI), sabendo que sua massa é de 3 kg, determine a força resultante que atua sobre esta partícula.

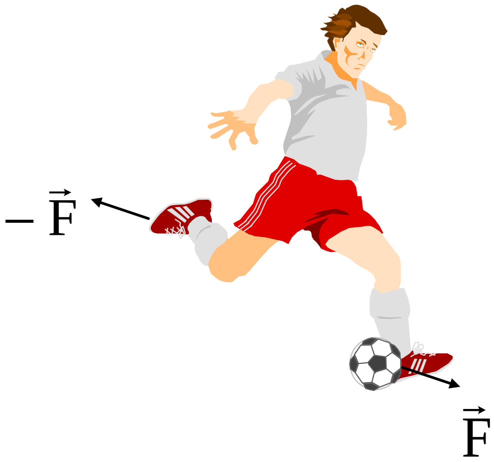
6.5 – Princípio da Ação e Reação – 3ª Lei de Newton



"A toda ação há sempre oposta uma reação igual, ou, as ações mútuas de dois corpos um sobre o outro são sempre iguais e dirigidas a partes opostas". (Isaac Newton)

O Princípio de Ação e Reação nos mostra que cada vez que se aplica uma força você terá uma reação de mesmo valor, mesma direção, mas de sentido contrário. Essas forças (ação e reação) ocorrem sempre em corpos diferentes.

Observe o exemplo abaixo. Um jogador ao chutar a bola, aplica (o seu pé) nesta uma força $\vec{F}$. Pelo princípio da Ação e Reação temos que a bola reage e aplica uma força $-\vec{F}$, isto é, uma força de mesma direção, mesmo valor (módulo), mas de sentido diferente.



Exercício:

71) Abaixo, apresentamos três situações do seu dia-a-dia que devem ser associadas as 3 leis de Newton.
(a) Ao pisar no acelerador do seu carro, o velocímetro pode indicar variações de velocidade.
(b) João machucou o pé ao chutar uma pedra.
(c) Ao fazer uma curva ou frear, os passageiros de um ônibus que viajam em pé devem se segurar.

72) Uma pessoa empurra lentamente um carro, com uma força de 800 N. Qual o valor da força que o carro aplica sobre ela ?

DESAFIO:

8) Com base na 3ª Lei de Newton, responda:
(a) A afirmação abaixo está certa ou errada ? Justifique.
“Quando exercemos uma força F numa mesa, esta exerce uma força igual e oposta - F que anula a força F, de modo que a força resultante sobre a mesa é nula e ela, portanto, não se move”.

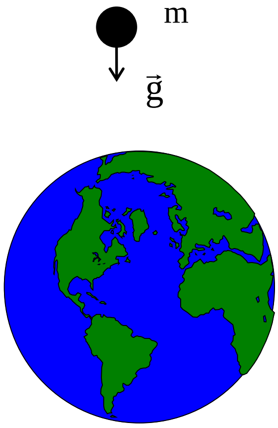
(b) Descreva uma situação em que evidenciem as forças de ação e reação (mostre como as duas forças estão agindo).

7 – APLICAÇÕES DO PRINCÍPIO FUNDAMENTAL

Na natureza podemos identificar dois grupos de forças: as forças de contato (atuam apenas durante o contato físico entre os corpos) e as forças de campo (atuam a distância, sem necessidade de contato físico entre os corpos envolvidos).
A partir de agora passaremos a estudar algumas forças de contato e de campo e após esse estudo, aplicaremos o PF a essas forças, tais como: Peso, Normal, Tração e Força Elástica.

7.1 - FORÇA PESO (P)

Peso de um corpo (em nosso caso) é a força com que a Terra atrai esse corpo.



MÓDULO: $P = m.g$

$m \rightarrow$ massa do corpo. (No SI => kg)

$g \rightarrow$ aceleração da gravidade local . (No SI => m/s^2)

SENTIDO: De cima para baixo. (no sentido do centro da Terra)

DIREÇÃO: Vertical

IMPORTANTE:

- valor da aceleração da gravidade na Terra é $g \cong 9{,}8\ m/s^2$, mas geralmente utilizaremos 10 m/s^2, para simplificação.
- peso de um corpo varia de planeta para planeta, de satélite para satélite (natural). Para o cálculo do Peso em qualquer local, basta utilizarmos a aceleração da gravidade do local de interesse.

