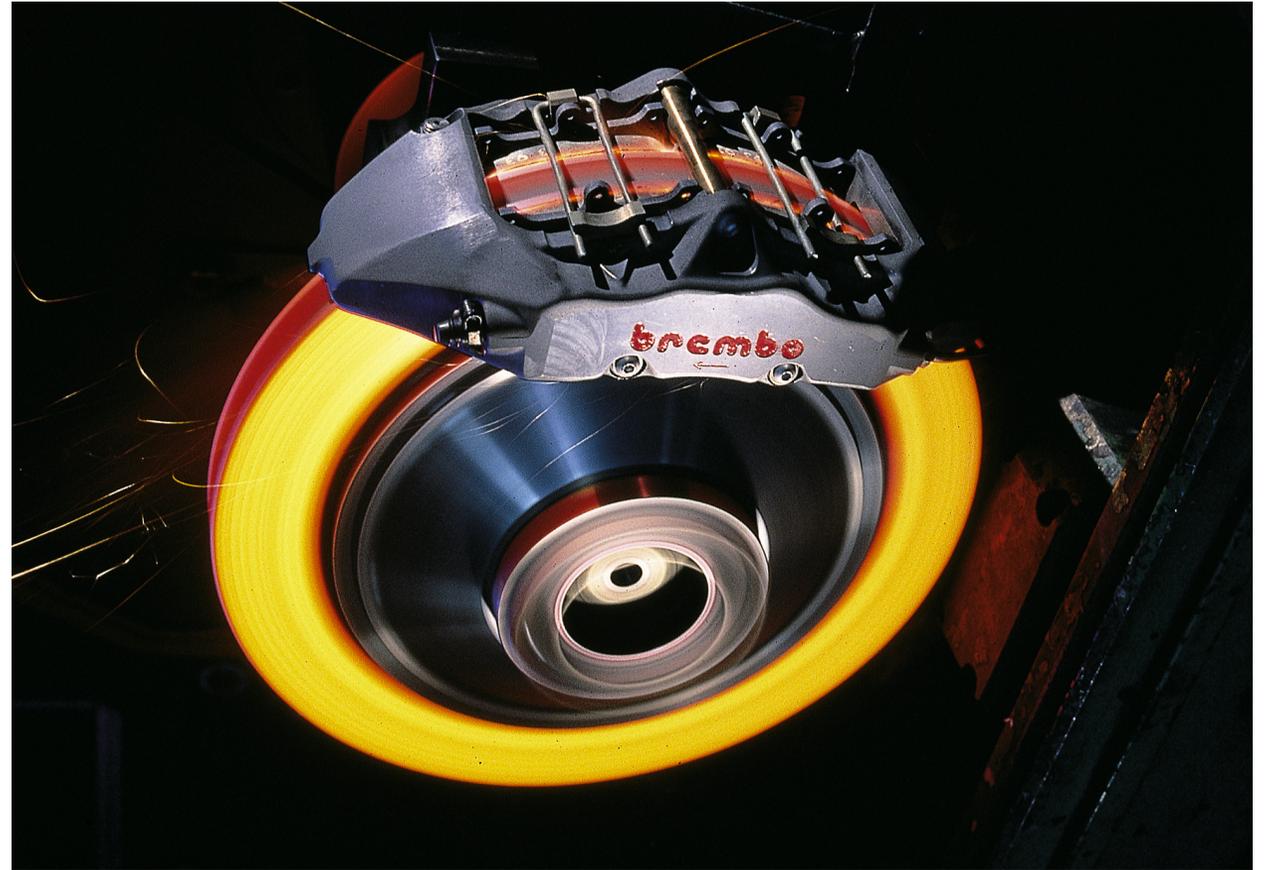
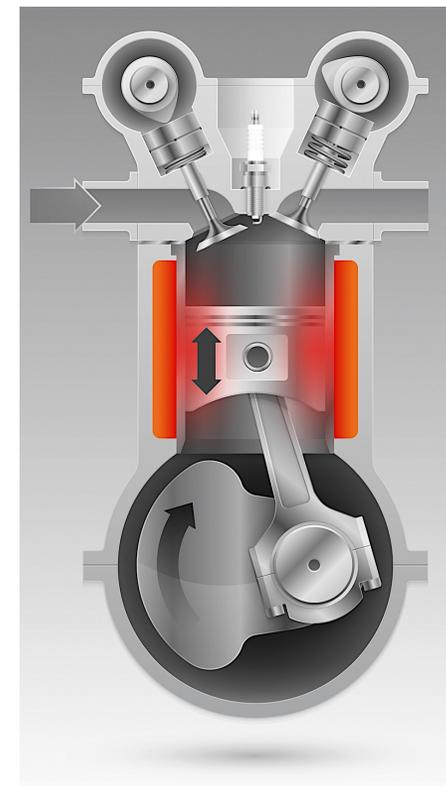


