

Física Experimental IV

<https://edisciplinas.usp.br/course/view.php?id=90535>

2º Semestre 2021

Exp. 2 – Computador Óptico

Atividade 2 – Difração e Interferência

Semana 5 - 23/Setembro

Prof. Henrique Barbosa

hbarbosa@if.usp.br

<http://www.fap.if.usp.br/~hbarbosa>

REVISÃO

AVISO

- Incluir os dados que vocês mediram nas síntese.
 - Nessa AT2, deviam ter incluído uma tabela com as posições do mínimos.

Cronograma

- 5 atividades:
 - **Atividade 1:** Estudo qualitativo de difração e interferência
 - **Atividade 2:** Estudo quantitativo de difração em fendas simples
 - **Atividade 3:** Processamento de imagens (ImageJ)
 - **Atividade 4:** Simulação do computador óptico, plano de Fourier
 - **Atividade 5:** Aplicação do computador óptico, objeto vs. sua T.F.

Análise das figuras de difração

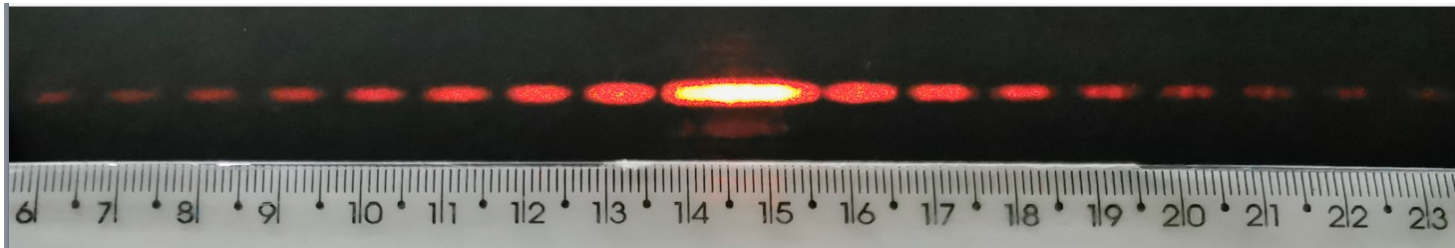
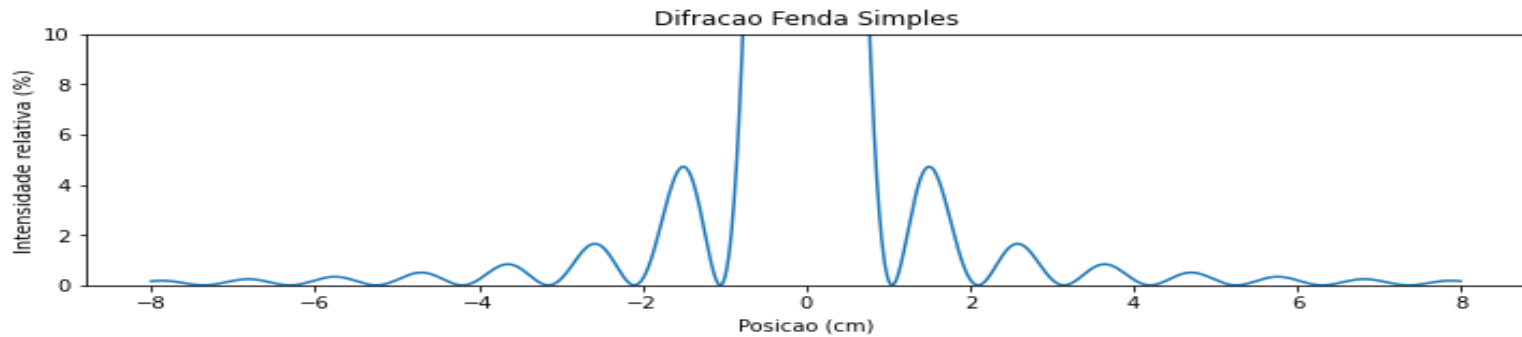
- Para uma fenda simples e uma fenda dupla
 - Observe os fenômenos de interferência e difração
 - Meça as posições de mínimo de interferência e difração
 - Alguns acham melhor medir os máximos
 - Faça a análise apropriada e determine as dimensões das fendas
 - Compare com os valores nominais

