



## Experimento 2

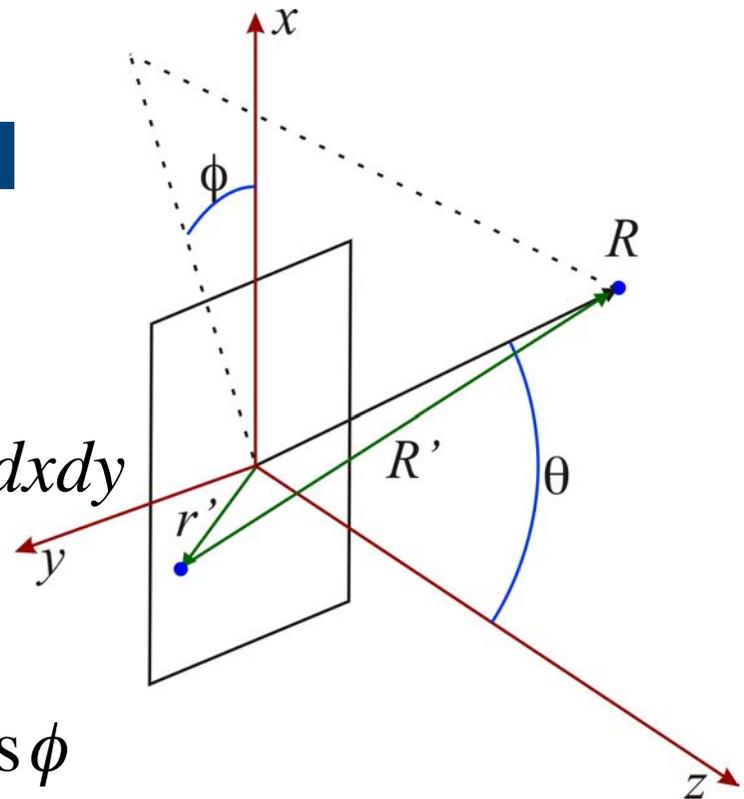
### Ótica ondulatória - difração

# Generalizando a difração de Fraunhofer

- A expressão para o campo

$$\hat{E}(\vec{R}) = \frac{e^{jkR}}{R} \int E_0(x,y) e^{-j(k_x x + k_y y)} dx dy$$

- Com:  $k = \frac{2\pi}{\lambda} \begin{cases} k_x = k \sin \theta \cos \phi \\ k_y = k \sin \theta \sin \phi \end{cases}$



# Séries de Fourier

- Joseph Fourier, paper submetido em 1807
  - Referees: Lagrange, Laplace, Malus e Legendre
  - Funções trigonométricas podem ser combinadas de tal forma a representar qualquer função matemática

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_n (a_n \cos(nx) + b_n \sin(nx))$$

- As constantes  $a_n$  e  $b_n$  podem ser obtidas a partir de

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \cos(nx) dx \quad b_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \sin(nx) dx$$

# Séries de Fourier

- Hoje em dia, usamos formalismos mais abrangentes

$$f(x) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n e^{jnx}$$

– Com: 
$$c_n = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) e^{-jnx} dx$$

- As constantes  $a_n$  e  $b_n$  da expressão tradicional podem ser obtidas como:

