

# Física Experimental IV

[www.dfn.if.usp.br/curso/LabFlex](http://www.dfn.if.usp.br/curso/LabFlex)

[www.fap.if.usp.br/~hbarbosa](http://www.fap.if.usp.br/~hbarbosa)

Prof. Antonio Domingues dos Santos

[adsantos@if.usp.br](mailto:adsantos@if.usp.br)

Ramal: 6886

Mário Schemberg, sala 205

## Aula 4 – Computador Óptico

## Óptica de Fourier

Prof. Leandro Barbosa

[lbarbosa@if.usp.br](mailto:lbarbosa@if.usp.br)

Ramal: 7157

Ala I, sala 225

Prof. Henrique Barbosa

**(coordenador)**

[hbarbosa@if.usp.br](mailto:hbarbosa@if.usp.br)

Ramal: 6647

Basílio, sala 100

Prof. Nelson Carlin

[carlin@dfn.if.usp.br](mailto:carlin@dfn.if.usp.br)

Ramal: 6820

Pelletron

Prof. Paulo Artaxo

[artaxo@if.usp.br](mailto:artaxo@if.usp.br)

Ramal: 7016

Basílio, sala 101

# Programação da Experiência 2

- Aula 1: óptica geométrica
  - Medidas com lentes convergente e divergente
- Aula 2: laser
  - Associação de lentes e aumento do diâmetro do laser
- Aula 3: difração
  - Figuras de difração e espectrofotômetro
- Aula 4: transformada de fourier
  - Estudo no plano de fourier
- Aula 5: computador ótico
  - Filtro na transformada de Fourier e recompor a imagem filtrada
- Aula 6: ImageJ
  - Tratamento de imagem no computador