Fenda Simples: **Intensidade**

$$I = I_0 \left(\frac{\sin \beta}{\beta} \right)^2, \quad \beta = \pi \frac{d}{\lambda} \sin \theta$$

Mínimos quando:

$$\beta = \pm m\pi, m = 1, 2, 3, \dots$$



Dois métodos

- Temos: $\beta = \pi \frac{d}{\lambda} \sin \theta = \pm m \pi$

$$\frac{d}{\lambda} \frac{y}{L} = \pm m$$

σ_d/d é tão grande quando o pior erro relativo em λ , L ou y

- Utilizar apenas o 1º mínimo $d = \frac{\lambda L}{y}$

- Fazer um ajuste linear: $y(m) = \pm m \frac{\lambda L}{d}$

σ_d é pequeno, vem do erro do coeficiente angular

Resultados – Método 1

	Fenda simples
y (cm)	1,06 ± 0,07
y' (cm)	---
d (μm)	72 ± 5
a (μm)	---

$$d = \frac{\lambda L}{y} = \frac{632.8 \text{ nm } 119.4 \text{ cm}}{1.06 \text{ cm}} = 71.3 \mu\text{m}$$

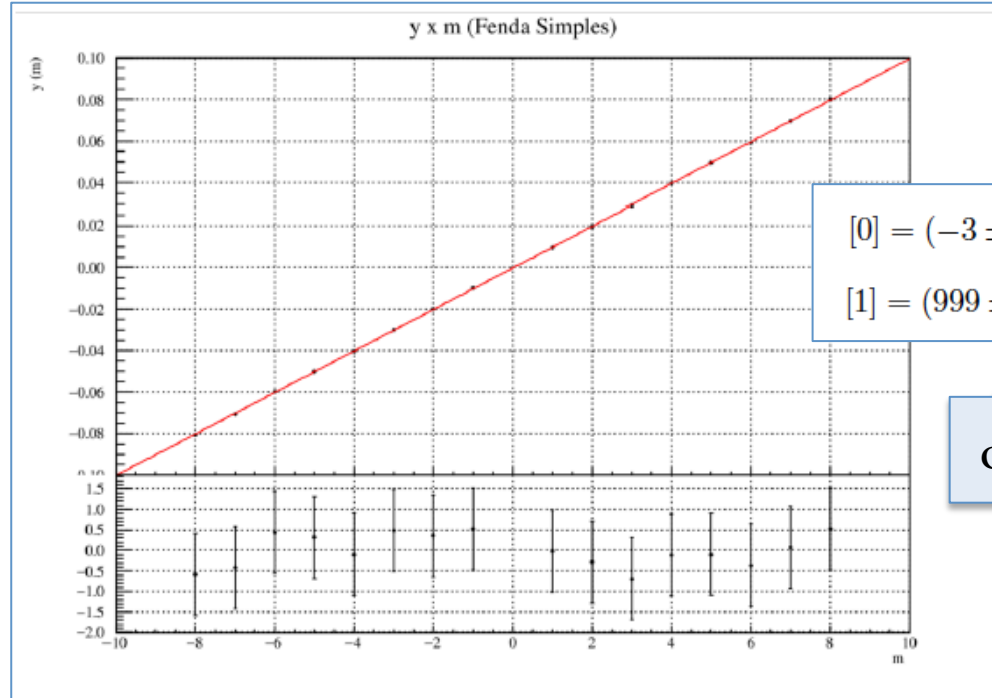
$$\begin{aligned} \frac{\sigma_d}{d} &= \sqrt{\left(\frac{\sigma_\lambda}{\lambda}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_L}{L}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_y}{y}\right)^2} \\ &= \sqrt{(0.16\%)^2 + (6.6\%)^2} \approx 6.6\% \end{aligned}$$

Note: A blue arrow points from the $\frac{\sigma_\lambda}{\lambda}$ term to a ~ 0 label above the square root.