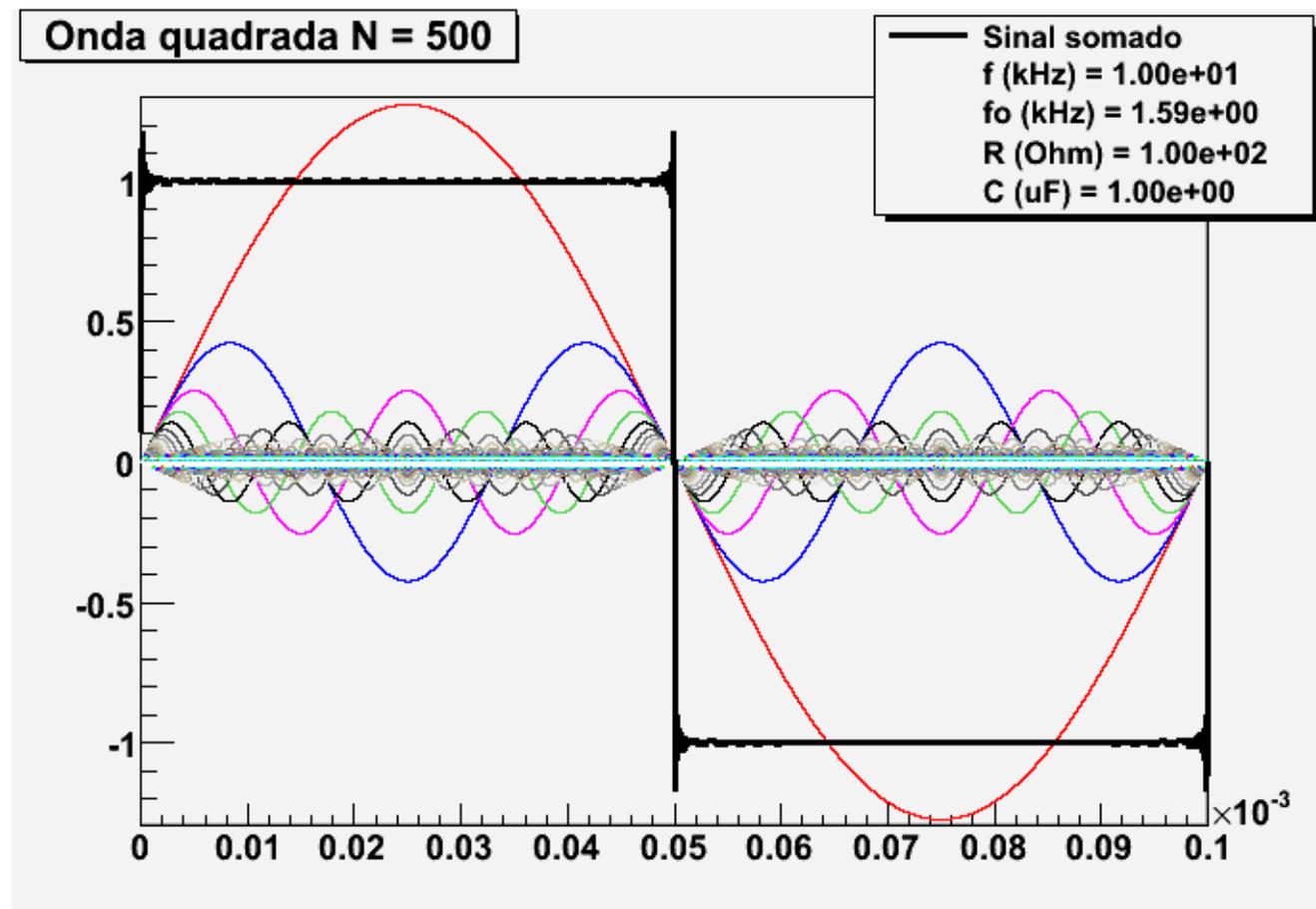
$$a_n = c_n + c_{-n} \quad b_n = j(c_n - c_{-n}), \text{ com } n = 0, 1, 2, \dots$$

Use a fórmula de Euler e substitua na expressão anterior

$$e^{jx} = \cos x + j \sin x$$

$$V(t) = V_0 \left[ \frac{4}{\pi} \sin(\omega t) + \frac{4}{3\pi} \sin(3\omega t) + \frac{4}{5\pi} \sin(5\omega t) + \dots \right]$$

## Exemplo: onda quadrada



# Séries de Fourier em 2D

- Transformada de Fourier em 2D

$$f(x, y) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{m=-\infty}^{\infty} c_{nm} e^{j(nx+my)}$$

$$c_{nm} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x, y) e^{-j(nx+my)} dx dy$$

- Vamos comparar com a difração

$$\hat{E}(\vec{R}) = \frac{e^{jkR}}{R} \int E_0(x, y) e^{-j(k_x x + k_y y)} dx dy$$

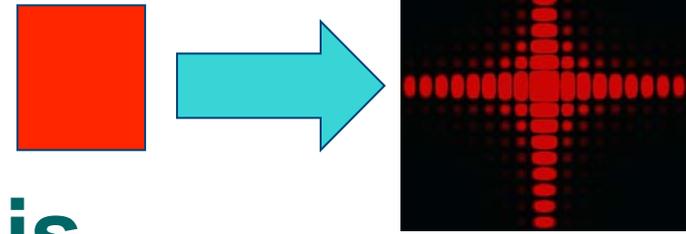
# Difração e transformada de Fourier

- A figura de difração está relacionada à transformada de Fourier do objeto iluminado

$$\hat{E}(\vec{R}) = \frac{e^{jkR}}{R} \int E_0(x, y) e^{-j(k_x x + k_y y)} dx dy$$

A transformada de Fourier se dá no campo elétrico. Contudo, medimos intensidade luminosa, que é proporcional a  $E^2$ .

