

*Alexandre Suaide*

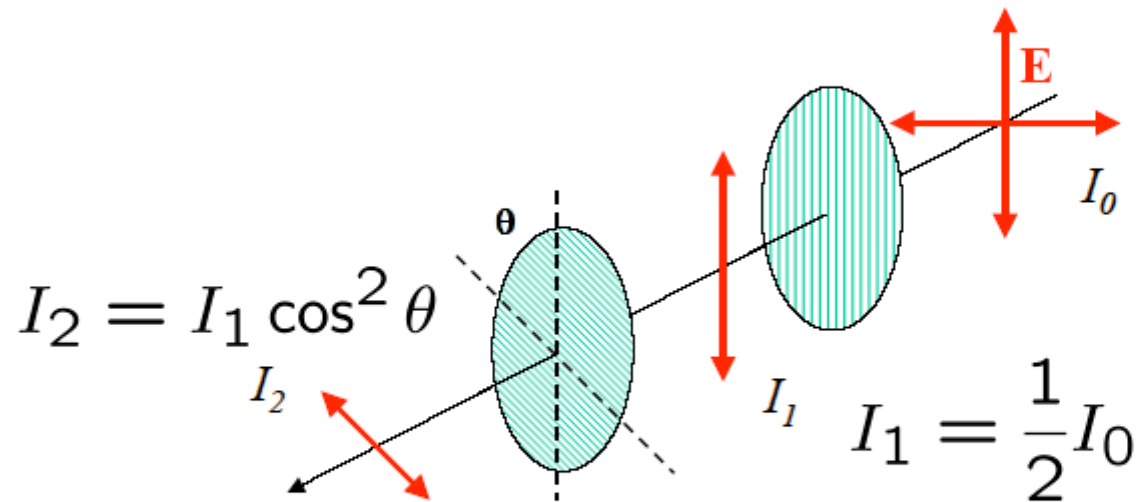
Ed. Oscar Sala

sala 246

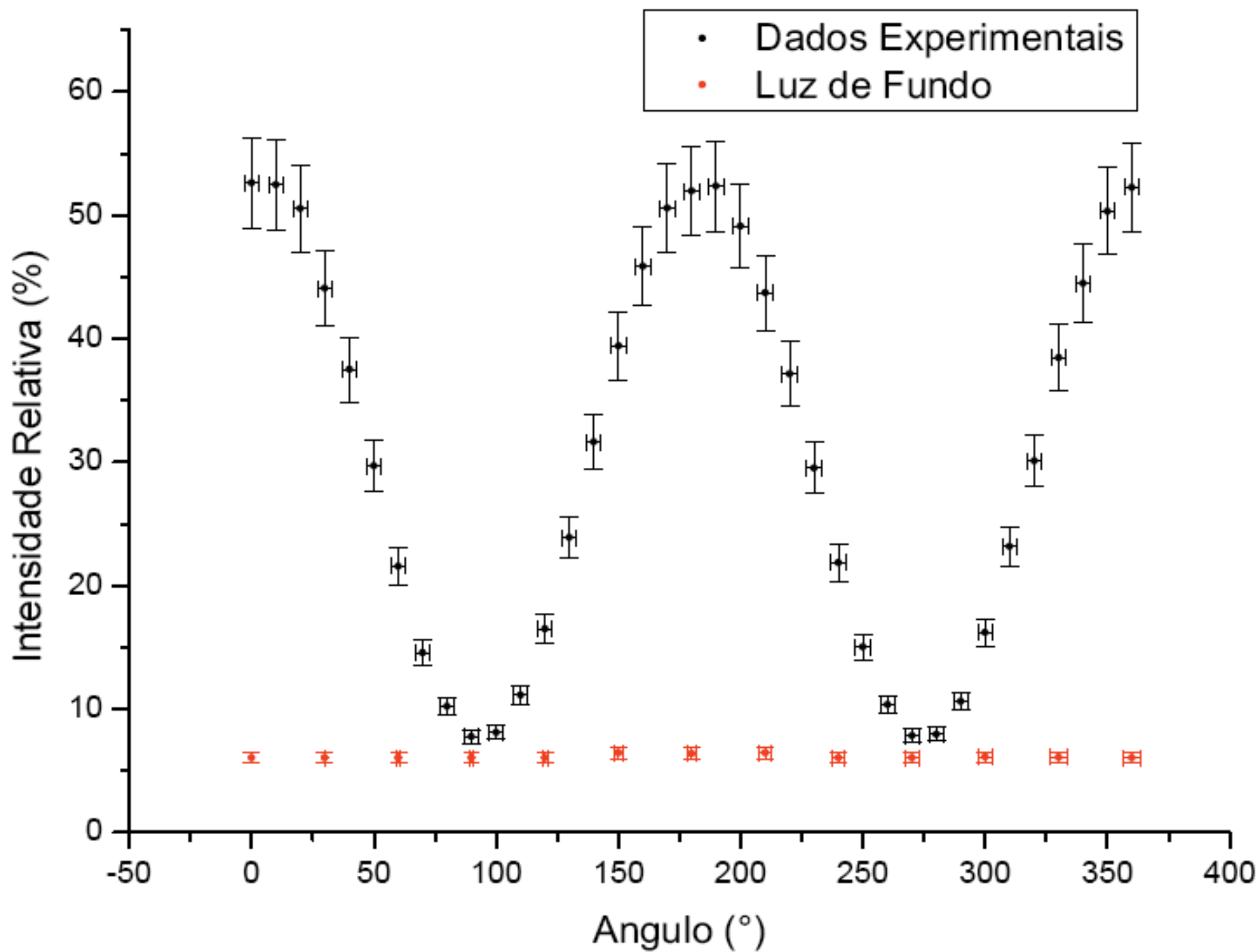
ramal 7072

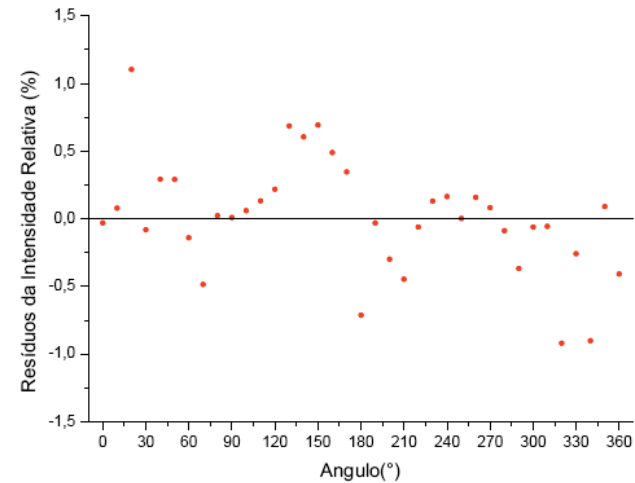
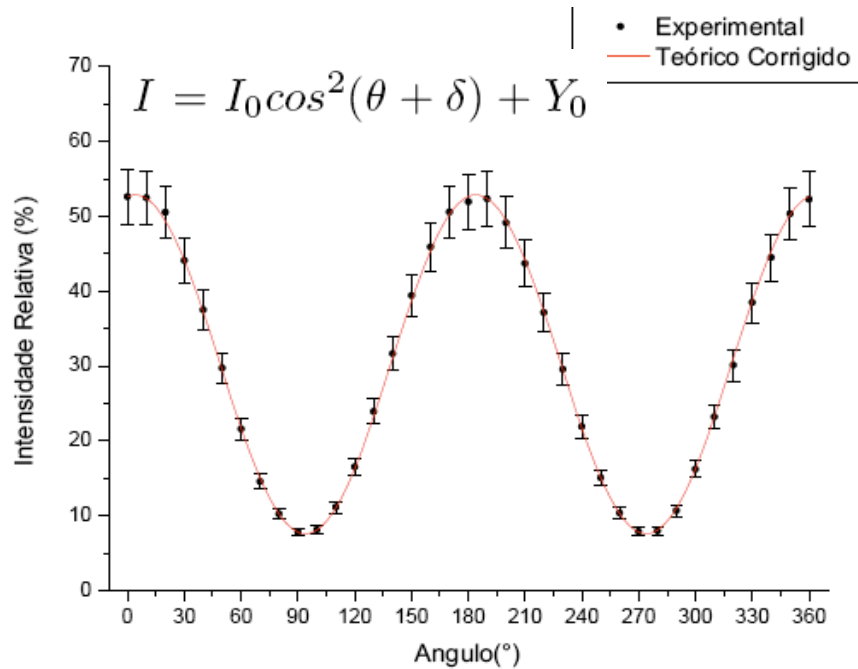
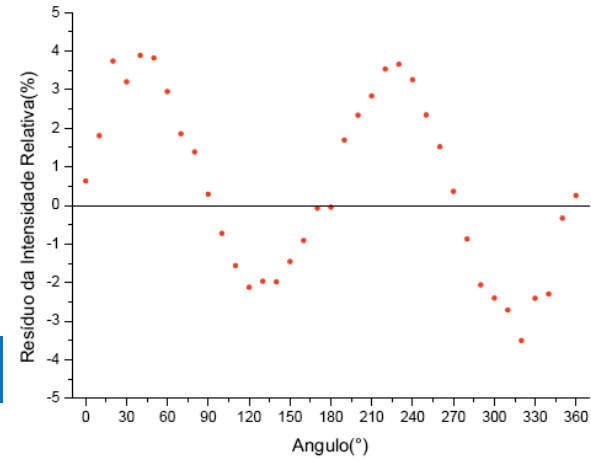
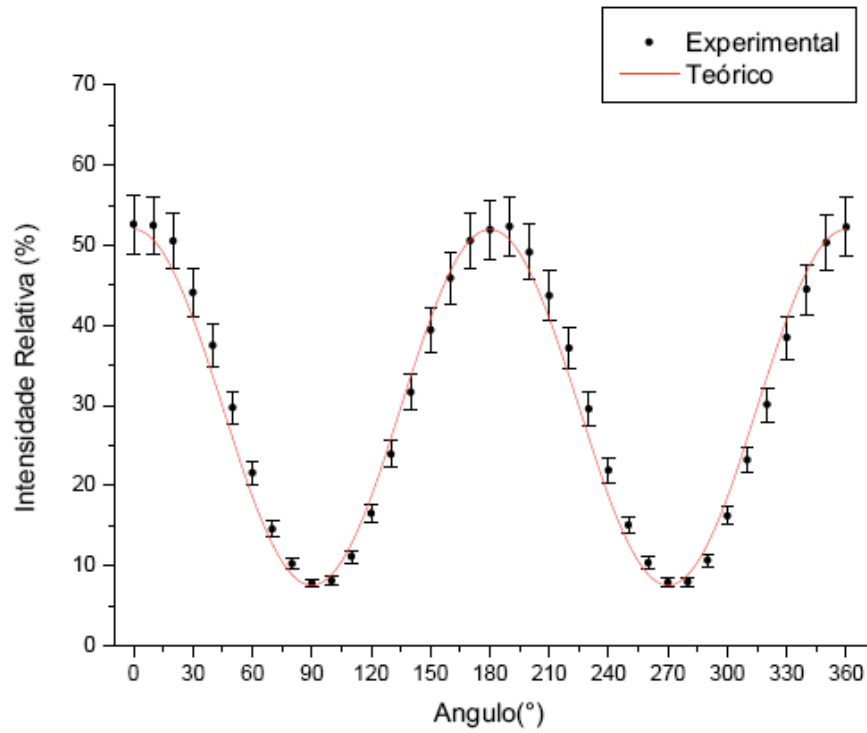
**Física Experimental IV - 13ª aula**  
**<http://www.dfn.if.usp.br/~suaide/>**

