

# Estudo da Refração da Luz (1A)

PL6, Grupo 7

2022/04/06

Nuno Loreto

## Preparação

- Para preparar esta atividade, foi feito um estudo aprofundado do protocolo TIA, assim como do vídeo introduzido no moodle.

- Preparou-se ainda o ficheiro excel a ser usado na atividade antes do aula, com o intuito de facilitar a seleção de dados e a perceber a sua qualidade em tempo real.

## Objetivos

1 - Estudar a lei de Snell-Descartes

2 - Determinar o índice de refração de um bloco de acrílico

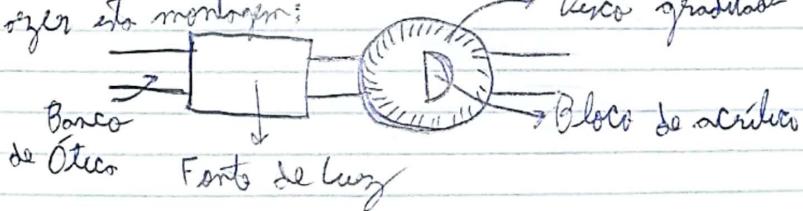
3 - Determinar o ângulo de reflexão total na superfície acrílico-ár

4 - Estudar a propagação de incertezas em funções trigonométricas

## Procedimento

1 - Verificar que se tem todos o material necessário disponível:  
Fonte de luz com setor de fendas, mesa com disco graduado, bloco semi-circular de acrílico, bloco de ótico.

2 - Fazer este montagem:



3 - Ligar o lâmpada e ajustar o setor de fendas para que apenas a fenda central deixe passar luz

4 - Ajustar o posicionamento da mesa com o disco graduado, de modo que o feixe de luz passe pelo centro do disco

5 - Colocar o bloco semi-circular com a face plana ~~para~~ a coincidir com um dos diâmetros do disco e rodar a mesa de modo que este fique perpendicular ao feixe.

6 - Centra o bloco em relação ao feixe, assegurando sempre que a face plana se mantém coincidente com o eixo de diâmetro, e que se obtenha um feixe de saída sem desfocagem.

7 - Rodar a mesa, de forma a fazer o feixe continuar a incidir sobre a face plana.

8 - Ir rodando a mesa, fazendo o feixe incidir segundo um ângulo  $\theta_i$  e medir o ângulo de refração  $\theta_t$ . Repetir isto, variando o ângulo de incidência e registando num tableau os diversos ângulos.

9 - Rodar o bloco para que tenha a face curva voltada para o feixe.

10 - Repetir os passos 8 - |  $\theta_i$  - ângulo incidente  
Medidas |  $\theta_t$  - ângulo de refração

Sup. plana anti

$\theta_i (\pm 0,50)$	$\theta_t (\pm 0,50)$
5,00°	3,00°
7,00°	6,50°
15,00°	16,00°
20,00°	13,50°
25,00°	16,50°
30,00°	20,00°
35,00°	23,00°
40,00°	26,00°
45,00°	28,50°
50,00°	31,50°
55,00°	33,50°
60,00°	36,00°
65,00°	38,00°
70,00°	40,00°
75,00°	41,00°
80,00°	42,00°

Sup. curva

$\theta_i (\pm 0,50)$	$\theta_t (\pm 0,50)$
4,00°	6,00°
8,00°	11,50°
12,00°	16,00°
16,00°	24,50°
20,00°	34,75°
24,00°	39,50°
28,00°	42,00°
32,00°	46,00°
36,00°	50,00°
40,00°	54,00°
44,00°	59,00°
48,00°	64,00°
52,00°	69,00°
56,00°	74,00°
60,00°	79,00°
64,00°	84,00°
68,00°	89,00°
72,00°	94,00°
76,00°	99,00°
80,00°	104,00°

