

# Física Experimental IV

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

2º Semestre 2021

Exp. 3 – Polarização

Atividade 1 – Lei de Malus

Semana 9 - 11/Novembro

Prof. Henrique Barbosa

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

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

REVISÃO

# Exp. 3 – Polarização

- Objetivos
  - Estudar a polarização linear, circular, e elíptica
  - A reflexão e a polarização: reflexão na interface com dielétricos e com superfícies metálicas
  - Dielétricos que mudam o estado de polarização: as placas  $\frac{1}{2}$  onda e  $\frac{1}{4}$  de onda

# Cronograma

- 4 atividades:

- **Atividade 1:** Fenômenos de polarização da luz - Lei de Malus

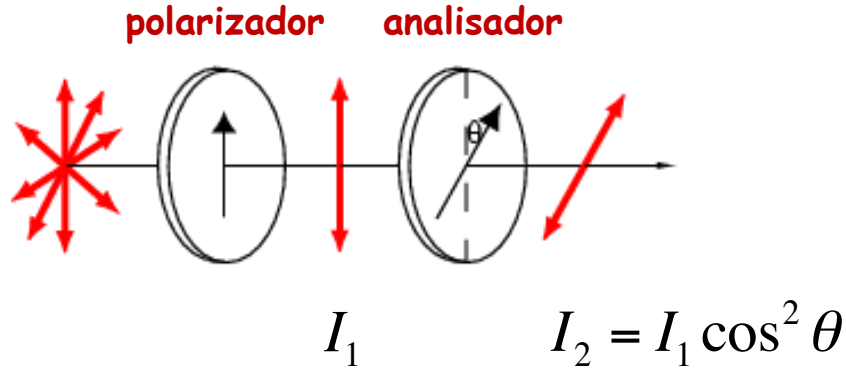
- **Atividade 2:** Polarização após reflexão em dielétrico

- **Atividade 3:** Polarização após reflexão em espelho

- **Atividade 4:** Alteração da polarização por placa de onda

# Atividade 1

- Verificar experimentalmente a lei de Malus para uma luz previamente polarizada.