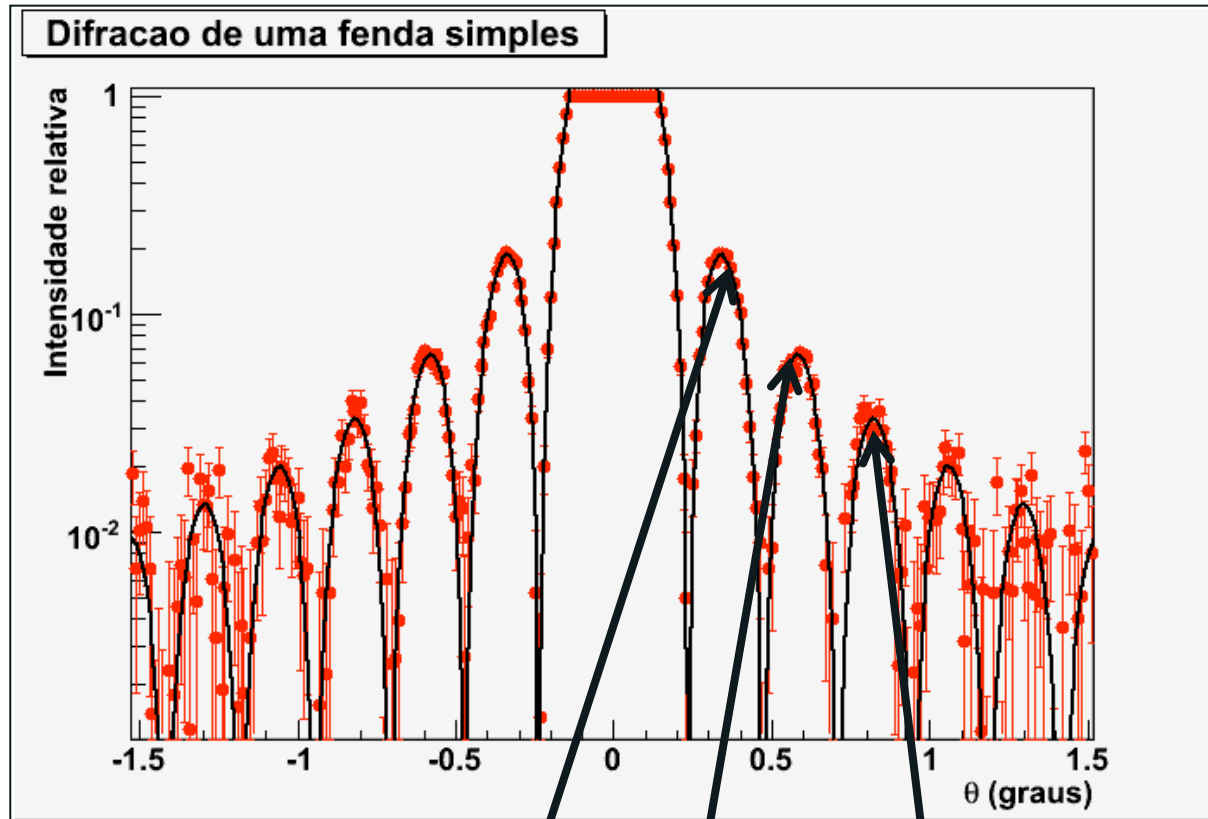
# Tarefas 1 – Para relatório

Com os dados da semana passada, do espectro de difração da fenda simples:

- Obtenha a razão entre as intensidades de cada máximo secundário e aquela do primeiro máximo secundário
  - Determine as posições e amplitudes
  - Compare com a previsão teórica.

# Exemplo: Fenda Simples

- Para os máximos SECUNDÁRIOS,  $\sin(\beta)=\pm 1$



$$I(\theta_{\max}) = \frac{I_0}{\beta^2} = \frac{1}{(2m+1)^2} \frac{4I_0}{\pi^2} = 1 \frac{4I_0}{\pi^2}, \frac{1}{9} \frac{4I_0}{\pi^2}, \frac{1}{25} \frac{4I_0}{\pi^2}, \dots$$

# Grupo H03

Ao checar a compatibilidade, mostrar os valores experimentais e teóricos.

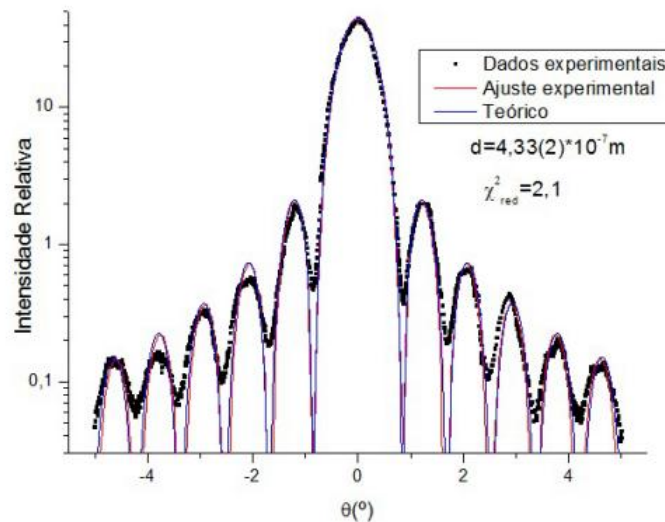
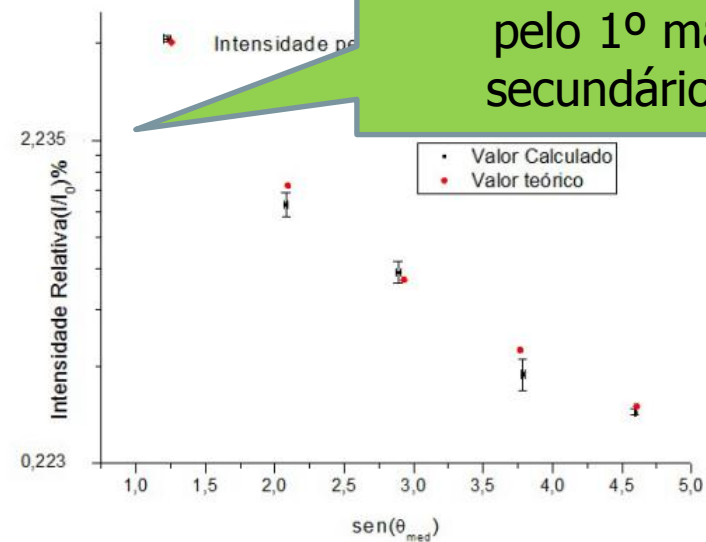


Figura 5: Gráfico representando as medidas da intensidade de luz pelo ângulo de transmissão.

