

# ATRITO

## 1ª Aula do Cap. 6 Forças e Movimento II

- Força de Atrito e Força Normal.
- Atrito e história.
- Coeficientes de atrito.
- Atrito Dinâmico e Estático.
- Exemplos e Exercícios.



O efeito do atrito entre duas superfícies já era observado e utilizado por nossos antepassados da caverna, quando atritavam objetos tais como pedras e gravetos para gerar fogo.

Referência:

- **Halliday**, David; Resnick, Robert & Walker, Jearl. Fundamentos de Física, Vol 1. Cap. 06 da 6ª ou 7ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

# Força de atrito

**Leonardo da Vinci (1452 – 1519):**

um dos primeiros a reconhecer a importância do atrito no funcionamento das máquinas.

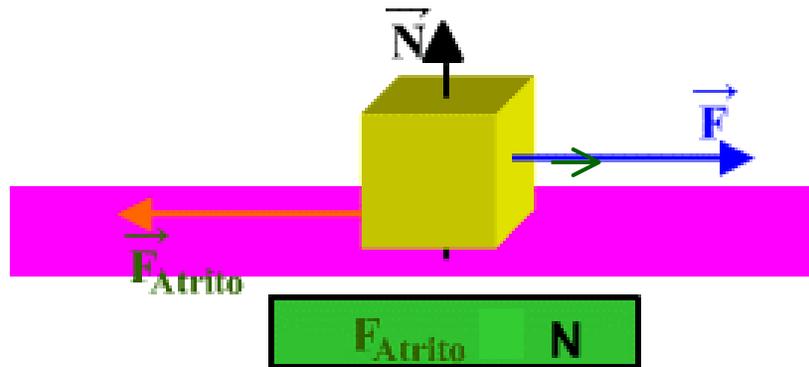


Leis de atrito de **da Vinci**:

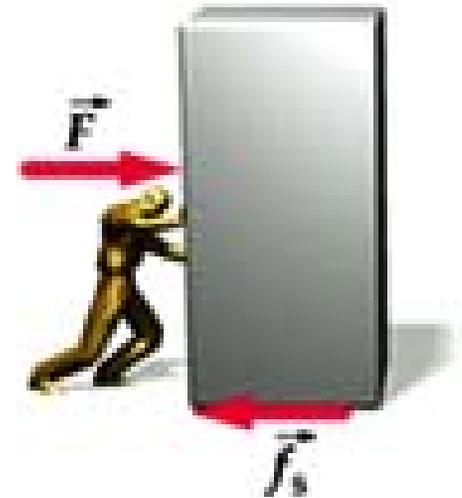
- 1) A área de contato não tem influência sobre o atrito.
- 2) Dobrando a carga de um objeto o atrito também é dobrado

# Força de atrito

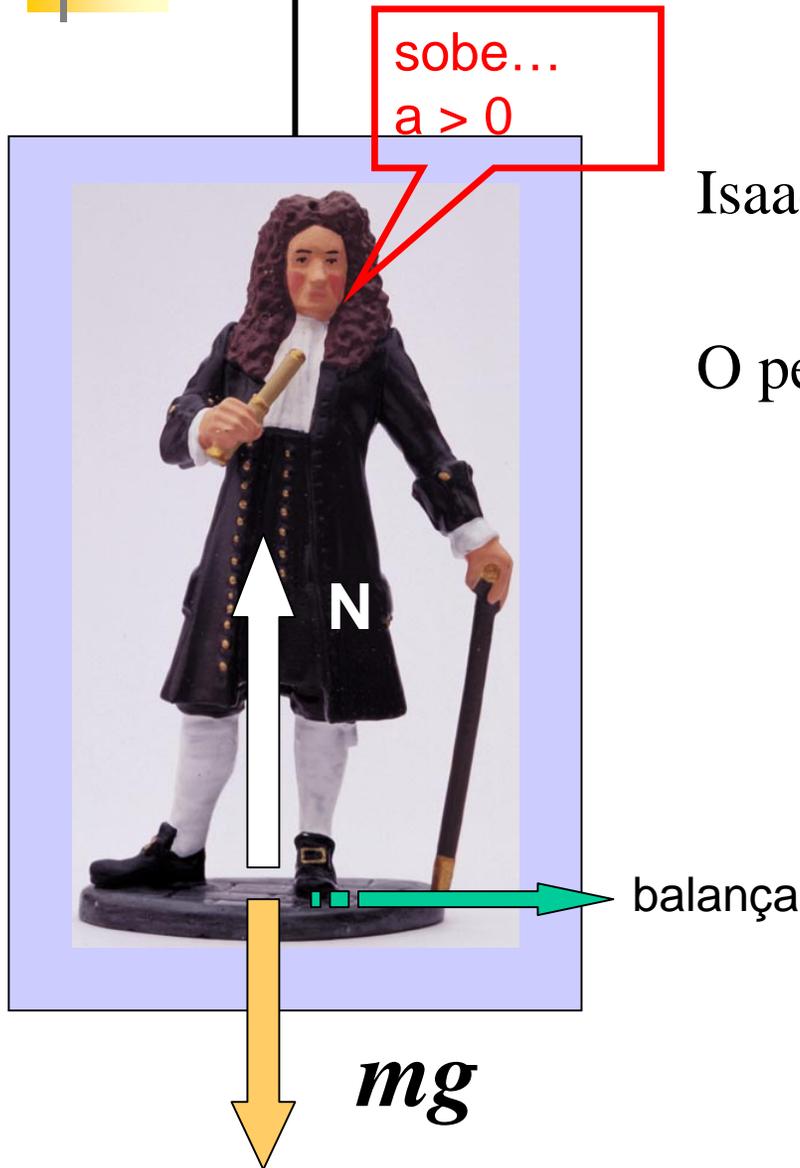
- 1) A força de atrito se opõe ao movimento de um bloco que desliza sobre um plano.