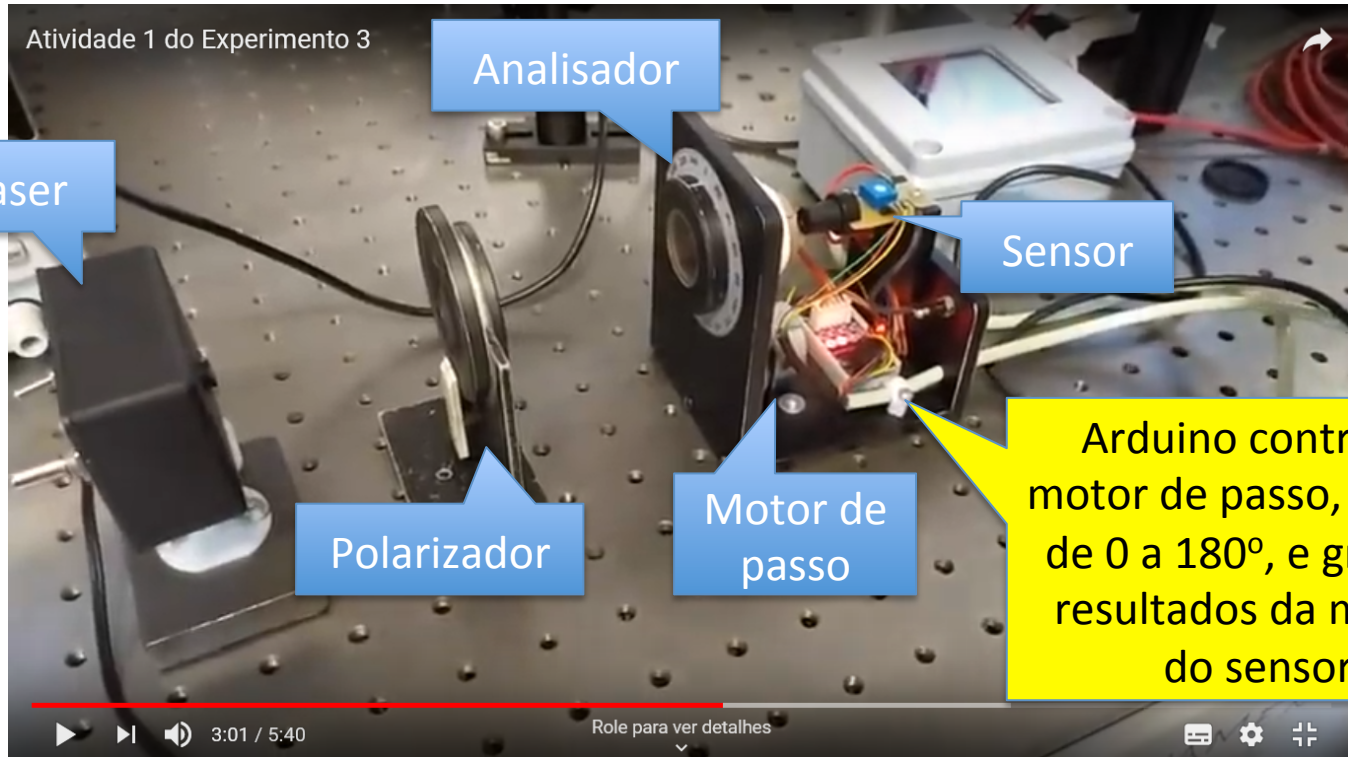


Malus - engenheiro, soldado e aluno de Fourier



1775-1812

# Montagem



[https://youtu.be/bV\\_fWmjmlJo](https://youtu.be/bV_fWmjmlJo)

# Medidas

- Medir a intensidade luminosa em função de  $\theta$  para 3 orientações diferentes do polarizador inicial ( $0^\circ$ ,  $20^\circ$  e  $50^\circ$ )
- Fazer o gráfico de intensidade vs.  $\theta$  para os 3 casos
- Ajustar os dados experimentais com a previsão teórica da Lei de Malus
- Comparar os valores obtidos para o ângulo do polarizador com os valores nominais.

# Discussão

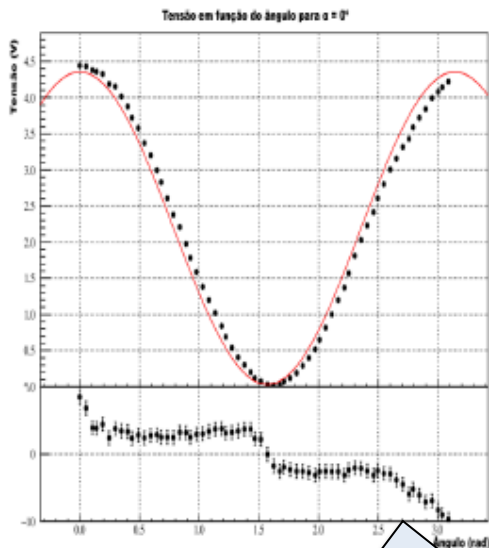
- Discutir os resultados
  - Os dados se comportam como esperado pela teoria?
  - Caso não, podemos modificar a Lei de Malus para levar em conta outros efeitos? Quais são estes efeitos?
  - Se necessário, refaça o ajuste levando em conta as modificações efetuadas na Lei de Malus (justifique!).

# Lei de Malus

$$I = I_0 * \cos^2(\theta)$$

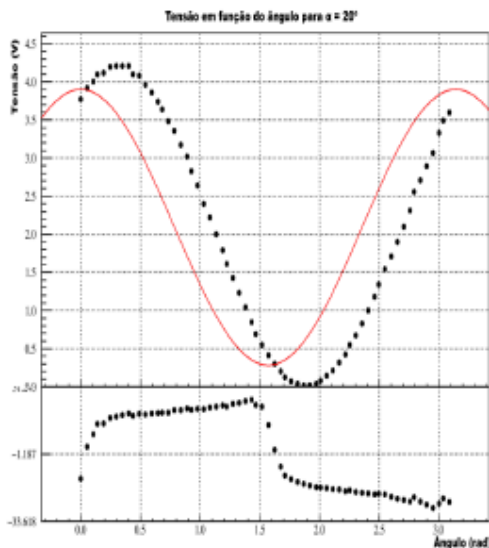
nenhuma modificação? (1)

Figura 2: Ajustes realizados sem a correta determinação do ângulo  $\theta$  da Lei de Malus

