

# AL 1.2 - ATRITO ESTÁTICO E ATRITO CINÉTICO

Autora: Fernanda Neri

TI-Nspire™

## Palavras-chave:

Forças; Massa; Posição; Velocidade; Aceleração; Força de atrito; Coeficiente de atrito

## Ficheiros associados:

Atrito estático e atrito cinético\_atividade\_professor; Atrito estático e atrito cinético força\_atividade\_aluno; Atrito estático e atrito cinético movimento\_atividade\_aluno; Atrito estático e atrito cinético Photogate\_atividade\_aluno; Atrito estático e atrito cinético spulley\_atividade\_aluno; atrito gate.tns; força.tns e polia.tns;

## 1. Objetivo Geral

Concluir que as forças de atrito entre sólidos dependem dos materiais das superfícies em contacto, mas não da área (aparente) dessas superfícies; obter os coeficientes de atrito estático e cinético de um par de superfícies em contacto.

## 2. Metas Específicas

1. Investigar a dependência da força de atrito estático com a área da superfície de contacto, para o mesmo corpo e material da superfície de apoio, concluindo que são independentes.
2. Concluir que a força de atrito estático depende dos materiais das superfícies em contacto, para o mesmo corpo e a mesma área das superfícies de contacto.
3. Determinar os coeficientes de atrito estático e cinético para um par de materiais.
4. Comparar os coeficientes de atrito estático e cinético para o mesmo par de materiais.
5. Avaliar os resultados experimentais confrontando-os com as leis do atrito.
6. Justificar por que é mais fácil manter um corpo em movimento do que retirá-lo do repouso.

## 3. Comentários

Para rentabilizar o tempo cada grupo pode executar um procedimento diferente e depois explicar o seu trabalho em plenário. Os documentos “\*.tns” são registos de dados de atividades experimentais efetuadas.

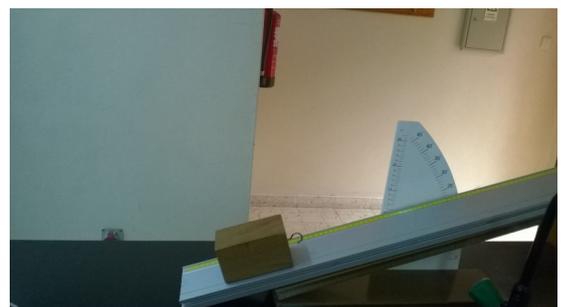
## A - Determinação do atrito estático sem sensores

### 4. A Material

Bloco com superfícies de contacto diferentes

Bloco com áreas de contacto diferentes

Plano inclinado



Este trabalho é licenciado sob a Licença Internacional Creative Commons Attribution—NonCommercial 4.0.

Para ver uma cópia desta licença, visite <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

## 5. A Procedimento

1. Meça a massa do bloco ( $m_A$ ) e registe numa tabela os dados.
2. Coloque o bloco no plano inclinado e vá aumentando o ângulo até que fique na iminência de deslizar.
3. Repita o procedimento utilizando superfícies com diferentes tipos de materiais.
4. Use um bloco com lados de áreas diferentes e repita o passo 2.

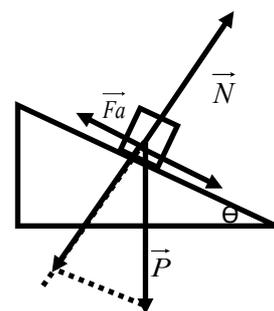
## 6. A Resultados

Preencha a tabela seguinte:

ângulo	Bloco1 $m_A = \underline{\hspace{2cm}}$												Bloco2 $m_A = \underline{\hspace{2cm}}$					
	Área de contacto (AC) : $\underline{\hspace{2cm}}$												AC: $\underline{\hspace{2cm}}$					
	madeira			plástico			cortiça			tecido								
	$F_a$	N	$\mu_e$	$F_a$	N	$\mu_e$	$F_a$	N	$\mu_e$	$F_a$	N	$\mu_e$	$F_a$	N	$\mu_e$	$F_a$	N	$\mu_e$

Quando colocamos um corpo sobre uma rampa e ele se mantém em repouso é porque a superfície de apoio exerce sobre ele uma força de atrito estático que impede o seu movimento.