Tabela 2: Valores do teste z para os dados do gráfico da figura 6.

pico	$\text{sen}(\theta)$	Intensidade
2	1,1	1,2
3	0,8	1,7
4	2,2	0,7
5	1,3	1,7
6	3,1	2,0

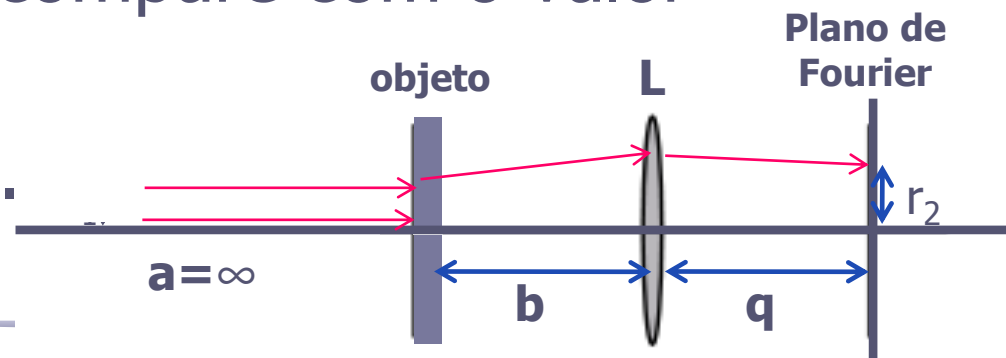


Deviam normalizar pelo 1º max secundário...

Figura 6: Gráfico comparando os valores de máxima da figura 5.

# Tarefa 2 – Para síntese

- Ilumine o objeto, com o feixe paralelo (fonte no  $\infty$ ):
  - Use a rede de difração de 300 linhas/mm como objeto
- Identifique o plano de Fourier  $q=f$
- Verifique que a posição do plano de Fourier não depende da posição do objeto em relação à lente
  - Faça pelo menos 3 medidas
- A partir das medidas das posições dos máximos ( $r_2$ ) da transformada de Fourier, determine as dimensões da grade e compare com o valor nominal de 300 l/mm
- Comente os resultados.



# Posição do plano

**Tabela 1.** Dados e valores obtidos com o feixe paralelo, mais as respectivas propagações de erro.

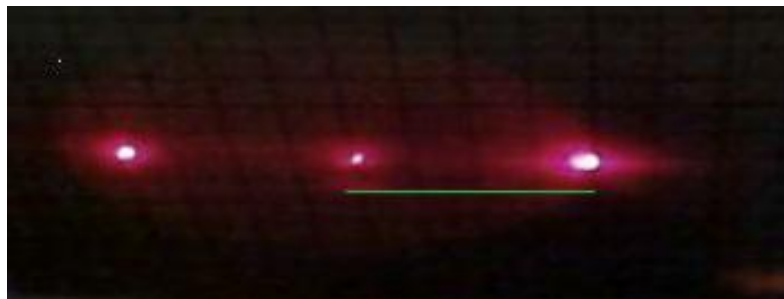
$b$ (cm)	$q$ (cm)	$r_2$ (cm)	$d^{-1}$ (mm <sup>-1</sup> )
11,2 ± 0,1	20 ± 0,1	3,8 ± 0,1	300 ± 8
17,9 ± 0,1	20 ± 0,1	3,8 ± 0,1	300 ± 8
22,3 ± 0,1	20 ± 0,1	3,7 ± 0,1	292 ± 8
26,5 ± 0,1	20 ± 0,1	3,8 ± 0,1	300 ± 8

Os dados apresentados na Tabela 1 mostram que, independentemente da distância entre objeto e a lente, o Plano de Fourier continua na mesma posição, o que era esperado depois da obtenção da igualdade em [2].