# Frequências espaciais



- A intensidade luminosa em uma dada posição está relacionada às componentes da T.F. para cada frequência espacial

$$\hat{E}(\vec{R}) \rightarrow E(R_x, R_y) \rightarrow E(k_x, k_y)$$

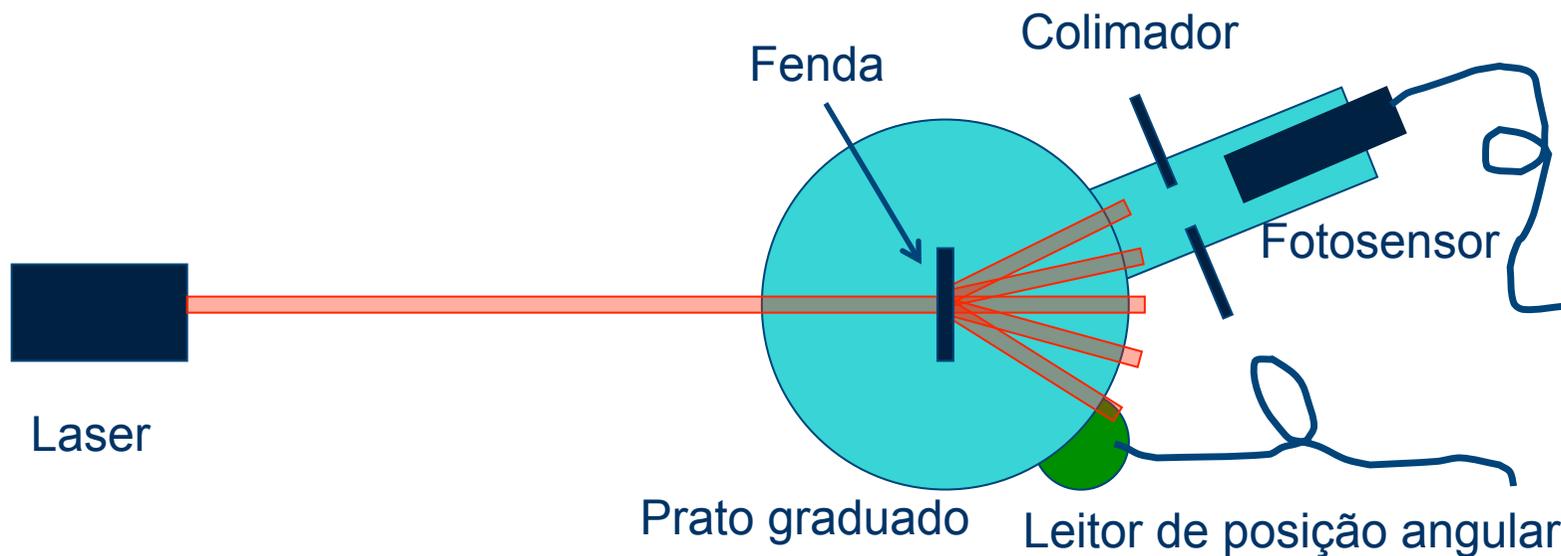
$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad \begin{cases} k_x = k \sin \theta \cos \phi \\ k_y = k \sin \theta \sin \phi \end{cases}$$

