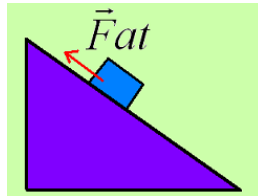


Força de atrito

Resumo

A força de atrito é paralela ao plano – com sentido contrário ao deslizamento ou à tendência de deslizamento entre as partes.



A expressão geral da força de atrito é

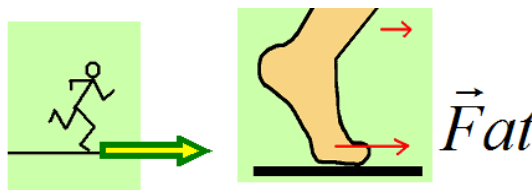
$$|\vec{F}_{at}| = \mu |\vec{N}| \text{ ou } F_{at} = \mu N$$

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

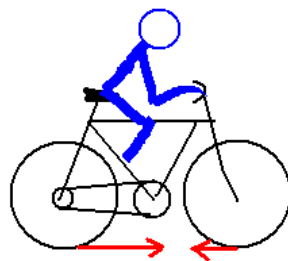
Obs. 1: Na equação entram os módulos das forças, ou seja, seus valores absolutos, porque a força de atrito e a normal não são vetores paralelos.

Obs.2: Uma superfície pode ter atrito, mas pode não ter força de atrito atuando. A força de atrito é contrária ao deslizamento entre as partes ou à tendência do deslizamento entre as partes. Assim se não há tendência de deslizamento, não há força de atrito atuando. Por exemplo: não há força de atrito atuando em um livro repousando sobre uma mesa horizontal.

Obs.3: A força de atrito não é necessariamente contrária ao movimento. Assim, quando você faz uma força no chão para andar, essa força é para trás. Mas o chão não vai para trás. Seu pé agarra no chão e o atrito é para frente. É o atrito que provoca o movimento.

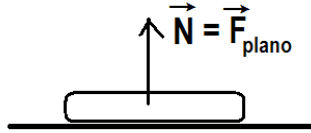


Assim, em uma bicicleta, por exemplo, costuma-se representar o atrito como na figura abaixo.

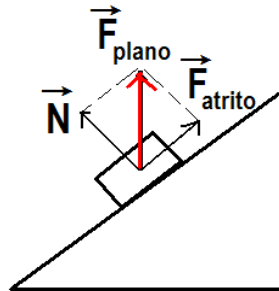


A força de atrito na roda dianteira é para trás, pois a roda apenas rola pelo chão. Agora a roda traseira faz força no chão, empurra o chão para trás. O chão reage fazendo uma força para frente que é a força de atrito.

Obs.4: Para uma situação como um livro em repouso sobre uma mesa horizontal, a força normal é a força do plano.



Em uma situação como a de um livro em repouso em um plano inclinado, onde há normal e força de atrito, a força do plano é a soma vetorial dessas componentes.



Obs. 5: O μ é adimensional (não tem unidades por ser o quociente entre duas forças) e recebe o nome de *coeficiente de atrito estático* (μ_e) na iminência do deslizamento, e o de *coeficiente de atrito dinâmico* (μ_d) quando já foi iniciado o movimento. A experiência mostra que, para um mesmo par de superfícies, $\mu_e > \mu_d$. Nos exercícios, se não for especificado μ_e ou μ_d , utiliza-se simplesmente o coeficiente de atrito μ e admite-se $\mu_e = \mu_d$.