Medição 2 → Série Azul

Sup. Plana

$\theta_i (\pm 0,50^\circ)$	$\theta_f (\pm 0,50^\circ)$
5,00°	3,00°
10,00°	6,00°
15,00°	9,50°
20,00°	12,50°
25,00°	16,00°
30,00°	19,50°
35,00°	22,250*
40,00°	25,250*
45,00°	28,00°
50,00°	30,50°
55,00°	33,250*
60,00°	35,50°
65,00°	37,50°
70,00°	39,50°
75,00°	40,50°
80,00°	41,50°

Sup. Curva

$\theta_i (\pm 0,50^\circ)$	$\theta_f (\pm 0,50^\circ)$
4,00°	6,50°
8,00°	12,50°
12,00°	18,50°
16,00°	24,75°
20,00°	31,50°
24,00°	37,50°
28,00°	44,50°
32,00°	52° - 53,50°*
36,00°	67° - 68°*
40,00°	72° - 76°*

Azul -

Sup. Plana

$\theta_i (\pm 0,50^\circ)$	$\theta_f (\pm 0,50^\circ)$
5,00°	3,00°
10,00°	7,50°
15,00°	9,50°
20,00°	12,00°
25,00°	15,50°
30,00°	19,50°
35,00°	22,70°
40,00°	26,50°
45,00°	28,50°
50,00°	30,50°
55,00°	33,50°
60,00°	36,50°
70,00°	39,00°
80,00°	41,50°

Curva

$\theta_i (\pm 0,50^\circ)$	$\theta_f (\pm 0,50^\circ)$
4,00°	5,00°
8,00°	11,25°
12,00°	17,50°
16,00°	23,50°
20,00°	31,50°
24,00°	36,50°
28,00°	43° - 45°*
32,00°	51° - 53°*
36,00°	59° - 62°*
40,00°	71° - 74°*

(\*) → Os valores marcados com este símbolo estão associados a uma maior incerteza. Desta forma, estão escritos como intervalos e apresentam incertezas maiores.

Kernelho

Flana	Curva
$\theta_i (\pm 0,50^\circ)$	$\theta_t (\pm 0,50^\circ)$
5,00°	13,5°
7,00°	6,5°
7,50°	9,5°
20,00°	13,5°
25,00°	16,5°
30,00°	19,5°
35,00°	22,25°
40,00°	25,25°
45,00°	27,75°
50,00°	30,50°
55,00°	33,00°
60,00°	35,00°
70,00°	36,50° - 39,50° *
80,00°	39,00° - 42,0° *
	40,00° 70,00 - 72,00° *
	32,00° 51,75° - 53,00° *
	36,00° 60,50°
	12,00° 18,50°
	16,00° 25,00°
	20,00° 31,50°
	24,00° 37,50°
	28,00° 44,50°
	40,00° 70,00 - 72,00° *

### Cuidados e tópicos

- Ao longo da tarefa foi tido especial ênfase por garantir que o bloco estivesse bem alinhado, especialmente no estudo do refracção da face curva

### Notas

- De modo a ~~reduzir~~ <sup>o impacte de</sup> erros sistáticos e grosseiros, fizemos ~~a~~ o estudo do refracção da luz branca e vermelha (por a face curva e por a face plana)

- Antes de iniciar medições no estudo do refracção numa superfície curva, vimos qual era o ângulo crítico que rondava os 40°. Assim, optamos por fazer medições de 4 em 4 graus.

- Ainda ocorreu do estudo do refracção numa superfície curva, de se notar que, neste caso em especial, era bastante difícil ~~a~~ executar a medição do ângulo de refracção, exceptuando-se ângulos maiores. Deve-se notar também que a possível gama de refração no bloco é outra causa de erros.

- Por fim, deve-se salientar que, por sugestão do docente, foi incrementado um ~~substrato~~ à tarefa: reduzir o comprimento de onda da luz de luz com o índice de refracção. Para isto, repetimos o procedimento com fíclices de luz vermelhas e azuis.

