

## Dinâmica

### Resumo

---

As Leis de Newton são utilizadas principalmente no estudo da Dinâmica, que é a parte da Mecânica que estuda as causas que produzem e modificam os movimentos.

#### Massa

Grandeza escalar que indica a quantidade de matéria em um corpo. Essa quantidade de matéria é determinada através da comparação com um valor padrão da matéria (1 quilograma, 1 grama, etc.). No Sistema Internacional de Unidades (SI), a unidade padrão da massa é o Kg (quilograma).

#### Força

Força é a causa que produz num corpo variação da velocidade, ou melhor, produz aceleração. E quando é dito “variação da velocidade” também pode ser considerado o ato de apenas mover algo que antes estava parado.

#### 1ª Lei de Newton – Princípio da Inércia

Um corpo, livre de forças externas (ou com a resultante delas sendo igual a zero) estará realizando um MRU ou estará em repouso.

A inércia é uma propriedade da matéria que consiste na resistência ao estado de movimento, seja ele o repouso ou MRU. Quando um cavalo está em movimento e dá uma pausa brusca, o cavaleiro é projetado para frente por inércia. Da mesma forma, ao acelerar um carro, a pessoa sente suas costas fazendo uma força contra o banco.

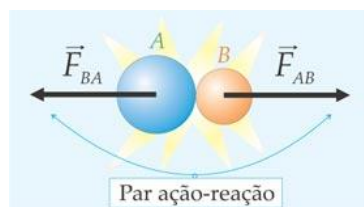
#### 2ª Lei de Newton – Princípio Fundamental da Dinâmica

A resultante das forças aplicadas a um ponto material de massa  $m$  produz uma aceleração tal que:

- Os vetores força e aceleração têm sempre mesma direção e sentido, pois a massa é sempre positiva.
- A unidade padrão no SI para a Força é o Newton ( $N = Kg.m/s^2$ ).

#### 3ª Lei de Newton – Ação e Reação

Quando um corpo A exerce uma força num corpo B, este exerce em A uma outra força. Essas forças terão mesma intensidade, direção e sentidos opostos.



Após o estudo das Leis de Newton, podemos definir as principais forças que usamos na Dinâmica: força peso, força normal, força elástica, tração e força de atrito.

## Peso

Força de interação entre qualquer corpo de massa  $m$  com um campo gravitacional e pode ser calculado com a equação:

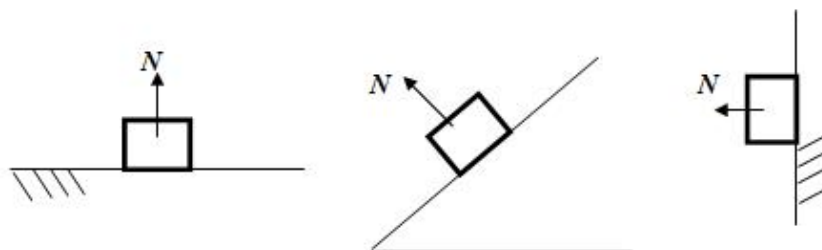
$$\vec{P} = m\vec{g}$$

Onde  $g$  é a aceleração da gravidade local. Note que, como a massa é sempre maior do que zero,  $P$  tem sempre a mesma direção e sentido de  $g$ .

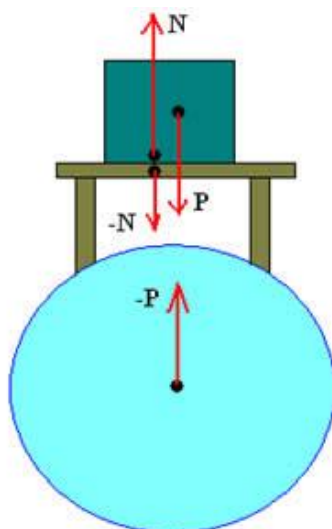
## Normal

Força de interação de um corpo e uma superfície. A força normal será sempre perpendicular à superfície e no sentido da superfície para o corpo.

Não existe uma equação específica para calcular a força normal, deverá ser feito uma análise das forças aplicadas na direção da normal e, por um sistema linear, determinar seu valor.



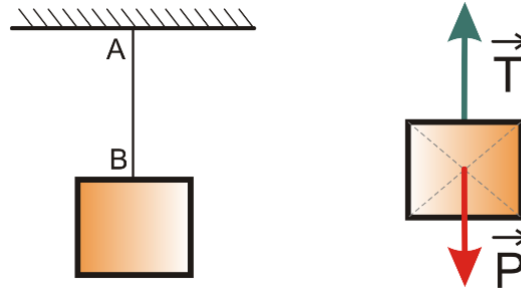
**Atenção:** Normal não forma par ação e reação com o Peso!!!