Exercício:

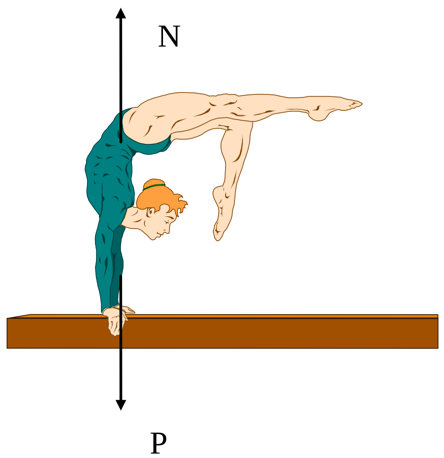
73) Compare o Peso de um corpo de massa 10 kg na Terra e na Lua.
Adote $g_{Terra} = 9{,}8$ m/s^2 e $g_{Lua} = 1{,}6$ m/s^2.

DESAFIO:

9) Um pára-quedista desce verticalmente com velocidade constante de 0,4 m/s. A massa do pára-quedista é 90 kg. Adote g = 10 m/s^2.
(a) Qual a aceleração do movimento ? Justifique.
(b) Calcule a resultante das forças que se opõem ao movimento.

7.2 - REAÇÃO NORMAL (N)

É a força que uma superfície aplica a um corpo colocado sobre ela.



MÓDULO: N

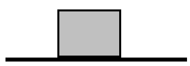
SENTIDO: Oposto à compressão exercida pelo corpo apoiado.

DIREÇÃO: Perpendicular à superfície de apoio.

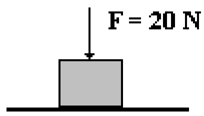
Exercício:

74) Nas figuras a seguir, o bloco de massa 10 kg está em repouso. Determine o módulo da força de reação normal do apoio N em cada caso. Adote $g = 10\ m/s^2$.

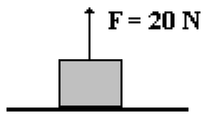
(a)



(b)

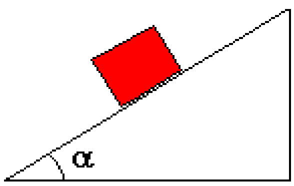


(c)

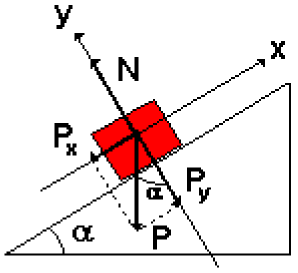


7.3 – PLANO INCLINADO

É um dispositivo utilizado no dia-a-dia para facilitar certas tarefas com um mínimo de esforço possível. Uma escada encostada levemente inclinada, uma rampa, uma escada rolante são exemplos de plano inclinado. Considere um corpo de massa m abandonado em um plano inclinado, cujo ângulo de elevação é α:



Vamos associar ao plano, um sistema de eixo cartesiano, ao qual iremos analisar o movimento do corpo em questão.



Marcamos nesse sistema de eixos as forças agentes no corpo.

O peso P será decomposto em duas componentes:

(a) Na direção do plano de apoio: P_x;

(b) Na direção perpendicular ao plano de apoio: P_y;

Da trigonometria elementar, conseguimos determinar P_x e P_y:

$$\text{sen } \alpha = \frac{P_x}{P} \quad \rightarrow \quad P_x = P.\text{sen } \alpha$$

$$\cos \alpha = \frac{P_y}{P} \quad \rightarrow \quad P_y = P.\cos \alpha$$

Vamos determinar agora a aceleração do corpo:

Pela equação fundamental da Dinâmica: $F_R = m.a$ (1)

Mas: $F_R = P_x = P.\ \text{sen } \alpha \ \rightarrow \ F_R = m.\ g.\ \text{sen } \alpha$ (2)

Substituindo (2) em (1), vem:

$$m.\ a = m.\ g.\ \text{sen } \alpha$$

$$\boxed{a = g.\ \text{sen } \alpha}$$

A aceleração que o corpo adquire ao descer ou subir o plano inclinado independe da massa do corpo.