M1 - Superfície Plana						
$(\theta_i \pm 0,5)^\circ$	$\theta_t (\circ)$	$u(\theta_t)$	$\text{sen}(\theta_i)$	$u(\text{sen}(\theta_i))$	$\text{sen}(\theta_t)$	$u(\text{sen}(\theta_t))$
5,00	3,00	0,50	0,09	0,0087	0,05	0,0087
10,00	6,50	0,50	0,17	0,0086	0,11	0,0087
15,00	10,00	0,50	0,26	0,0084	0,17	0,0086
20,00	13,50	0,50	0,34	0,0082	0,23	0,0085
25,00	16,50	0,50	0,42	0,0079	0,28	0,0084
30,00	20,00	0,50	0,50	0,0076	0,34	0,0082
35,00	23,00	0,50	0,57	0,0071	0,39	0,0080
40,00	26,00	0,50	0,64	0,0067	0,44	0,0078
45,00	28,50	0,50	0,71	0,0062	0,48	0,0077
50,00	31,50	0,50	0,77	0,0056	0,52	0,0074
55,00	33,50	0,50	0,82	0,0050	0,55	0,0073
60,00	36,00	0,50	0,87	0,0044	0,59	0,0071
65,00	38,00	0,50	0,91	0,0037	0,62	0,0069
70,00	40,00	0,50	0,94	0,0030	0,64	0,0067
75,00	41,00	0,50	0,97	0,0023	0,66	0,0066
80,00	42,00	0,50	0,98	0,0015	0,67	0,0065

$n_i = n_{ar}$	1,000
$n_t = n_{acrilico}$	1,46
$n_{acrilico}$ (teórico)	1,49
Erro %	1,98%
$u(n_t)$	0,0051
$u(nt) [\%]$	0,35%

Tabela 2 - Valores de  $n$  (e erro) obtidos

Tabela 1 - Dados da Medida 1 da reflexão por uma superfície plana

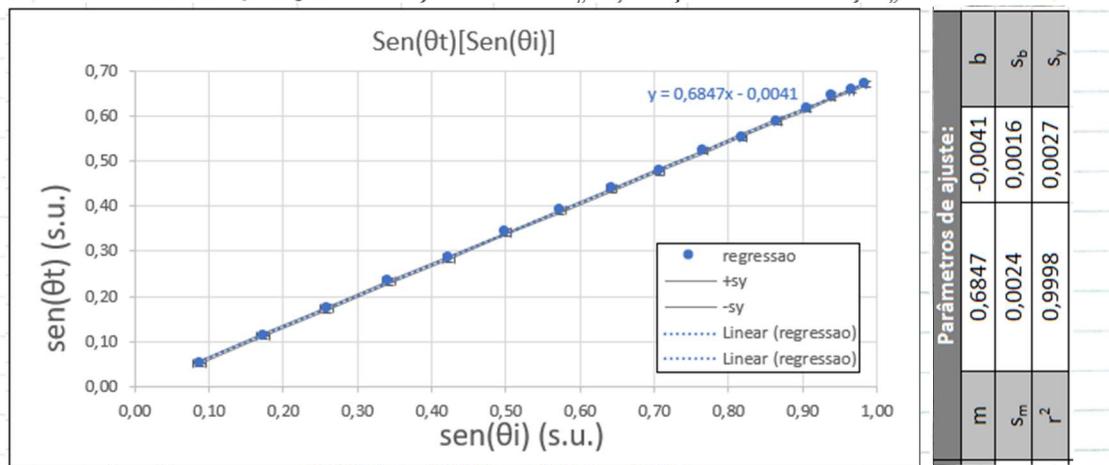


Gráfico 1 -  $\text{sen}(\theta_t)[\text{sen}(\theta_i)]$  para a medida 1 da reflexão na superfície plana

