

---

## SEM QUEBRAR AS TAÇAS!!

---

*CADERNO CATARINENSE DE ENSINO DE ENSINO DE FÍSICA*, 12(2): 152-156, 1995.  
*CADERNO BRASILEIRO DE ENSINO DE ENSINO DE FÍSICA*, 21 Ed. Especial: 64-68, 2004.

*Fernando Lang da Silveira*  
Instituto de Física – UFRGS  
Porto Alegre – RS

### **Resumo**

*Uma ripa de madeira, apoiada sobre duas taças, pode ser partida, sem quebrar as taças, com uma forte pancada. A demonstração deste surpreendente efeito em sala de aula, seguida de sua explicação, conduz ao aprofundamento teórico de conceitos físicos, em especial daqueles relacionados à dinâmica das rotações.*

**Palavras-chave:** *experimento contra-intuitivo, eixo instantâneo de rotação, dinâmica das rotações.*

### **I. Introdução**

É possível, sem quebrar as taças, partir uma ripa de madeira sobre taças de vinho?

A resposta é positiva e você pode facilmente realizar tal façanha. Em primeiro lugar mostraremos como realizá-la e em seguida daremos uma explicação.

### **II. Realizando a façanha**

Tome uma ripa de madeira de 40 cm ou mais de comprimento. Se ela for de pinho pode ter 1 cm de espessura. Se for de madeira aglomerada pode ser mais grossa. Apóie a ripa pelas extremidades sobre as duas taças conforme a Fig. 1 (caso tenha receio de realizar a façanha com as taças, teste com dois copos de vidro comuns ou descartáveis de plástico).



*Fig. 1 –Ripa deitada sobre as taças.*

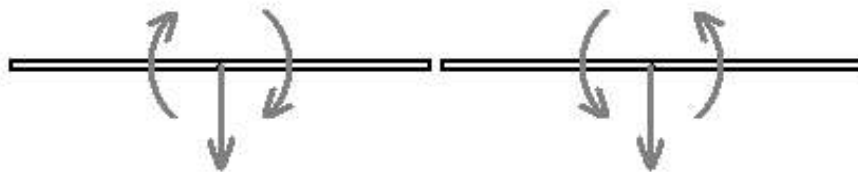
Uma barra de madeira resistente (ou até de metal) com cerca de 1 m de comprimento será utilizada para golpear violentamente a ripa de madeira em sua região mediana. O golpe deve ser muito forte!!

### **III. A explicação da façanha**

O golpe violento na ripa produzirá uma força muito grande na região mediana da ripa. Se a situação fosse estática, teríamos cerca da metade dessa força aplicada a cada taça, e conseqüentemente, seriam quebradas.

Na verdade essa força intensa atuará na região mediana da ripa por um breve intervalo de tempo, durante o qual ainda não há qualquer esforço sobre as taças. Aplicada uma força na região mediana da ripa, os esforços sobre as extremidades acontecerão depois de algum tempo (o tempo que uma onda mecânica se propagando na ripa leva para percorrer a distância que separa o local do impacto das extremidades apoiadas). Ou seja, antes de haver esforço sobre as taças a ripa já está rompida, constituindo-se então dois corpos independentes.

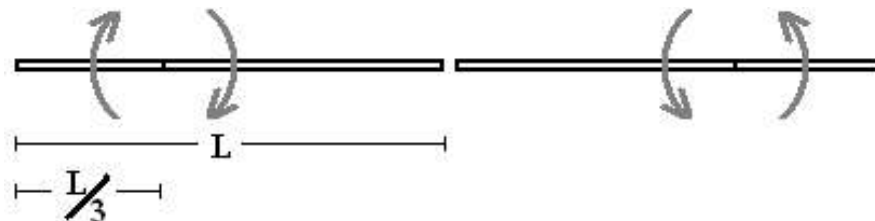
O golpe transferirá para cada pedaço da ripa uma grande quantidade de movimento linear e angular. Ou seja, cada parte da ripa terá em seguida ao golpe o seu centro de massa se deslocando para baixo com grande velocidade, Concomitantemente o pedaço girará com grande velocidade angular em torno do centro de massa (vide a Fig. 2).



*Fig. 2 – Translação do centro de massa e rotação em torno do centro de massa de cada pedaço.*

A superposição da translação de cada pedaço com a rotação em torno do centro de massa determinará que ele gire instantaneamente em torno de um

eixo (eixo instantâneo de rotação) situado a cerca de um terço do comprimento da extremidade apoiada na taça (vide a Fig. 3). Desta forma, instantaneamente, o movimento é uma rotação pura em torno do eixo instantâneo e a extremidade apoiada na taça está subindo, se afastando da taça.