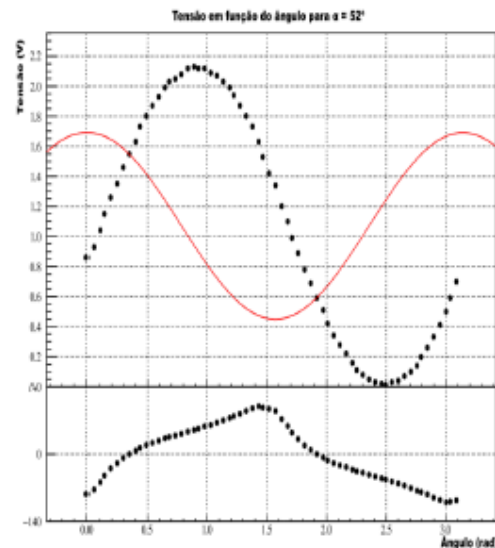


(a)  $V(\theta)$  obtido por

Grandes erros sistemáticos



(b)  $V(\theta)$  obtido para  $\alpha = 20^\circ$

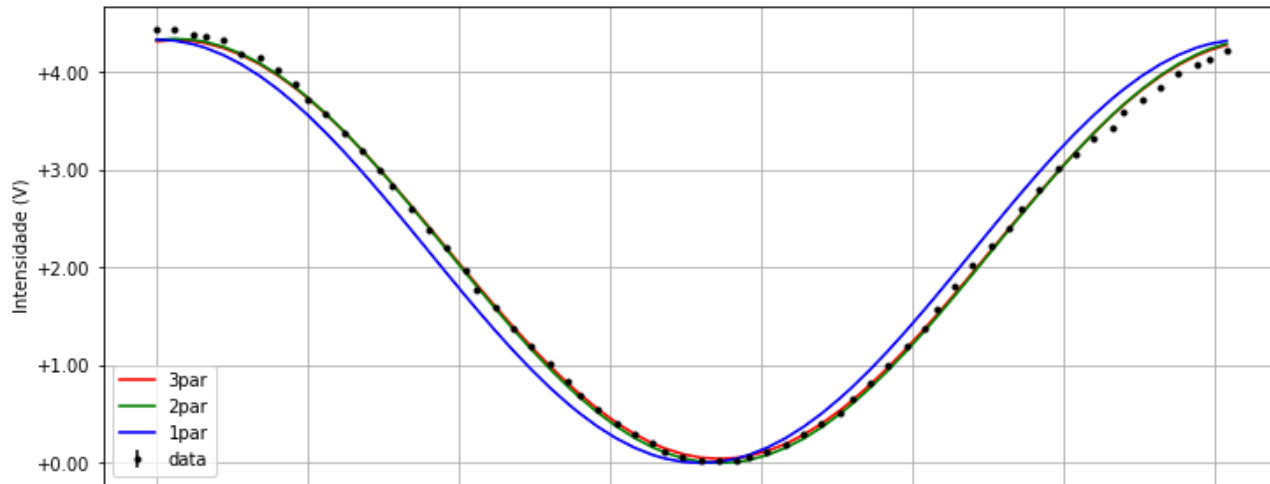


(c)  $V(\theta)$  obtido para  $\alpha = 52^\circ$