Exercícios

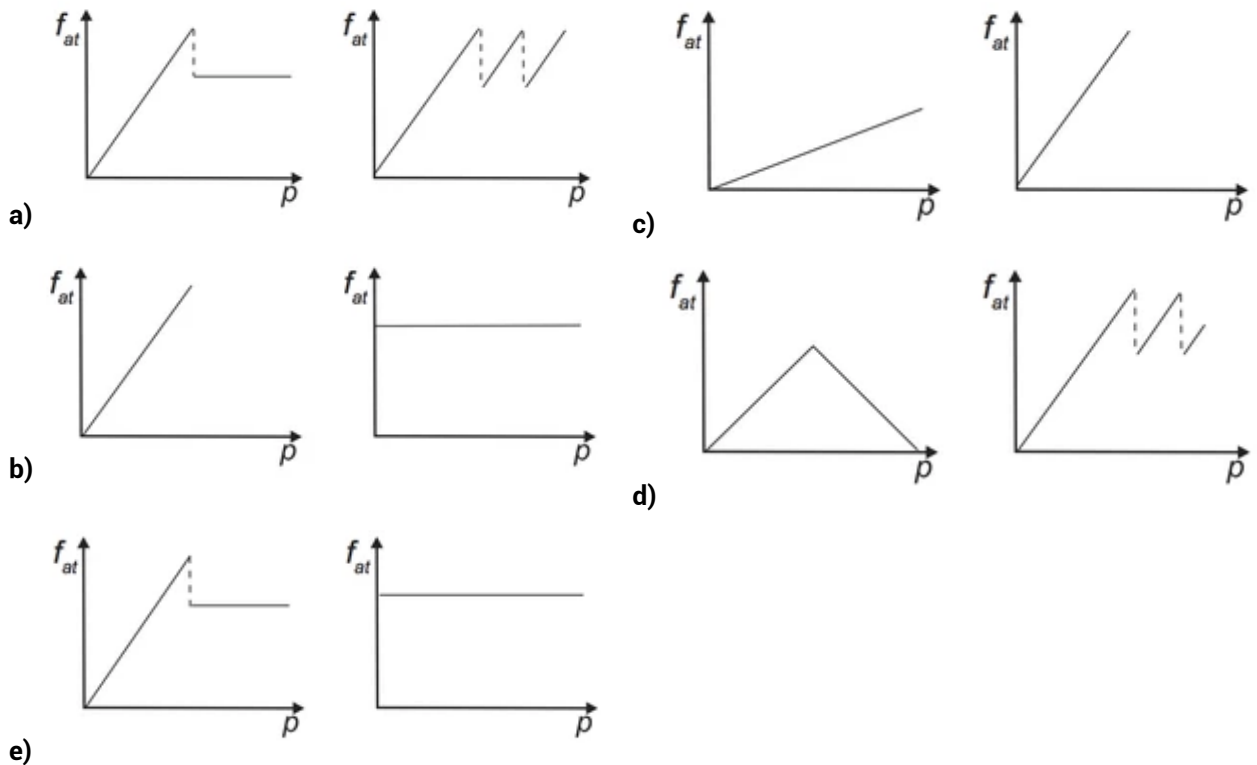
1. Um corpo de peso igual a 200 N está em repouso sobre uma superfície horizontal em que os coeficientes de atrito estático e dinâmico valem, respectivamente, 0,4 e 0,3.

Calcule a intensidade da força paralela ao plano capaz de fazer o corpo:

- entrar em movimento;
- mover-se em movimento retilíneo uniforme.

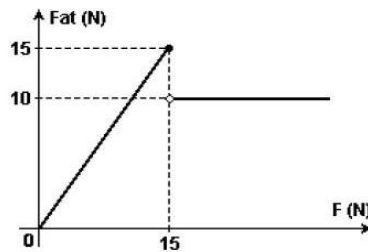
2. Os freios ABS são uma importante medida de segurança no trânsito, os quais funcionam para impedir o travamento das rodas do carro quando o sistema de freios é acionado, liberando as rodas quando estão no limiar do deslizamento. Quando as rodas travam, a força de frenagem é governada pelo atrito cinético.