Atrito



Durante o contato entre corpos ou corpos e outros meios contínuos (fluidos, e.g.), forças de ação e reação estarão presentes. Dentre as forças de contato mais comuns em problemas de engenharia tem-se a **força de atrito**.

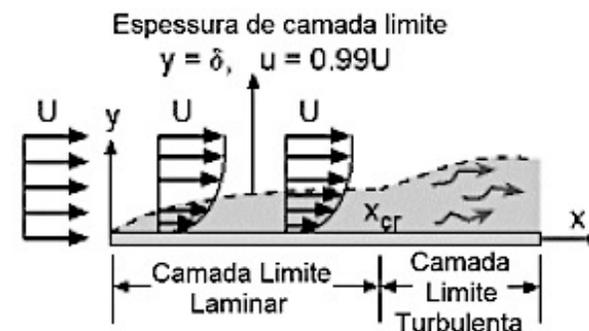


Força de Atrito: força de resistência ao movimento de duas superfícies de contato.

Atrito Seco: atrito originado entre duas superfícies de contato sólidas. Também conhecido como **atrito de Coulomb**.

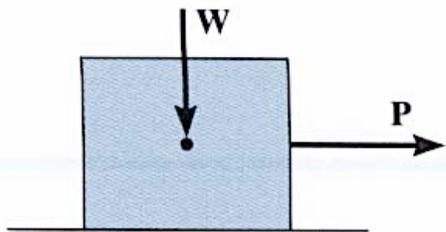


Atrito Viscoso: atrito originado entre corpos sólidos e fluidos.