Medida	$b$ (cm)	$q$ (cm)	$R_2$ (cm)	1/d (linhas / mm)
1	17,0(5)	20,0(5)	3,95(10)	312(7)
2	12,0(5)	20,0(5)	3,95(10)	312(7)
3	7,0(5)	20,0(5)	3,90(10)	308(6)
4	4,50(5)	20,0(5)	3,90(10)	308(6)

Tabela 1 – Valores de  $b$ ,  $q$ ,  $r_2$  e da dimensão de grade obtidos para cada medida.

# Máximos da TF



$b$ (cm)	$r_2$ (mm)
17.000(15)	38.0(5)
15.000(13)	39.0(5)
13.000(11)	39.0(5)
11.000(9)	39.0(5)
9.000(7)	39.0(5)
7.000(6)	39.0(5)
5.000(4)	39.5(5)
Média	38.9(4)

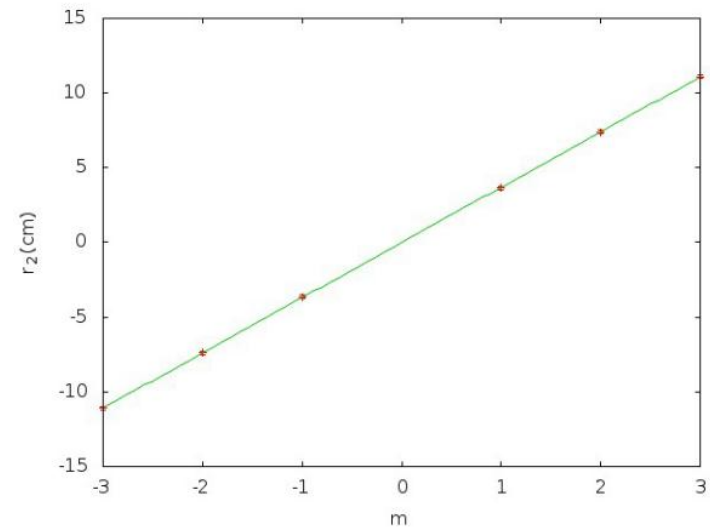


Figura 2: Valor de  $r_2$  em função de  $m$ , ajustados pela equação 1.



# Tamanho da grade

	$\lambda$ (nm)	f (cm)	r2 (cm)	Grade (#/mm)
H1	633	20.0 (2)	3.78 (5)	298 (8)
H2	623	20.0 (2)	3.70 (5)	297 (5)
H3	633	20 (?)	3.70 (4)	292 (5)
H4	632.8	20.0 (2)	3.95 (10)	312 (7)
H5	623	20.0 (?)	3.85 (10)	<b>296.7 (5)</b>
H6	632.8	20 (?)	3.89 (4)	308 (4)
H7	623	20.0 (2)	3.8 (1)	305 (3)
H8	632.8	20.0 (1)	3.87 (6)	305 (5)
H9	632.8	20.0 (2)	4.15 (12)	328 (20)
H10	632.8 $\pm$ 5%	20 (?)	3.90 (6)	309 (3)

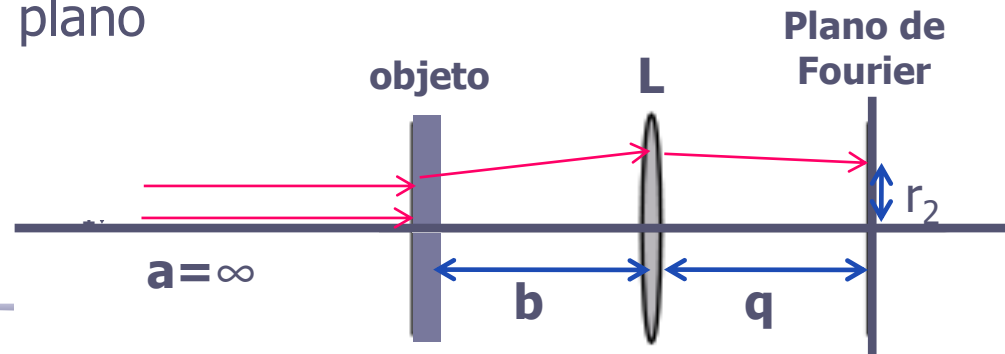
Maior precisão foi do único grupo que fez o ajuste linear

Muitos grupos usando o valor errado!