**Tração**

Força que aparece sempre em cabos, fios e cordas quando esticados. Cada pedaço da corda sofre uma tração, que pode ser representada por um par de forças iguais e contrárias que atuam no sentido do alongamento da corda.

Dinamômetro: disposto que pode ser acoplado à corda para medir a intensidade da força de tração.

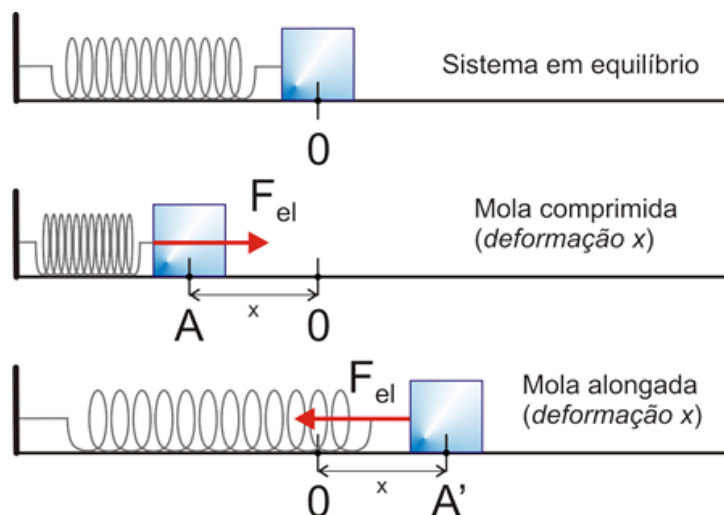
**Força elástica**

Força que aparece durante a deformação de algum corpo com características elásticas, ou seja, que pode ser deformado durante a aplicação de uma força e que tem a capacidade de voltar ao seu tamanho original assim que a força for cessada. Corda de borracha, elásticos e molas são os exemplos mais comuns em questões.

A força elástica é um vetor que tem mesma direção e sentido oposto à força aplicada para deformar a mola em questão, sendo assim chamada de força de restituição. O módulo da força elástica pode ser calculado pela equação:

$$F = -kx$$

Onde K é o coeficiente de elasticidade (característica da mola) e x é a deformação sofrida pela mola.



## Força de atrito

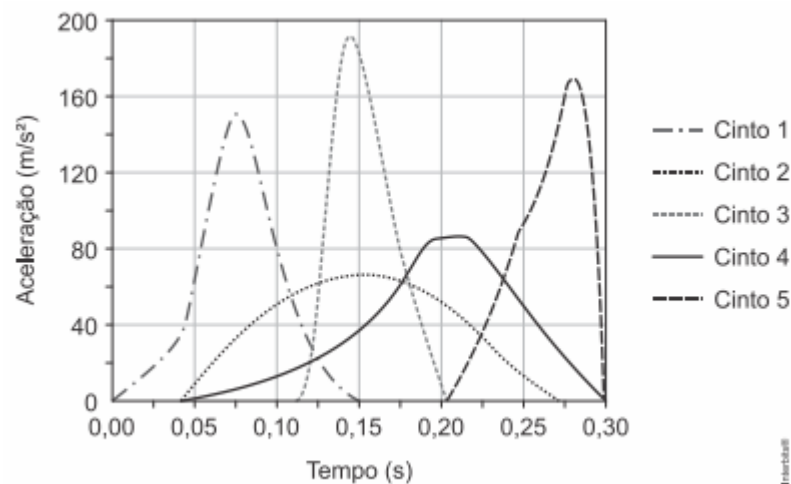
A força de atrito é paralela ao plano – com sentido contrário a tendência de movimento. A expressão geral da força de atrito é

$$|\vec{F}_{at}| = \mu |\vec{N}| \text{ ou } F_{at} = \mu N$$

onde  $\mu$  é coeficiente de atrito (depende do material dos corpos em contato e do polimento das superfícies) e  $N$  é a reação normal.