- 2) A força de atrito é proporcional à força normal que exerce o plano sobre o bloco.



# Forças normais



Isaac Newton dentro de um elevador sobre uma balança.

O peso aparente é dado pela força normal:  
**dinamômetro de banheiro!**

$$\vec{N} + m\vec{g} = m\vec{a}$$

$$\vec{a} = \mathbf{0} \rightarrow \vec{N} = m\vec{g}$$

$$\vec{a} > \mathbf{0} \rightarrow |\vec{N}| > |m\vec{g}|$$

$$\vec{a} < \mathbf{0} \rightarrow |\vec{N}| < |m\vec{g}|$$

# Força de atrito

Observações: 1º parte **SUPERFÍCIE + ÁSPERA.**

Os dois blocos ( $m_{B2} = m_{B1}$ ), são lançados sobre a superfície  $S_2$  (*mais áspera*), fazendo contato com a face de área X.



Este fato indica que: *Quanto mais ásperas são as superfícies de contato, maior será a força de atrito.*

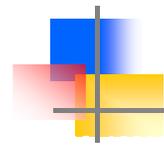
# Força de atrito

Observações: 2º parte  $\approx$  FORÇA NORMAL

Os dois blocos ( $m_{B2} > m_{B1}$ ), são lançados sobre a superfície S, fazendo contato com a face de área X.



Observe que o bloco mais leve ( $B_1$ ) percorre uma distância maior até parar, indicando que: *Quando maior a força normal sobre as superfícies de contato, maior será a força de atrito.*



# Força de atrito

Observações: 3º parte.

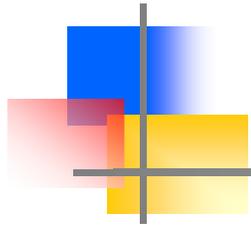
Nessa etapa do experimento, os dois blocos serão arrastados a partir do repouso sobre a superfície  $S_1$ .



*1) Quanto maior a força normal que um corpo exerce sobre uma superfície, maior a força necessária para colocá-lo em movimento.*

*2) Para mantermos as velocidades dos blocos constantes, é necessário diminuirmos significativamente as forças aplicadas nos dois blocos, quando comparada a situação estática.*

*Força atrito estático  $\neq$  Força atrito cinético.*

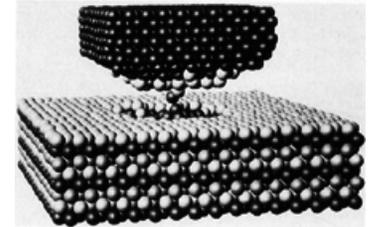
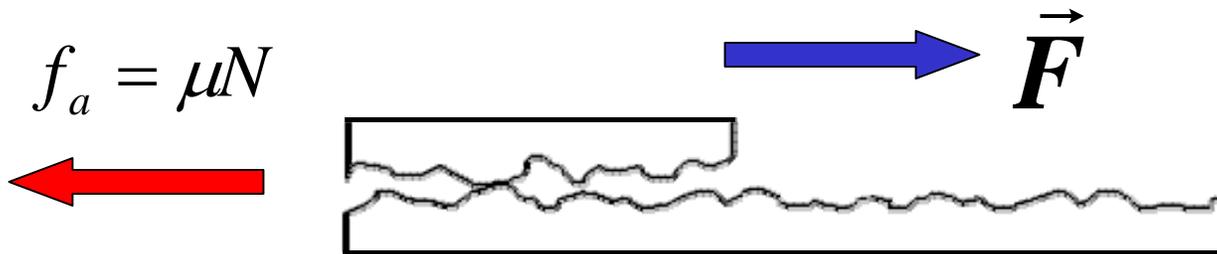