Problemas com incertezas

# Tarefas 3 - Relatório

- Crie uma fonte pontual, ajustando a divergência do feixe
- Coloque o objeto no foco da convergente, isto é,  $b=f$
- Determine a posição do plano de Fourier em função da posição da fonte pontual e compare com o previsto teoricamente
  - repita o procedimento para pelo menos 3 posições diferentes da fonte em relação ao objeto ( $a$ ) para comparar com a previsão teórica da posição do plano em relação à lente ( $q$ )
- Verifique que, se o objeto estiver no foco  $b=f$ , as posições dos máximos ( $r_2$ ) não variam: independem da posição da fonte em relação ao objeto ( $a$ ):
  - Desde que a figura esteja no plano de Fourier, ( $q$  vai variar)



# Se $b=f$ , a posição dos máximos= $cte$

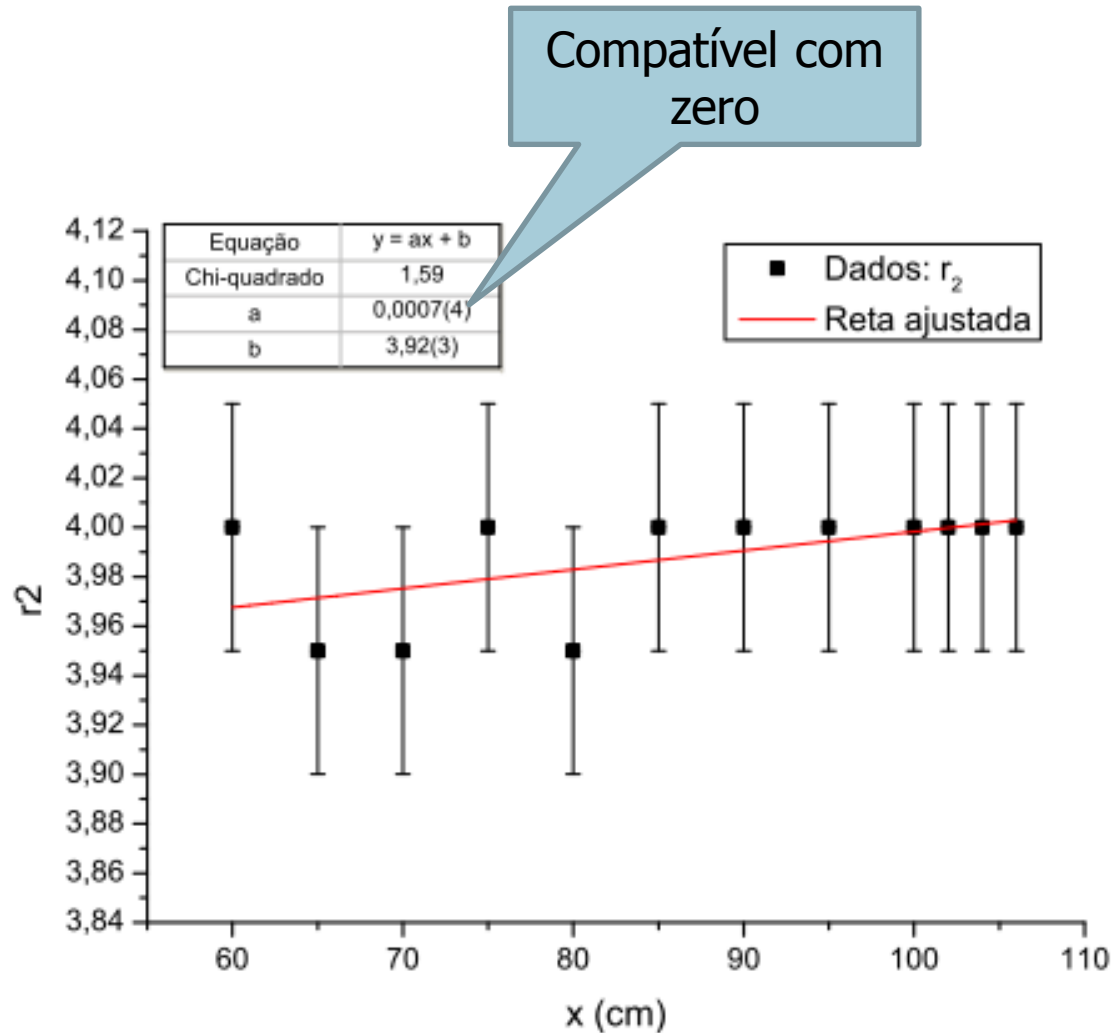
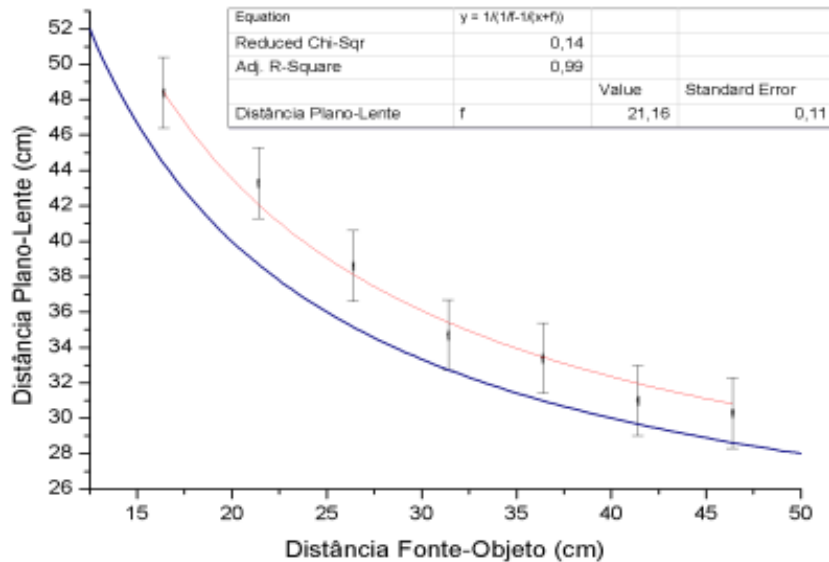