Resultados – Método 2

Fenda simples:

Fenda Simples	
m	y ($\pm 0,0007$ m)
1	0,0097
2	0,0195
3	0,0292
4	0,0396
5	0,0496
6	0,0594
7	0,0697
8	0,0800
-1	-0,0099
-2	-0,0200
-3	-0,0299
-4	-0,0403
-5	-0,0500
-6	-0,0599
-7	-0,0705
-8	-0,0806



Grupos

Fenda Simples

d (μm) σd (μm)

H01		
H02		
H03	76.00	0.12
H04	74.88	0.19
H05	75.59	0.19
H06	72	5
H07	75	106
H08	75.8	0.2
H09	37.7	
H10	70	0.6
H11	75.6	0.5
H12	75.35	0.49
H13		
H14		
H15		
H16	76	2
H17	75.6	0.3
H18	72.4062	0.0013

Apenas 1 ponto

Incertezas

2x

$x/100$

$x*10$

37.7

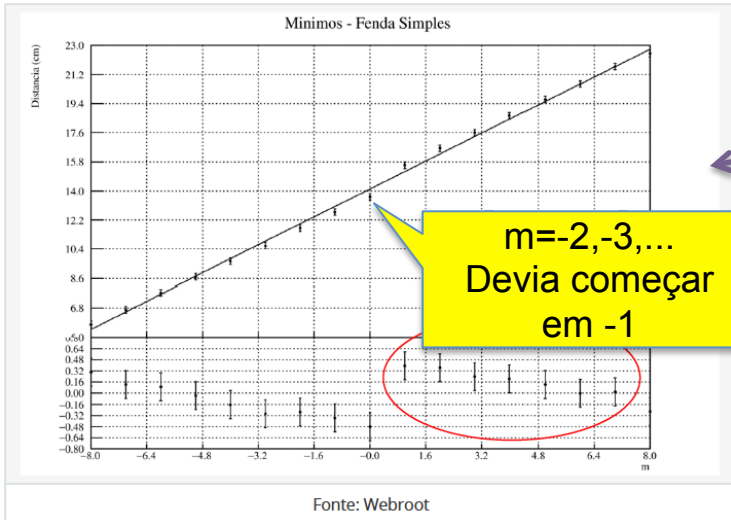
0.759

76

756

2

60



$m=-2,-3,\dots$
Devia começar em -1

Média:
75.5 (4)

Fenda Dupla REAL

- Difração e Interferência:



$$I = I_0 \left(\frac{\sin \beta}{\beta} \right)^2 \cos^2 \alpha$$

Fenda Dupla REAL

- Era preciso determinar a posição dos máximos de difração e interferência!
- Métodos:
 - Apenas 1 mínimo
 - Ajustar uma reta

	Fenda dupla
y (cm)	$1,80 \pm 0,07$
y' (cm)	$0,40 \pm 0,07$
d (μm)	42 ± 2
a (μm)	189 ± 23