Se inclinarmos a rampa até à eminência deste começar a descer essa força de atrito estático tem o valor máximo.



$$\begin{cases} \sum F_x = P_x - F_{ae\max} \\ \sum F_y = P_y - N \end{cases} \begin{cases} 0 = m g \sin\theta_{\max} - F_{ae\max} \\ 0 = m g \cos\theta_{\max} - N \end{cases} \begin{cases} F_a = m g \sin\theta_{\max} \\ N = m g \cos\theta_{\max} \end{cases}$$

Como  $\mu_e = \frac{F_{ae\max}}{N}$  então  $\mu_e = \operatorname{tg} \theta_{\max}$

## B - Determinação dos coeficientes de atrito estático e atrito cinético com sensor de força

### 4. B Material

Unidade portátil TI-Nspire CX

Lab Cradle

Sensor de força

Fio

Blocos com gancho

Massas marcadas



### 5. B Procedimento

Meça a massa dos blocos e registre numa tabela os dados.

Coloque a unidade portátil no Lab Cradle.

Ligue o sensor de força a um dos canais analógicos do Lab Cradle.

Abra a aplicação Vernier DataQuest 

Antes de iniciar a atividade deve colocar o sensor a zero.

Para isso coloque o cursor sobre o campo do sensor e faça “Enter” e deslocando o cursor com a tecla **[tab]** prima sobre zero ou **[menu]** **[1]**: Experiência **[9]**: Configurar sensores.

Prenda uma extremidade de um fio ao gancho do sensor de força e a outra extremidade ao gancho do bloco de madeira.

No máximo coloque um total de 1 kg de massa em cima do bloco, preso de modo a que as massas não se possam deslocar.

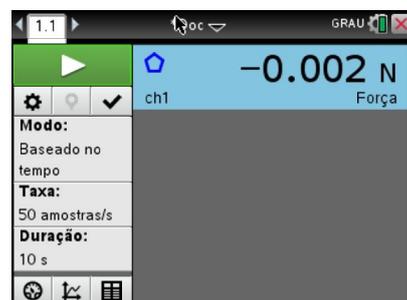
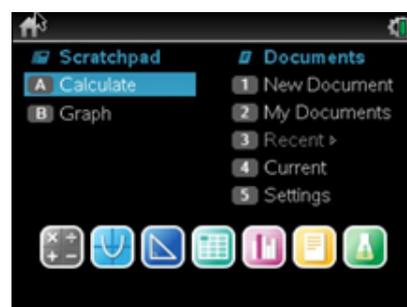
Inicie a experiência premindo a seta verde 

Num movimento em linha reta, puxe com pouca força e muito gradualmente aumente a força, durante cerca de um segundo até que o bloco comece a deslizar. Mantenha o bloco a mover-se a uma velocidade constante durante cerca de um segundo.

Repetir o procedimento pelo menos 3 vezes.

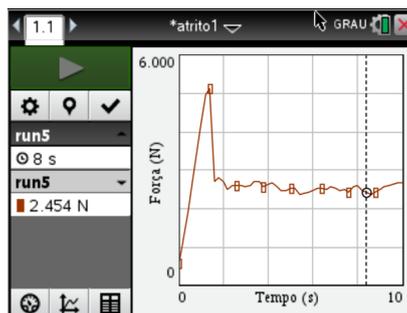
Faça o mesmo para superfícies com materiais diferentes.

Repita usando um bloco com áreas de contacto diferentes mas o mesmo material.



### 6. B Resultados

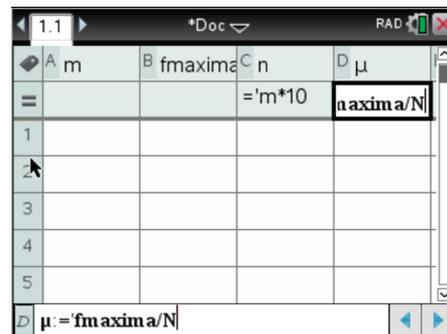
A partir dos gráficos obtidos  $f = f(t)$ , registre na tabela que construiu as intensidades da força de atrito estático máxima e a força de atrito cinético correspondente a cada ensaio.