# Lei de Malus



$$\Rightarrow I_2 = \frac{I_0}{2} \cos^2 \theta$$

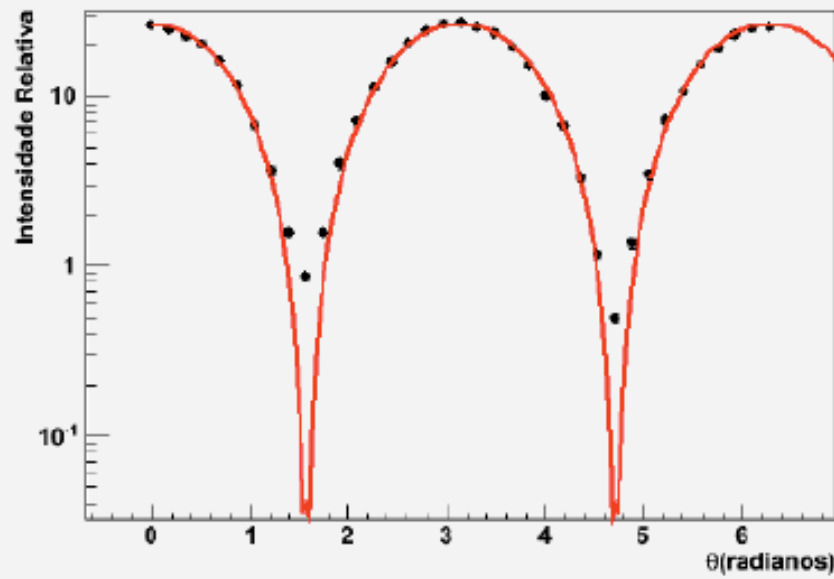




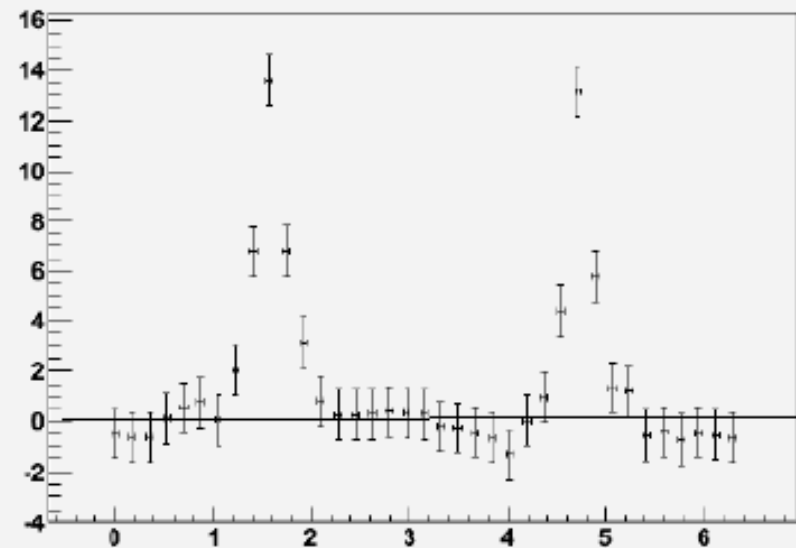
Coefficiente	Valor	Incerteza
$Y_0(\%)$	6,95	0,07
$I_0$	45,33	0,10
$\delta()$	-3,98	0,09