Figura 3: Gráfico de tamanho  $r_2$  dos máximos sob o anteparo *versus* posição da lente divergente  $x$ . Em vermelho, reta ajustada para os dados, com inclinação  $a = 0,0007(4)$  compatível com zero.

# Verificação da posição do P.F.

- Neste caso,  $b=f$ . Variamos  $a$  e medimos  $q$



Posição do Plano x Distância do Objeto			
$b = \text{distância focal} = 20,0(2)\text{cm}$			
$a(\text{mm})$	$b(\text{mm})$	$q_{exp}(\text{mm})$	$q_{teo}(\text{mm})$
$49,0 \pm 1,4$	$20,0 \pm 0,5$	$28,55 \pm 0,5$	$28,2 \pm 1,4$
$39,0 \pm 1,4$	$20,0 \pm 0,5$	$29,95 \pm 0,6$	$30,3 \pm 1,5$
$29,0 \pm 1,4$	$20,0 \pm 0,5$	$20,0 \pm 0,7$	$33,80 \pm 1,6$

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{f} - \frac{1}{a+b}$$

Pelo ótimo valor de "R-Square" do ajuste (muito próximo de 1) e pela distribuição não tendenciosa dos pontos em torno da curva ajustada, podemos ver que a expressão (1) ajusta muito bem os pontos experimentais, porém o valor nominal do foco da última lente convergente não é o real, utilizando agora este valor novo do foco para o cálculo do número de linha por mm do objeto temos:

# H08

- Este grupo determinou limites onde esta em foco (plano de fourier). A curva teórica é compatível!