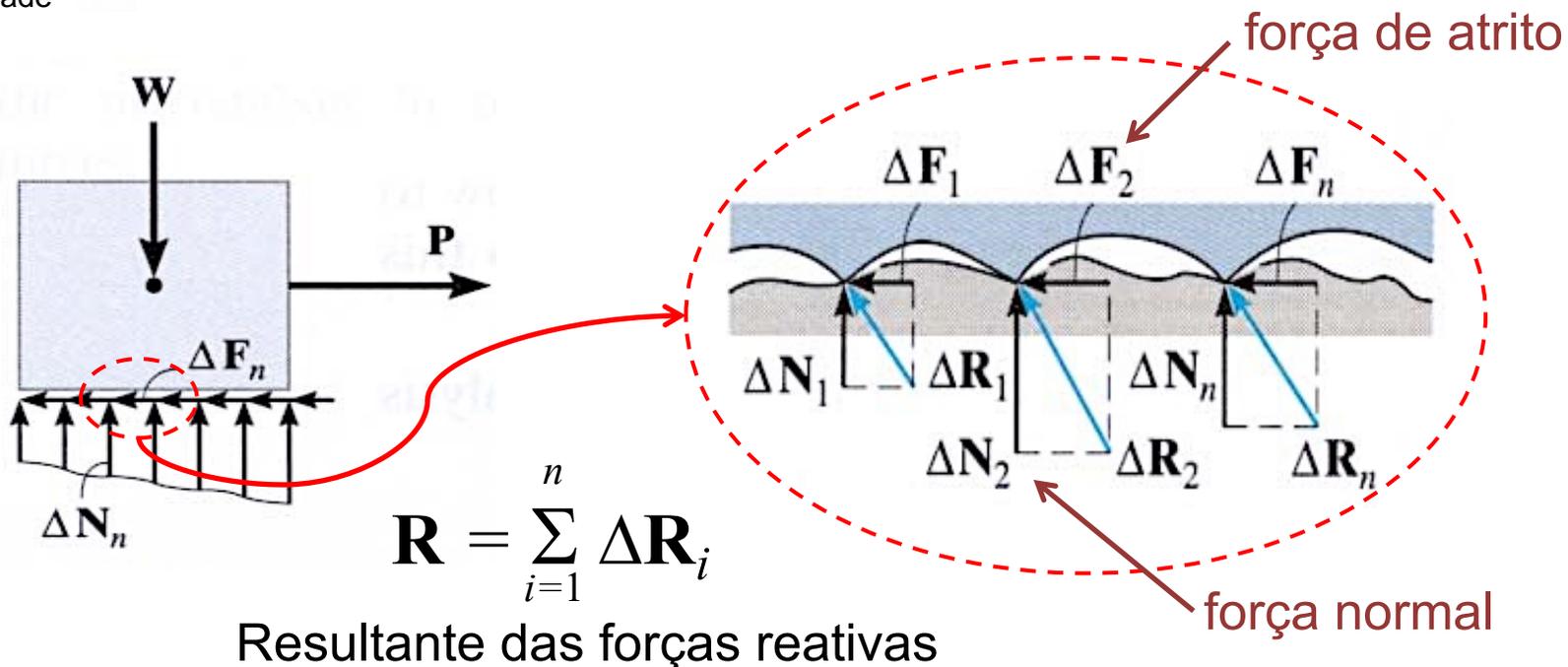


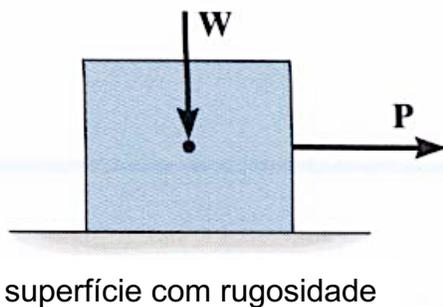
TEORIA DO ATRITO SECO

Experimentos mostram que as forças de atrito seco agem tangencialmente (paralelo) a superfície de contato na direção oposta do movimento relativo ou da tendência de movimento.



superfície com rugosidade





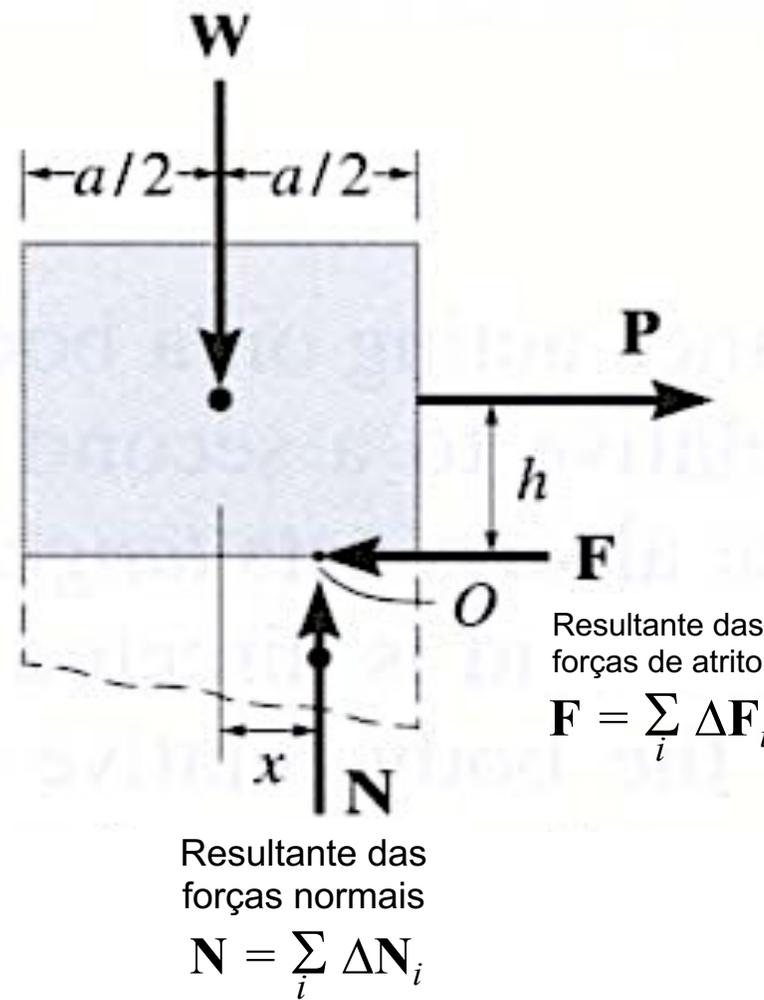
Para o equilíbrio:

$$\sum F_x = 0 \rightarrow F = P$$

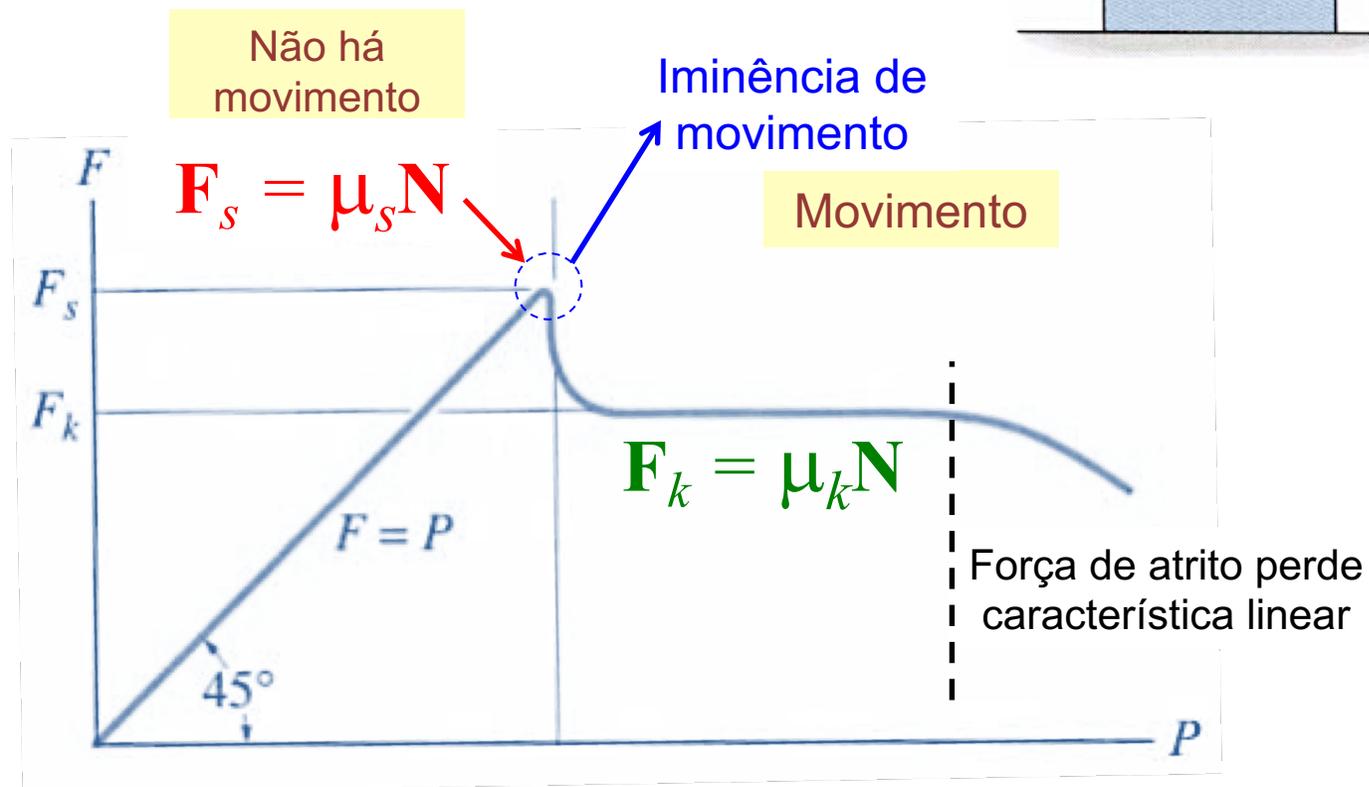
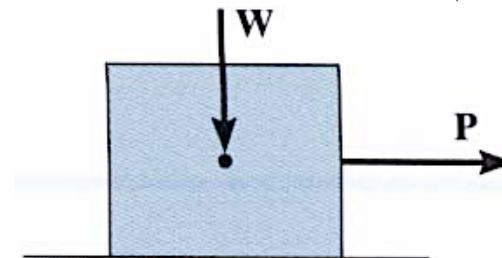
$$\sum F_y = 0 \rightarrow N = W$$

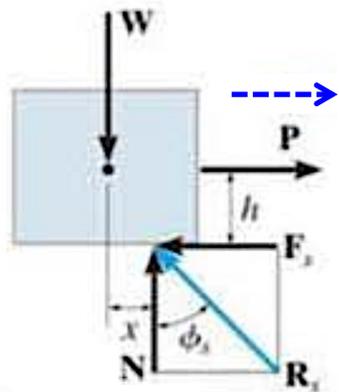
$$\sum M_O = 0 \rightarrow W x = P h$$

$$x = Ph/W$$



Observa-se que a força de atrito apresenta dois padrões de comportamento dependendo se há ou não movimento.