## 7. B Cálculos e tratamento de resultados

Na página Listas e Folhas de Cálculo  contrua a tabela ao lado

Onde  $N = m g$  e  $\mu_e = \frac{F_{ae\ max}}{N}$   $\mu_c = \frac{F_{ac}}{N}$



	A m	B fmaxima	C n	D μ
=			=m*10	fmaxima/N
1				
2				
3				
4				
5				

## C - Determinação do coeficiente de atrito cinético com Smart-Pulley

### 4. C Material

Unidade portátil TI-Nspire CX

Lab Cradle

Photogate com smart pulley

Fio

Blocos com gancho

Massas marcadas

### 5. C Procedimento

Meça a massa dos blocos ( $m_A$ ) e registe numa tabela os dados.

Coloque a unidade portátil no Lab Cradle.

Ligue a célula a um dos canais digitais do Lab Cradle.

Abra a aplicação Vernier DataQuest 

Monte a roldana na Photogate como está na figura ao lado prendendo o bloco ao corpo de massa  $m_B$

Por defeito ao ligar a fotogate aparece a aplicação PicketFence

Prima sobre o campo **tempo** e seleccione **Tempo de movimento - Polia (10 raios)- OK**

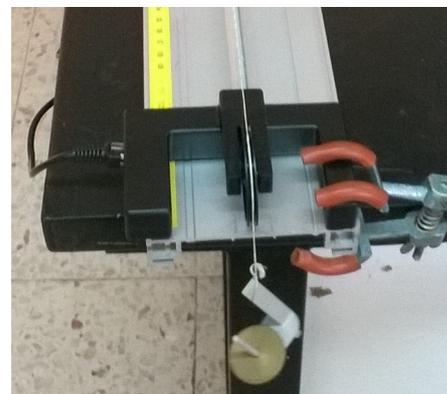
Inicie a experiência premindo a seta verde 

Solte o corpo B.

Repita o procedimento pelo menos 3 vezes.

Mude a área de contacto e repita o procedimento.

Faça o mesmo usando o mesmo bloco com a mesma área de contacto mas com superfícies diferentes.



## 6. C Resultados

Numa tabela registe a massa de cada bloco ( $m_A$ ), a aceleração ( $a$ ) e a massa do corpo suspenso ( $m_B$ ).

Para melhor utilizar as potencialidades da calculadora, abra a aplicação Listas e Folhas de Cálculo

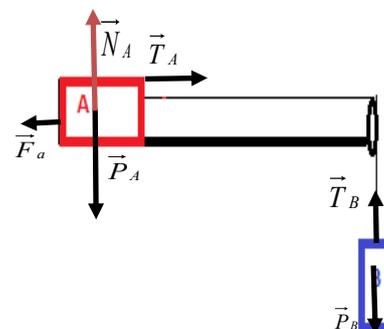
   4). Listas e Folha de Cálculo

$m_B/(g)$	Bloco1 $m_A=$ _____												Bloco2 $m_A=$ _____						
	Área de contacto (AC) : _____																		
	madeira			plastico			cortiça			tecido			AC: _____			AC: _____			
	a ( $ms^{-2}$ )	$F_{ac}$ (N)	$\mu_c$	a ( $ms^{-2}$ )	$F_{ac}$ (N)	$\mu_c$	a ( $ms^{-2}$ )	$F_{ac}$ (N)	$\mu_c$	a ( $ms^{-2}$ )	$F_{ac}$ (N)	$\mu_c$	a ( $ms^{-2}$ )	$F_{ac}$ (N)	$\mu_c$	a ( $ms^{-2}$ )	$F_{ac}$ (N)	$\mu_c$	

$$\begin{cases} \sum F_A = T_A - F_{ac} \\ \sum F_B = P_B - T_B \end{cases}$$

Como  $T_A = T_B = T$

$$\begin{cases} T - F_{ac} = m_A a \\ P_B - T = m_B a \end{cases}$$



$$\begin{cases} T = m_A a + F_{ac} \\ m_B g - m_A a - F_{ac} = m_B a \end{cases}$$

$$m_B g - F_{ac} = (m_B + m_A) a$$

Pelo que  $F_{ac} = m_B g - (m_B + m_A) a$

$$\text{Como } \begin{cases} \mu_c = \frac{F_{ac}}{N} \\ N_A = m_A g \end{cases}$$

então

$$\mu_c = \frac{m_B g - (m_B + m_A) a}{m_A g}$$

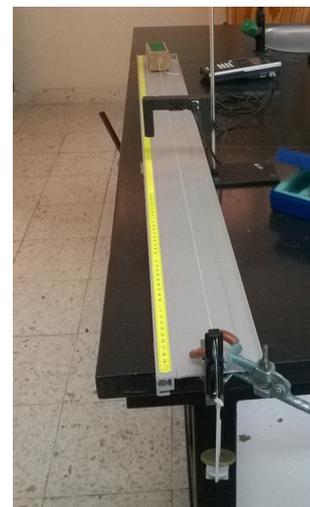
Nota: o valor da aceleração é obtido pela recolha de dados tal como mostra a tabela ao lado, devendo fazer-se a média dos valores obtidos.