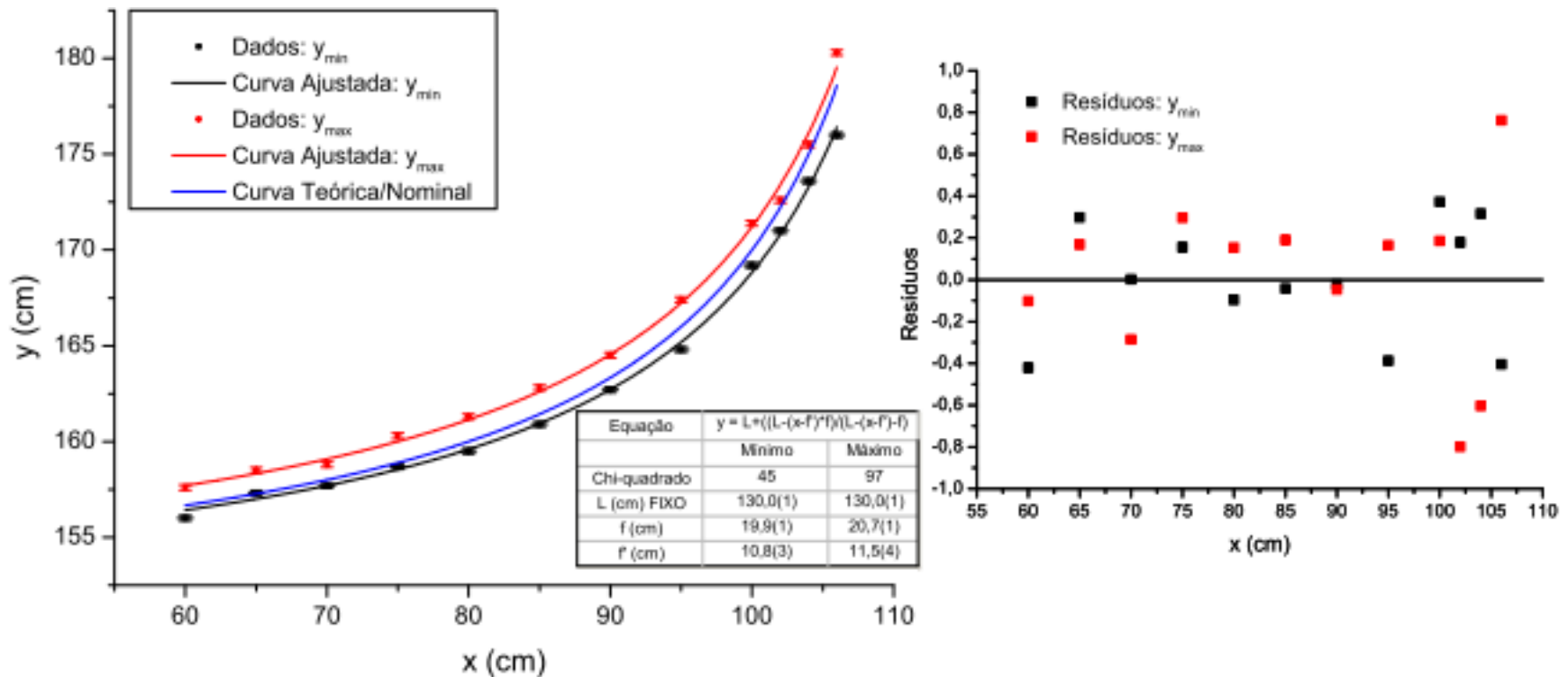


Figura 1: À esquerda, gráfico de posição do anteparo  $y$  (mínimo, em preto, e máximo, em vermelho, para focalização) versus posição da lente divergente  $x$ ; em azul, a curva teórica, com parâmetros  $f, f'$  nominais e  $L$  experimental fixados e, em preto e em vermelho, curvas ajustadas para os dados de  $y_{\min}$  e  $y_{\max}$  respectivamente. À direita, gráfico de resíduos para os ajustes realizados.