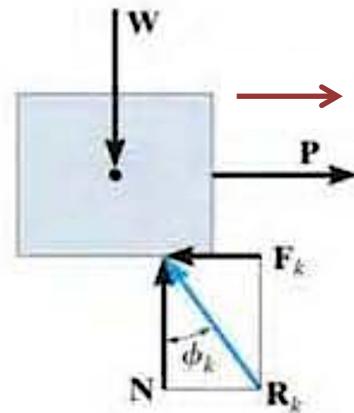


Iminência de movimento

$$\phi_s = \text{tg}^{-1} (F_s/N) = \text{tg}^{-1} (\mu_s N/N)$$

$$\mu_s = \text{tg } \phi_s$$

Coeficiente de atrito estático



Movimento

$$\phi_k = \text{tg}^{-1} (F_k/N)$$

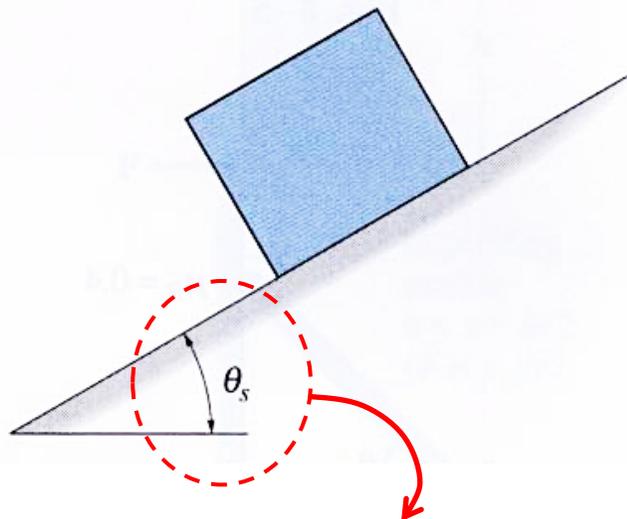
$$\mu_k = \text{tg } \phi_k$$

Coeficiente de atrito cinético

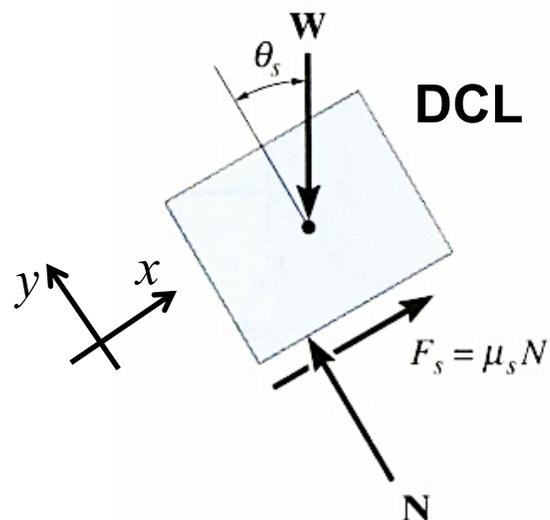
| | estático μ_s | cinético μ_k |
|-----------------------------|---------------------|---------------------|
| Aço / aço | 0,74 | 0,57 |
| Alumínio / aço | 0,61 | 0,47 |
| Cobre / aço | 0,53 | 0,36 |
| Madeira / madeira | 0,25-0,50 | 0,20 |
| Vidro / vidro | 0,94 | 0,40 |
| Metal / metal (lubrificado) | 0,15 | 0,06 |
| Gelo / gelo | 0,10 | 0,03 |



O coeficiente de atrito estático pode ser obtido com um experimento simples com plano inclinado.