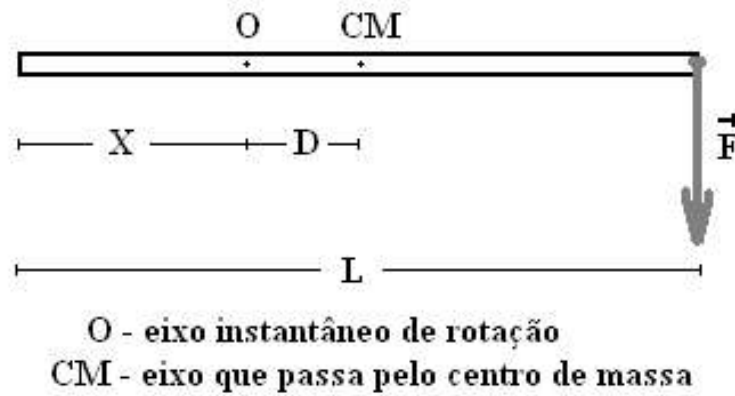
*Fig. 3 Rotação para cada pedaço em torno do eixo instantâneo.*

Você também pode realizar este experimento suspendendo a ripa pelas extremidades em duas alças de papel higiênico. Verá então que as alças de papel não são rasgadas.

Temos utilizado este experimento em disciplinas de Física Geral. Ele serve para exemplificar concretamente a existência de um eixo instantâneo de rotação – quando o movimento de um corpo é descrito como uma rotação em torno de um eixo com translação desse mesmo eixo – facilitando dessa forma o entendimento de um conceito muitas vezes incompreensível para os alunos. Concluiremos este trabalho apresentando uma demonstração sobre a localização do eixo instantâneo de rotação.

#### **IV. Localizando o eixo instantâneo de rotação**

A barra da Fig. 4 representa um dos pedaços da ripa, sob a ação de uma força percussora  $\vec{F}$  aplicada a uma de suas extremidades. Como a força percussora  $\vec{F}$  produzida pela pancada é muito maior do que quaisquer outras forças que estejam aplicadas à barra, podemos considerá-la como a força resultante na barra durante o pequeno intervalo de tempo que dura a pancada.



*Fig. 4 – Força sobre um dos pedaços da barra durante a pancada.*

Sendo  $\vec{F}$  a única força que atua sobre a barra, o torque de  $\vec{F}$  ( $\vec{\tau}_F$ ) é o torque resultante ( $\vec{\tau}_{Res}$ ) sobre a barra. Ou seja,

$$\tau_{Res} = \tau_F \quad (1)$$

O torque de F em relação ao eixo instantâneo de rotação é

$$\tau_F = F \left( D + \frac{L}{2} \right) \quad (2)$$

O torque resultante é o produto do momento de inércia da barra em relação ao eixo instantâneo ( $I_o$ ) pela aceleração angular da barra em relação ao eixo instantâneo ( $\alpha_o$ ).

$$\tau_{Res} = I_o \alpha_o \quad (3)$$

O momento de inércia da barra em relação ao eixo instantâneo está relacionado com o momento de inércia da barra em relação ao seu centro de massa ( $I_{CM}$ ) através do teorema de Steiner (teorema dos eixos paralelos). Sendo M a massa da barra, o teorema é dado por

$$I_o = I_{CM} + MD^2 \quad (4)$$

Sabe-se que o momento de inércia da barra em relação ao centro de massa é

$$I_{CM} = \frac{ML^2}{12} \quad (5)$$

Substituindo-se (5) em (4) obtém-se

$$I_o = \frac{ML^2}{12} + MD^2 \quad (6)$$

Substituindo-se (6) em (3) encontra-se

$$\tau_{\text{Res}} = \left( \frac{ML^2}{12} + MD^2 \right) \alpha_o \quad (7)$$

Substituindo-se (7) e (2) em (1) chega-se em

$$\left( \frac{ML^2}{12} + MD^2 \right) \alpha_o = F \left( D + \frac{L}{2} \right) \quad (8)$$

A aceleração angular  $\alpha_o$  está relacionada com a aceleração linear do centro de massa ( $a_{\text{CM}}$ ) através de

$$\alpha_o = \frac{a_{\text{CM}}}{D} \quad (9)$$

A Segunda Lei de Newton permite reescrever (9) como

$$\alpha_o = \frac{F/M}{D} \quad (10)$$

Substituindo-se (10) em (8) obtém-se

$$\left( \frac{ML^2}{12} + MD^2 \right) \frac{F}{MD} = F \left( D + \frac{L}{2} \right) \quad (11)$$

Simplificando-se F e M em (11) encontra-se

$$\left( \frac{L^2}{12} + D^2 \right) \frac{1}{D} = \left( D + \frac{L}{2} \right) \quad (12)$$

A seguir obtém-se

$$\frac{L^2}{12} + D^2 = D^2 + \frac{LD}{2} \quad (13)$$

$$\frac{L}{12} = \frac{D}{2} \Rightarrow D = \frac{L}{6} \quad (14)$$

Na figura 4 percebe-se que

$$\frac{L}{2} = X + D \quad (15)$$

Substituindo-se (14) em (15) encontra-se

$$\frac{L}{2} = X + \frac{L}{6} \quad (16)$$

Finalmente, como queríamos demonstrar, obtém-se

$$X = \frac{L}{3} \quad (17)$$