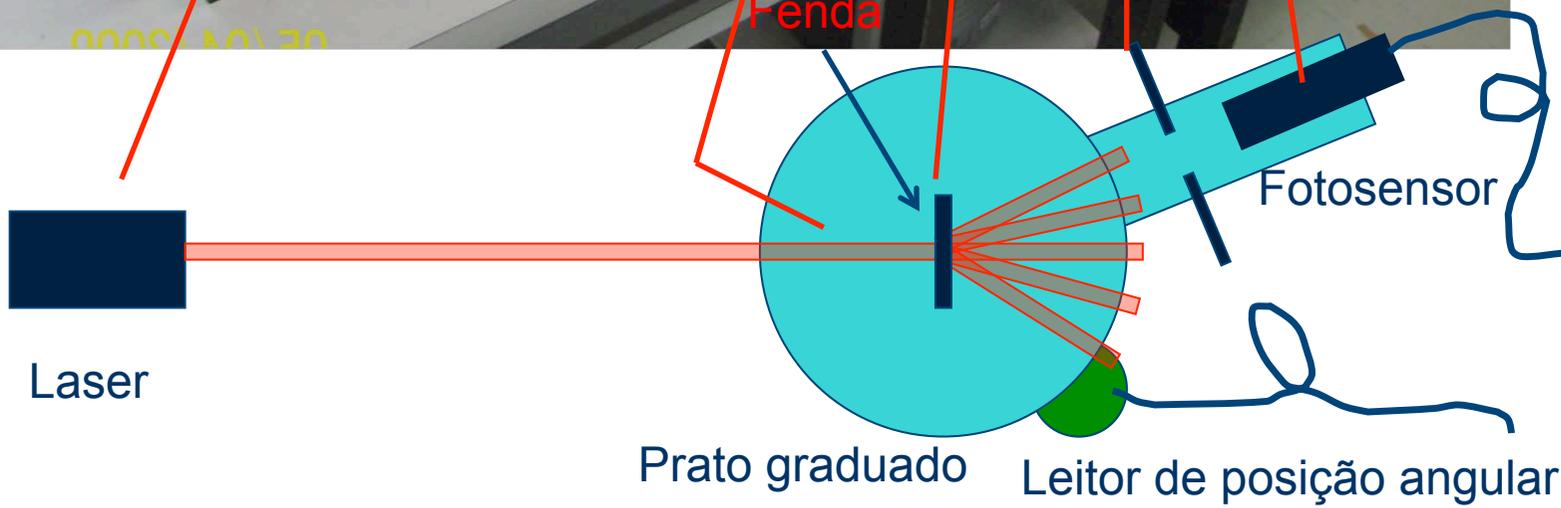
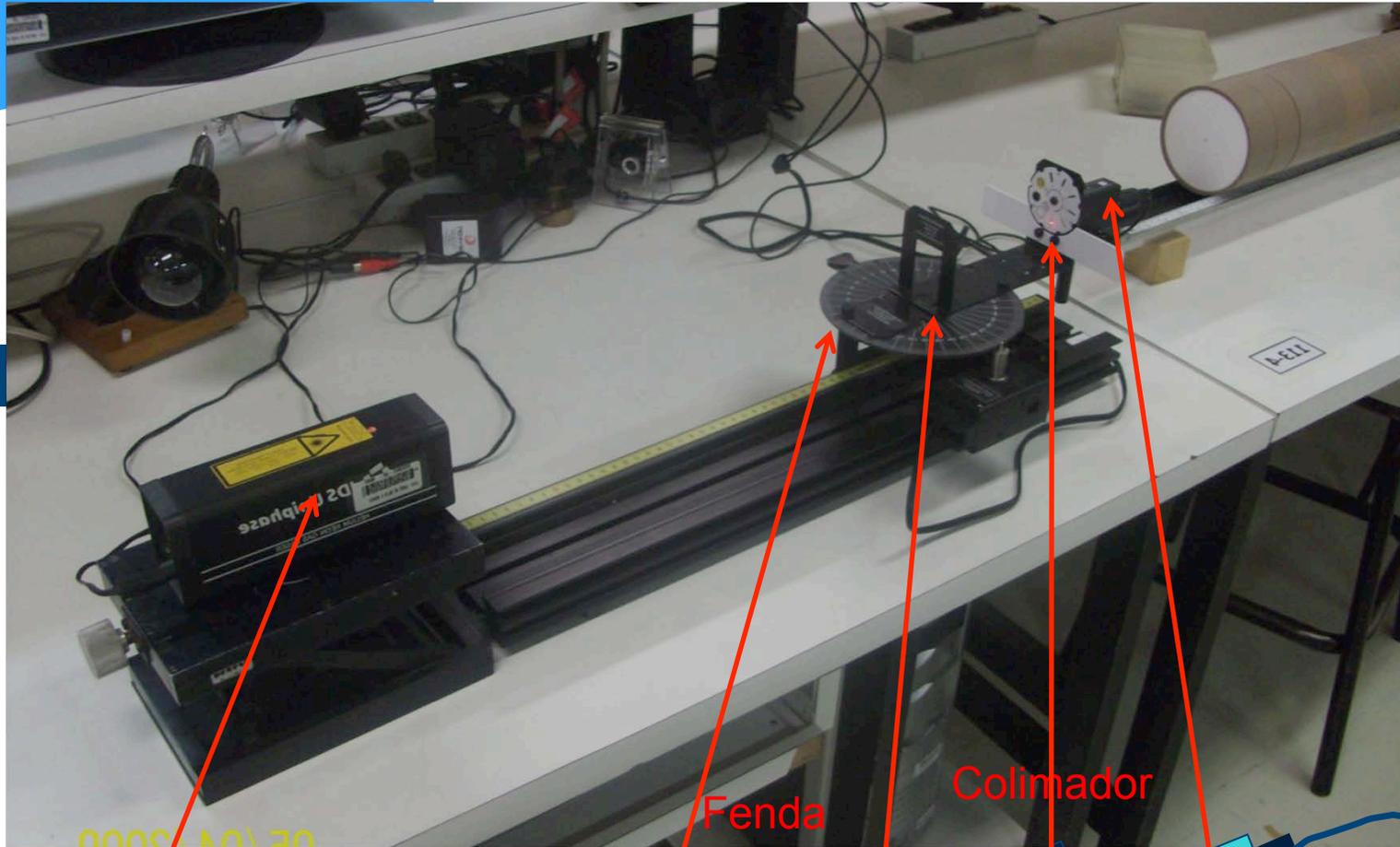
# Atividades da semana