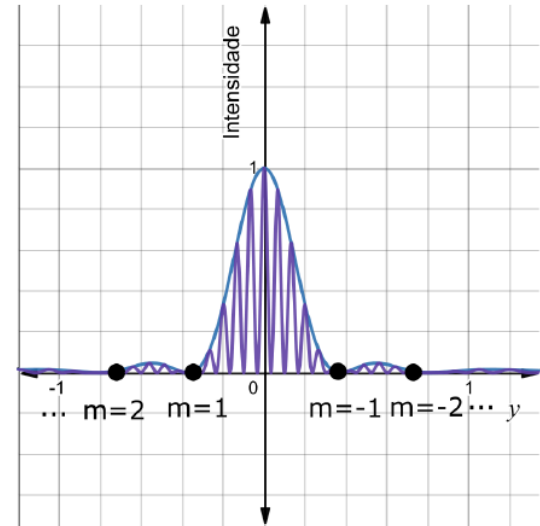
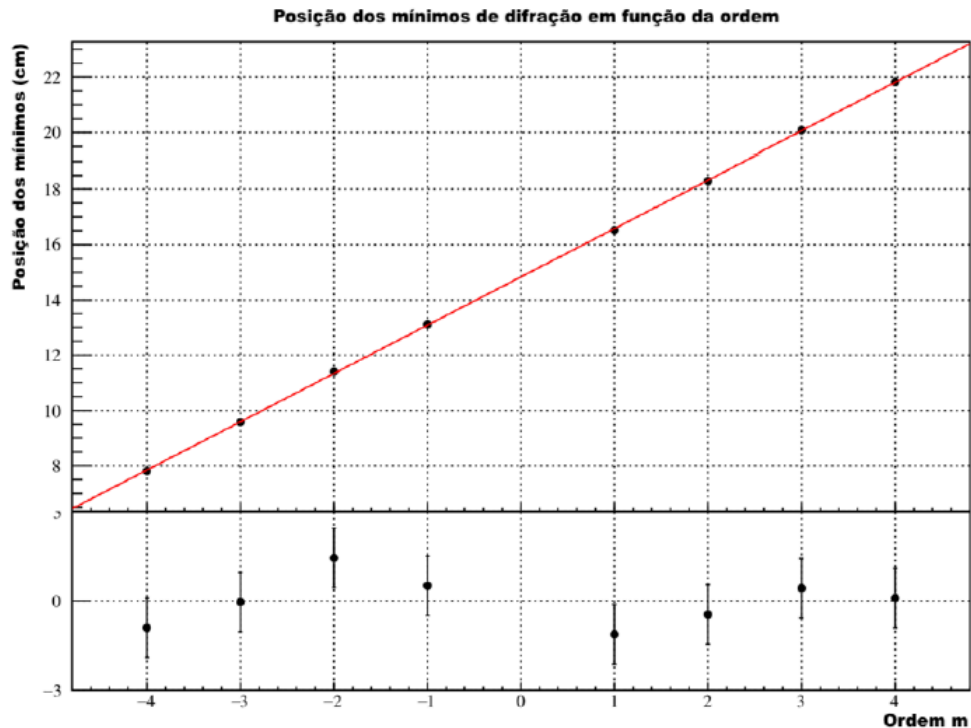


Figura 3: Pontos de mínimo da envoltória

Erro grande ao usar apenas 1 valor...

Difração (tamanho, d)



Parâmetro	Valor
a	$1,746 \pm 0,006$ cm
b	$14,83 \pm 0,02$ cm

$$y(m) = \pm m \frac{\lambda L}{d}$$

$$d = \frac{\lambda L}{b} \approx 43.3 \mu\text{m}$$

Interferência (separação, a)

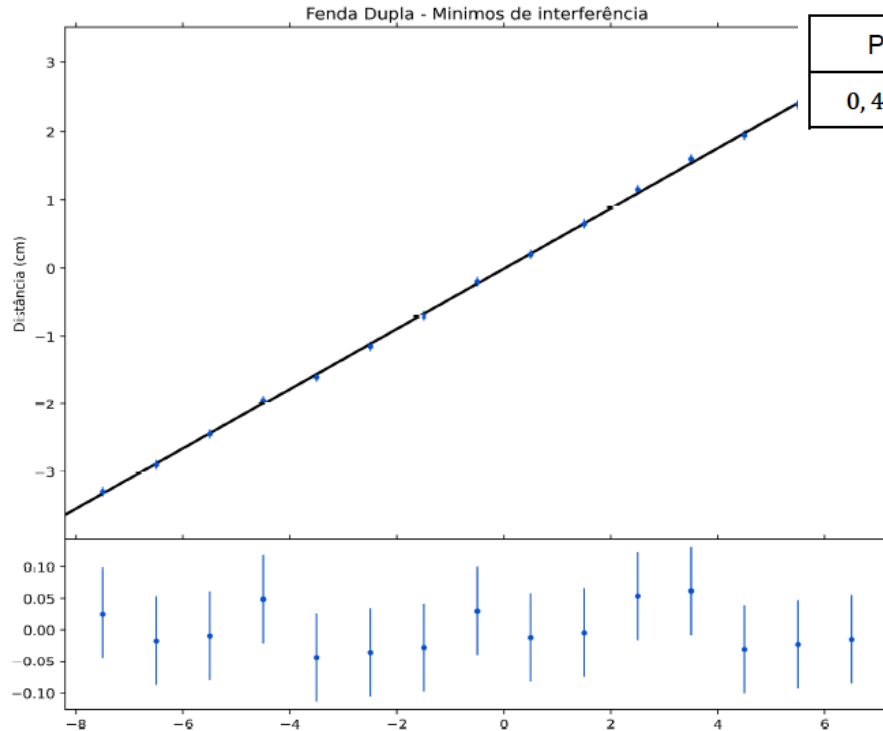


Tabela 5: Valores do ajuste da fenda dupla interferência.