# Ajustes na Lei de Malus

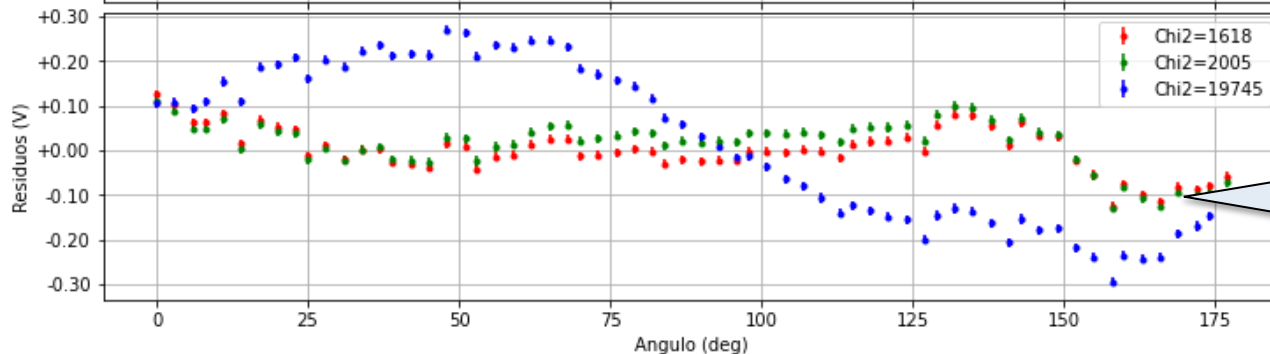
Malus



$$I_2 = I_1 \cos^2 \theta$$

$$I_2 = I_1 \cos^2 (\theta - \theta_0)$$

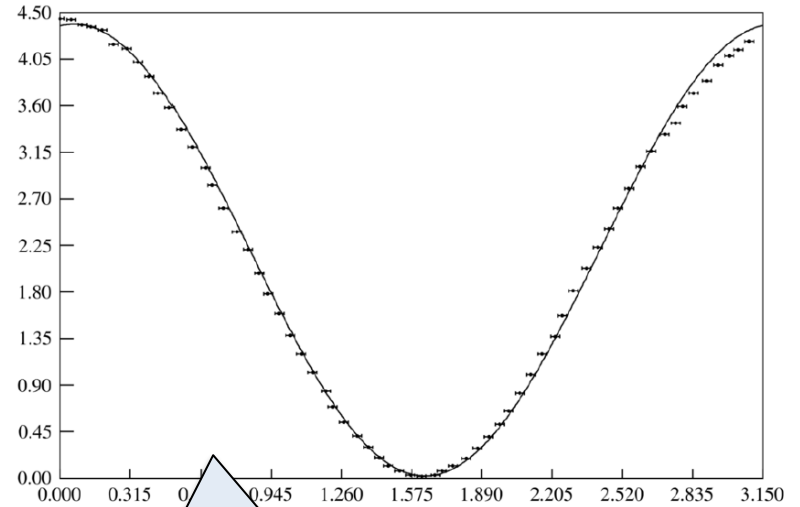