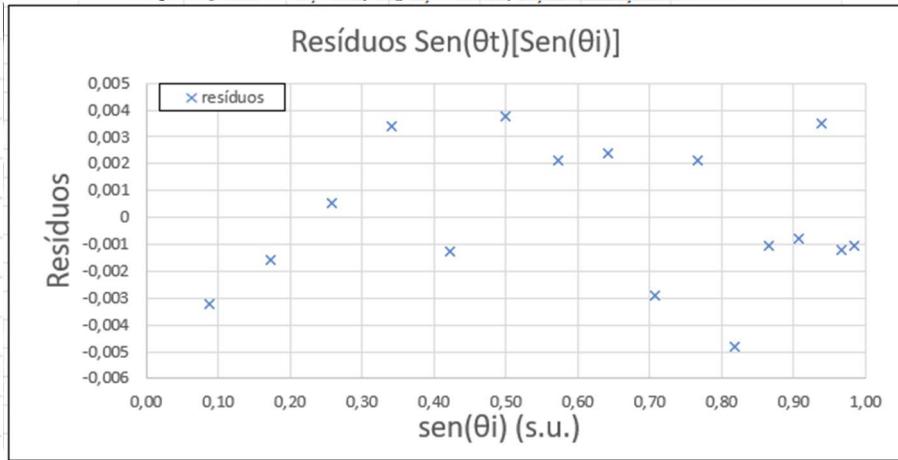


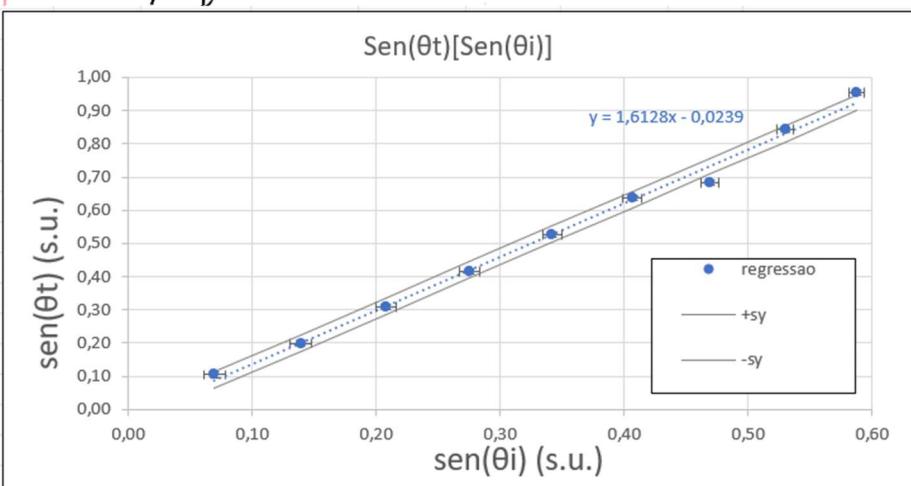
Gráfico 2 - Resíduos do gráfico 1

M1 - Superfície Curva						
$(\theta_i \pm 0,5)^\circ$	$\theta_t (\circ)$	$u(\theta_t)$	$\text{sen}(\theta_i)$	$u(\text{sen}(\theta_i))$	$\text{sen}(\theta_t)$	$u(\text{sen}(\theta_t))$
4,00	6,00	0,50	0,07	0,0087	0,10	0,0087
8,00	11,50	0,50	0,14	0,0086	0,20	0,0086
12,00	18,00	0,50	0,21	0,0085	0,31	0,0083
16,00	24,50	0,50	0,28	0,0084	0,41	0,0079
20,00	31,75	0,50	0,34	0,0082	0,53	0,0074
24,00	39,50	0,50	0,41	0,0080	0,64	0,0067
28,00	43,00	1,00	0,47	0,0077	0,68	0,0128
32,00	57,50	1,50	0,53	0,0074	0,84	0,0141
36,00	72,50	2,50	0,59	0,0071	0,95	0,0131