run	B2B	Dist	V	Acc
5	0.07310	0.0150	0.238	0.900
6	---	---	---	---
7	0.05690	0.0300	0.293	1.02
8	---	---	---	---
9	0.04740	0.0450	0.340	0.989
10	---	---	---	---
11	0.04160	0.0600	0.382	1.02
12	---	---	---	---
13	0.03740	0.0750	0.417	0.862

# D - Determinação do coeficiente de atrito cinético com Photogate

## 4.D Material

- Unidade portátil TI-Nspire CX
- Lab Cradle
- Photogate
- Fio
- Blocos com gancho
- Massas marcadas



## 5.D Procedimento

Coloque a unidade portátil no Lab Cradle

Ligue a célula a um dos canais digitais do Lab Cradle

Abra a aplicação Vernier DataQuest

Este sensor normalmente não é reconhecido de imediato então deve proceder do seguinte modo:

→ 1: Experiência → A: Configuração avançada → 3: Configurar sensor

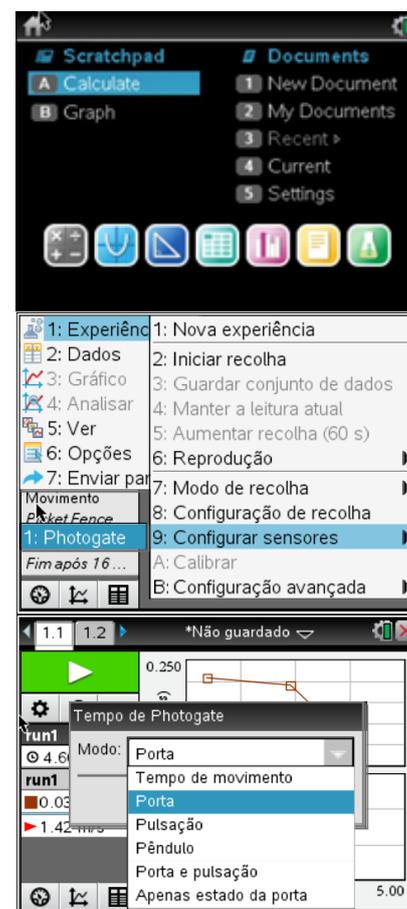
→ selecione o canal onde tem o sensor ligado.

Procure o sensor Photogate.

Como, por defeito aparece selecionada a aplicação Picket Fence, terá de escolher o que lhe interessa. Para esta experiência seleccione “Porta”.

→ 1: Experiência → 8: Configuração de Recolha → Porta

Registe a largura (**d**) da fita de cartolina colocada sobre o bloco e saberá a velocidade com que o bloco passa na célula.  $v = \frac{d}{\Delta t}$



Meça  $\Delta x$  (distância desde o início do movimento até à célula) para calcular a aceleração a partir das leis do movimento.

Monte a roldana na calha como indicado na figura ao lado prendendo o bloco ao corpo de massa  $m_B$

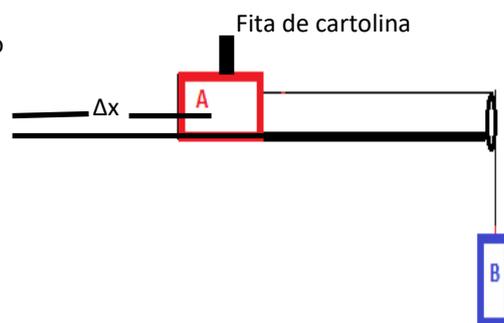
Inicie a experiência premindo a seta verde

Solte o corpo **B**.

Repita o procedimento para cada bloco pelo menos 3 vezes

Repita o procedimento usando um bloco com superfícies de materiais diferentes.

Proceda de igual modo para um bloco com lados de áreas diferentes.