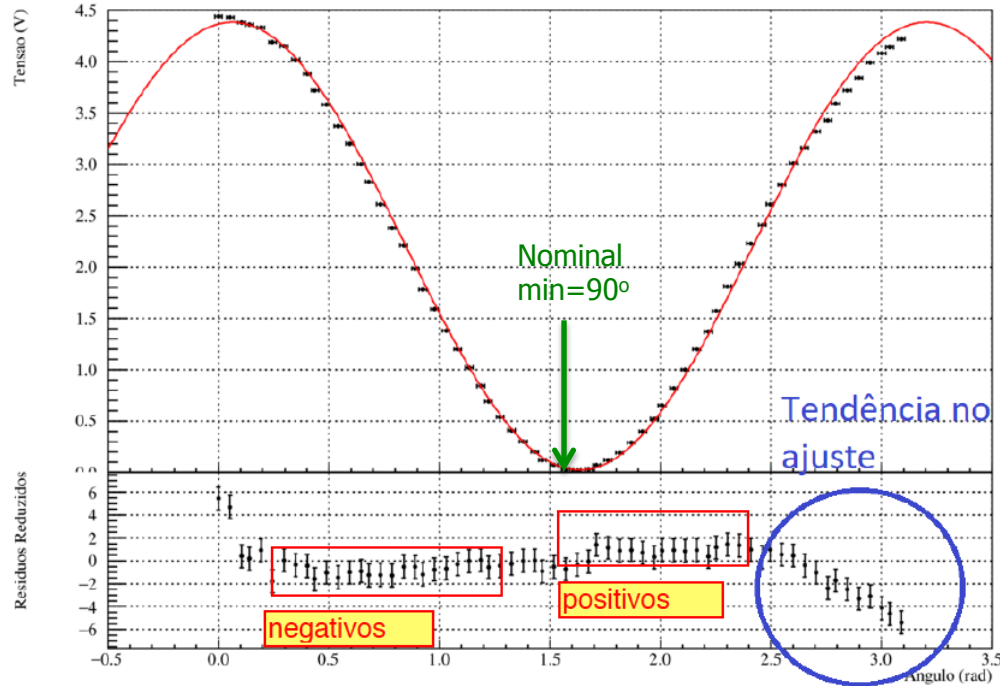
$$I_2 = I_1 \cos^2 (\theta - \theta_0) + C$$



Mesmo assim, ainda há grandes erros sistemáticos nas extremidades

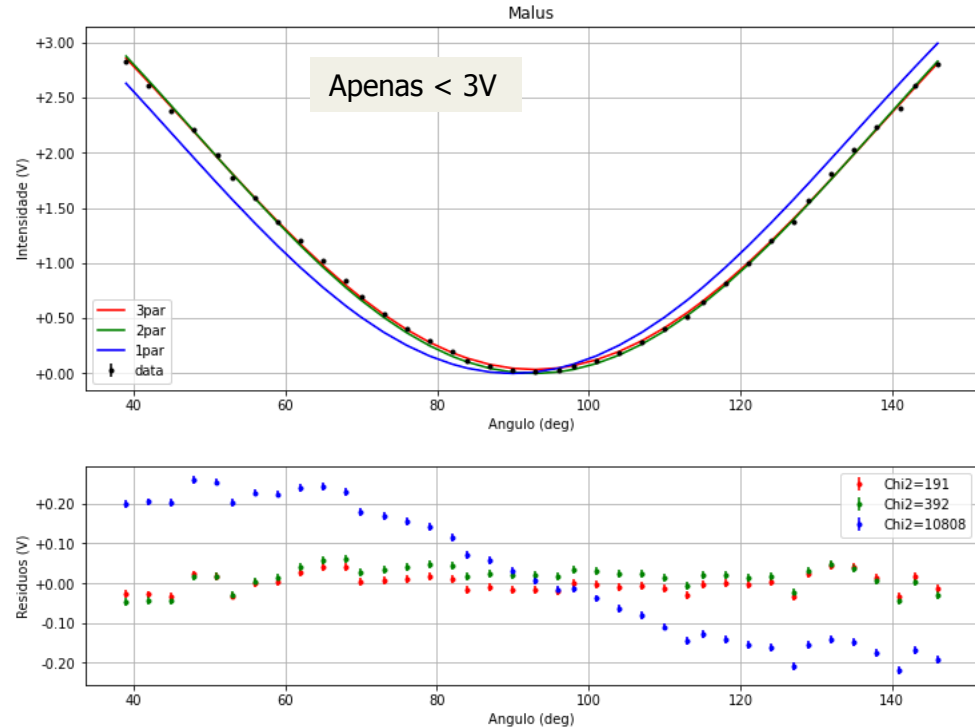
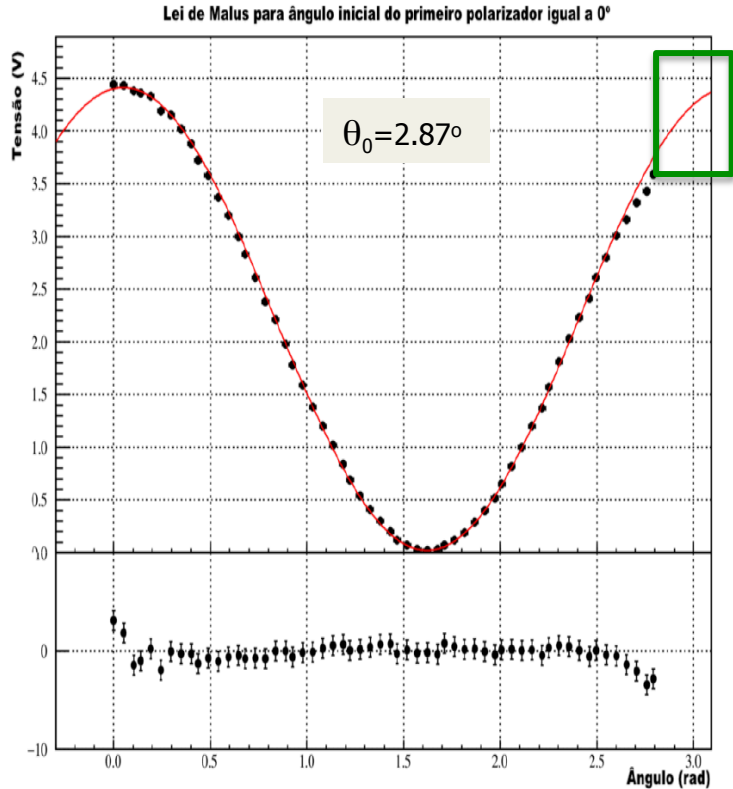
# Ajuste 0°