- Estudar, quantitativamente, a figura de difração de uma fenda simples
  - Medir as intensidades para cada ângulo
  - Comparar com previsão teórica
    - Ajuste de  $X^2_{\text{red}}$  para obter a dimensão (d) da fenda
- Fiquem atentos à atividade pré-lab no site.
  - Mostrar resultados da rede de difração.

# Arranjo experimental

- Espectrofotômetro
  - O espectrofotômetro consiste de um arranjo contendo um fotosensor (para medir intensidade) e um sensor de rotação para medir ângulo





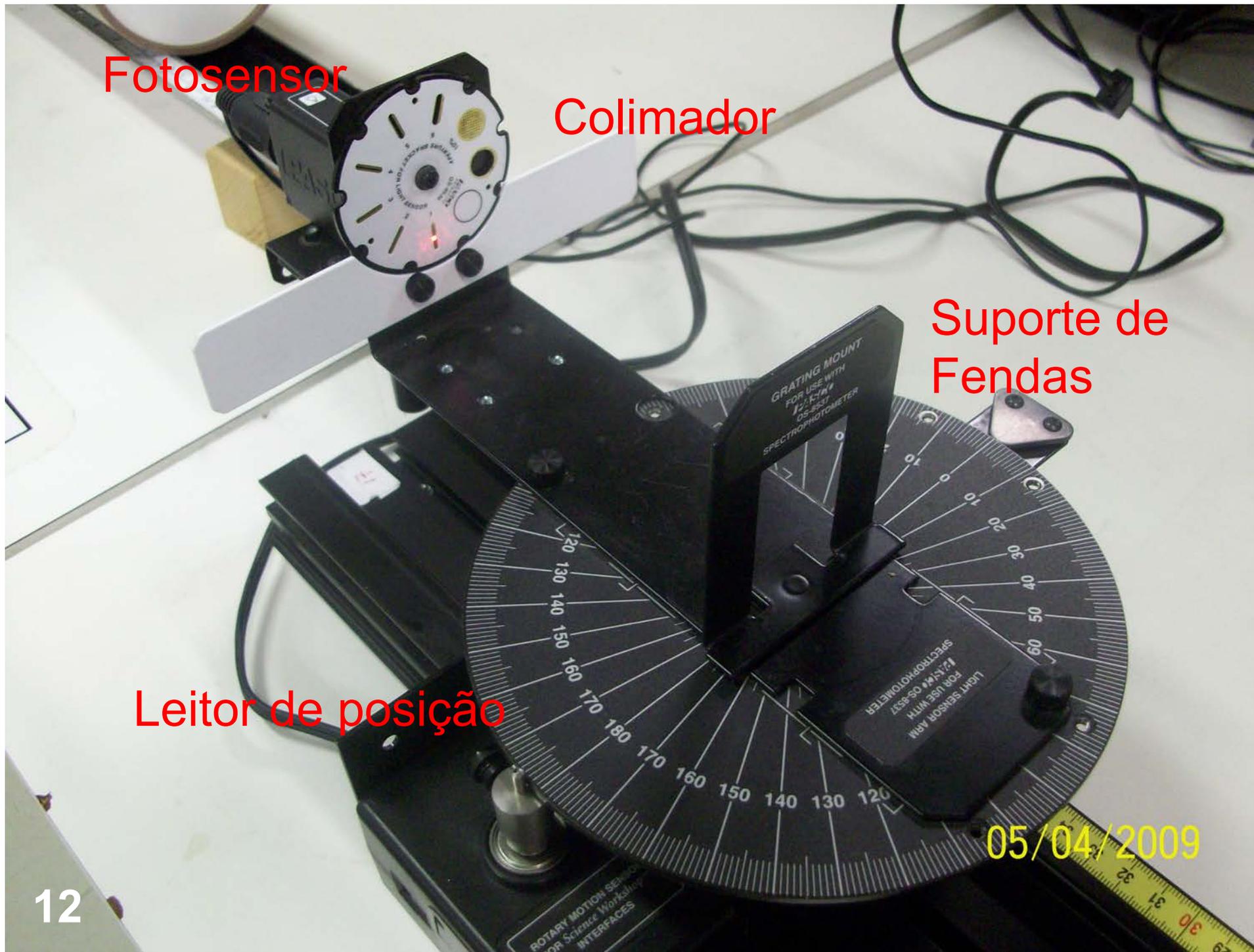
Fotosensor

Colimador

Suporte de Fendas

Leitor de posição

05/04/2009



A fenda escolhida deve estar bem centralizada no prato para garantir a correta medida angular. O que acontece se não estiver?