Intensidade vs  $\theta$

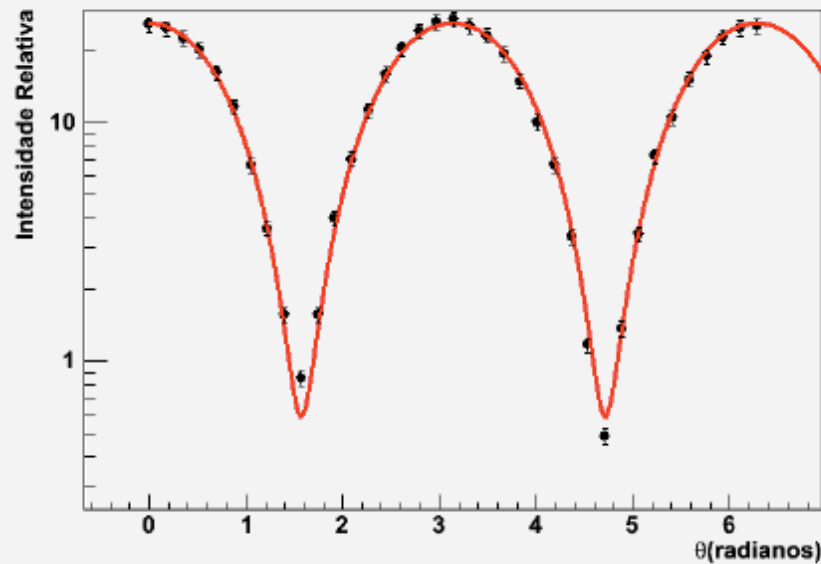
$$I = I_0 \cos^2 \theta$$



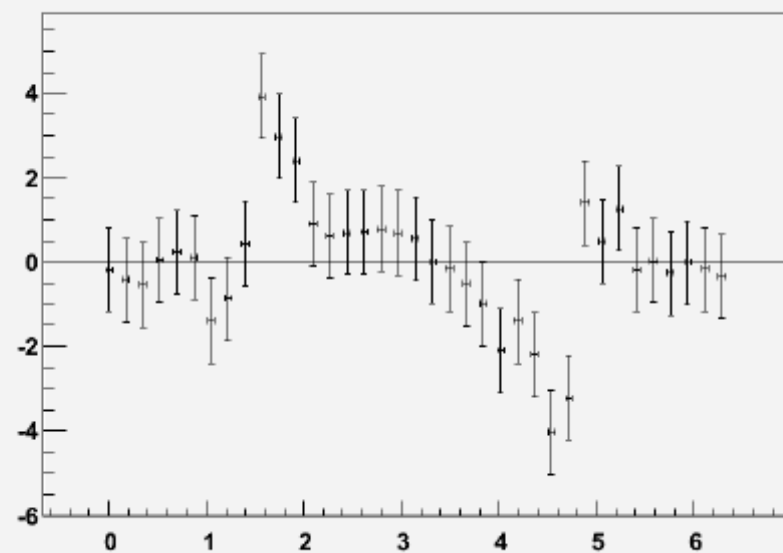
Graph



Intensidade vs  $\theta$

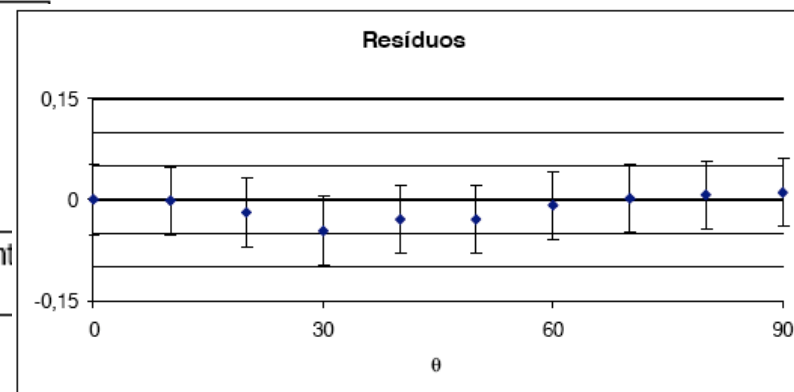
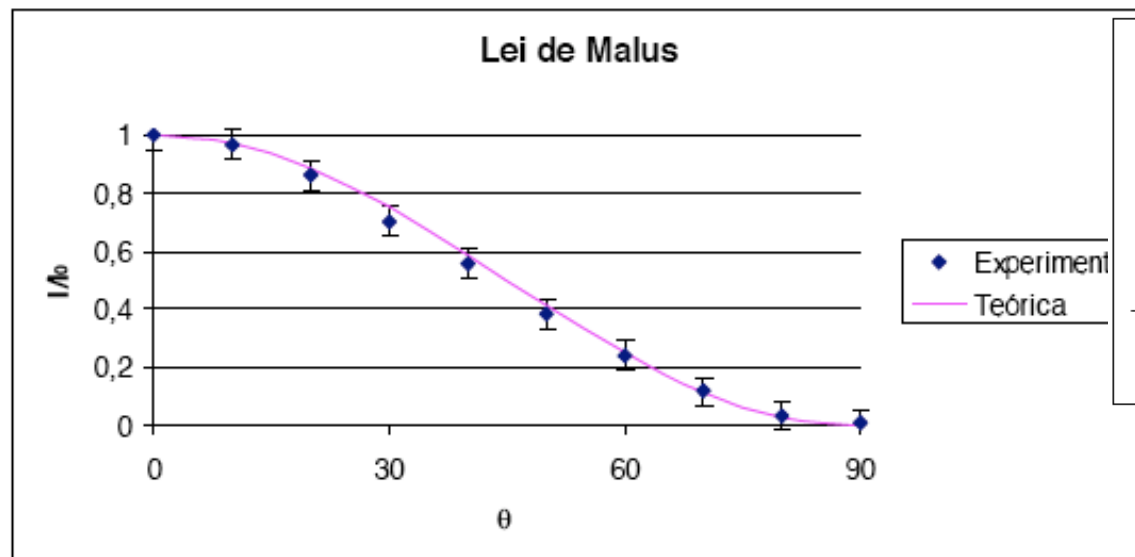


Graph

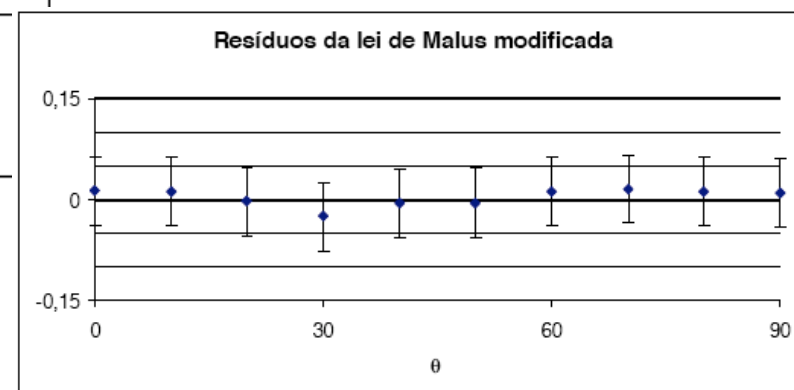
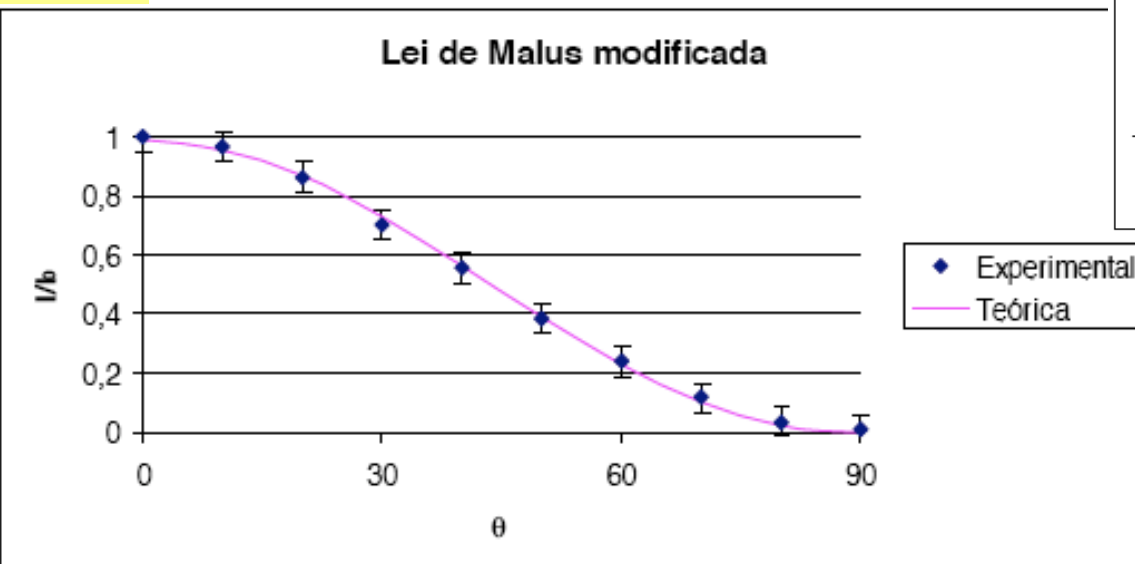


$$I = I_0 \cos^2(\theta - \theta_0) + f$$

# Sensibilidade à efeitos secundários

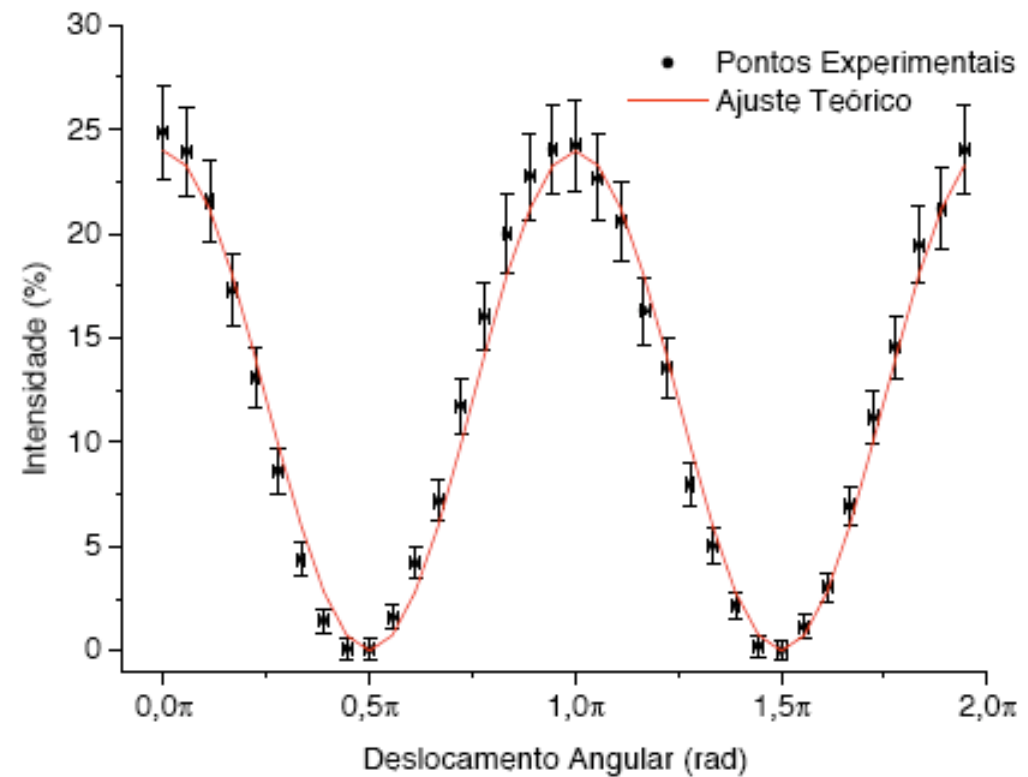
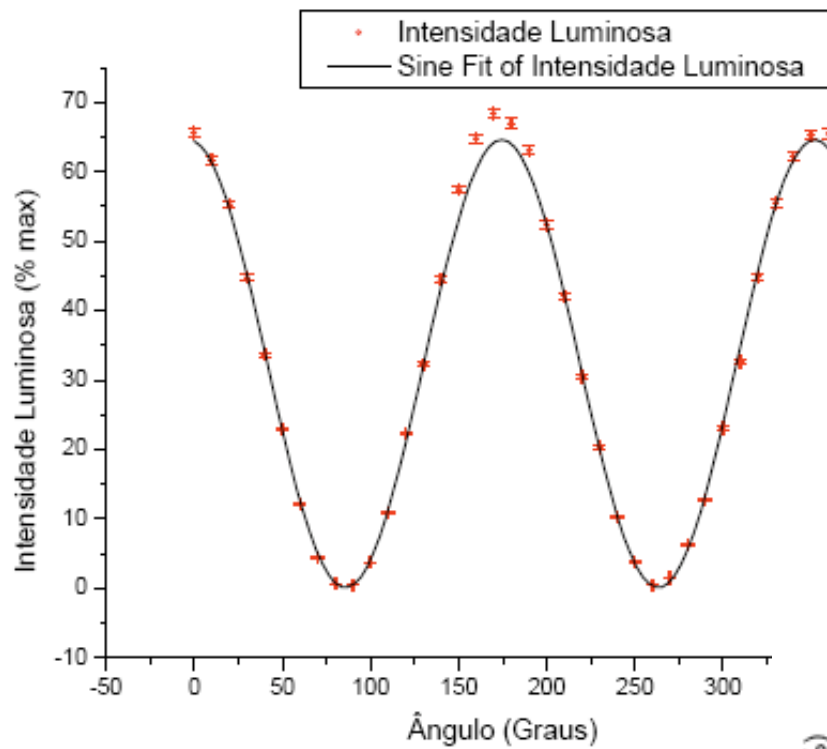


(fig 1.1) Gráfico dos valores de  $I/I_0$  por  $\theta$  com uma curva teórica seguindo a lei de Malus.