Lei de Malus - Polarizador 0 Graus



Alguns grupos  
não mostraram  
os resíduos

# Ajuste $0^\circ$ – Removendo pontos



# Ajuste 20°

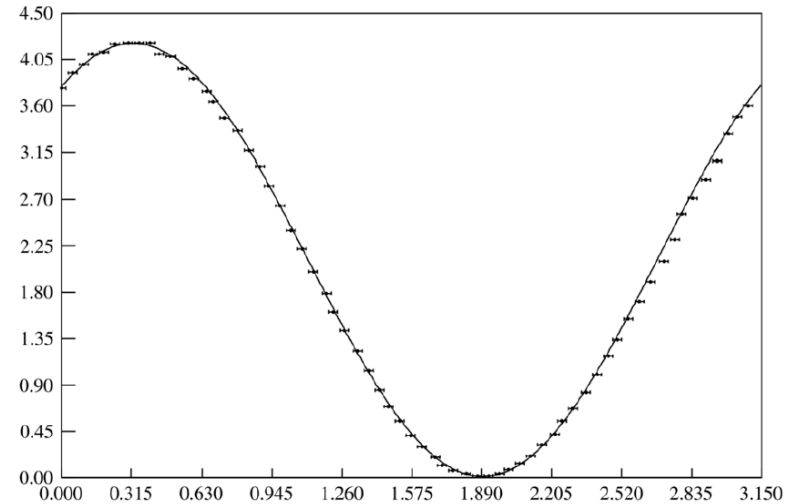
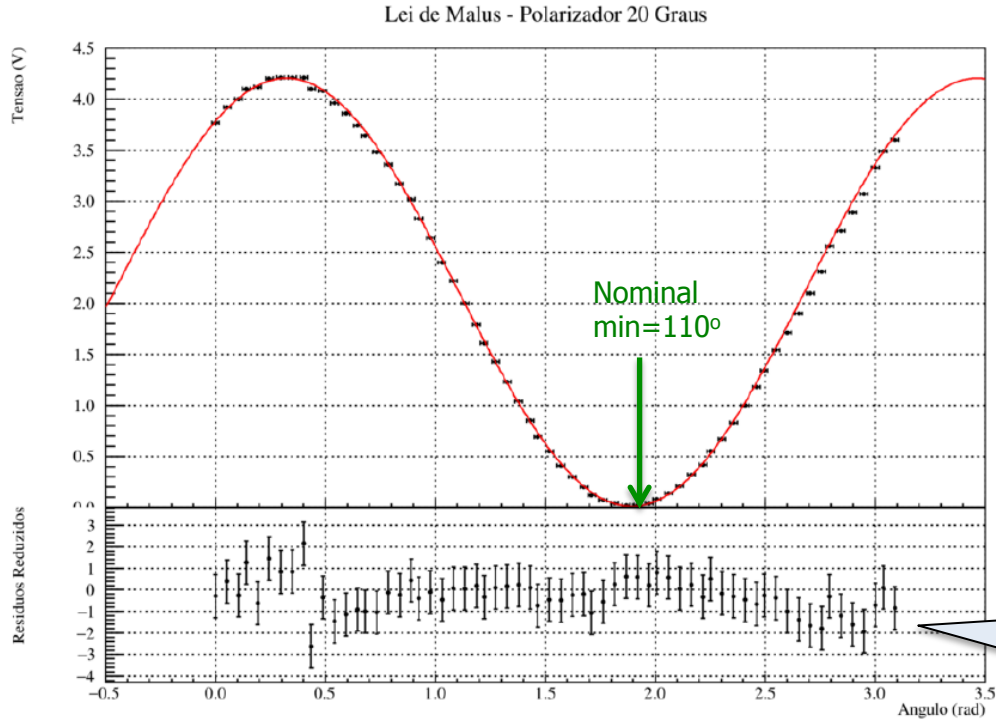
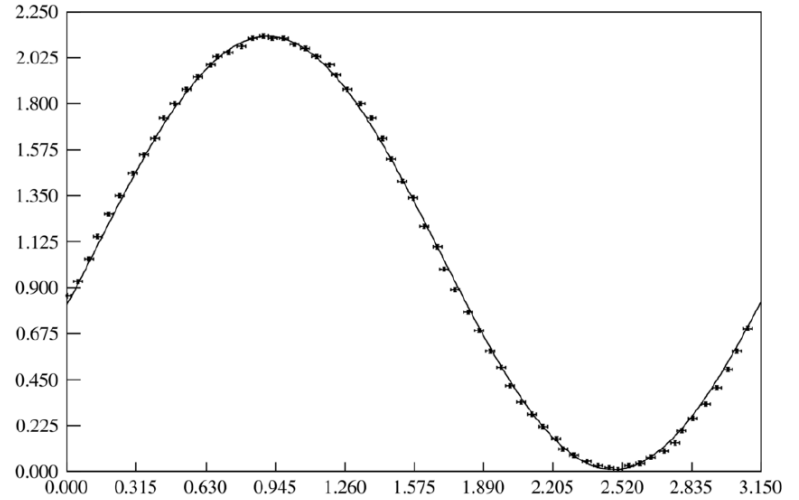
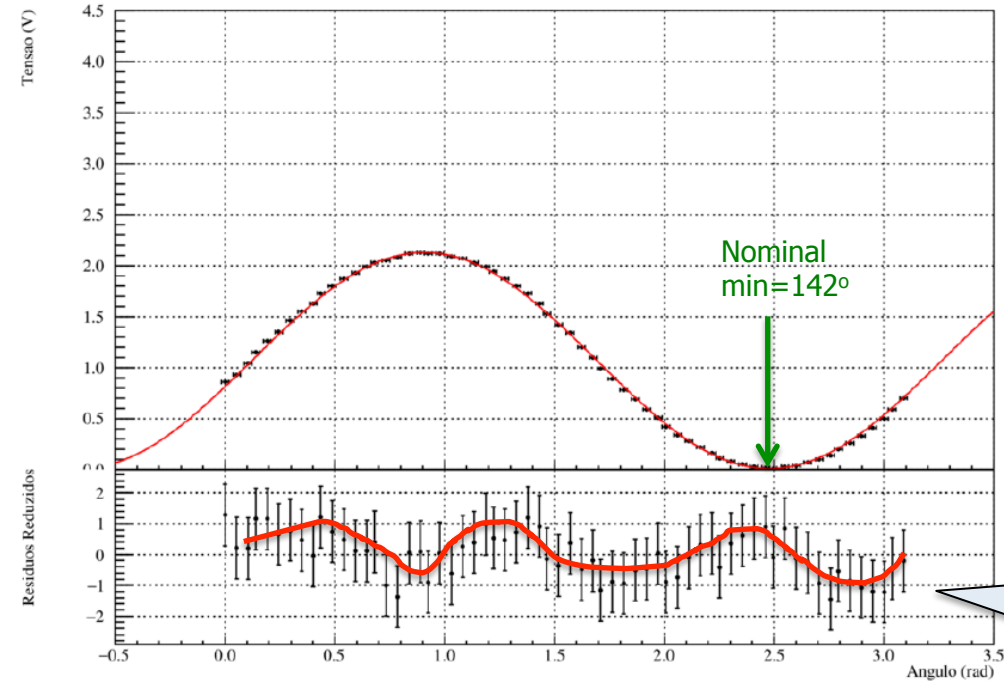


Gráfico 2: Gráfico das intensidades em função dos ângulos em radiano para  $\theta = 20^\circ$  ( $I \times \theta$ )