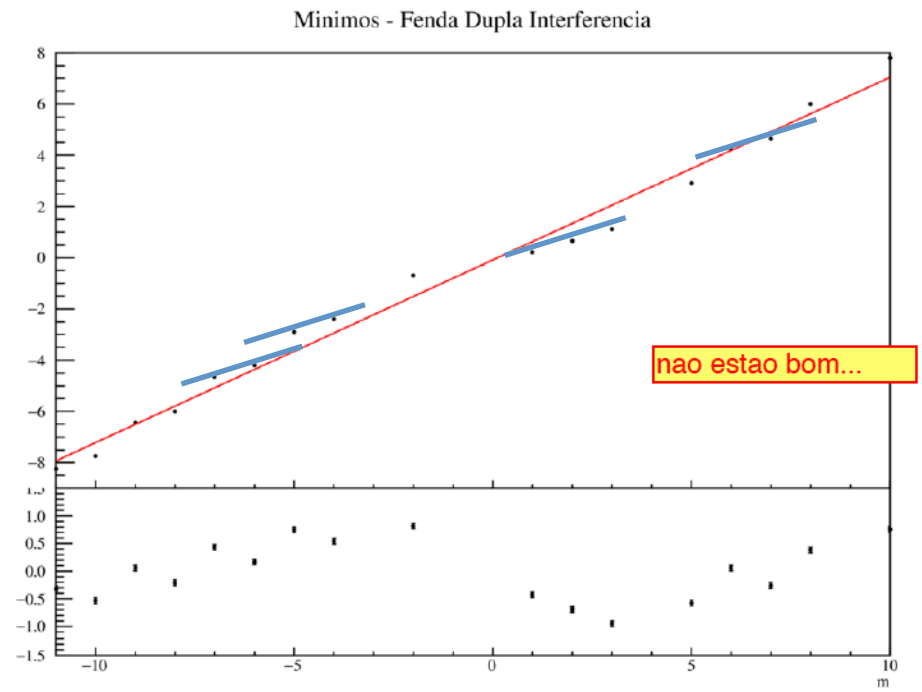
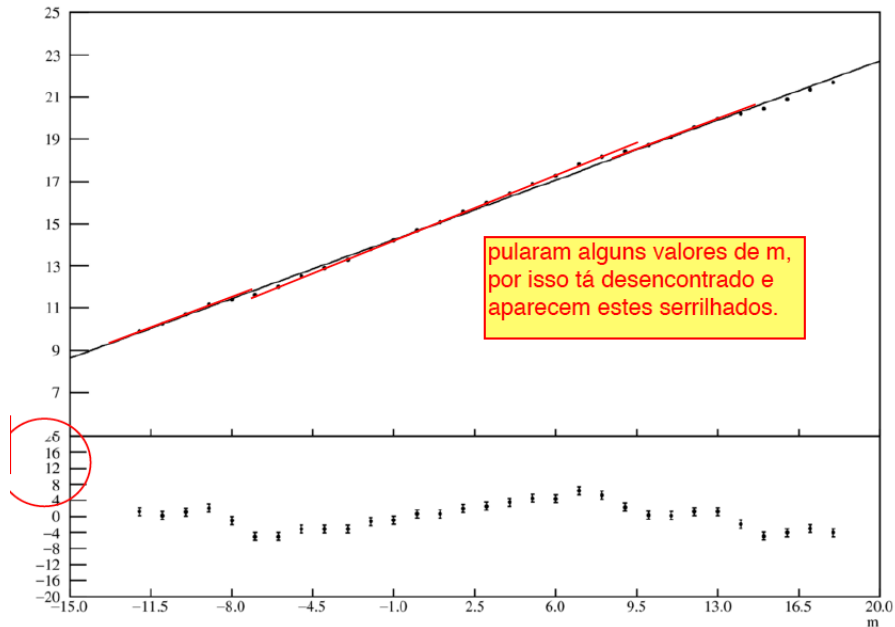
Parâmetro a	Parâmetro b	NGL	Chi²
$0,450 \pm 0,004$	$-0,01 \pm 0,02$	15	21,9

$$a = \frac{\lambda L}{A} \approx 168 \mu\text{m}$$

A maioria dos grupos teve dificuldade em localizar os mínimos de interferência

Figura 3: Ajuste referente à Tabela 4, fenda dupla interferência.