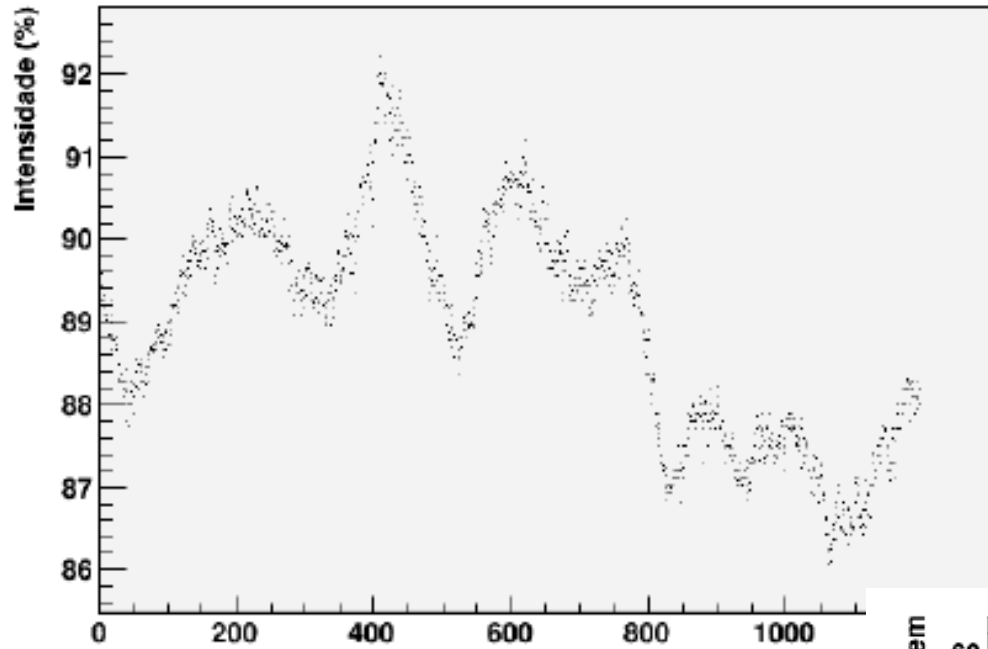


Refizemos o gráfico da lei de Malus com  $\theta$  elevado a 2,15. Este é o valor que  $n$  lei de Malus modificada e a fig (1.4) é o

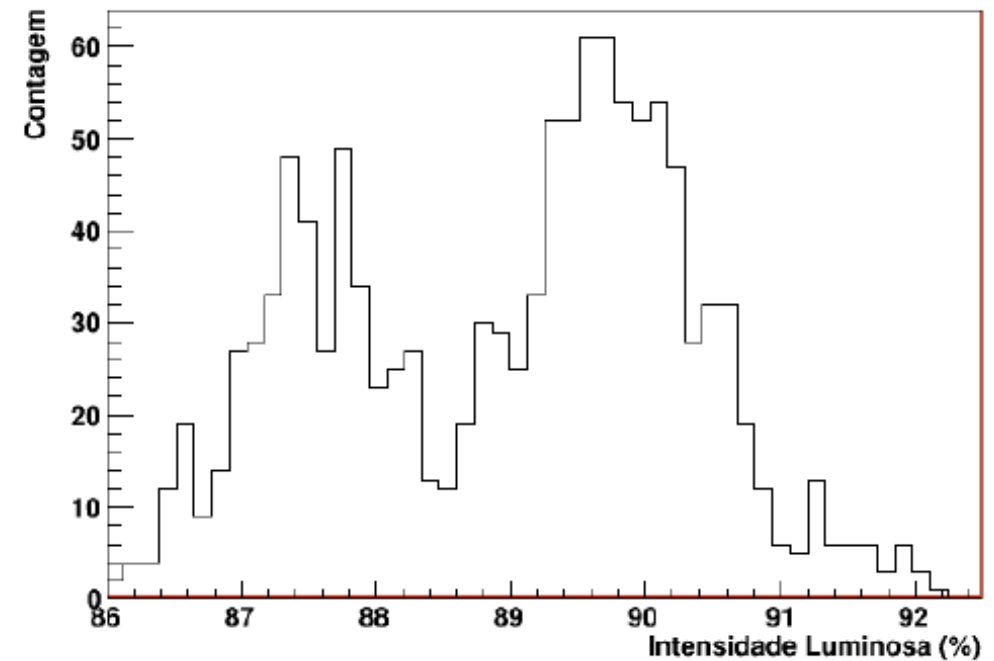
# Incertezas experimentais



# Incertezas experimentais

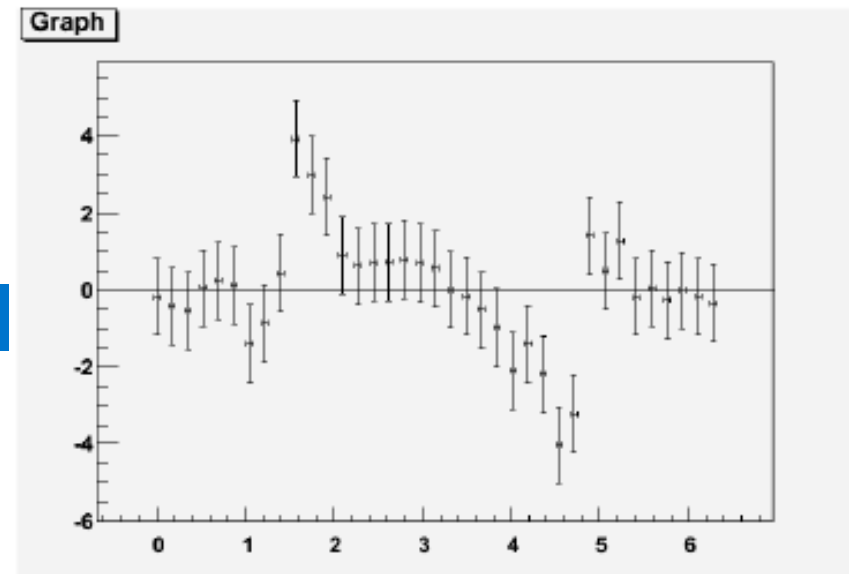
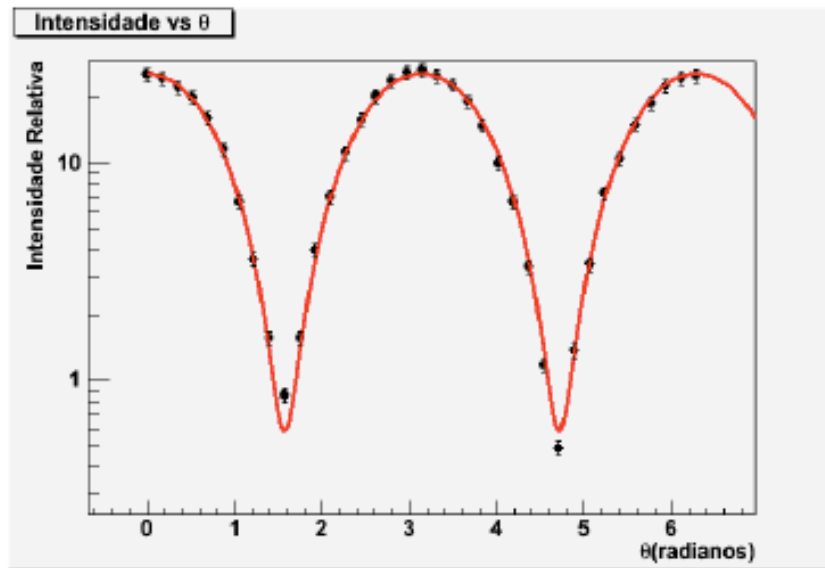


de 120 segundos.





# Outros efeitos?



Apesar do  $\chi_{red}^2$  ter dado próximo de 1, observamos pelos resíduos um problema no ajuste na região dos mínimos do gráfico. Pensamos em algumas hipóteses que podem explicar esse efeito.