Colimador

Fotosensor

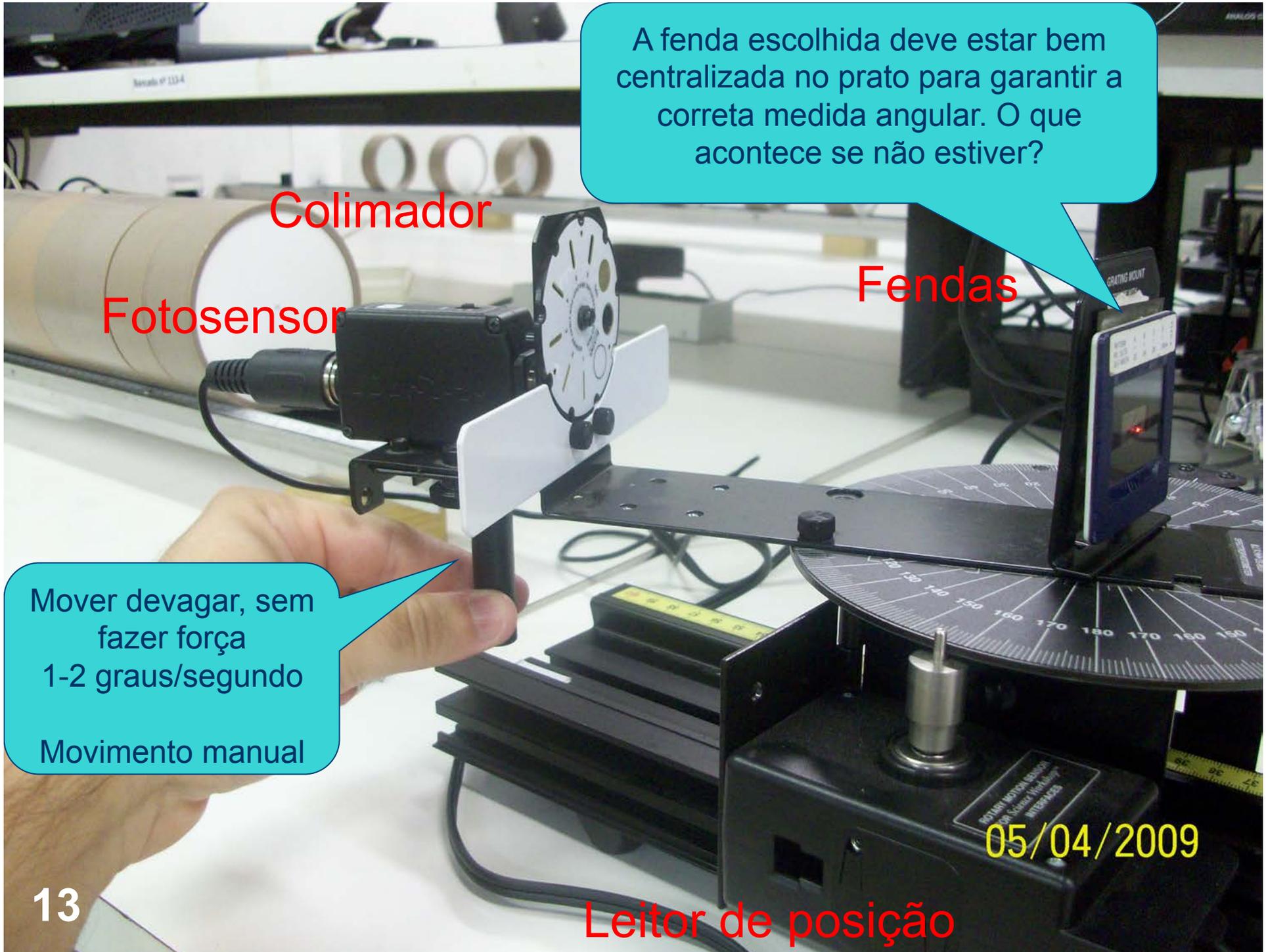
Fendas

Mover devagar, sem  
fazer força  
1-2 graus/segundo  
Movimento manual

05/04/2009

13

Leitor de posição



Fotosensor

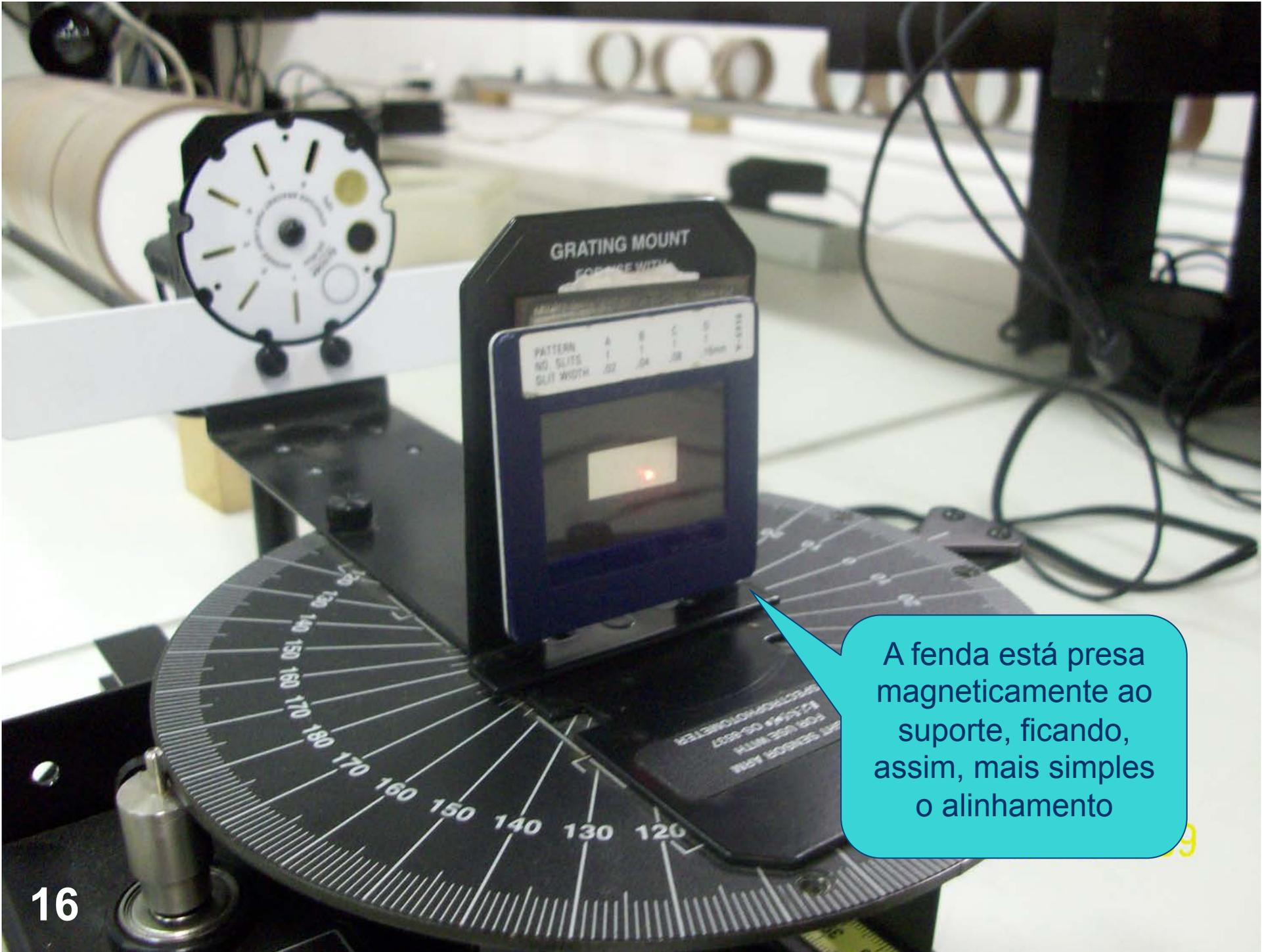
Colimadores

Utilizar os colimadores 1, 4 e 6

A largura da abertura do colimador define a precisão angular na qual a medida é feita. Quanto menor a abertura, maior é a precisão angular

Colimador





A fenda está presa magneticamente ao suporte, ficando, assim, mais simples o alinhamento