Vamos agora calcular qual a intensidade da força normal que o plano exerce no corpo:

Sei que: $P_y = P.\cos\alpha$

Como $\vec{P}_y$ anula $\vec{N}$, resulta:

$$N = P_y$$

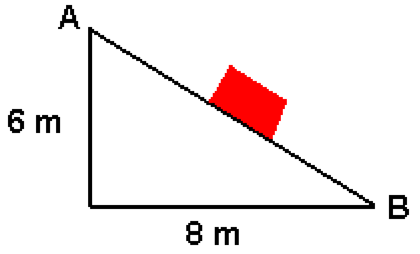
$$N = P.\cos\alpha$$

$$\boxed{N = m.g.\cos\alpha}$$

Exercício:

75> Um corpo de massa 1 kg é abandonado no ponto A do plano inclinado da figura.

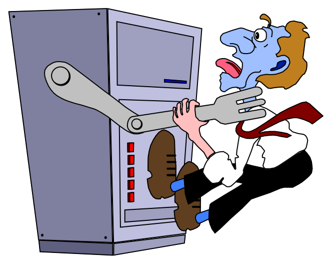
Despreze os atritos, a resistência do ar e adote g = 10 m/s^2. Calcule a velocidade do corpo ao atingir o ponto B.



7.4 - Força de Atrito (F_{AT})

Na maioria das vezes consideramos as superfícies de contato lisas e bem polidas, de tal forma que não exista nenhuma dificuldade para o movimento. Mas na realidade isso não ocorre, pois na prática deparamos com forças dificultando o movimento ou tentativa de movimento. Essas forças são chamadas de **FORÇAS DE ATRITO**. Quando existe movimento relativo entre os corpos de contato o atrito é denominado **dinâmico**. Quando não há movimento o atrito é denominado **estático**.

Portanto Atrito é uma força que se opõe ao movimento ou a tentativa do mesmo. Ela está ligada ao material que compõem a superfície de contato e força de reação que a superfície faz sobre o corpo.



MÓDULO: $F_{at} = \mu . N$

$\mu \rightarrow$ coeficiente de atrito (adimensional)

N $\rightarrow$ reação normal (no SI => N)

SENTIDO: Oposto ao movimento ou tendência de movimento.

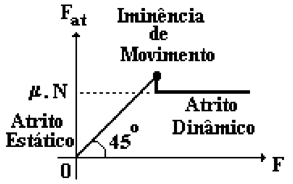
DIREÇÃO: Tangente às superfícies de contato.

IMPORTANTE:

O atrito é considerado estático quando tentamos, por exemplo, empurrar um corpo com uma certa força e não conseguimos tirá-lo do local. Existe um momento que estaremos prestes a colocar este corpo em movimento, este instante chama-se iminência de movimento. Logo após a iminência de movimento o corpo começará a se movimentar e teremos vencido o atrito, mas ele ainda existe só que agora na forma de atrito dinâmico.

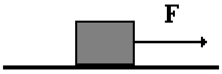
IMPORTANTE:

É importante notarmos que existe uma maior facilidade para empurrarmos ou puxarmos um corpo a partir do momento que conseguimos colocá-lo em movimento (veja o gráfico).



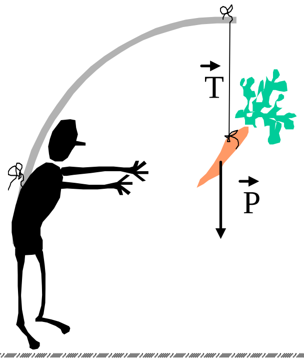
Exercício:

76) O corpo da figura abaixo tem massa de 5 kg e é puxado horizontalmente sobre uma mesa pela força F de intensidade 30 N. Se o coeficiente de atrito entre o corpo e a mesa é μ = 0,1, determine a aceleração adquirida pelo corpo. Adote g = 10 m/s^2.