1. A luz de fundo que não passou pelo polaróide pode fazer com que fosse medida a intensidade com uma polarização não-linear.
2. O mesmo efeito pode ocorrer devido à imperfeições do polaróide, isto é, a luz emergente do polaróide possui uma polarização não-linear.
3. Pode ter infravermelho residual que não foi absorvido pela solução de  $CuSO_4$ .

# Outros efeitos?

Para testar a hipótese da luz com polarização não-linear que pode estar sendo detectada, utilizamos um ímã próximo ao polaróide e vamos ver como se comportam os mínimos da intensidade. O gráfico comparando o mínimo medido com e sem o ímã pode ser visto na Fig.4.

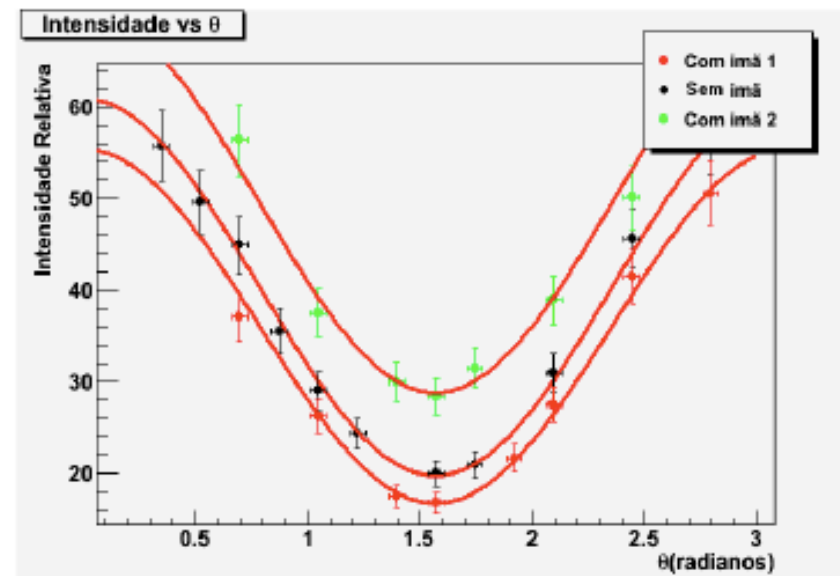


Figura 4: Gráfico da intensidade relativa vs  $\theta$  com e sem a presença de um ímã

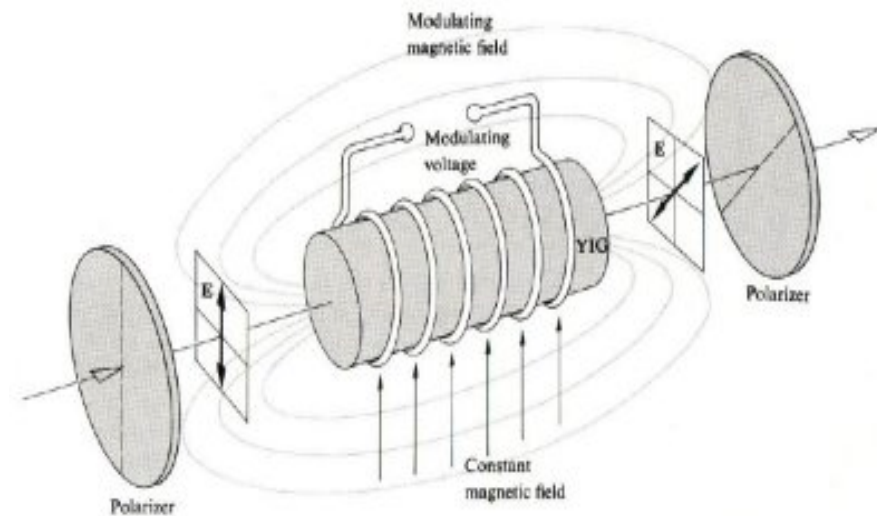
Podemos perceber que a mudança do campo magnético muda os mínimos de intensidade de forma significativa, o que confirma nossa hipótese de que existe alguma polarização não-linear na luz emergente do polaróide.

# Outros efeitos?

- Luz circularmente polarizada?
  - O que esperávamos?
- Rotação de Faraday?
  - Qual a intensidade do campo?
  - O polarizador é espesso o suficiente?
  - O efeito esperado é compatível?
- Outros efeitos?
  - Será que o fotosensor é sensível a campo magnético?
  - Os dados são reproduzíveis?

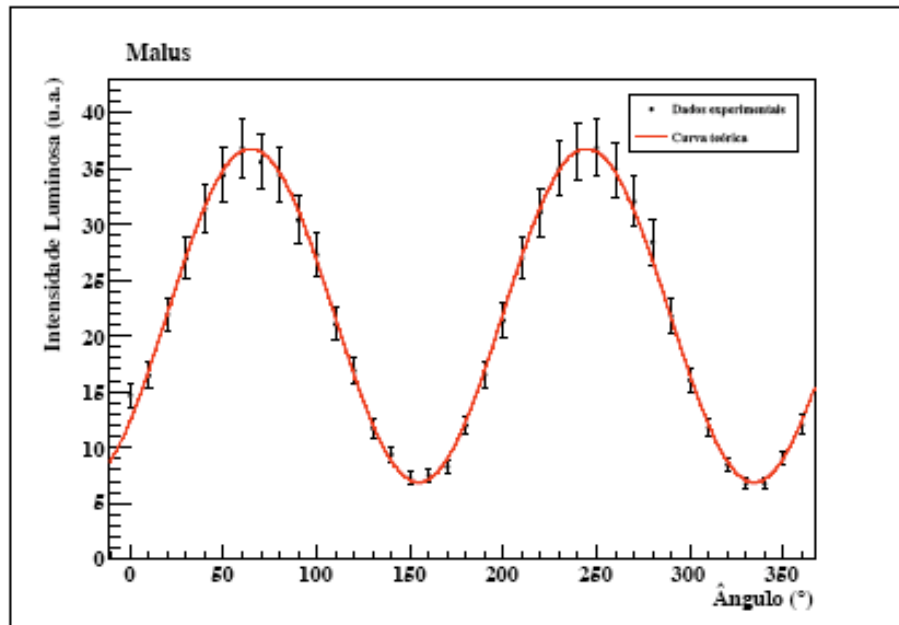
Para TGG (cristal),  $v \sim 134 \text{ rad/Tm}$   
Para  $\lambda = 632 \text{ nm}$

$$\beta = \nu B d$$



# Alinhamento do polarizador

- Muitos grupos ajustaram um pequeno offset no ângulo do polarizador
- Como saber qual polarizador está descalibrado?

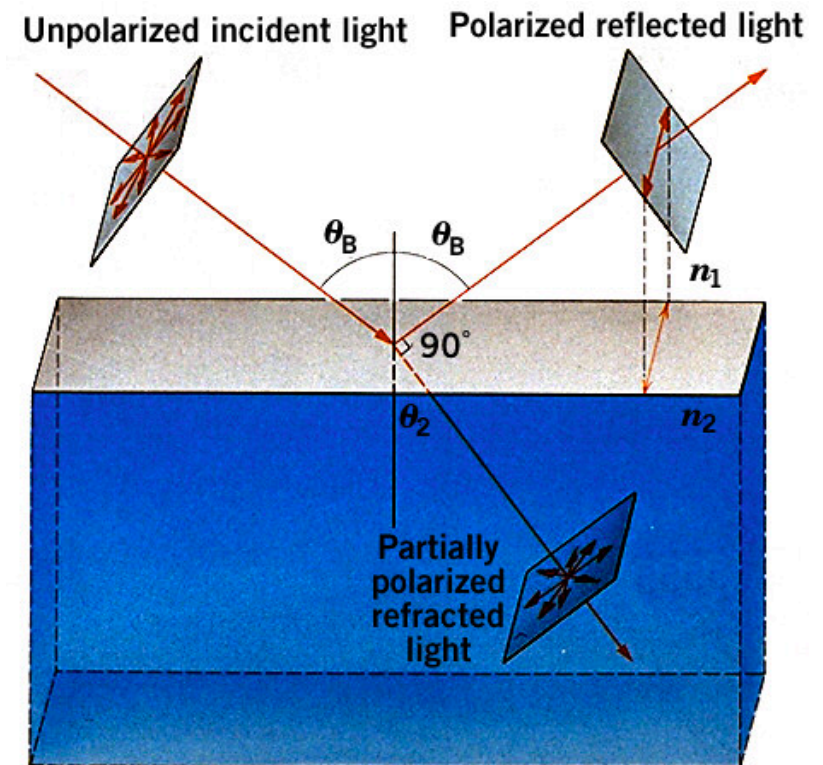


Parâmetro	Valor
$I_0$	$29,9(7)u.a.$
$I_f$	$6,8(3)u.a.$
$\theta_0$	$-64,7(7)^\circ$
$\chi_{red}^2$	0,33

$$I(\theta) = I_f + I_0 \cos^2(\theta + \theta_0)$$

# Polarização por reflexão

- Onda não polarizada incidente em uma superfície
- As ondas refletida e refratada possuem diferentes graus de polarização, dependendo das cond. contorno
  - Ângulo de incidência
  - Índices de refração