$n_i = n_{\text{acrilico}}$	1,61
$n_{\text{acrilico}} (\text{teórico})$	1,49
Erro %	8,24%
$u(n_t)$	0,0474
$u(nt) [\%]$	2,94%

Tabela 4 - Valores de n obtidos com os dados da tabela 3

Tabela 3 - Dados obtidos para o módulo 1 da regressão do efeito curvatura por uma superfície curva



Parâmetros de ajuste:		
$m$	1,6128	-0,0239
$s_m$	0,0474	0,0178
$r^2$	0,9940	0,0238
$b$	$s_b$	$s_y$

Gráfico 3 -  $\text{sen}(\theta_t)[\text{sen}(\theta_i)]$  para os dados da Tabela 3

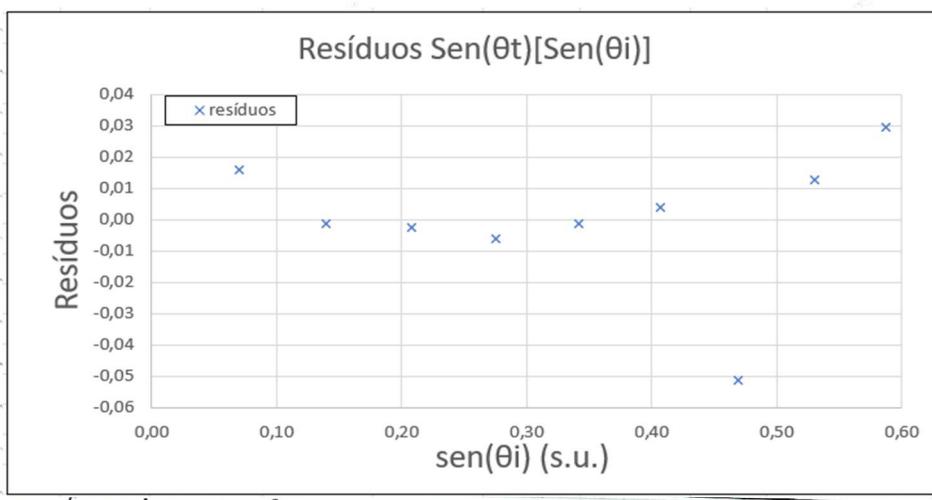


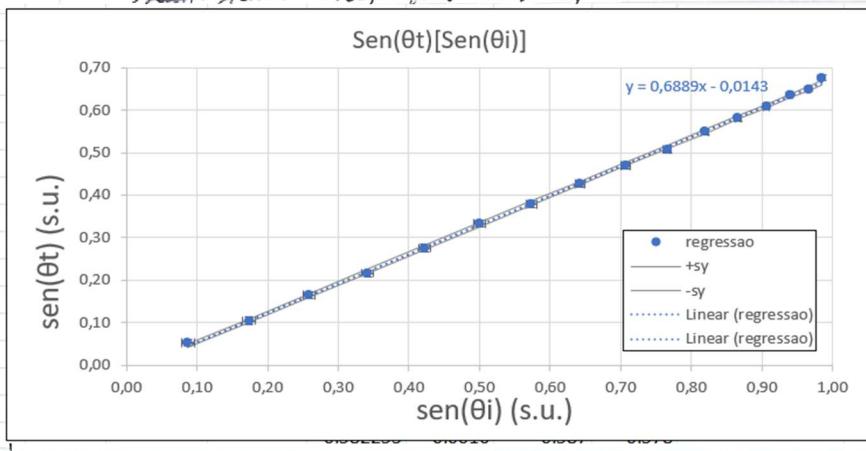
Gráfico 4 - Resíduos do gráfico 3

M2 - Superfície Plana						
$(\theta_i \pm 0,5)^\circ$	$\theta_t (\circ)$	$u(\theta_t)$	$\text{sen}(\theta_i)$	$u(\text{sen}(\theta_i))$	$\text{sen}(\theta_t)$	$u(\text{sen}(\theta_t))$
5,00	3,00	0,50	0,09	0,0087	0,05	0,0087
10,00	6,00	0,50	0,17	0,0086	0,10	0,0087
15,00	9,50	0,50	0,26	0,0084	0,17	0,0086
20,00	12,50	0,50	0,34	0,0082	0,22	0,0085
25,00	16,00	0,50	0,42	0,0079	0,28	0,0084
30,00	19,50	0,50	0,50	0,0076	0,33	0,0082
35,00	22,25	0,50	0,57	0,0071	0,38	0,0081
40,00	25,25	0,50	0,64	0,0067	0,43	0,0079
45,00	28,00	0,50	0,71	0,0062	0,47	0,0077
50,00	30,50	0,50	0,77	0,0056	0,51	0,0075
55,00	33,25	0,50	0,82	0,0050	0,55	0,0073
60,00	35,50	0,50	0,87	0,0044	0,58	0,0071
65,00	37,50	0,50	0,91	0,0037	0,61	0,0069
70,00	39,50	0,50	0,94	0,0030	0,64	0,0067
75,00	40,50	0,50	0,97	0,0023	0,65	0,0066
80,00	42,50	0,50	0,98	0,0015	0,68	0,0064

$n_i = n_{ar}$	1,000
$n_t = n_{acrilico}$	1,45
$n_{acrilico}$ (teórico)	1,49
Erro %	2,58%
$u(n_t)$	0,0084
$u(nt) [%]$	0,58%

Tabelas 6 - Valores de  $n$  (e erros) para os dados da Tabela 5

Tabela 5 - Dados obtidos na 2ª malha da refração numa superfície plana



Parâmetros de ajuste:	
$m$	0,6889
$s_m$	0,0040
$r^2$	0,9995
$b$	-0,0143
$s_b$	0,0027
$s_y$	0,0045

Grafico 5 -  $\text{sen}(\theta_t) [\text{sen}(\theta_i)]$  correspondente aos dados apresentados na tabela 5