7.5 - FORÇA DE TRAÇÃO (T)

A força de tração é aquela que é aplicada pelos fios para se puxar algum corpo.



MÓDULO: T

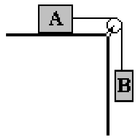
SENTIDO: Sempre no sentido de puxar o corpo solicitado.

DIREÇÃO: Igual a direção do fio onde é exercida.

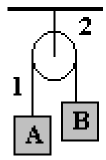
IMPORTANTE:
Quando considerarmos o fio **IDEAL**, estaremos dizendo que o fio possui massa desprezível e é inextensível. Na prática o fio ideal não existe.

Exercício:

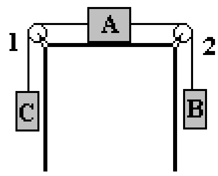
77) Os corpos A e B mostrados ao lado têm massas, respectivamente, iguais a 7 kg e 3 kg. O fio e a polia são ideais e o atrito é desprezível. Adote g = 10 m/s^2 e determine a aceleração do sistema e a tração no fio.



78) No sistema ao lado, calcule a aceleração dos corpos e as trações nos fios 1 e 2. Despreze os atritos. Dado: g = 10 m/s^2; m_A = 3 kg; m_B = 2 kg.



79) Os corpos A, B e C mostrados ao lado têm massas, respectivamente, iguais a 5 kg, 7 kg e 7 kg. O fio e a polia são ideais e o atrito é desprezível. Adote g = 10 m/s^2 e determine:
(a) a aceleração desse sistema;
(b) a tração no fio 1 e a tração no fio 2.



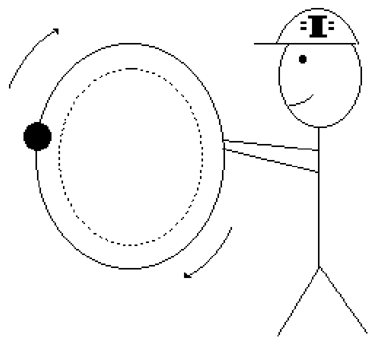
7.6 - FORÇA CENTRÍPETA

Você deve ter reparado que, grande parte dos brinquedos dos parques de diversões executam movimento de rotação ou em trajetórias circulares. E, nesses movimentos ocorrem efeitos surpreendentes: carrinhos conseguem mover-se de cabeça para baixo, pessoas mantêm-se presas à lateral de plataformas cilíndricas girantes sem apoiar-se no piso, cadeirinhas vazias ou com pessoas sentadas inclinam-se igualmente em relação à vertical.

A pista do velódromo (local onde ocorrem corridas de bicicletas) possui uma inclinação. Isso permite que os ciclistas em alta velocidade façam a curva com segurança.

Agora, como essas coisas acontecem ? O que seria o responsável para que tudo isso aconteça ? A resposta está na idéia do que é força centrípeta. Pois em todo movimento curvo existe força centrípeta.

Amarre uma pedra em uma das extremidades de uma corda, e faça esta pedra girar.



A trajetória da pedra é circular e seu movimento é dito movimento circular.

Note que a corda age na pedra com uma força perpendicular ao seu movimento e, portanto, perpendicular à velocidade; essa força é dirigida para o centro da trajetória e devido a isso recebe o nome de **Força Centrípeta**.

Assim, aplicando o princípio fundamental da dinâmica, observamos que o corpo possui aceleração dirigida para o centro, chamada **aceleração centrípeta**.