Erros sistemáticos são menores para o caso de 20°

# Ajuste 52°

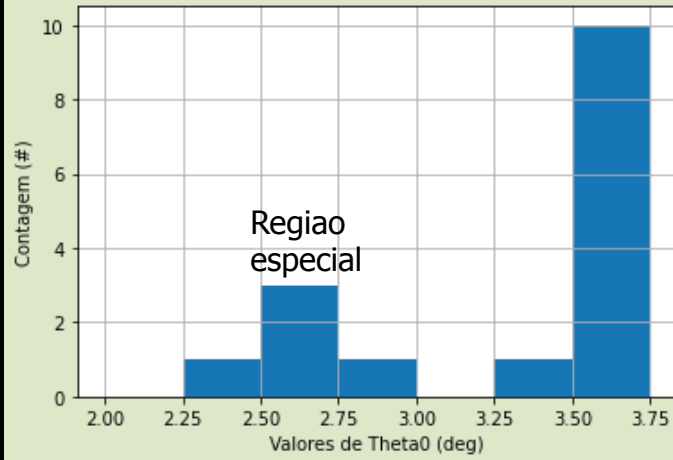
Lei de Malus - Polarizador 52 Graus



Os erros são pequenos e compatíveis com a incerteza, mas parecem sistemáticos.

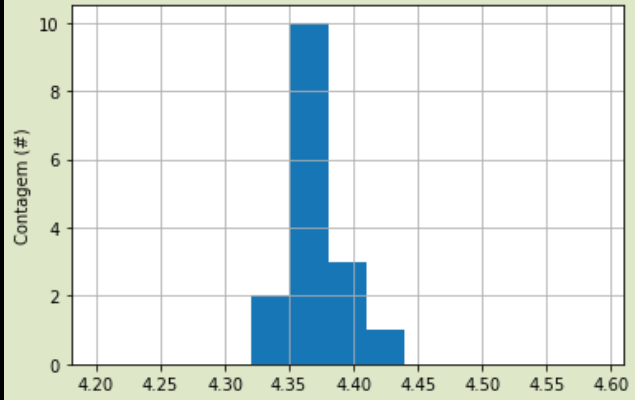
# Resultados de todos

	Vmax	Theta0	Vmin	Chi2		Contagem (#)		min	Chi2				
h1	4.364	3.64	0.022	154				0.011	27				
h2	4.36	3.61	0.023	193				0.01	33				
h3		2.393		11					2.9	regiao especial e chi2red			
h4	4.3599	3.55	0.0228	194				0.0102	37				
h6	4.38		0.02	67.7				0.007	69	mudaram o erro			
h8	4.4144	2.865		75					40	regiao especial			
h9	4.3608	3.592	0.0229	187				0.0104	32				
h10	4.361	3.59	0.0229	187				0.0104	32				
h11	4.36	0.355		41					32	nao explicou a formula			
h12	4.3994	2.64	0.022	27	4.1900	18.45	0.0102	46	2.1201	51.01	0.0099	34	regiao especial
h13	4.36	3.61	0.022	187	4.193	18.45	0.011	46	2.119	51.97	0.01	32	
h14	4.361	3.61	0.023		4.193	18.45	0.011		2.119	52.02	0.01		
h15	4.3446	3.29	0.024	65	4.195	18.44	0.0134	57	2.1124	52.04	0.0141	61	mudaram o erro, regio especial
h17	4.360	3.6	0.023	194	4.193	18.4	0.011	48	2.119	52	0.01	33	regiao especial
h18	4.401	2.5	0.022	43	4.196	18.5	0.01	45	2.12	52	0.01	33	
h19	4.34884	3.568	0.023	157	4.19345	18.45	0.01	46	2.12	52.02	0.005	31	
h20	4.4	2.693	0.022	31	4.2	18.51	0.01	47	2.12	52.02	0.01	34	regiao especial



# Resultados de todos

	Vmax	Theta0	Vmin	Chi2		Chi2	Vmin	Chi2					
h1	4.364	3.64	0.022	154		02	0.011	27					
h2	4.36	3.61	0.023	193		02	0.01	33					
h3		2.393		11		91		2.9	regiao especial e chi2red				
h4	4.3599	3.55	0.0228	194		52	0.0102	37					
h6	4.38		0.02	67.7			0.007	69	mudaram o erro				
h8	4.4144	2.865		75		02		40	regiao especial				
h9	4.3608	3.592	0.0229	187		01	0.0104	32					
h10	4.361	3.59	0.0229	187		01	0.0104	32					
h11	4.36	0.355		41	4.19	18.91		46	2.11	20	32	nao explicou a formula	
h12	4.3994	2.64	0.022	27	4.1966	18.49	0.0102	48	2.1201	51.01	0.0099	34	regiao especial
h13	4.36	3.61	0.022	187	4.193	18.45	0.011	46	2.119	51.97	0.01	32	
h14	4.361	3.61	0.023		4.193	18.45	0.011		2.119	52.02	0.01		
h15	4.3446	3.29	0.024	65	4.195	18.44	0.0134	57	2.1124	52.04	0.0141	61	mudaram o erro, regio especial
h17	4.360	3.6	0.023	194	4.193	18.4	0.011	48	2.119	52	0.01	33	regiao especial
h18	4.401	2.5	0.022	43	4.196	18.5	0.01	45	2.12	52	0.01	33	
h19	4.34884	3.568	0.023	157	4.19345	18.45	0.01	46	2.12	52.02	0.005	31	
h20	4.4	2.693	0.022	31	4.2	18.51	0.01	47	2.12	52.02	0.01	34	regiao especial