ângulo de inclinação do plano **APENAS** quando o bloco estiver na **iminência de escorregar**.



$$\Sigma F_x = N - W \cos \theta_s = 0$$

$$\Sigma F_y = \mu_s N - W \text{ sen } \theta_s = 0$$

$$\mu_s = (W \text{ sen } \theta_s) / (W \cos \theta_s) = \text{tg } \theta_s$$

Resolvendo problemas de equilíbrio envolvendo atrito seco



Definir um SISTEMA DE REFERÊNCIA

DCL

Desenhar o DIAGRAMA DE CORPO LIVRE



É preciso observar a direção correta da força de atrito no DCL!!

Exceto nos casos de iminência de movimento a força de atrito é um termo desconhecido nas equações de equilíbrio!!!

$$\sum F = 0$$

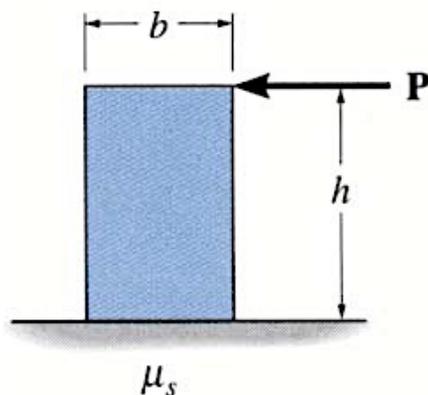
$$\sum M = 0$$

Escrever as EQUAÇÕES DO EQUILÍBRIO



Iminência de movimento e tombamento

Seja o problema:



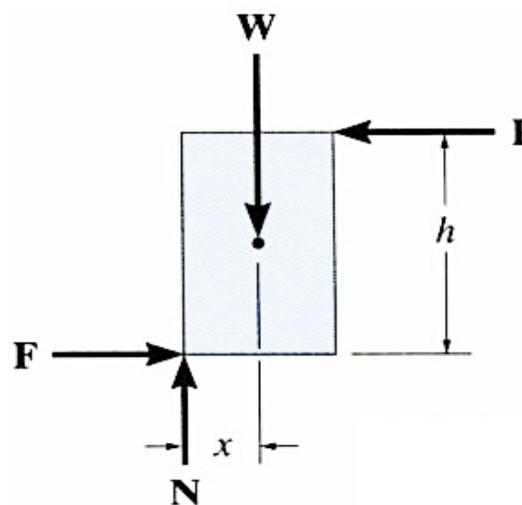
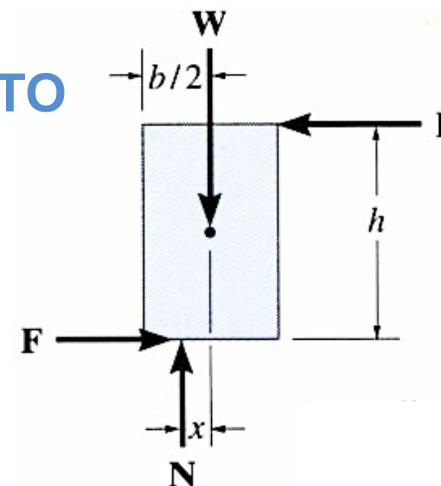
Nesse tipo de problema é preciso assumir uma condição para garantir três equações de equilíbrio (caso plano). Ao final, deve-se verificar se o que foi assumido está correto.