## 6. D Resultados

Numa tabela registe a massa de cada bloco ( $m_A$ ), a aceleração ( $a$ ) e a massa do corpo suspenso ( $m_B$ ).

Como parte do repouso e da posição  $x_0 = 0$  e  $v_0 = 0$  pelo que  $v = at$  e  $x = \frac{1}{2}at^2$

O tempo em que a célula esteve bloqueada B2U permite-nos calcular o valor da velocidade e assim calcular o valor da aceleração através da expressão deduzida a partir das anteriores.  $v^2 = 2ax$

	B2U	Velocidade	P
run1	0.105	1.05	
Tempo (s)	---	---	---
Estado da p...	0.0943	1.17	
Block to Un...	---	---	---
Velocidade (...)	0.0919	1.20	
Posição (m)	0.0886	1.24	

$m_B/(g)$	Bloco1 $m_A = \underline{\hspace{2cm}}$												Bloco2 $m_A = \underline{\hspace{2cm}}$					
	Área de contacto (AC) : $\underline{\hspace{2cm}}$																	
	madeira			plastico			cortiça			tecido			AC: $\underline{\hspace{2cm}}$			AC: $\underline{\hspace{2cm}}$		
	a ( $ms^{-2}$ )	$F_{ac}$ (N)	$\mu_c$	a ( $ms^{-2}$ )	$F_{ac}$ (N)	$\mu_c$	a ( $ms^{-2}$ )	$F_{ac}$ (N)	$\mu_c$	a ( $ms^{-2}$ )	$F_{ac}$ (N)	$\mu_c$	a ( $ms^{-2}$ )	$F_{ac}$ (N)	$\mu_c$	a ( $ms^{-2}$ )	$F_{ac}$ (N)	$\mu_c$

## E - Determinação do coeficiente de atrito cinético com sensor de posição

### 4.E Material

Unidade portátil TI-Nspire CX

CBR-2

Fio

Blocos com gancho

Massas marcadas



### 5. E Procedimento

Coloque a unidade portátil no Lab Cradle.

Ligue o CBR à calculadora.

Abra a aplicação Vernier DataQuest

Monte a roldana na calha como está na figura ao lado, prendendo o bloco ao corpo de massa  $m_A$

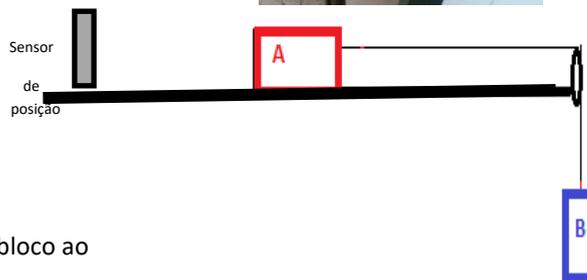
Inicie a experiência premindo a seta verde

Solte o corpo B.

Repita o procedimento para cada bloco pelo menos 3 vezes.

Repita o procedimento para blocos com superfícies de materiais diferentes.

Faça o mesmo usando um bloco com lados de áreas diferentes.



## 6. E Resultados

O gráfico obtido na calculadora é  $x = f(t)$

Transfira os dados para Listas e Folhas de Cálculo e numa outra coluna calcule o quadrado da variável  $t$ .

Trace o gráfico de  $x = f(t^2)$ , para isso abra uma página de Dados e Estatística 

A partir da expressão  $x = \frac{1}{2}at^2$  podemos constatar que o declive do gráfico é metade do módulo da aceleração.

Tendo o valor da aceleração podemos calcular o valor de  $\mu_c$  usando a expressão  $\mu_c = \frac{m_B g - (m_B + m_A)a}{m_A g}$  e posteriormente calcular a força de atrito cinético  $F_{ac} = \mu_c m_A g$

## 8. Conclusões

A força de atrito depende do tipo de superfície em contacto e da força com que o corpo é comprimido contra o plano ( $N$ — ou módulo da força normal). No plano inclinado essa força é tanto menor quanto maior for a inclinação ( $N = P \cos \theta$ ).

Nesta experiência podemos constatar que há mais do que um método experimental para determinar o coeficiente de atrito quer estático quer cinético.

Em todas as atividades experimentais os alunos verificarão que para a mesma superfície de contacto será mais fácil empurrar um objeto em movimento do que quando parado pois a força de atrito cinético é menor que a força de atrito estático.