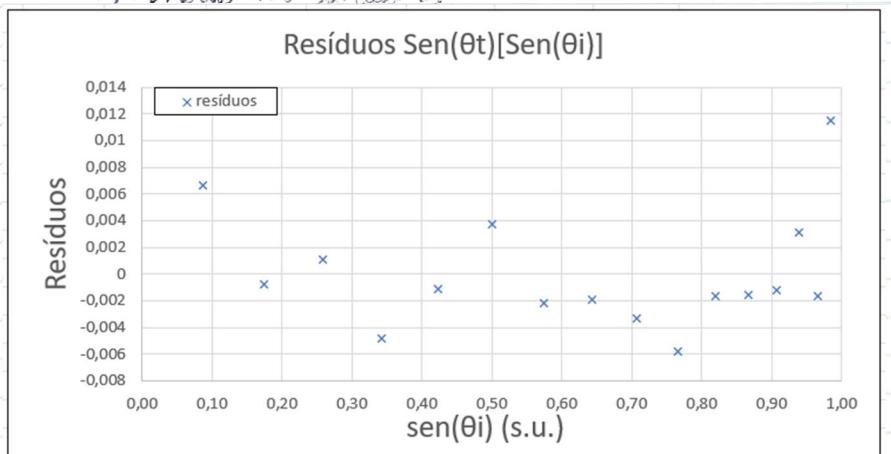


Grafico 6 - Resíduos do grafico 5

M2 - Superfície Curva						
$(\theta_i \pm 0,5)^\circ$	$\theta_t (\circ)$	$u(\theta_t)$	$\text{sen}(\theta_i)$	$u(\text{sen}(\theta_i))$	$\text{sen}(\theta_t)$	$u(\text{sen}(\theta_t))$
4,00	6,50	0,50	0,07	0,0087	0,11	0,0087
8,00	12,50	0,50	0,14	0,0086	0,22	0,0085
12,00	18,50	0,50	0,21	0,0085	0,32	0,0083
16,00	24,75	0,50	0,28	0,0084	0,42	0,0079
20,00	31,50	0,50	0,34	0,0082	0,52	0,0074
24,00	37,50	0,50	0,41	0,0080	0,61	0,0069
28,00	44,50	1,00	0,47	0,0077	0,70	0,0124
32,00	52,75	1,50	0,53	0,0074	0,80	0,0158
36,00	62,00	1,00	0,59	0,0071	0,88	0,0082
40,00	74,00	2,00	0,64	0,0067	0,96	0,0096

$n_i = n_{\text{acrilico}}$	1,48
$n_{\text{acrilico}} (\text{teórico})$	1,49
Erro %	0,59%
$u(n_t)$	0,0065
$u(nt) [\%]$	0,44%

Tabela 6 - Valores de  
n para a tabela 7

Tabela 7 - Dados para a 2ª medida dos ângulos para  
o estudo da superfície através de uma superfície curva