IMINÊNCIA DE MOVIMENTO

Conhecido: $F = \mu_s N$

Resolver: x , P e N

Verificar se $0 \leq x \leq b/2$



TOMBAMENTO

Conhecido: $x = b/2$

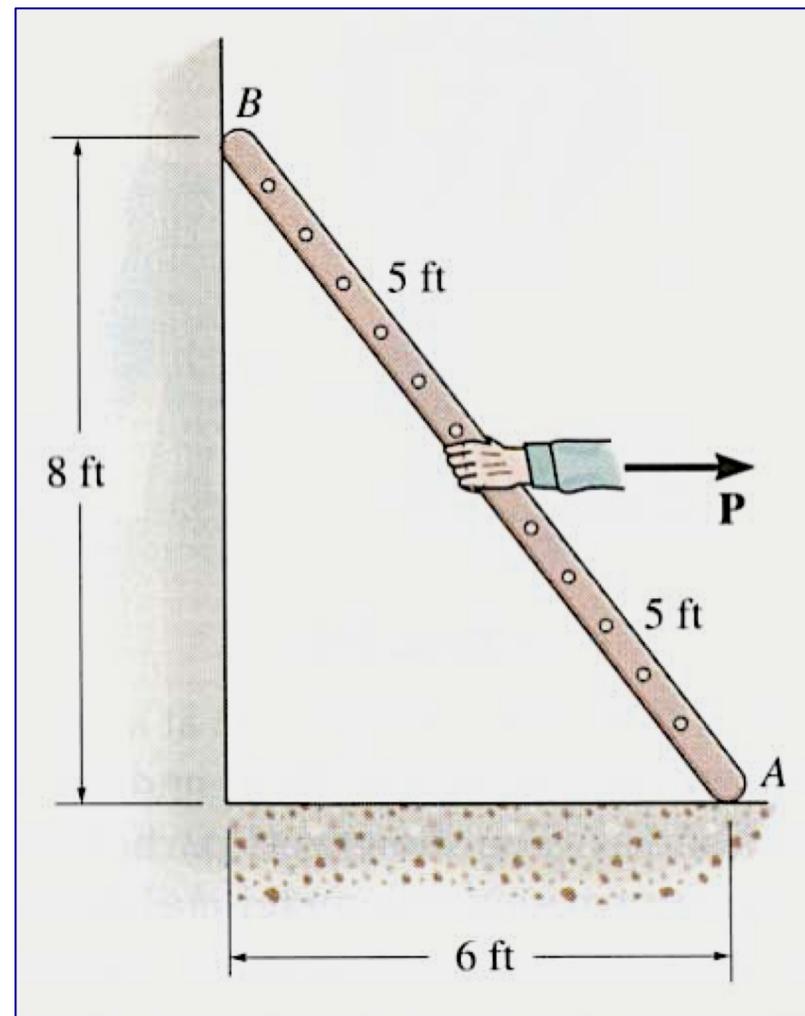
Resolver: P , N e F

Verificar se $F \leq \mu_s N$

Exemplo

Uma escada de peso 20 lb está encostada em uma parede vertical (sem atrito). O chão e a escada apresentam $\mu_s = 0,8$.

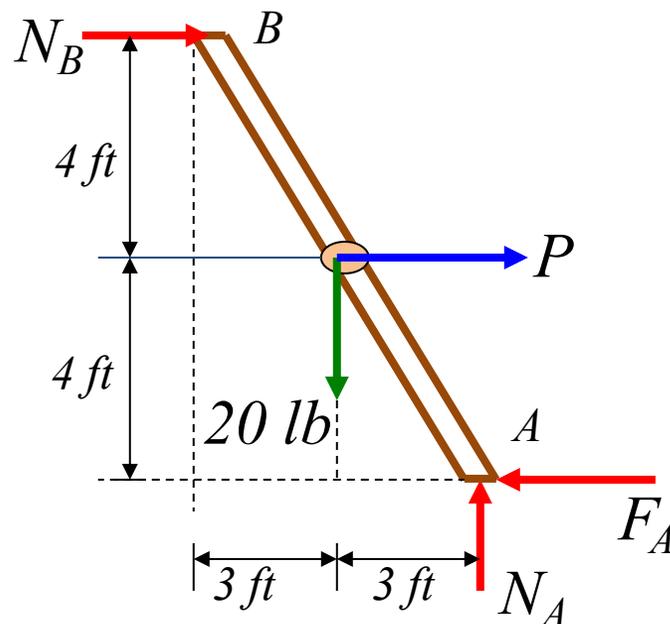
Encontrar o valor mínimo da força P necessário para mover a escada (tombando ou escorredando).





1. Adotar sistema cartesiano de referência.

2. DCL:



3. Equações de equilíbrio **assumindo** que a escada irá **tomar antes de escorregar** ($N_B=0$):

$$\Sigma M_A = (20)(3) - P(4) = 0 \Rightarrow P = 15 \text{ lb}$$

$$\Sigma F_x = P - F_A = 0 \Rightarrow F_A = 15 \text{ lb}$$

$$\Sigma F_y = N_A - 20 = 0 \Rightarrow N_A = 20 \text{ lb}$$

Verificação: $F_{max} = F_s = \mu_s N_A = (0,8)(20) \text{ lb} = 16 \text{ lb}$

Como $F_A = 15 \text{ lb} \leq F_{max} = 16 \text{ lb}$, então **a suposição de tombamento está correta.**