# Força de atrito: história

**Leonardo da Vinci** (1452 – 1519)

**Guillaume Amontons** (1663 – 1705): redescoberta das leis de da Vinci

 atrito é devido à rugosidade das superfícies



**Charles August Coulomb** (1736 – 1806): atrito proporcional à força normal e **independe da velocidade**.

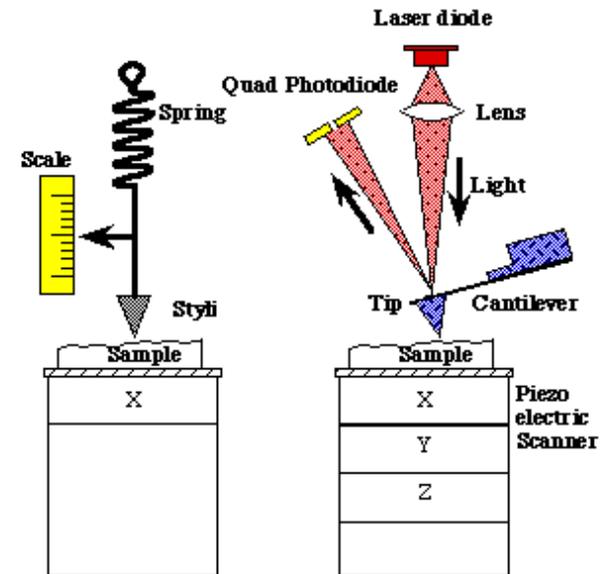
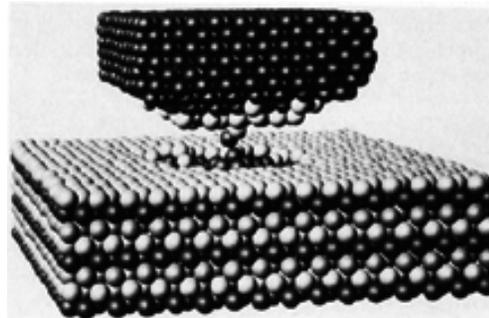
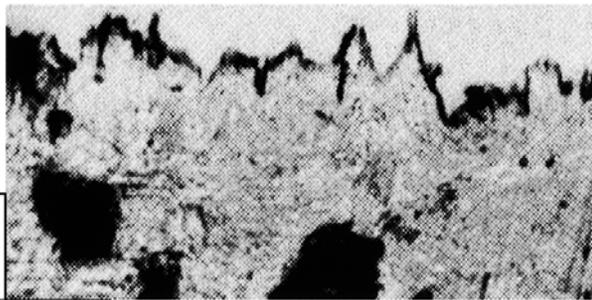
**Lei de Amontons-Coulomb:**  $f_a = \mu N$

# Força de atrito: história

**F. Philip Bowden e David Tabor (1950):**  
área real de contato é pequena!



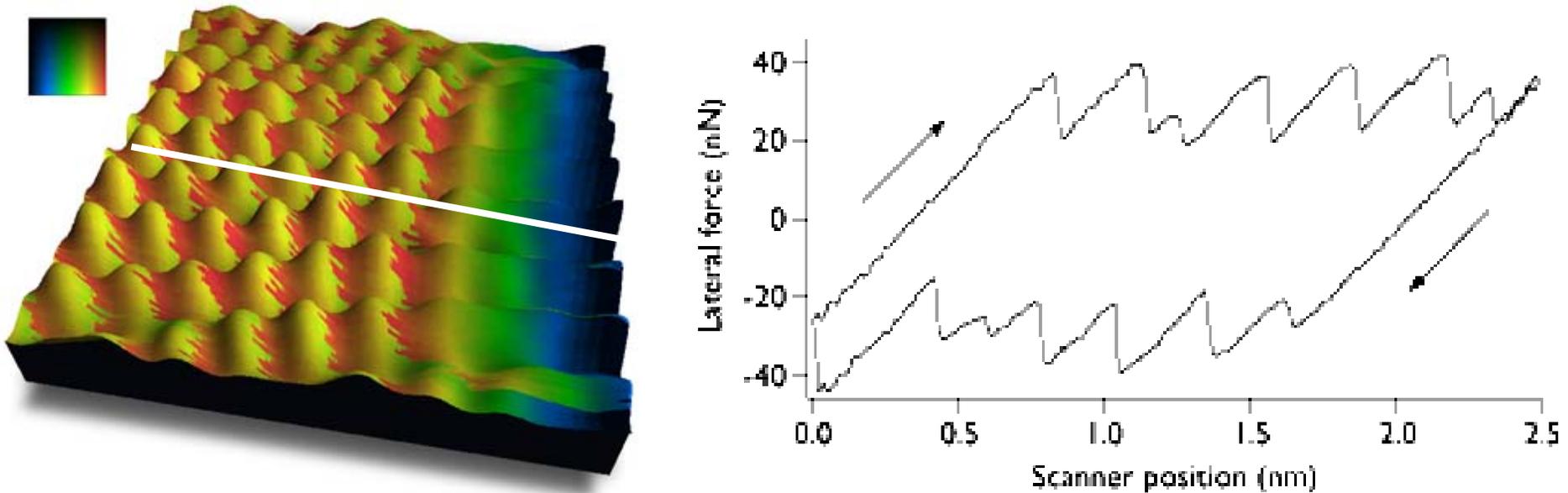
**Microscópio de Força Atômica (1986):**  
estudo em escala microscópica



Idea of Styli profilometer

Atomic Force Microscope

# Medida microscópica de forças de atrito

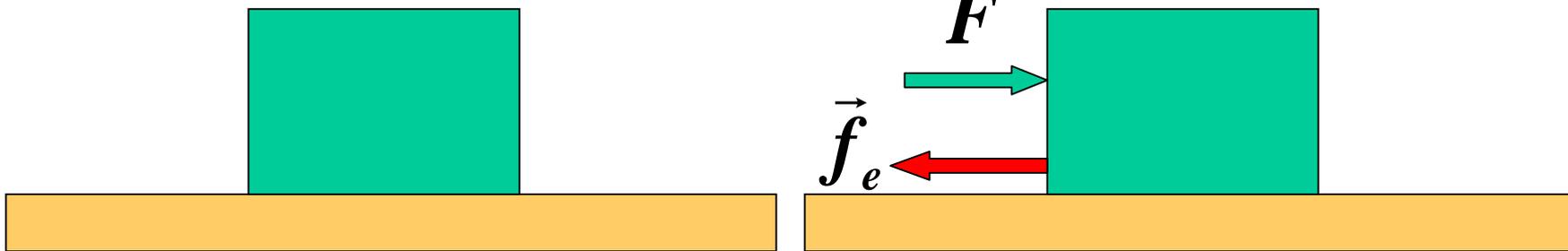


Imagens simultâneas de topografia e força de atrito para uma superfície de grafite. As corcovas representam as corrugações devidas aos átomos e a escala de cores representam as forças.