Daí, temos:

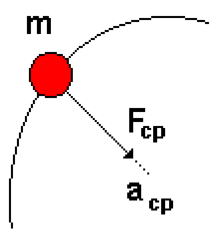
$$F_{cp} = m.\, a_{cp}$$

Vimos no capítulo 5, que a aceleração centrípeta é dada por:

$$a_{cp} = \frac{v^2}{R}$$

Assim, temos:

$$F_{cp} = m.\frac{v^2}{R}$$



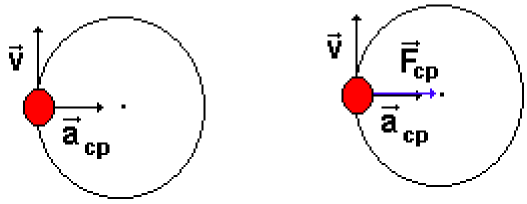
Ou em termos da velocidade angular (ω), temos:

$$F_{cp} = m\ .\ \omega^2.R$$

ATENÇÃO!

A força centrípeta é apenas a denominação particular da força resultante que atua sobre o corpo em movimento circular uniforme, não é um novo tipo de força.

É importante observar que a força centrípeta não causa variação no módulo da velocidade, mas provoca mudança na direção do movimento e, portanto, no vetor velocidade.



$\vec{a}_{cp} \perp \vec{v}$ $\qquad$ $\vec{F}_{cp} \perp \vec{v}$

Exercício:

80) Considere um corpo de massa 3 kg descrevendo uma trajetória circular de raio 2 m, com velocidade escalar constante de 10 m/s. Calcule a força centrípeta que atua no corpo.

81) Determine a intensidade da força centrípeta necessária para manter um automóvel de massa 1000 kg numa trajetória circular de raio 100 m, à velocidade de 10 m/s.

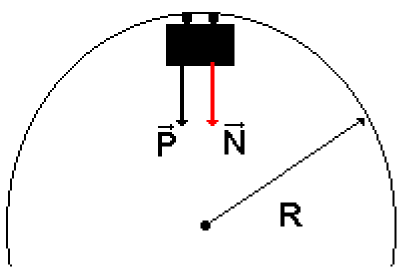
82) Se num movimento circular reduzirmos o raio e a velocidade à metade, a força centrípeta será:
(a) igual à anterior;
(b) o quádruplo da anterior;
(c) a metade da anterior;
(d) a quarta parte da anterior;
(e) n.d.a.

83) A força centrípeta que age numa partícula de massa 4 kg num movimento circular uniforme tem intensidade de 32 N. Se o raio da trajetória for 200 cm, determine a velocidade adquirida pela partícula.

Como é possível ficar de cabeça para baixo em um Looping e não cair ?

O trenzinho deve estar em velocidade para conseguir passar pelo ponto mais alto da trajetória. Qual seria a velocidade mínima necessária ?

No ponto mais alto da trajetória há, basicamente, duas forças atuando sobre o trenzinho: a força normal (reação da pista à ação do trenzinho sobre ela) e a força peso do trenzinho. Ambas são verticais e apontam para o centro do looping, ou seja, são forças centrípetas.



Logo o módulo da força resultante, e portanto da força centrípeta é:

$$F_{cp} = P + N$$

$$\boxed{\frac{m.v^2}{R} = m.g + N} \quad (1)$$

Se o módulo da velocidade cresce, a força normal também cresce, uma vez que todas as outras grandezas (massa, raio e aceleração da gravidade) são constantes. Logo, a mínima velocidade para que o trenzinho faça o looping, será a situação em que **N = 0**, ou seja, o trenzinho fica na iminência de cair e não troca forças com a superfície interna.

Logo na equação I, temos:

$$\frac{m.v^2}{R} = mg \Rightarrow v^2 = Rg \Rightarrow \boxed{v = \sqrt{R.g}}$$

Note que a velocidade mínima independe da massa do trenzinho. Vamos ver um exemplo:

Considere um looping de raio 10 m. Como g = 10 m/s^2, temos:

$$v = \sqrt{R.g}$$

$$v = \sqrt{10.10} \Rightarrow v = \sqrt{100}$$

Portanto: v = 10 m/s ou 36 km/h.