## Exercícios

1. (Enem 2017) Em uma colisão frontal entre dois automóveis, a força que o cinto de segurança exerce sobre o tórax e abdômen do motorista pode causar lesões graves nos órgãos internos. Pensando na segurança do seu produto, um fabricante de automóveis realizou testes em cinco modelos diferentes de cinto. Os testes simularam uma colisão de 0,30 segundo de duração, e os bonecos que representavam os ocupantes foram equipados com acelerômetros. Esse equipamento registra o módulo da desaceleração do boneco em função do tempo. Os parâmetros como massa dos bonecos, dimensões dos cintos e velocidade imediatamente antes e após o impacto foram os mesmos para todos os testes. O resultado final obtido está no gráfico de aceleração por tempo.



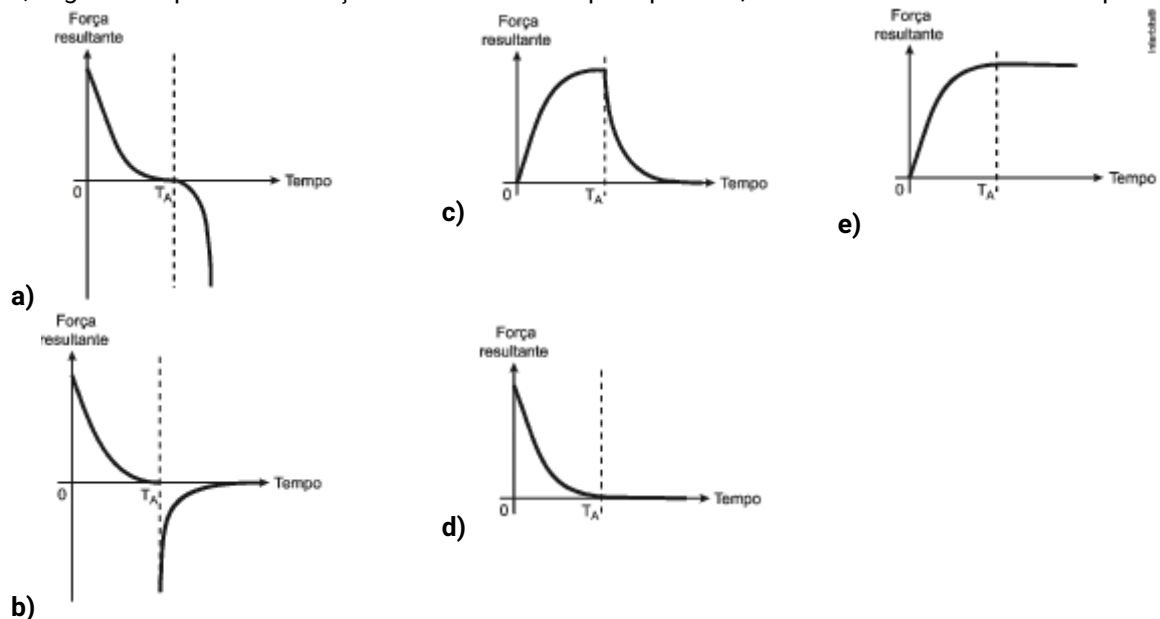
Qual modelo de cinto oferece menor risco de lesão interna ao motorista?

- a) 1
- b) 2
- c) 3
- d) 4
- e) 5

2. (Enem PPL 2015) Num sistema de freio convencional, as rodas do carro travam e os pneus derrapam no solo, caso a força exercida sobre o pedal seja muito intensa. O sistema ABS evita o travamento das rodas, mantendo a força de atrito no seu valor estático máximo, sem derrapagem. O coeficiente de atrito estático da borracha em contato com o concreto vale  $\mu_e = 1,0$  e o coeficiente de atrito cinético para o mesmo par de materiais é  $\mu_c = 0,75$ . Dois carros, com velocidades iniciais iguais a 108 km/h, iniciam a frenagem numa estrada perfeitamente horizontal de concreto no mesmo ponto. O carro 1 tem sistema ABS e utiliza a força de atrito estática máxima para a frenagem; já o carro 2 trava as rodas, de maneira que a força de atrito efetiva é a cinética. Considere  $g = 10 \text{ m/s}^2$ .