# Procedimento experimental

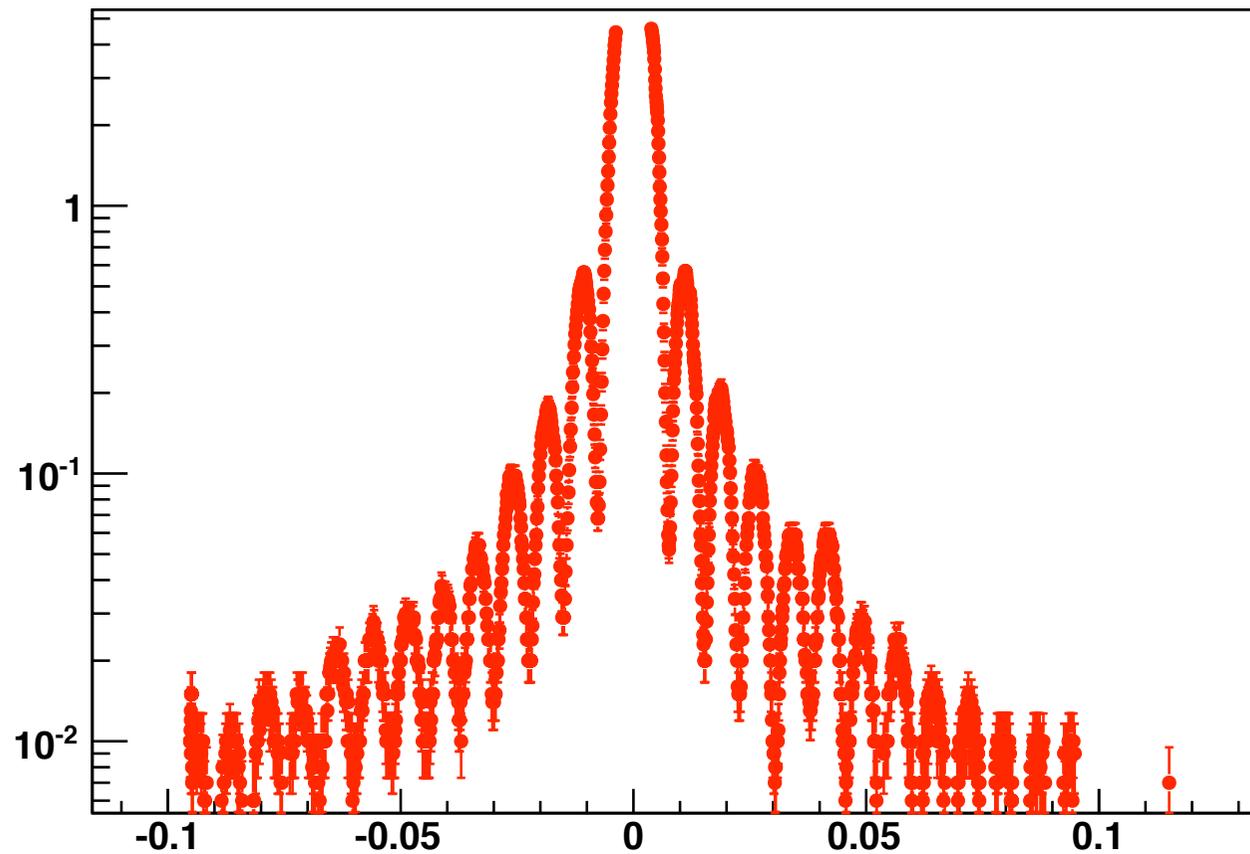
- Usar como fenda para a difração a **A MESMA FENDA SIMPLES UTILIZADA NA SEMANA ANTERIOR DO MESMO SLIDE UTILIZADO!**
- Serão feitas medidas utilizando os colimadores 1, 4 e 6 do fotosensor.
- Fixar o slide com o conjunto de fendas no respectivo suporte. A fenda escolhida deve estar bem centralizada.
- Alinhar o laser com a fenda e o fotosensor
- Selecionar **a sensibilidade de 10X no fotosensor.**
  - Neste caso, a intensidade para o pico principal da difração pode estar saturada. O que fazer nesta região? Remover os dados?

# Cuidados experimentais com aquisição de dados

- Sensibilidade do sensor de posição
  - Ajuste para 1440 divisões/grau
  - Ajuste a frequência de amostragem para ~20 Hz
  - O cálculo do ângulo é leitura do sensor / 60
    - $\text{Angulo} = \text{leitura}/60$
  - Verifiquem a medida de ângulo, comparando a leitura do DS com a escala graduada no prato.
  - **Ver roteiro no site**

# Dados

Se houver cuidado e capricho com a montagem e tomada de dados é possível adquirir um espectro de altíssima qualidade para análise.



# Análise

- **Ajustar a curva teórica aos dados, utilizando mínimos quadrados.**
  - A curva teórica descreve bem os dados?
  - Há alguma discrepância?
  - O que poderia explicar eventuais discrepâncias?
  - Vamos discutir como aprimorar a análise na próxima aula.
- Compare as intensidades relativas entre os máximos com o esperado para uma transformada de Fourier de uma onda quadrada.