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:



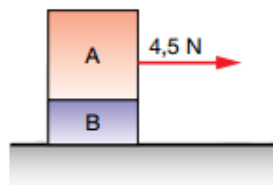
3. Um automóvel percorre uma pista circular horizontal e plana em um autódromo. Em um dado instante, as rodas travam (param de girar) completamente, e o carro passa a deslizar sob a ação da gravidade, da normal e da força de atrito dinâmica. Suponha que o raio da pista seja suficientemente grande para que o carro possa ser tratado como uma massa puntiforme.
- Pode-se afirmar corretamente que, imediatamente após o travamento das rodas, o vetor força de atrito sobre o carro tem:
- a) a mesma direção e o mesmo sentido que o vetor velocidade do carro.
 - b) direção perpendicular à trajetória circular do autódromo e aponta para o centro.
 - c) direção perpendicular à trajetória circular do autódromo e normal à superfície da pista.
 - d) a mesma direção e sentido contrário ao vetor velocidade do carro.
4. Na série *Batman & Robin*, produzida entre os anos 1966 e 1968, além da música de abertura que marcou época, havia uma cena muito comum: Batman e Robin escalando uma parede com uma corda. Para conseguirem andar subindo na vertical, eles não usavam apenas os braços puxando a corda, mas caminhavam pela parede contando também com o atrito estático. Suponha que o Batman, escalando uma parede nessas condições, em linha reta e com velocidade constante, tenha 90 kg, mas o módulo da tração na corda que ele está segurando seja de 750 N e esteja direcionada (para fins de simplificação) totalmente vertical.
- Qual o módulo da força de atrito estática entre seus pés e a parede? Considere a aceleração da gravidade como 10 m/s^2 .
- a) 15 N.
 - b) 90 N.
 - c) 150 N.
 - d) 550 N.
 - e) 900 N.
5. 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.

6. Um bloco de borracha de massa 5,0 kg está em repouso sobre uma superfície plana e horizontal. O gráfico representa como varia a força de atrito sobre o bloco quando sobre ele atua uma força F de intensidade variável paralela à superfície.



O coeficiente de atrito estático entre a borracha e a superfície, e a aceleração adquirida pelo bloco quando a intensidade da força F atinge 30 N são, respectivamente, iguais a

- a) 0,3; 4,0 m/s²
 - b) 0,2; 6,0 m/s²
 - c) 0,3; 6,0 m/s²
 - d) 0,5; 4,0 m/s²
 - e) 0,2; 3,0 m/s²
7. Dois blocos, A e B, com A colocado sobre B, estão em movimento sob ação de uma força horizontal de 4,5 N aplicada sobre A, como ilustrado na figura.



Considere que não há atrito entre o bloco B e o solo e que as massas são respectivamente $m_A = 1,8$ kg e $m_B = 1,2$ kg. Tomando $g = 10$ m/s², calcule:

- a) a aceleração dos blocos, se eles se locomovem juntos;
 - b) o valor mínimo do coeficiente de atrito estático para que o bloco A não deslize sobre B.
8. 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.

9. As misteriosas pedras que migram
Na remota *Racetrack Playa*, no Vale da Morte, Califórnia, as pedras às vezes deixa rastros no chão do deserto, como se estivessem migrando (ver figura abaixo).



Jerry Schad/Photo Researchers, Inc.

Há muitos anos que os cientistas tentam explicar como as pedras se movem. Uma possível explicação é que, durante uma tempestade ocasional, os fortes ventos arrastam as pedras no solo amolecido pela chuva. Quando o solo seca, os rastros deixados pelas pedras são endurecidos pelo calor. Segundo medições realizadas no local, o coeficiente de atrito cinético entre as pedras e o solo úmido do deserto é aproximadamente 0,80. Qual é a força horizontal necessária para manter em movimento retilíneo e uniforme uma pedra de 20 kg (uma massa típica) depois que uma rajada de vento a coloca em movimento.

Use que $g = 10 \text{ m/s}^2$.

10. Sobre uma caixa de massa 120 kg, atua uma força horizontal constante F de intensidade 600 N. A caixa encontra-se sobre uma superfície horizontal em um local no qual a aceleração gravitacional é 10 m/s^2 . Para que a aceleração da caixa seja constante, com módulo igual a 2 m/s^2 , e tenha a mesma orientação da força F , o coeficiente de atrito cinético entre a superfície e a caixa deve ser de

- a) 0,1
- b) 0,2
- c) 0,3
- d) 0,4
- e) 0,5

Gabarito

1.

- a) $F > F_{at} \rightarrow F > 200 \cdot 0,4 > 80 \text{ N}$.
 b) $F = F_{at} \rightarrow F = 200 \cdot 0,3 = 60 \text{ N}$.