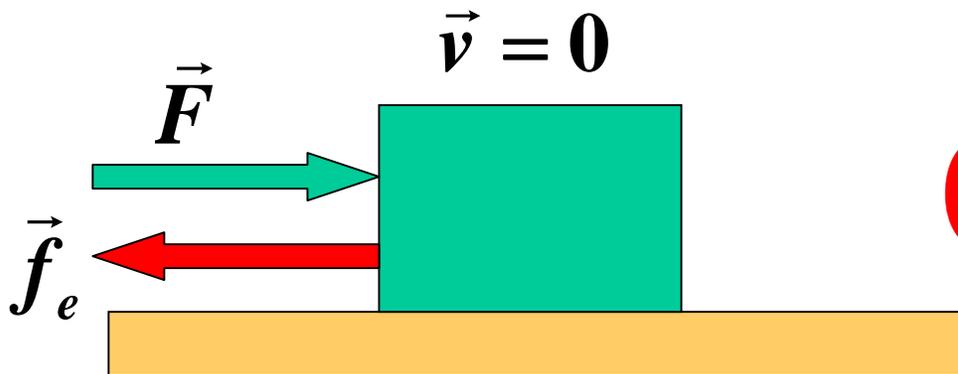
O gráfico representa um corte na figura. Observe a escala dos eixos!

# Atrito estático

Ausência de forças horizontais: repouso  $\vec{v} = \mathbf{0}$

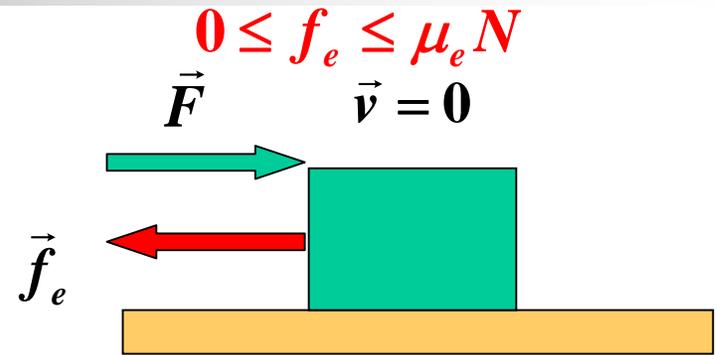
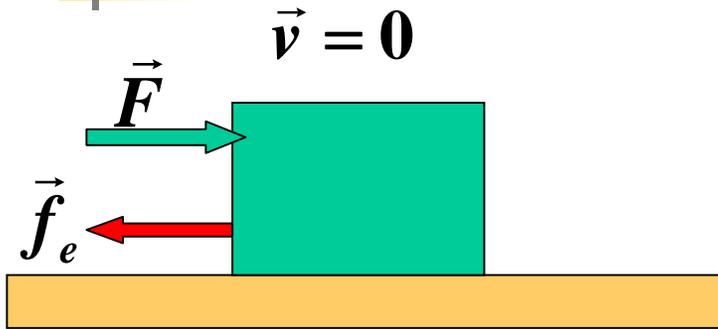