Problemas – Valores de m errados



Fenda Dupla

	d (μm)	σd(μm)	a (μm)	σa(μm)
--	--------	--------	--------	--------

H01				
H02				
H03	44.79	0.88		
H04	43.12		165.33	4.3
H05	108		79	
H06	42	2	189	23
H07	44	54	210	1550
H08	43.3	0.2	174.6	0.6
H09	39.4			
H10	42.7	0.4	1100	1
H11	43.0	0.2	167	1
H12	43.11	0.22	170.6	1.3
H13				
H14	0.43		1.10	
H15				
H16	45	0.2	187.9	0.6
H17	42.8	0.2	171	5
H18				
H19	33	60	0.75	60

suspeito

A maioria dos grupos
teve dificuldade ...

suspeito

suspeito

Média:
d = 43.3 (10) um
a = 175.1 (96) um

Intensidade da difração

- Meça a intensidade x ângulo para a figura de difração da fenda simples utilizando o espectrofotômetro.
- Faça o ajuste não linear da função teórica aos dados experimentais.
 - Como se compara o ajuste e a função teórica? Descreva eventuais discrepâncias, e tente explicá-las.
- A partir do ajuste, obtenha a largura da fenda
 - Compare com os valores nominais e discuta.

Ajuste

[0] $\pi d/\lambda$

[1] θ_0

[2] I_0

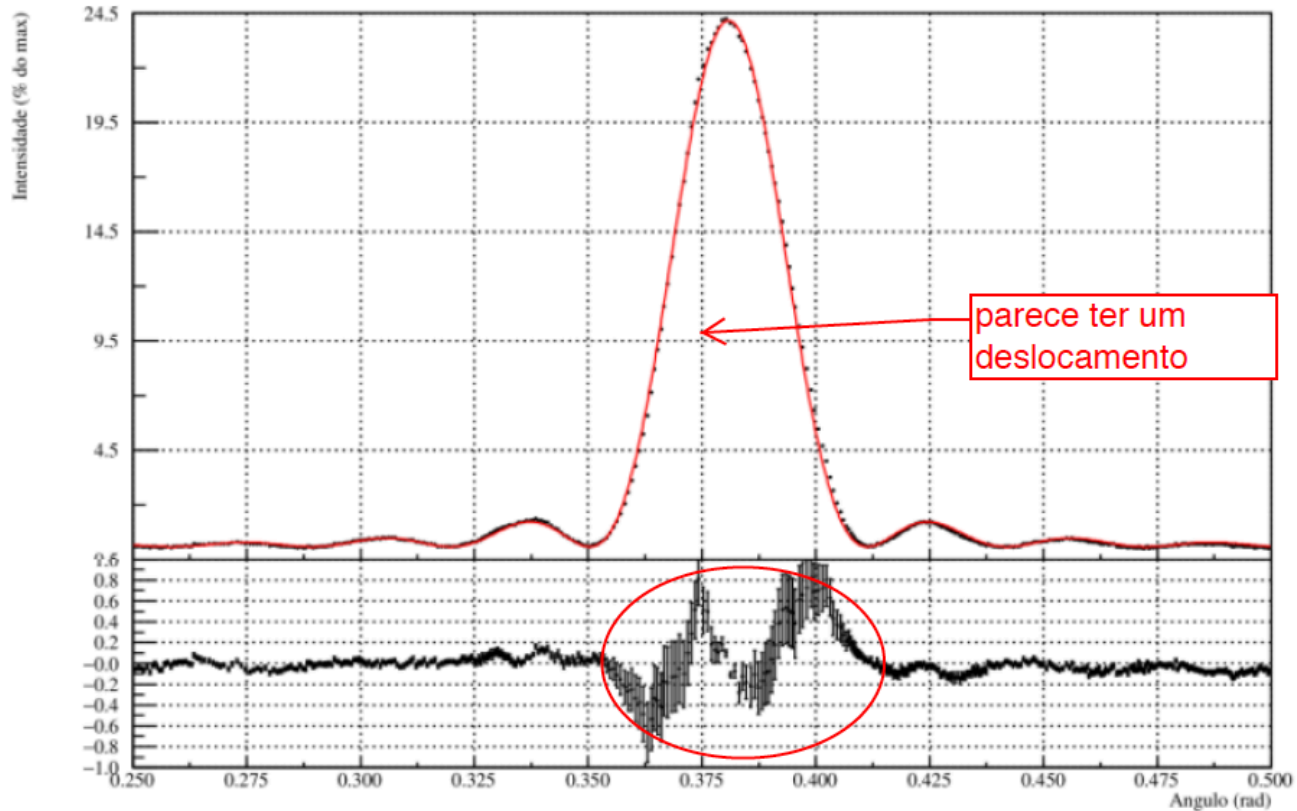
[3] luminosidade da sala

$$I = I_0 \left(\frac{\sin \beta}{\beta} \right)^2, \quad \beta = \pi \frac{d}{\lambda} \sin \theta$$

$$y = [2] \left(\frac{\sin([0] * \sin(x - [1]) * \pi / 633E-9)}{([0] * \sin(x - [1]) * \pi / 633E-9)} \right)^2 + [3] \quad (5)$$

A incerteza de y é nominal de 0.02, e a do x não foi fornecido. Os parâmetro [1] e [3] são correções, respectivamente devido ao pico estar descentralizado e devido a possíveis ruídos de fundo, com chutes iniciais para todos os parâmetros de acordo com o esperado pela teoria. A largura da fenda é fornecida pelo [0].