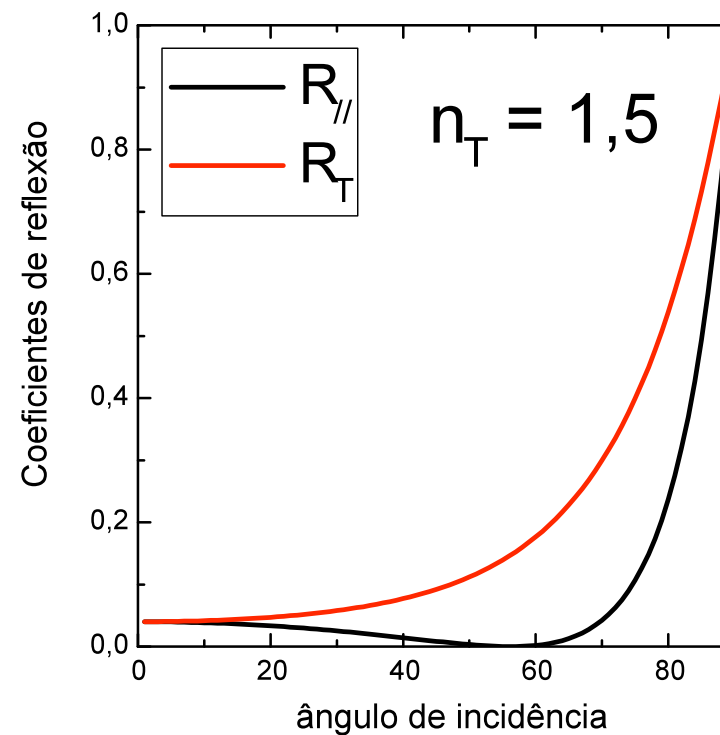


# Polarização por reflexão

- Coeficientes de reflexão ( $R = I/I_0$ )

$$R_{\perp} = \frac{\sin^2(\theta_i - \theta_t)}{\sin^2(\theta_i + \theta_t)}$$

$$R_{\parallel} = \frac{\tan^2(\theta_i - \theta_t)}{\tan^2(\theta_i + \theta_t)}$$



# Polarização por reflexão

- O ângulo no qual a luz refletida é totalmente polarizada é chamado:

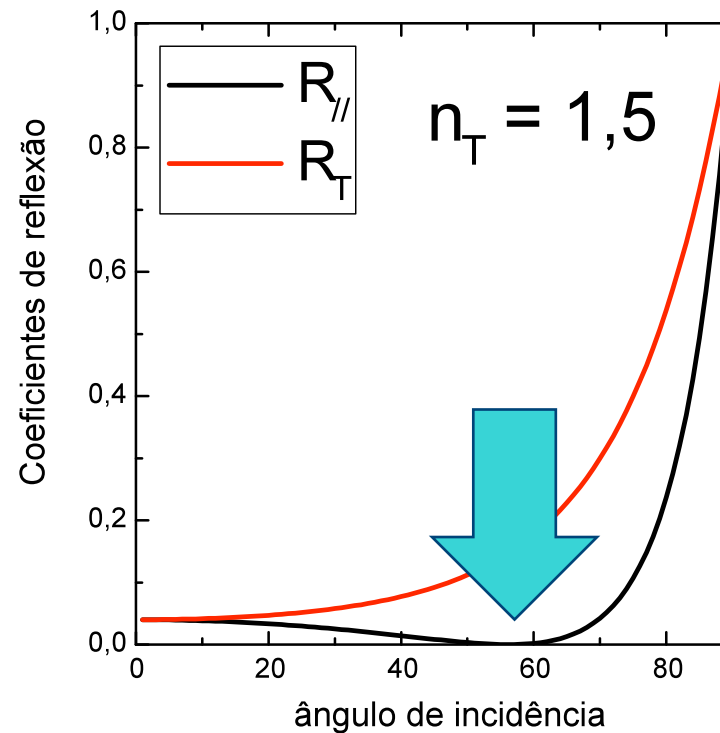
- Ângulo de Brewster

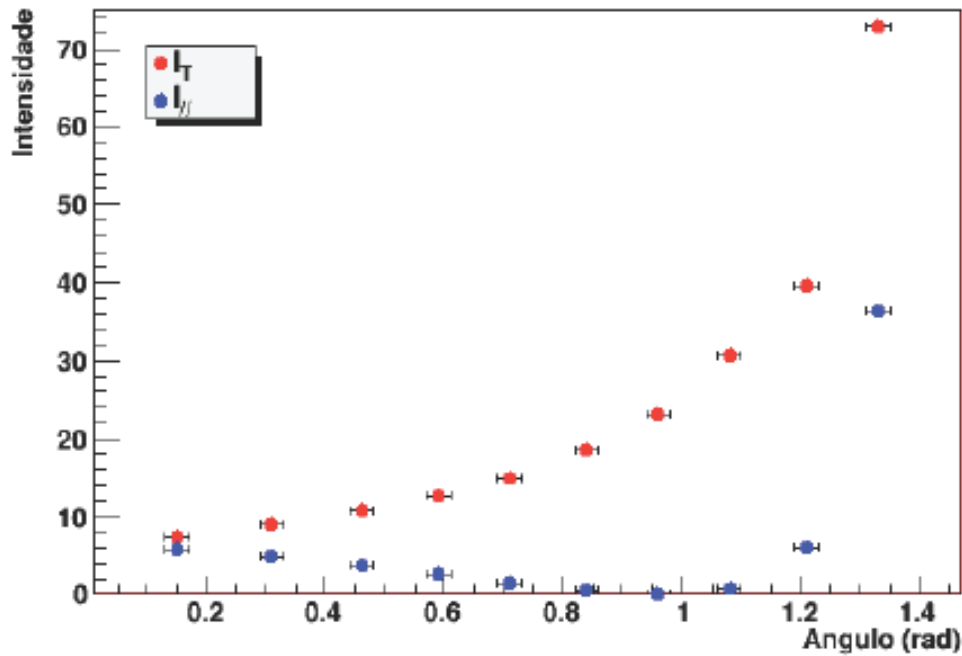
$$\theta_B + \theta_t = 90^\circ$$

$$n_i \sin \theta_B = n_t \sin \theta_t$$

$$n_i \sin \theta_B = n_t \cos \theta_B$$

$$n_t = \tan \theta_B$$



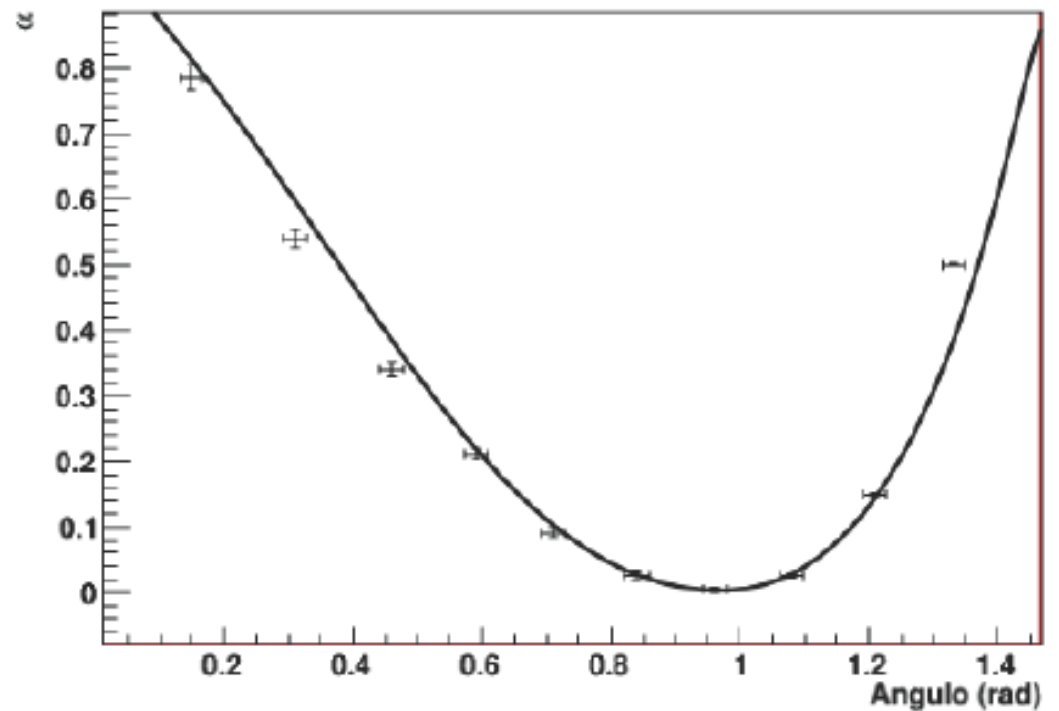


$$\alpha = \frac{R_{//}}{R_{\perp}} = \frac{I_{//}}{I_{\perp}} = \frac{\cos^2(\theta_i + \theta_t)}{\cos^2(\theta_i - \theta_t)}$$