Força de atrito estático máxima



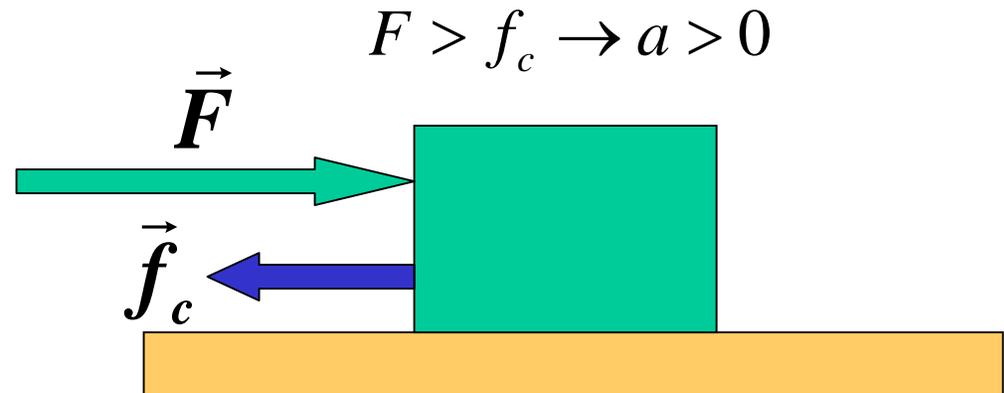
$$0 \leq f_e \leq \mu_e N$$

# Atrito Cinético ou Dinâmico



Após iniciado o movimento Força de atrito cinético

$$v \neq 0$$



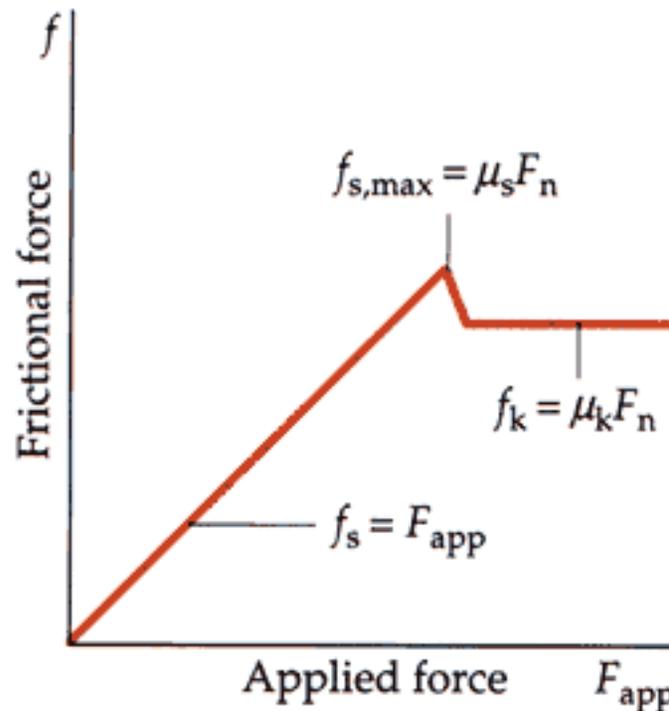
$$f_c = \mu_c N$$

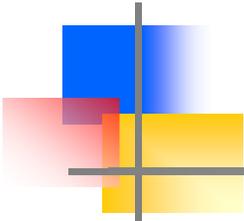
# Atritos estático e cinético

$$\mu_e > \mu_c$$

Os coeficientes de atrito dependem das **duas** superfícies envolvidas

O coeficiente de atrito cinético **independe da velocidade** relativa das Superfícies.

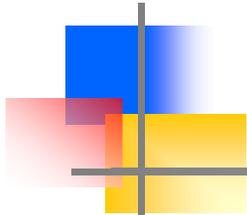




# Coeficientes de atrito

[www.physlink.com/Education/AskExperts](http://www.physlink.com/Education/AskExperts)

materiais	$\mu_e$	$\mu_c$
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
juntas de ossos	0.01	0.003



# Como medir forças de atrito: método do dinamômetro



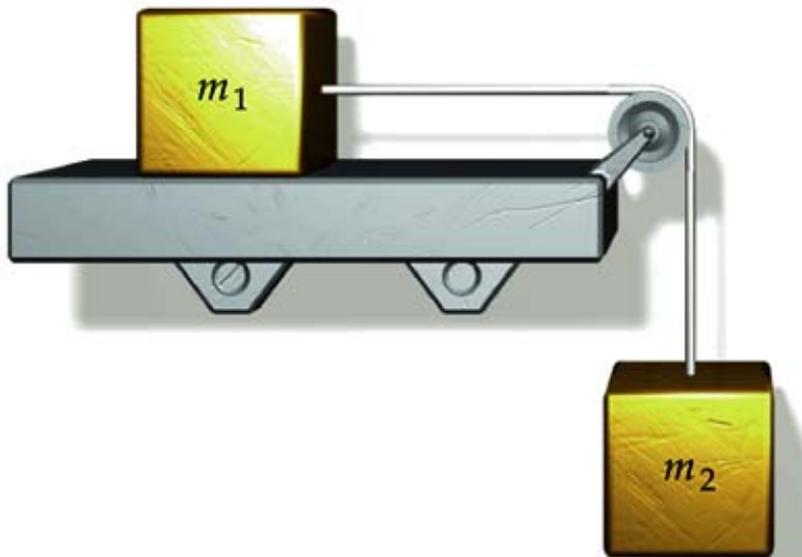
Limiar do movimento:

$$f_{mola} = \mu_e mg \quad \longrightarrow \quad \mu_e = \frac{f_{mola}}{mg}$$

**Exercício:** Considere que o bloco  $m_1 = 5 \text{ kg}$ , está em movimento sobre a mesa, o bloco  $m_2$  tem massa de  $m_2 = 10 \text{ kg}$ , sabendo que o coeficiente de atrito cinético entre o bloco  $m_1$  e a mesa é  $\mu_c = 0,25$ .