Resultados



Problemas

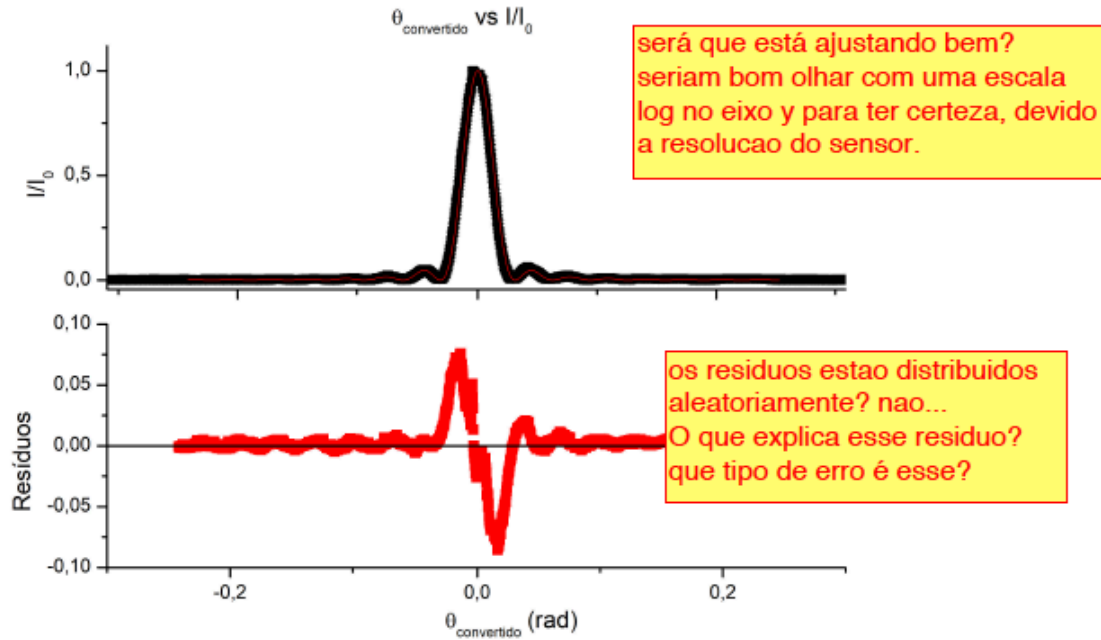
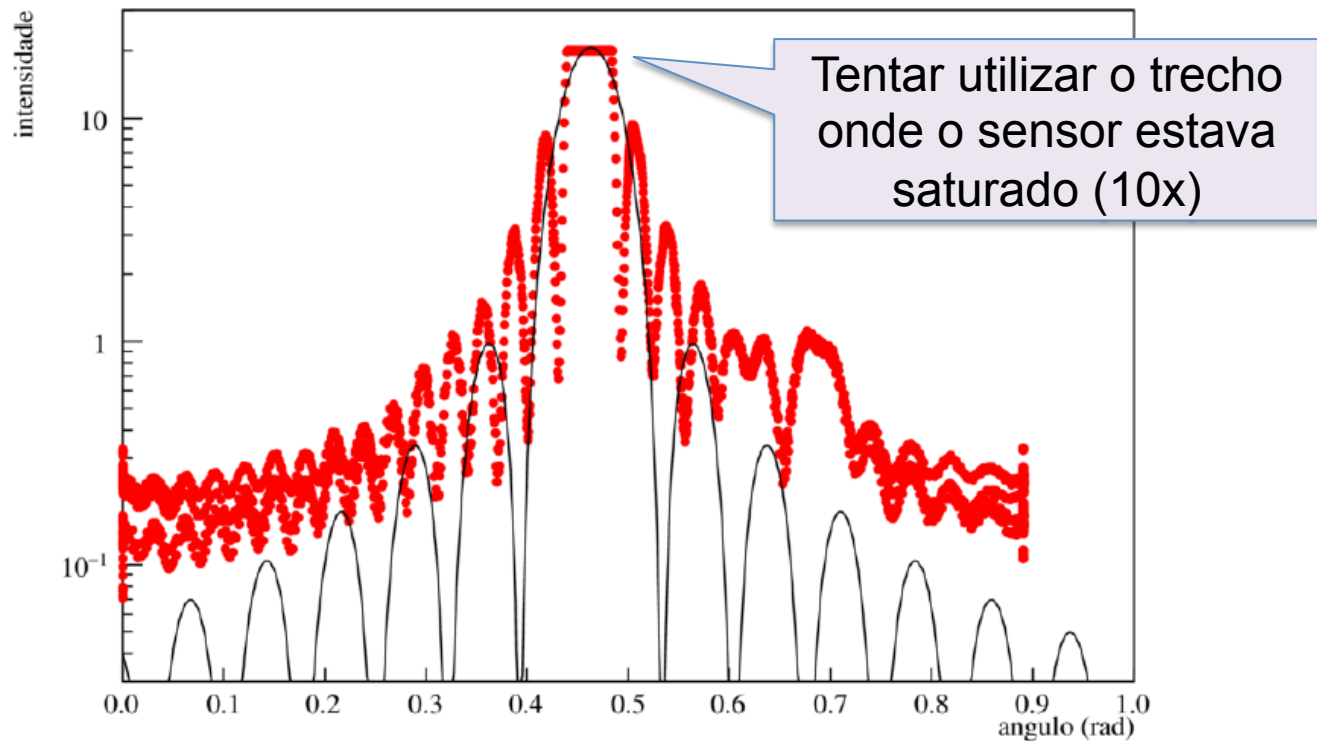


Figura 1: Gráfico e resíduos $\theta_{\text{convertido}}$ vs $\frac{I}{I_0}$. Em vermelho, a função ajustada $y = ((\sin(A * \sin(x)))/(A * \sin(x)))^2$ no software OriginPro. Foi considerada a incerteza de 0,2 para a intensidade, fornecida na página da disciplina.

Problemas



	theta0	d (um)	sigma_d	c	
H01			20		
H02					
H03	24.45	20.3	0.1		0.93869
	24.06	19.6	5.50E-06	4574400	
	24.4			1321	
		20.864	0.004	36156	
		20	0.0034	40955	
H08	21.83	20.57	0.01		16.37
		20	0.0017	1581	
	24.4	20	0.011	8500	
	21.8	20.75	0.01	6229	
	21.82	20.75	0.014		1.157
H13					
H14	24.4	20.3			
H15	20.03	22.567	0.024	456	
H16	21.82	20.6	6.00E-08	6.8	
H17		20.58	0.03	9.3	
H18	26.5	21.15	0.12	52316	
H19	24.4	104		14.8	

7 ordens de magnitude!

θ_0 dependia do conjunto de dados

Média:
 $\theta_0 = 24.7(8)^\circ$
 $\theta_0 = 21.5(8)^\circ$

Média:
 $d = 20.6 (7) \text{ um}$