# Resultados de todos

	Vmax	Theta0	Vmin	Chi2		Vmax	Theta0	Vmin	Chi2		Vmax	Theta0	Vmin	Chi2	
<b>h1</b>	4.364	3.64	0.022	154		4.194	18.48	0.012	38		2.118	52.02	0.01	27	
<b>h2</b>	4.36	3.61	0.023	193		4.193	18.45	0.011	48		2.119	52.02	0.0	33	
<b>h3</b>		2.393					18.62					51.91			regiao especial e chi2red
<b>h4</b>	4.3599	3.55	0.0228	194		4.193	18.47	0.0107	49		2.1194	52	0.010	37	
<b>h6</b>	4.38		0.02			4.194		0.01			2.126		0.00		mudaram o erro
<b>h8</b>	4.4144	2.865				4.205	18.45		51		2.131	52.02		40	regiao especial
<b>h9</b>	4.3608	3.592	0.0229	187		4.1933	18.47	0.0108	46		2.1192	52.01	0.010	32	
<b>h10</b>	4.361	3.59	0.0229	187		4.193	18.47	0.011	46		2.119	52.01	0.010	32	
<b>h11</b>	4.36	0.355				4.19	18.91				2.11	20			nao explicou a formula
<b>h12</b>	4.3994	2.64	0.022			4.1966	18.49	0.0102	48		2.1201	51.01	0.009	34	regiao especial
<b>h13</b>	4.36	3.61	0.022	187		4.193	18.45	0.011	46		2.119	51.97	0.0	32	
<b>h14</b>	4.361	3.61	0.023			4.193	18.45	0.011			2.119	52.02	0.0		
<b>h15</b>	4.3446	3.29	0.024			4.195	18.44	0.0134			2.1124	52.04	0.014		mudaram o erro
<b>h17</b>	4.360	3.6	0.023	194		4.193	18.4	0.011	48		2.119	52	0.0	33	regiao especial
<b>h18</b>	4.401	2.5	0.022			4.196	18.5	0.01	45		2.12	52	0.0	33	
<b>h19</b>	4.34884	3.568	0.023	157		4.19345	18.45	0.01	46		2.12	52.02	0.00	31	
<b>h20</b>	4.4	2.693	0.022			4.2	18.51	0.01	47		2.12	52.02	0.0	34	regiao especial

O ajuste era realmente melhor para os ângulo maiores. Porque?



# Resultados de todos

	Vmax	Theta0	Erro no valor nominal?		Theta0	Erro no valor nominal?		Theta0	Vmin	Chi2			
h1	4.364	3.64			4.194	18.48		4.118	52.02	0.011	27		
h2	4.36	3.61	0.023	193	4.193	18.45	0.011	48	2.119	52.02	0.01	33	
h3		2.393				18.62			51.91			regiao especial e chi2red	
h4	4.3599	3.55	0.0228	194	4.193	18.47	0.0107	49	2.1194	52	0.0102	37	
h6	4.38		0.02		4.194		0.01		2.126		0.007		mudaram o erro
h8	4.4144	2.865			4.205	18.45		51	2.131	52.02		40	regiao especial
h9	4.3608	3.592	0.0229	187	4.1933	18.47	0.0108	46	2.1192	52.01	0.0104	32	
h10	4.361	3.59	0.0229	187	4.193	18.47	0.011	46	2.119	52.01	0.0104	32	
h11	4.36	0.355			4.19	18.91			2.11	20			nao explicou a formula
h12	4.3994	2.64	0.022		4.1966	18.49	0.0102	48	2.1201	51.01	0.0099	34	regiao especial
h13	4.36	3.61	0.022	187	4.193	18.45	0.011	46	2.119	51.97	0.01	32	
h14	4.361	3.61	0.023		4.193	18.45	0.011		2.119	52.02	0.01		
h15	4.3446	3.29	0.024		4.195	18.44	0.0134		2.1124	52.04	0.0141		mudaram o erro, regio especial
h17	4.360	3.6	0.023	194	4.193	18.4	0.011	48	2.119	52	0.01	33	regiao especial
h18	4.401	2.5	0.022		4.196	18.5	0.01	45	2.12	52	0.01	33	
h19	4.34884	3.568	0.023	157	4.19345	18.45	0.01	46	2.12	52.02	0.005	31	
h20	4.4	2.693	0.022		4.2	18.51	0.01	47	2.12	52.02	0.01	34	regiao especial