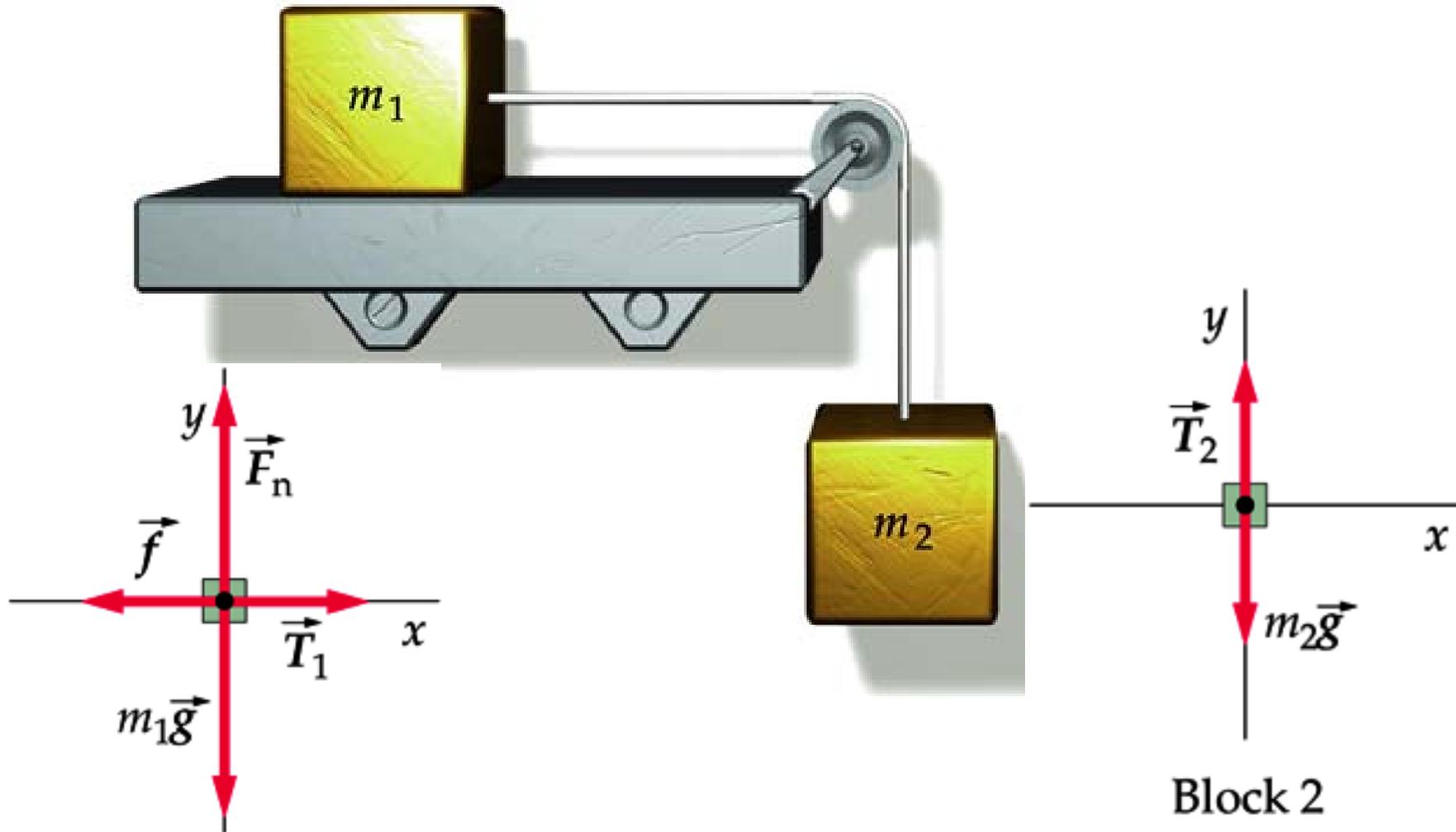
a) Qual a aceleração do sistema e qual a *tensão* na corda durante o movimento. (o atrito entre a corda e polia é desprezível).

b) Se por algum processo conseguirmos eliminar o atrito entre  $m_1$  e a mesa qual seria a aceleração dos blocos ?



$m_1 = 5 \text{ kg}$ ,  $m_2 = 10 \text{ kg}$ ,  $\mu_c = 0,25$ .

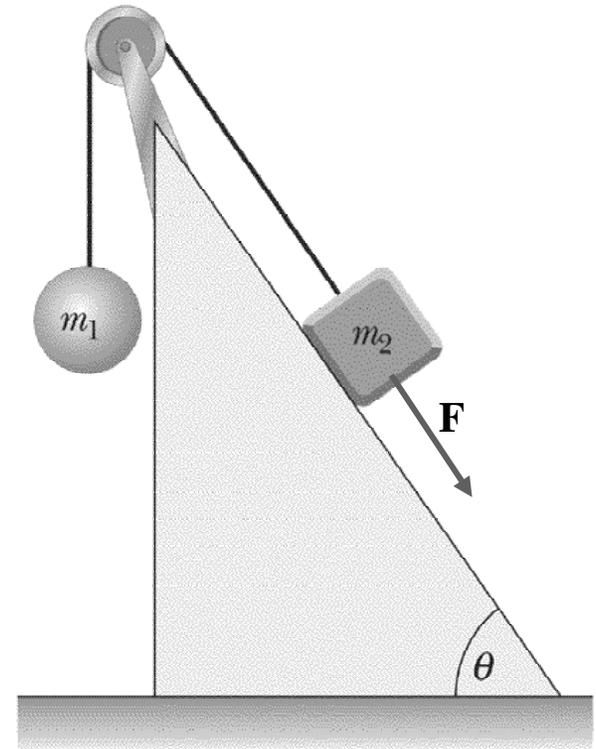
a) Qual a aceleração do sistema e qual a *tensão* na corda durante o movimento. (o atrito entre a corda e polia é desprezível).



**Exemplo:** Considere a figura abaixo onde a bola de chumbo possui massa  $m_1 = 5$  kg e o bloco massa de  $m_2 = 7$  kg uma força  $F = 60$  N é aplicada a  $m_2$  paralela ao plano inclinado cujo ângulo é  $\theta = 63^\circ$ . A força  $F$  puxa o corpo  $m_2$  para baixo. Entre o corpo  $m_2$  e o plano inclinado existe atrito com  $\mu_k = 0,25$ .