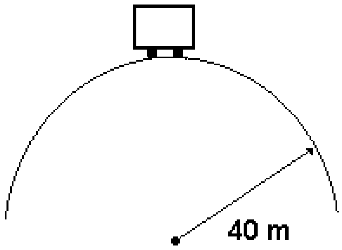
Para maior segurança, os projetistas do brinquedo fazem-no passar pelo ponto mais alto com velocidades maiores que estas (acima de 70 km/h). Um dos truques utilizados para se obter o aumento da velocidade no ponto mais alto consiste em diminuir o raio da curva. É por esse motivo que os loopings não são círculos perfeitos, mas apresentam um aspecto bastante característico.

Essa análise vale também para o motociclista no globo da morte, bem como quando um carro passa sobre uma lombada.

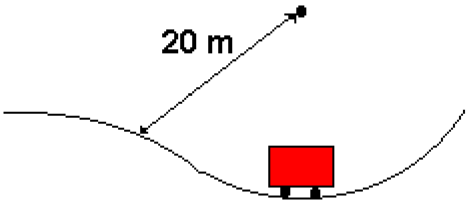
Exercício:

84> Um motociclista percorre uma trajetória circular vertical de raio 3,6 m, no interior de um globo da morte. Calcule qual deve ser o menor valor da velocidade no ponto mais alto que permita ao motociclista percorrer toda a trajetória circular. (g = 10 m/s^2)

85) Considere um carro de massa 2 000 kg percorrendo um trecho de pista circular num plano vertical, com movimento uniforme e velocidade de 10 m/s. Considerando-se g = 10 m/s^2, ao atingir o topo da pista, cujo raio é 40 m, determine a força que a pista aplicará no carro.

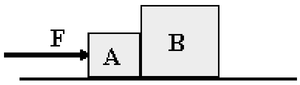


86) A figura representa o perfil de uma estrada que, no plano vertical, tem a forma de um arco de circunferência de 20 m de raio. Qual a reação da pista sobre um carro de massa 800 kg que passa pelo ponto mais baixo com velocidade de 72 km/h ?

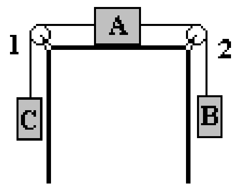


Exercício Complementar:

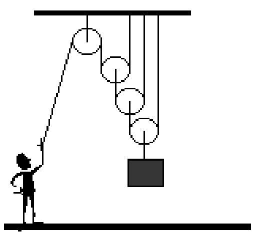
87) Dois corpos A e B, de massas respectivamente iguais a 2 kg e 3 kg, estão apoiados numa superfície horizontal perfeitamente lisa. A força horizontal de intensidade F = 10 N constante é aplicada no bloco A. Determine:
(a) a aceleração adquirida pelo conjunto;
(b) a intensidade da força que A aplica em B.



88) No arranjo experimental da figura, os corpos A, B e C têm, respectivamente, massas iguais a 2 kg, 5 kg e 3 kg. A aceleração da gravidade é 10 m/s^2. Os fios são ideais; não há qualquer tipo de atrito. Determine:
(a) a aceleração do sistema de corpos;
(b) as trações nos fios.



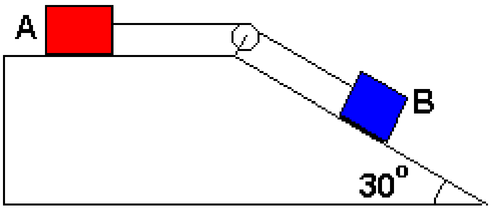
89) Determine a força que o homem deve exercer no fio para manter em equilíbrio estático o corpo suspenso de 120 N. Os fios são ideais e não existe nenhum tipo de atrito.



90) Um corpo de massa m escorrega em um plano inclinado que forma com a horizontal um ângulo θ. Desprezando os atritos, determine a aceleração adquirida pelo corpo. É dado g.

91) Refaça o exercício anterior incluindo atrito de coeficiente μ.

92) No sistema da figura, o atrito entre os blocos e o plano e na roldana é desprezível. Sendo m_A = 20 kg, m_B = 30 kg e g = 10 m/s^2, determine:
(a) a aceleração do sistema;
(b) a tração no fio.