As distâncias, medidas a partir do ponto em que iniciam a frenagem, que os carros 1 ( $d_1$ ) e 2 ( $d_2$ ) percorrem até parar são, respectivamente,

- a)  $d_1 = 45 \text{ m}$  e  $d_2 = 60 \text{ m}$ .  
 b)  $d_1 = 60 \text{ m}$  e  $d_2 = 45 \text{ m}$ .  
 c)  $d_1 = 90 \text{ m}$  e  $d_2 = 120 \text{ m}$ .  
 d)  $d_1 = 5,8 \cdot 10^2 \text{ m}$  e  $d_2 = 7,8 \cdot 10^2 \text{ m}$ .  
 e)  $d_1 = 7,8 \cdot 10^2 \text{ m}$  e  $d_2 = 5,8 \cdot 10^2 \text{ m}$ .
3. (Enem 2013) Em um dia sem vento, ao saltar de um avião, um paraquedista cai verticalmente até atingir a velocidade limite. No instante em que o paraquedas é aberto (instante  $T_A$ ), ocorre a diminuição de sua velocidade de queda. Algum tempo após a abertura do paraquedas, ele passa a ter velocidade de queda constante, que possibilita sua aterrissagem em segurança. Que gráfico representa a força resultante sobre o paraquedista, durante o seu movimento de queda?



4. (Enem 2013) Uma pessoa necessita da força de atrito em seus pés para se deslocar sobre uma superfície. Logo, uma pessoa que sobe uma rampa em linha reta será auxiliada pela força de atrito exercida pelo chão em seus pés.

Em relação ao movimento dessa pessoa, quais são a direção e o sentido da força de atrito mencionada no texto?

- a) Perpendicular ao plano e no mesmo sentido do movimento.
- b) Paralelo ao plano e no sentido contrário ao movimento.
- c) Paralelo ao plano e no mesmo sentido do movimento.
- d) Horizontal e no mesmo sentido do movimento.
- e) Vertical e sentido para cima.

5. (Enem PPL 2012) Durante uma faxina, a mãe pediu que o filho a ajudasse, deslocando um móvel para mudá-lo de lugar. Para escapar da tarefa, o filho disse ter aprendido na escola que não poderia puxar o móvel, pois a Terceira Lei de Newton define que se puxar o móvel, o móvel o puxará igualmente de volta, e assim não conseguirá exercer uma força que possa colocá-lo em movimento.

Qual argumento a mãe utilizará para apontar o erro de interpretação do garoto?

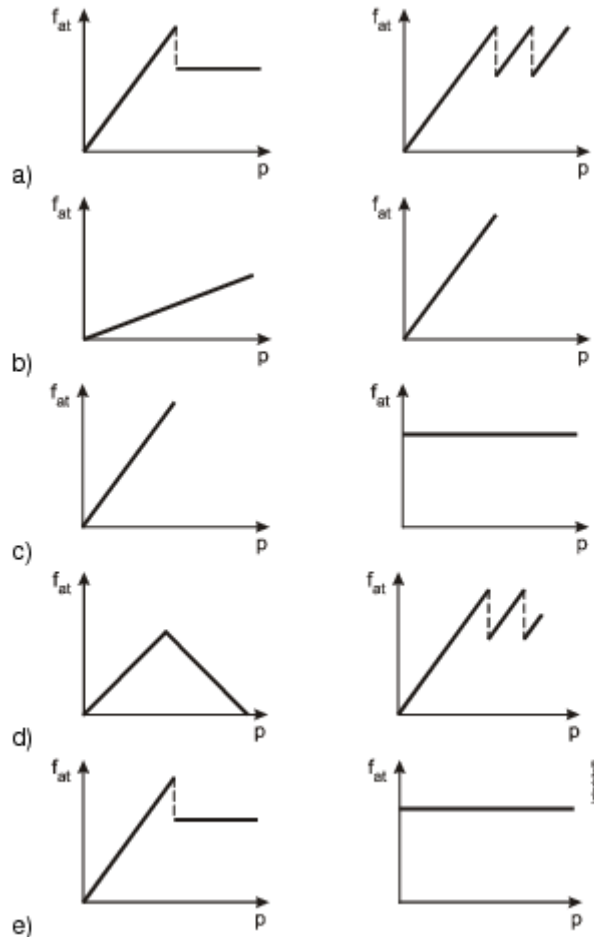
- a) A força de ação é aquela exercida pelo garoto.
- b) A força resultante sobre o móvel é sempre nula.
- c) As forças que o chão exerce sobre o garoto se anulam.
- d) A força de ação é um pouco maior que a força de reação.
- e) O par de forças de ação e reação não atua em um mesmo corpo.

6. (Enem PPL 2012) O freio ABS é um sistema que evita que as rodas de um automóvel sejam bloqueadas durante uma frenagem forte e entrem em derrapagem. Testes demonstram que, a partir de uma dada velocidade, a distância de frenagem será menor se for evitado o bloqueio das rodas.