$$\theta_t = \arcsen\left(\frac{\text{sen}\theta_i}{\eta}\right)$$

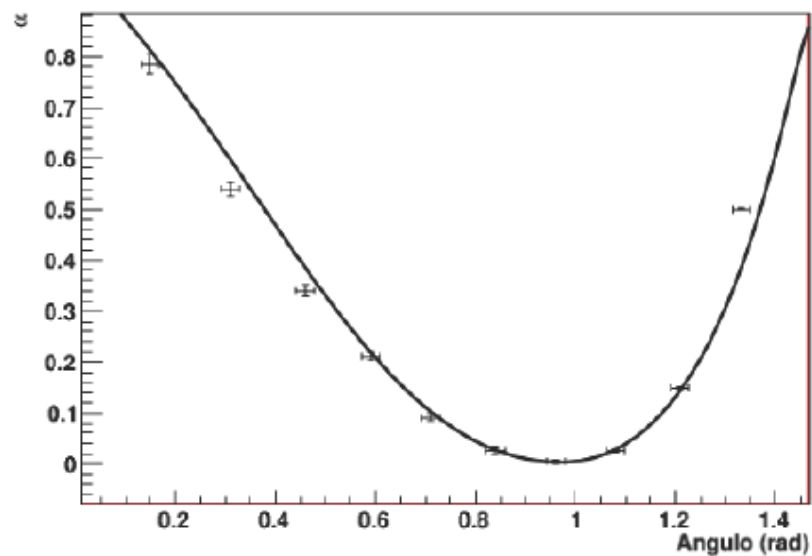
$$\eta = (1,466 \pm 0,025)$$

$$\theta_B = (55,7^{\circ} \pm 0,4^{\circ})$$

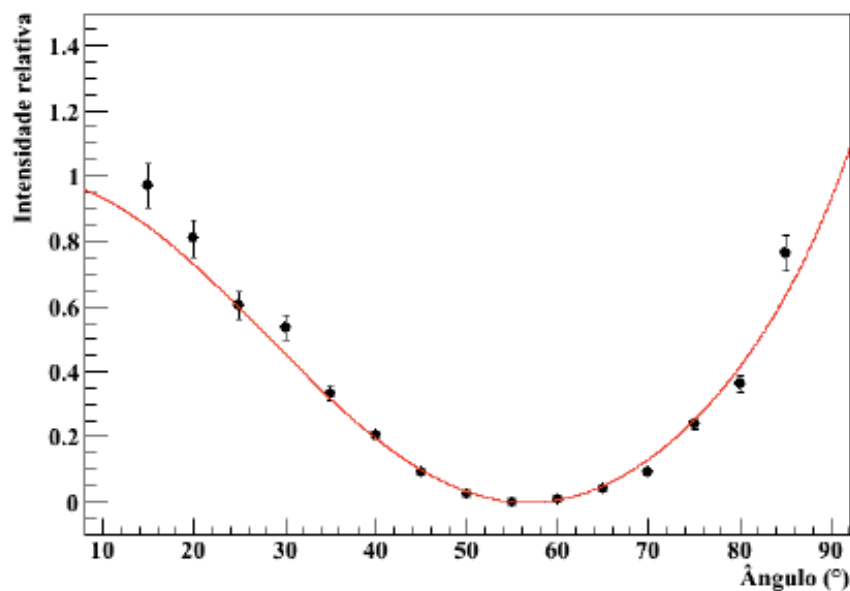




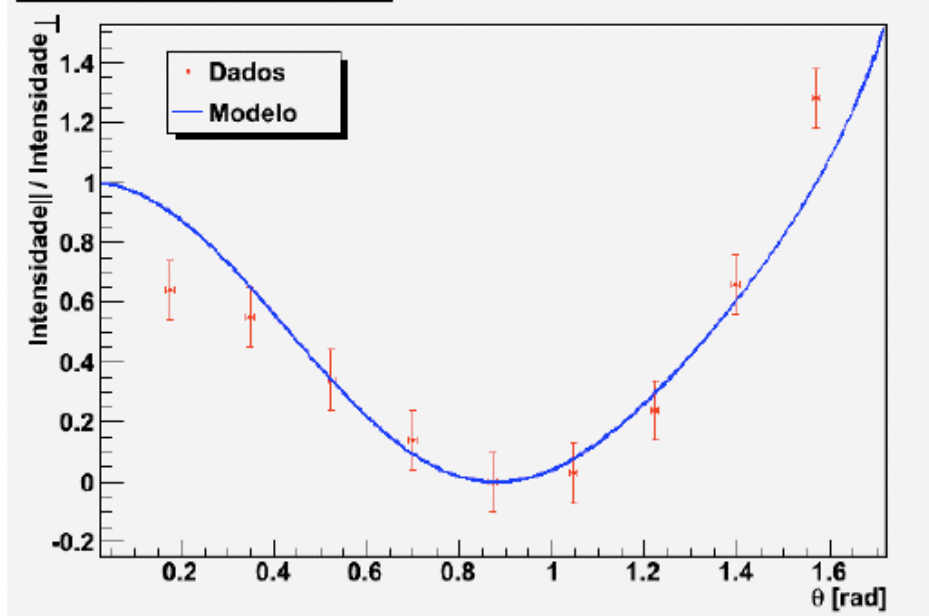
# Polarizador 1 em 45°?



Reflexão



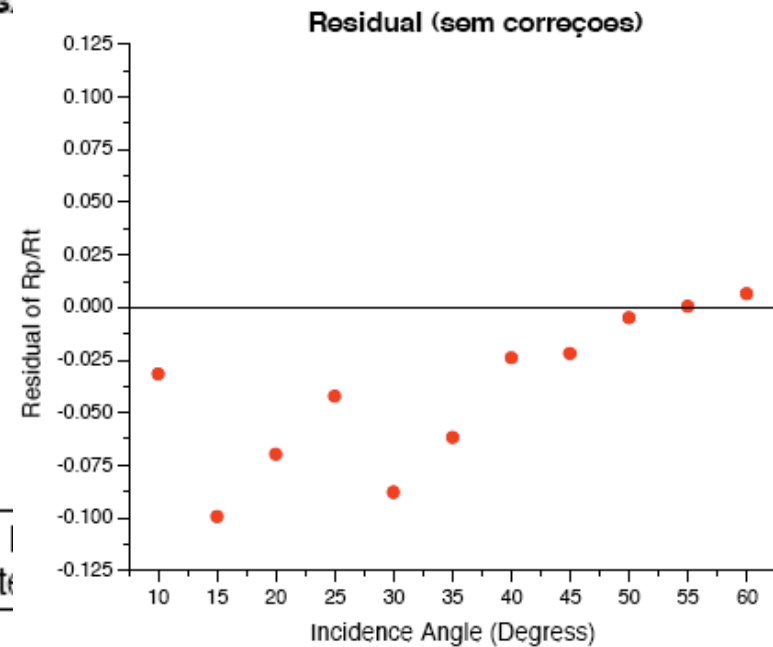
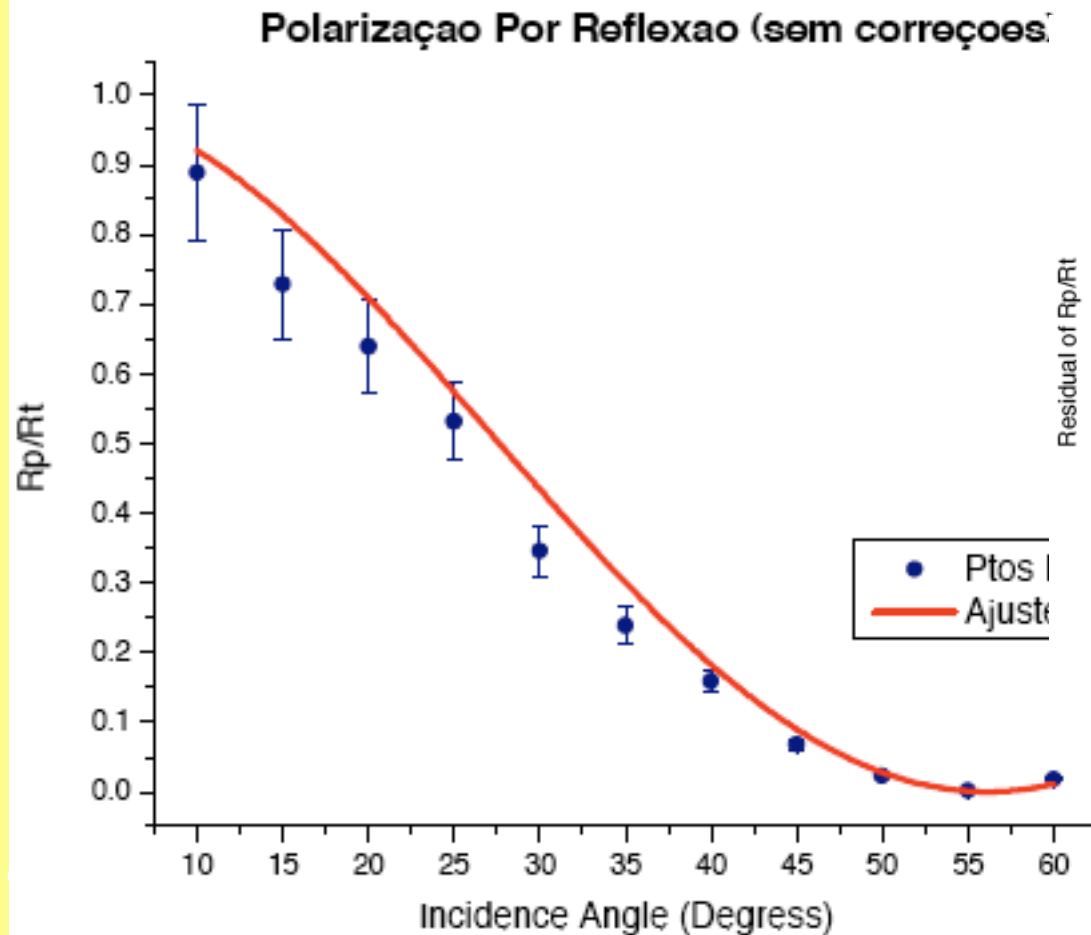
Polarização por reflexão