2. A

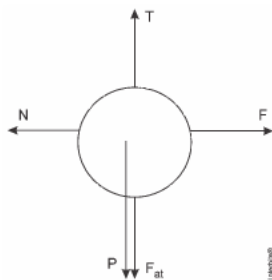
Quando o carro não é provido de freios ABS, até um determinado valor de pressão no pedal, a força de atrito é crescente, até atingir o valor máximo ($F_{at \text{ máx.}}$); a partir desse valor de pressão, as rodas travam, e a força de atrito passa a ser cinética ($F_{at \text{ cinética}}$), constante. 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 ($F_{at \text{ máx.}}$), 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.

3. D

Como as rodas foram travadas, a força de atrito tem direção tangente à trajetória, no sentido de impedir o escorregamento, portanto, oposto à velocidade.

4. C



$$T - P - F_{at} = ma$$

$$T - P - F_{at} = 0$$

$$F_{at} = T - mg$$

$$F_{at} = 750 - 90 \cdot 10 = -150 \text{ N}$$

$$|F_{at}| = 150 \text{ N}$$

5. 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.

6. A

$$F_{at \text{ estático}} = \mu N \rightarrow \mu = \frac{15}{50} = 0,3$$

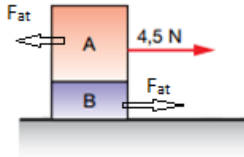
$$F_r = ma \rightarrow F - F_{at} = ma$$

$$30 - 10 = 5a \rightarrow a = 4 \text{ m/s}^2$$

7.

a) $F_r = ma$
 $4,5 = 3 \cdot a \rightarrow a = 1,5 \text{ m/s}^2$

b)



As forças de atrito constituem um par ação-reação.

Aplicando a 2ª lei de Newton para o bloco B:

$$F_r = F_{at} = ma = 1,2 \cdot 1,5 = 1,8 \text{ N}$$

Aplicando agora para o bloco A:

$$4,5 - F_{at} = 1,6 \cdot 1,5 \rightarrow F_{at} = 1,8 \text{ N}$$

$$F_{at} = \mu N = \mu mg$$

$$1,8 = \mu \cdot 1,8 \cdot 10 \rightarrow \mu = 0,1$$

8. B

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

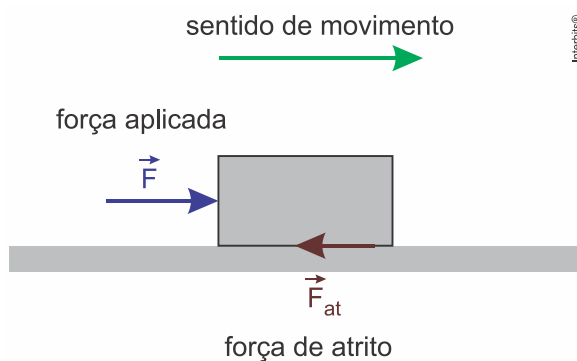
9. $N = mg$

$$N = 20 \cdot 10 = 200 \text{ N}$$

$$F_{at} = \mu N = 0,80 \cdot 200 = 160 \text{ N}$$

10. C

Diagrama de corpo livre:



Aplicando-se a segunda lei de Newton: $F_{\text{res}} = m \cdot a$

$$F - F_{at} = m \cdot a \Rightarrow F - \mu \cdot N = m \cdot a$$

Como o deslocamento é horizontal, o módulo da força normal é igual ao peso, devido à inexistência de forças extras na vertical.

$$F - \mu \cdot P = m \cdot a \Rightarrow F - \mu \cdot m \cdot g = m \cdot a$$

Isolando o coeficiente de atrito cinético e substituindo os valores fornecidos, ficamos com:

$$\mu = \frac{F - m \cdot a}{m \cdot g} \Rightarrow \mu = \frac{600 \text{ N} - 120 \text{ kg} \cdot 2 \text{ m/s}^2}{120 \text{ kg} \cdot 10 \text{ m/s}^2} \therefore \mu = 0,3$$