RESPOSTAS

Exercícios e Exercícios Complementares

48> (a) 5 m
(b) repouso
(c) 7s; 13s
(d) 2,5 m/s

49>
(a)

(b) 1,6 m/s

50> (a) – 0,75 m/s^2
(b)

51> (a) $s = 18t – 5t^2$
$v = 18 – 10t$
(b) 1,8 s; (c) 16,2 m
(d) 9 m, descendo
(e) 3,6s e - 18 m/s

52> (a) 8s
(b) - 30 m/s

53> (a) 80 m
(b) 40 m/s

54> 1s e 3s

59> 4 rad

60> (a) 2 Hz
(b) 0,5 s
(c) 4π rad/s
(d) 0,80 π m/s
(e) 3,2π^2 m/s^2

61> (a) π/2rad; 8π rad/s
(b) 1/4 s
(c) 4 Hz

62> (a) $\varphi = 10 + 40t$
(b) 40 rad/s
(c) 800 m/s^2

63> (a) 5 rpm
(b) 0,1π m/s
(c) 30 π rad/min
(d) 10 π rad/min

64>
$\cong 7,6 . 10^6$ s
$\cong 1,3 . 10^{-7}$ Hz

65> 1600 km/h

66> 30 km/s

67> (a) ≅ 52 s
(b) 0,1 m/s^2

68> (a) 1 N; (b) 10 N
(c) 5 N; (d) $\sqrt{63}$ N

74> (a) 100 N
(b) 120 N
(c) 80 N

75>

76> 5 m/s^2

77> 3 m/s^2 e 21 N

78> 2 m/s^2, 24 N e 48 N

79> (a) zero
(b) 70 N e 70 N

80> 150 N

81> 1000 N

82> letra c

83> 4 m/s^2

84> 6 m/s

85> 15 000 N

86> 24 000 N

87> (a) 2 m/s^2
(b) 6 N

94> (a) 1 m/s^2
(b) 600 kJ
(c) 700 kJ

95> Não, pois não há deslocamento.

96> 1,6 J

97> 6 J

98> letra e

99> 80 J; - 40 J e 0

100> (a) 1 kW
(b) 2 kW

101> 600 J
200 W

102> 500 W

103> 80 %

104> (a) 100 J
(b) 25 W

105> 75 %

106> 1 kW = 4/3 HP

107> - 9000 N

108> 10,9 m/s

55> 6,25 m e 2,5 s

56> (a) 1,2 s
(b) 6 m/s
(c) 1,8 m

57> 50 Hz e 0,02 s

58> (a) 60 s e 1/60 Hz
(b) 3600 s e 1/3600 Hz
(c) 43200 s e 1/43200 Hz
(d) 86400 s e 1/86400 Hz
(e) 31536000 s e 1/31536000 Hz

69>
(a) 4 N; 2 m/s^2
(b) 15 N; 15 m/s^2
(c) 5 N; 1,7 m/s^2
(d) 4 N; 2 m/s^2

70> 6 m/s^2

71> 2ª ; 3ª ; 1ª

72> 800 N

73> 98 N e 16 N

88> (a) 2 m/s^2
(b) 40 N e 36 N

89> 15 N

90> $a = g \cdot \text{sen}\,\theta$

91> $a = g\,(\text{sen}\,\theta - \mu\,\cos\theta)$

92> (a) 3 m/s^2
(b) 60 N

93> (a) 1000 J, - 400 J, 0, 0
(b) 60 N, 600 J

109> 45 m

110> (a) 10 m/s;
(b) 3000 J
(c) 15000 J

111> 25 J

112>

113>

114> 6 m/s

115> (a) 0,20
(b) –2J

116> 2000 N.s

117> 60 N.s

118> 7 kg . m/s

119> (a) 8 kg.m/s
(b) 8 N . s
(c) 1,6 N

120> 100 N.s

121> 0,6 m/s

122> 2,3 v

123> 50 N.s

124> 4 N.s

125> 0,1 m/s

126> 120 N

127> 0 e 12 m/s

128> 30 m/s e 10 m/s

129> 5,67 m/s e 1,33 m/s

130>
(a) 6 kg . m/s
(b) 6 m/s

131>
(a) 10 J
(b)