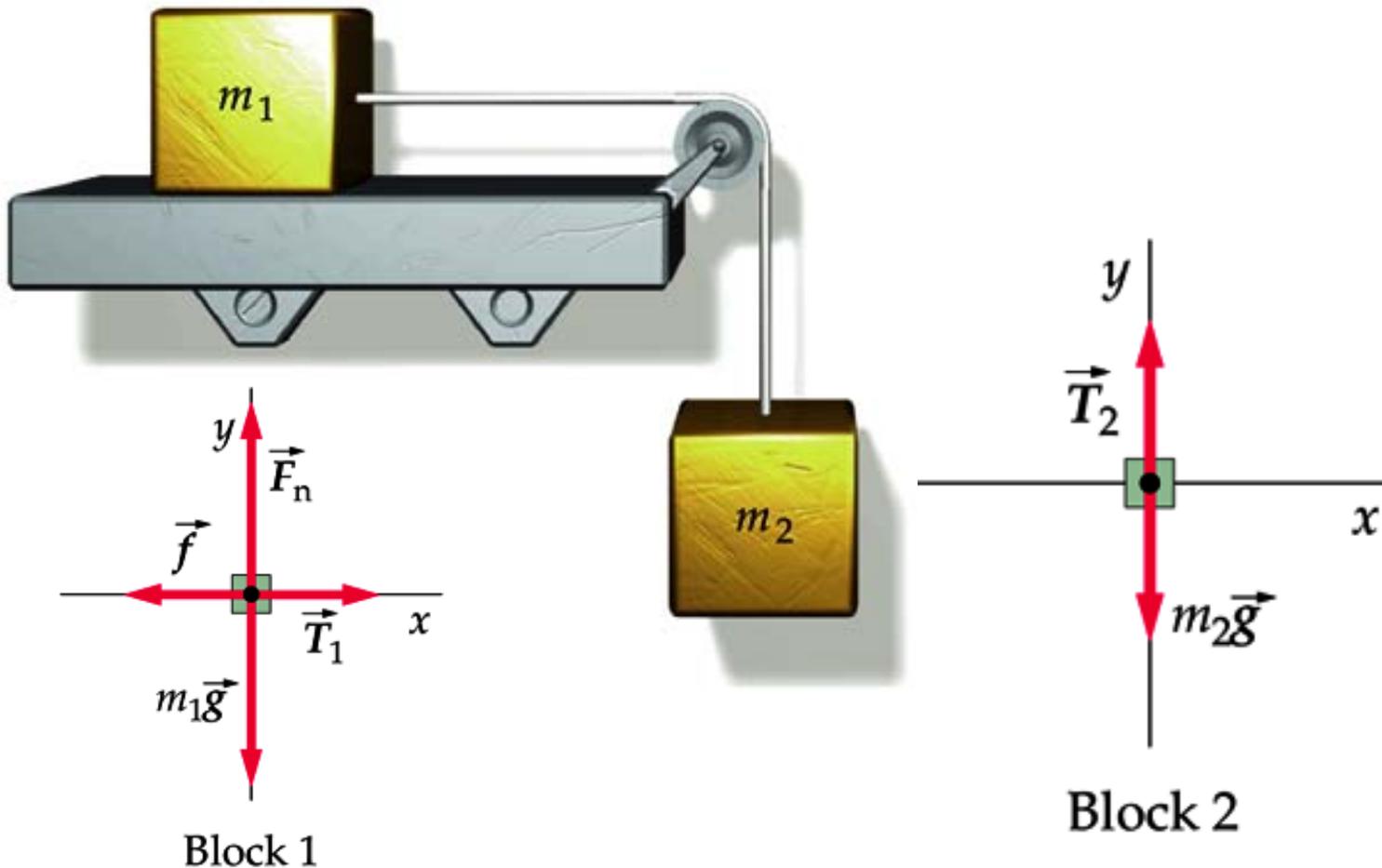
Determine:

- Qual a força de atrito entre  $m_2$  e o plano inclinado?
- A aceleração do sistema.
- A tensão na corda que une  $m_1$  e  $m_2$ .



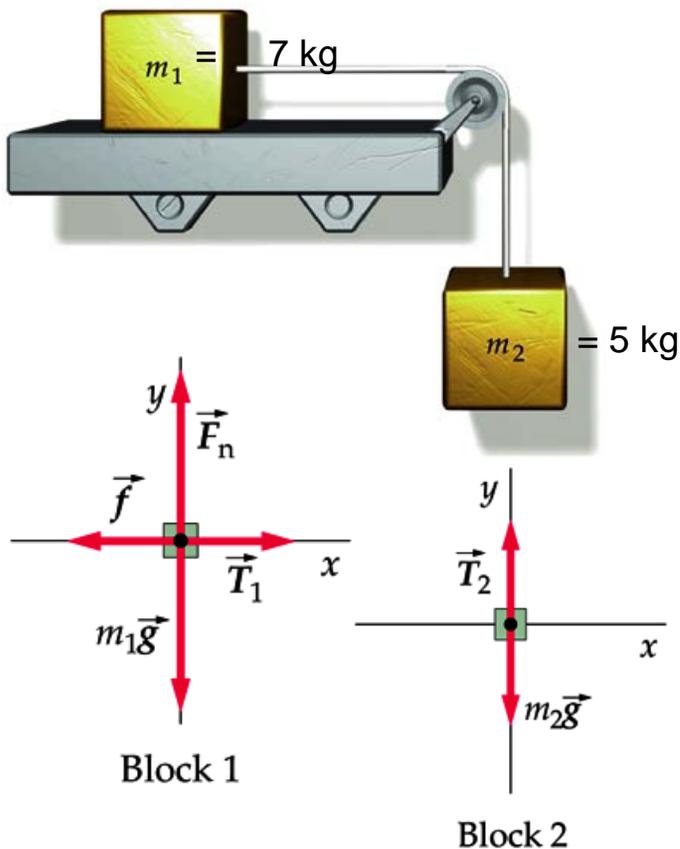
## Exemplo:

A massa  $m_2$  da figura abaixo foi escolhida de modo que o bloco de massa  $m_1$  está prestes a escorregar. Se  $m_1 = 7 \text{ kg}$  e  $m_2 = 5 \text{ kg}$ , qual o coeficiente de atrito estático entre a superfície da prateleira e o bloco



### Exemplo:

A massa  $m_2$  da figura abaixo foi escolhida de modo que o bloco de massa  $m_1$  está prestes a escorregar. Se  $m_1 = 7 \text{ kg}$  e  $m_2 = 5 \text{ kg}$ , qual o coeficiente de atrito estático entre a superfície da prateleira e o bloco



$$\sum F_x = ma_{1x}, \quad T - f = 0$$

$$\sum F_y = ma_{1y}, \quad F_n - m_1g = 0$$

$$\sum F_y = ma_{2y}, \quad m_2g - T = 0$$

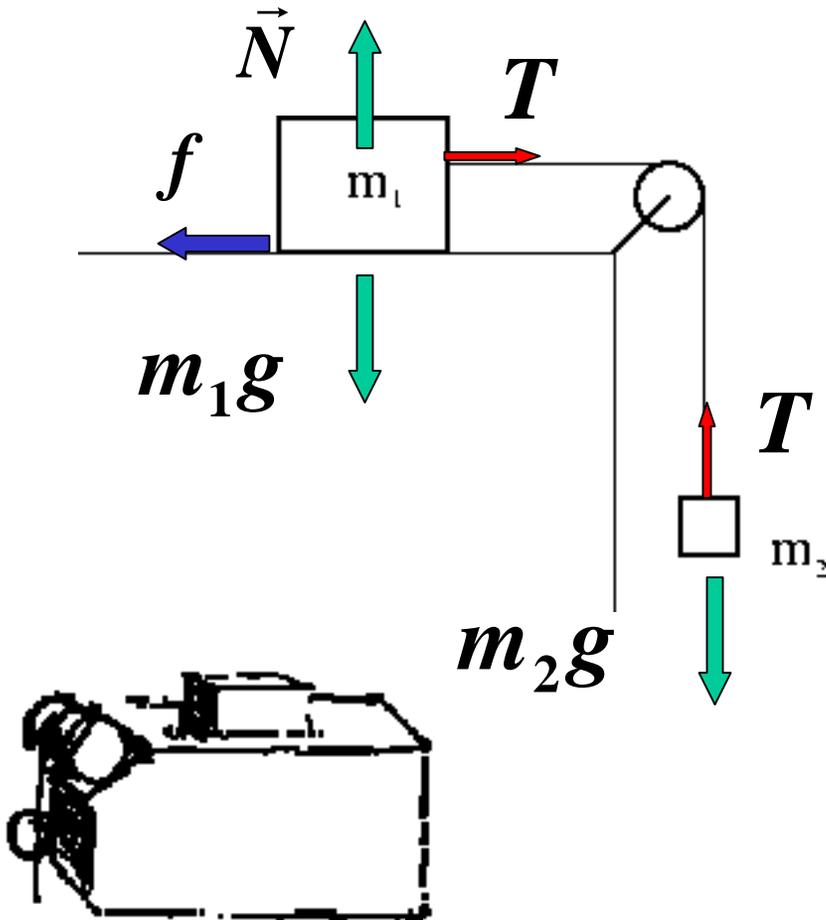
$$f = m_2g$$

$$f = \mu_s F_n = \mu_s m_1g$$

$$f = m_2g = \mu_s m_1g$$

$$\mu_s = \frac{m_2}{m_1} = 0.714$$

# Como medir forças de atrito: O problema dos blocos...



$$N = m_1 g$$

$$m_2 g - \mu m_1 g = (m_1 + m_2) a$$

$$a = \frac{m_2 - \mu m_1}{m_1 + m_2} g$$

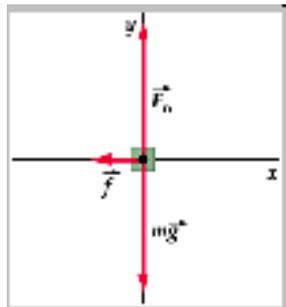
Medida do coeficiente de atrito estático:  
*limiar do movimento*,  $a=0$

$$\mu_e = \frac{m_2}{m_1}$$

## Exemplo:

Uma caneca de chope, de 0,45 kg, escorrega horizontalmente sobre o balcão de um bar com velocidade inicial de 3,5 m/s. A caneca fica em repouso depois de escorregar 2,8 m.

Calcular o coeficiente de atrito cinético.



$$\sum F_y = ma_y, \quad F_n - mg = 0$$

$$\sum F_x = ma_x, \quad -f_1 = ma_x$$

$$f_1 = \mu_1 F_n = \mu_1 mg = -ma_x$$

$$\mu_1 = \frac{-a_x}{g}$$

$$v^2 = v_0^2 + 2a_x \Delta x = 0$$

$$a_x = -\frac{v_0^2}{2\Delta x} = -\frac{(3.5 \text{ m/s})^2}{2(2.8 \text{ m})} = -2.19 \text{ m/s}^2$$

$$\mu_k = -\frac{a_x}{g} = -\frac{-2.19 \text{ m/s}^2}{9.81 \text{ m/s}^2} = 0.223$$