O ganho na eficiência da frenagem na ausência de bloqueio das rodas resulta do fato de

- a) o coeficiente de atrito estático tornar-se igual ao dinâmico momentos antes da derrapagem.
- b) o coeficiente de atrito estático ser maior que o dinâmico, independentemente da superfície de contato entre os pneus e o pavimento.
- c) o coeficiente de atrito estático ser menor que o dinâmico, independentemente da superfície de contato entre os pneus e o pavimento.
- d) a superfície de contato entre os pneus e o pavimento ser maior com as rodas desbloqueadas, independentemente do coeficiente de atrito.
- e) a superfície de contato entre os pneus e o pavimento ser maior com as rodas desbloqueadas e o coeficiente de atrito estático ser maior que o dinâmico.

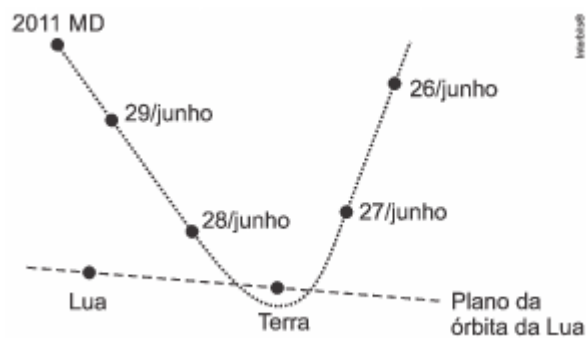
7. (Enem 2012) Os freios ABS são uma importante medida de segurança no trânsito, os quais funcionam para impedir o travamento das rodas do carro quando o sistema de freios é acionado, liberando as rodas quando estão no limiar do deslizamento. Quando as rodas travam, a força de frenagem é governada pelo atrito cinético. As representações esquemáticas da força de atrito  $f_{at}$  entre os pneus e a pista, em função da pressão  $p$  aplicada no pedal de freio, para carros sem ABS e com ABS, respectivamente, são:



8. (Enem PPL 2018) Um carrinho de brinquedo funciona por fricção. Ao ser forçado a girar suas rodas para trás, contra uma superfície rugosa, uma mola acumula energia potencial elástica. Ao soltar o brinquedo, ele se movimenta sozinho para frente e sem deslizar. Quando o carrinho se movimenta sozinho, sem deslizar, a energia potencial elástica é convertida em energia cinética pela ação da força de atrito
- dinâmico na roda, devido ao eixo.
  - estático na roda, devido à superfície rugosa.
  - estático na superfície rugosa, devido à roda.
  - dinâmico na superfície rugosa, devido à roda.
  - dinâmico na roda, devido à superfície rugosa.



9. (Enem PPL 2018) Com um dedo, um garoto pressiona contra a parede duas moedas, de R\$ 0,10 e R\$ 1,00, uma sobre a outra, mantendo-as paradas. Em contato com o dedo está a moeda de R\$ 0,10 e contra a parede está a de R\$ 1,00. O peso da moeda de R\$ 0,10 é 0,05 N e o da de R\$ 1,00 é 0,09 N. A força de atrito exercida pela parede é suficiente para impedir que as moedas caiam. Qual é a força de atrito entre a parede e a moeda de R\$ 1,00?
- 0,04 N
  - 0,05 N
  - 0,07 N
  - 0,09 N
  - 0,14 N
10. (Enem 2ª aplicação 2016) No dia 27 de junho de 2011, o asteroide 2011 MD, com cerca de 10 m de diâmetro, passou a 12 mil quilômetros do planeta Terra, uma distância menor do que a órbita de um satélite. A trajetória do asteroide é apresentada.



A explicação física para a trajetória descrita é o fato de o asteroide.

- deslocar-se em um local onde a resistência do ar é nula.
- deslocar-se em um ambiente onde não há interação gravitacional.
- sofrer a ação de uma força resultante no mesmo sentido de sua velocidade.
- sofrer a ação de uma força gravitacional resultante no sentido contrário ao de sua velocidade.
- estar sob a ação de uma força resultante cuja direção é diferente da direção de sua velocidade.

## Gabarito

## 1. B

Pelo gráfico, o cinto que apresenta o menor valor de amplitude para a aceleração é o 2, sendo portanto o mais seguro.