# Polarizador 1 em 45°?

$$\frac{I_{\parallel}}{I_{\perp}} = \frac{R_{\parallel}}{R_{\perp}} = \frac{\cos^2(\theta_i + \theta_t)}{\cos^2(\theta_i - \theta_t)}$$

$$n = (1,49 \pm 0,01)$$



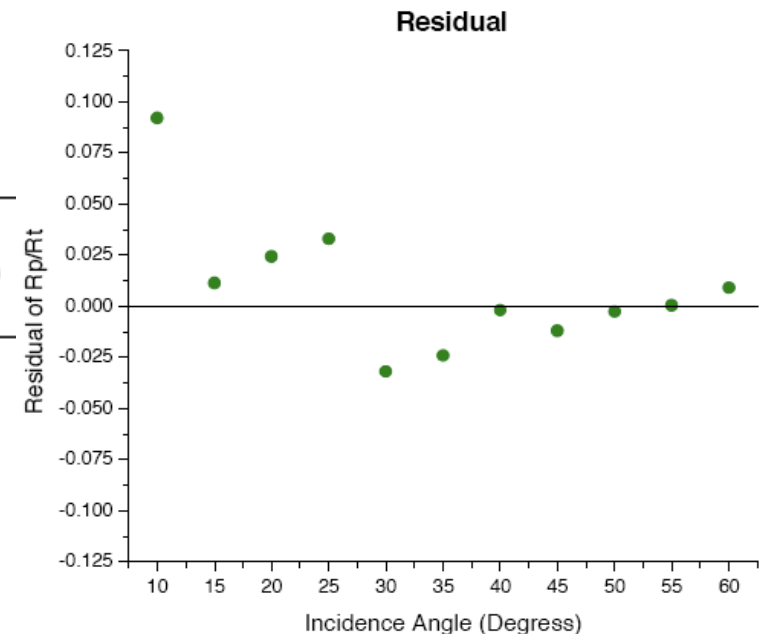
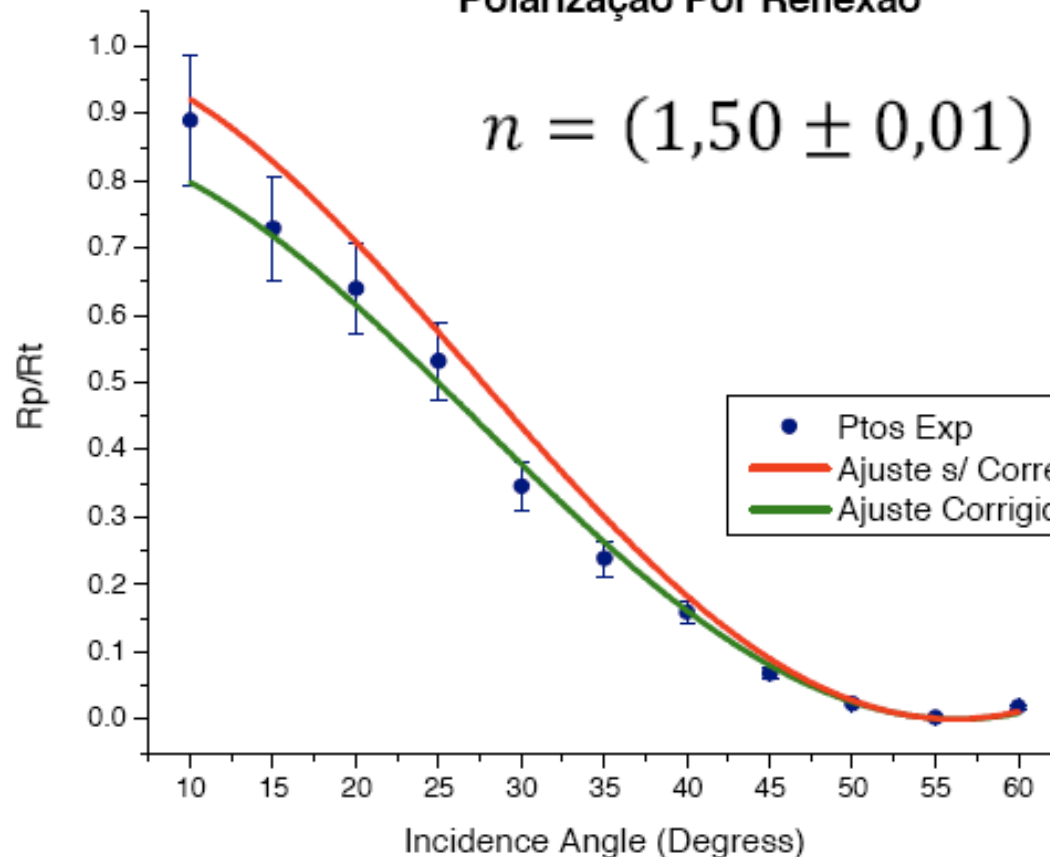
# Polarizador 1 em 45°?

$$n = (1,49 \pm 0,01)$$

$$\frac{I_{\parallel}}{I_{\perp}} = \frac{R_{\parallel}}{R_{\perp}} = R_0 \frac{\cos^2\left(\theta_i + a \sin\left(\frac{\sin\theta_i}{n_t}\right)\right)}{\cos^2\left(\theta_i - a \sin\left(\frac{\sin\theta_i}{n_t}\right)\right)} \quad (11) \quad , \quad \text{onde } R_0 = \frac{I_{0\perp}}{I_{0\parallel}}$$

## Polarização Por Reflexão

$$n = (1,50 \pm 0,01) \quad , \quad R_0 = (0,865 \pm 0,054)$$



# Resultados

Valor médio = 1.48  
Desvio padrão = 0.03

## Índice de refração (fora de ordem)

$1.50 \pm 0.01$

$1.479 \pm 0.007$

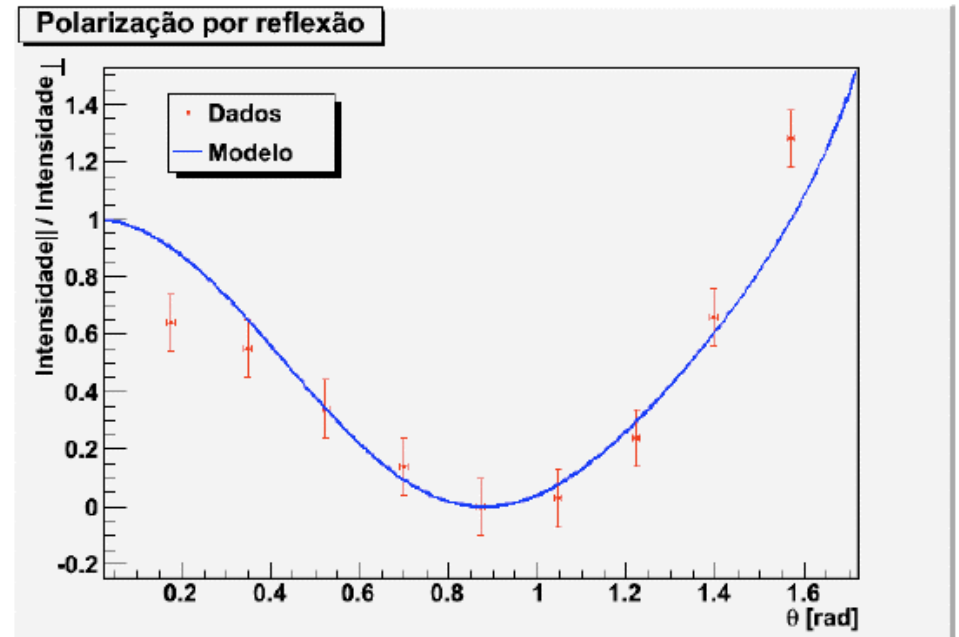
$1.51 \pm 0.03$

$1.266 \pm 0.003$

$1.432 \pm 0.025$

$1.466 \pm 0.025$

$1.47 \pm 0.03$



# Sobre as atividades

- Placas de onda prontas.
  - Diversas placas de  $\frac{1}{4}$  de onda estão disponíveis.
    - Não são placas perfeitas. Discutam isto na síntese. Tentem modelar os efeitos residuais.
    - Estas placas são construídas com fita adesiva, que não tem espessura uniforme. Dependendo da posição na placa pode-se obter resultados melhores ou piores.
  - Para fazer uma placa de  $\frac{1}{2}$  onda, junte duas placas de  $\frac{1}{4}$  de onda 😊.
  - Pode ser necessário usar atenuadores de intensidade. Neste caso, há slides de raio-x disponíveis.
  - Vocês já sabem que os polarizadores não estão aferidos com elevada precisão. Como tratar isto?