## 2. A

Desconsiderando a resistência do ar, a resultante das forças resistivas sobre cada carro é a própria força de atrito.

$$R = F_{\text{at}} \Rightarrow m|a| = \mu N$$

Como a pista é horizontal, a força peso e a força normal têm mesma intensidade:

$$N = P = mg$$

Combinando as expressões obtidas:

$$m|a| = \mu N \Rightarrow m|a| = \mu mg \Rightarrow |a| = \mu g$$

Como o coeficiente de atrito é constante, cada movimento é uniformemente retardado (MUV), com velocidade final nula.

Aplicando a equação de Torricelli:

$$v^2 = v_0^2 - 2|a|d \Rightarrow d = \frac{v_0^2 - v^2}{2|a|} \Rightarrow d = \frac{v_0^2}{2\mu g}$$

Dados para as duas situações propostas:  $v_0 = 108 \text{ km/h} = 30 \text{ m/s}$ ;  $\mu_e = 1$ ;  $\mu_c = 0,75$ ;  $g = 10 \text{ m/s}^2$ .

Assim:

$$\begin{cases} d_1 = \frac{v_0^2}{2\mu_e g} = \frac{30^2}{2 \cdot 1 \cdot 10} = \frac{900}{20} \Rightarrow d_1 = 45 \text{ m.} \\ d_2 = \frac{v_0^2}{2\mu_c g} = \frac{30^2}{2 \cdot 0,75 \cdot 10} = \frac{900}{15} \Rightarrow d_2 = 60 \text{ m.} \end{cases}$$

## 3. B

No início da queda, a única força atuante sobre o paraquedista (homem + paraquedas) é apenas o peso [para baixo (+)]. À medida que acelera, aumenta a força de resistência do ar, até que a resultante se anula, quando é atingida a velocidade limite. No instante ( $T_A$ ) em que o paraquedas é aberto, a força de resistência do ar aumenta abruptamente, ficando mais intensa que o peso, invertendo o sentido da resultante [para cima (-)]. O movimento passa a ser retardado até ser atingida a nova velocidade limite, quando a resultante volta a ser nula.

## 4. C

Quando a pessoa anda, ela aplica no solo uma força de atrito horizontal para trás. Pelo Princípio da Ação-Reação, o solo aplica nos pés da pessoa uma reação, para frente (no sentido do movimento), paralela ao solo.

## 5. E

Ação e reação são forças de mesma intensidade, mesma direção e sentidos opostos, porém, não se equilibram, pois não atuam no mesmo corpo.

## 6. B

O freio ABS é mais eficiente, pois impede o travamento das rodas, fazendo a frenagem com força de atrito estática, que é maior que a dinâmica, pois o coeficiente de atrito estático é maior que o dinâmico.

## 7. A

Quando o carro não é provido de freios ABS, até um determinado valor de pressão no pedal, a força de atrito é crescente, até atingir o valor máximo ( $f_{atm\acute{a}x}$ ); a partir desse valor de pressão, as rodas travam, e a força de atrito passa a ser cinética ( $f_{atcin}$ ), constante. Como o coeficiente de atrito cinético é menor que o estático, a força de atrito cinética é menor que a força de atrito estático máxima.

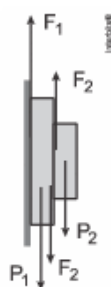
Para o carro com freios ABS, no limite de travar, quando a força de atrito atinge o valor máximo ( $f_{atm\acute{a}x}$ ), as rodas são liberadas, diminuindo ligeiramente o valor da força de atrito, que novamente aumenta até o limite de travar e, assim, sucessivamente, mesmo que aumente a pressão nos pedais.

## 8. B

Como não há deslizamento, a conversão de energia ocorre devido a ação da força de atrito estático na roda, aplicada pela superfície rugosa.

## 9. E

As forças verticais que agem na moeda de R\$ 1,00 são o seu próprio peso ( $\vec{P}_1$ ) e as forças de atrito com a outra moeda ( $\vec{F}_2$ ) e com a parede ( $\vec{F}_1$ ), conforme mostra a figura



Do equilíbrio:

$$F_2 = P_2 = 0,05\text{N}$$

$$F_1 = P_1 + F_2 = 0,09 + 0,05 \Rightarrow \boxed{F_1 = 0,14\text{N}}$$

## 10. E

Quando a força resultante tem a mesma direção da velocidade o movimento é retilíneo, podendo ser acelerado ou retardado, de acordo com os sentidos de ambas as grandezas.

No trecho em que o movimento é curvilíneo, há a componente centrípeta, não tendo a força resultante a mesma direção da velocidade.