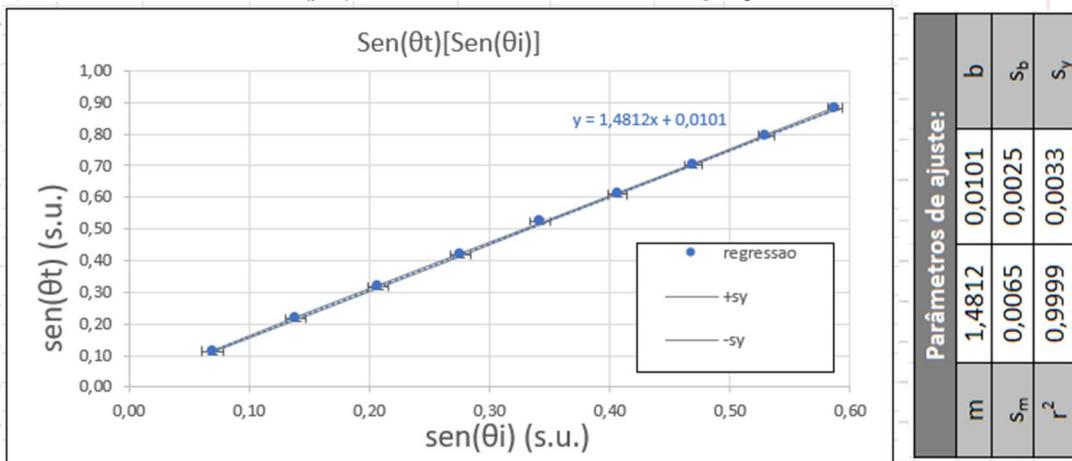


Gráfico 7 - Representação gráfica de n(t) (s.u.) para  
os dados da Tabela 7

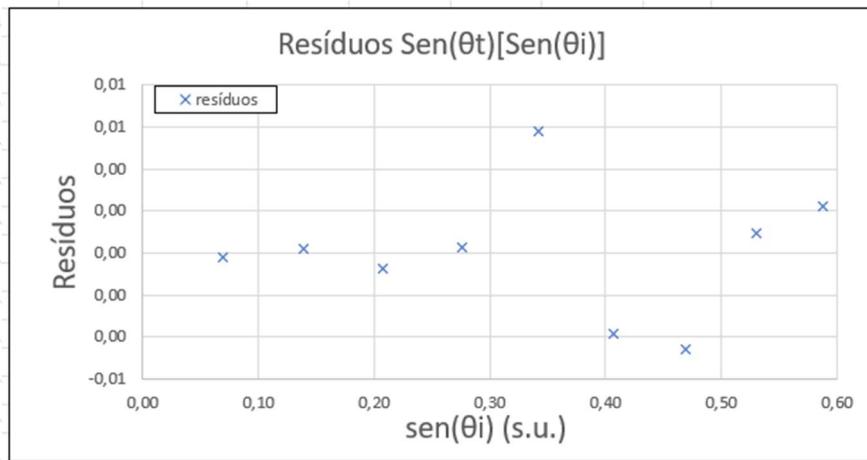


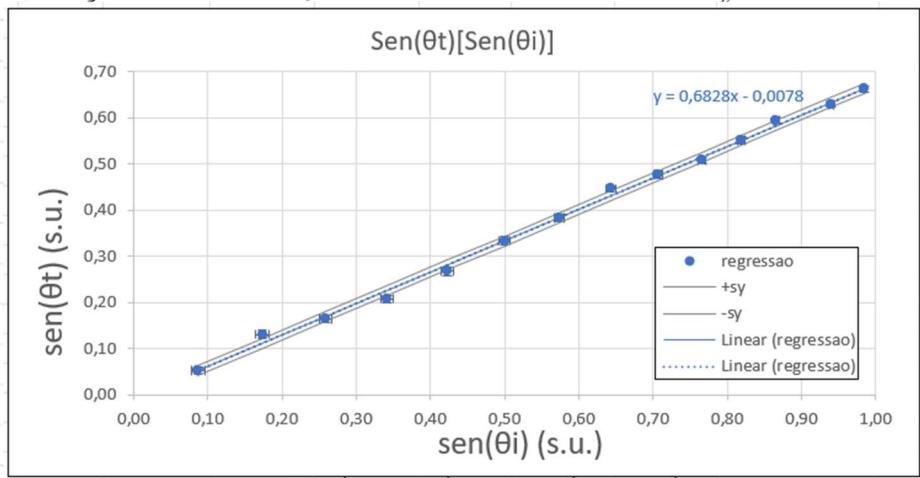
Gráfico 8 - Resíduos do Gráfico 7

Azul - Superfície Plana						
$(\theta_i \pm 0,5)^\circ$	$\theta_t (\circ)$	$u(\theta_t)$	$\text{sen}(\theta_i)$	$u(\text{sen}(\theta_i))$	$\text{sen}(\theta_t)$	$u(\text{sen}(\theta_t))$
5,00	3,00	0,50	0,09	0,0087	0,05	0,0087
10,00	7,50	0,50	0,17	0,0086	0,13	0,0087
15,00	9,50	0,50	0,26	0,0084	0,17	0,0086
20,00	12,00	0,50	0,34	0,0082	0,21	0,0085
25,00	15,50	0,50	0,42	0,0079	0,27	0,0084
30,00	19,50	0,50	0,50	0,0076	0,33	0,0082
35,00	22,50	0,50	0,57	0,0071	0,38	0,0081
40,00	26,50	0,50	0,64	0,0067	0,45	0,0078
45,00	28,50	0,50	0,71	0,0062	0,48	0,0077
50,00	30,50	0,50	0,77	0,0056	0,51	0,0075
55,00	33,50	0,50	0,82	0,0050	0,55	0,0073
60,00	36,50	0,50	0,87	0,0044	0,59	0,0070
70,00	39,00	0,50	0,94	0,0030	0,63	0,0068
80,00	41,50	0,50	0,98	0,0015	0,66	0,0065

$n_i = n_{ar}$	1,000
$n_t = n_{acrilico}$	1,46
$n_{acrilico}$ (teórico)	1,49
Erro %	1,70%
$u(n_t)$	0,0219
$u(nt) [%]$	1,49%

Tabela 70 - Valor de  $n$  para o estudo do referencial de luz azul para uma superfície plana

Tabela 9 - Dados para o estudo da reflexão de luz azul para uma superfície plana



Parâmetros de ajuste:	
$m$	0,6828
$s_m$	0,0102
$r^2$	0,9973
$b$	-0,0078
$s_b$	0,0065
$s_y$	0,0106

B- Sobre o gráfico 9 - sen( $\theta_t$ )[sen( $\theta_i$ )] joga os dados da tabela 9

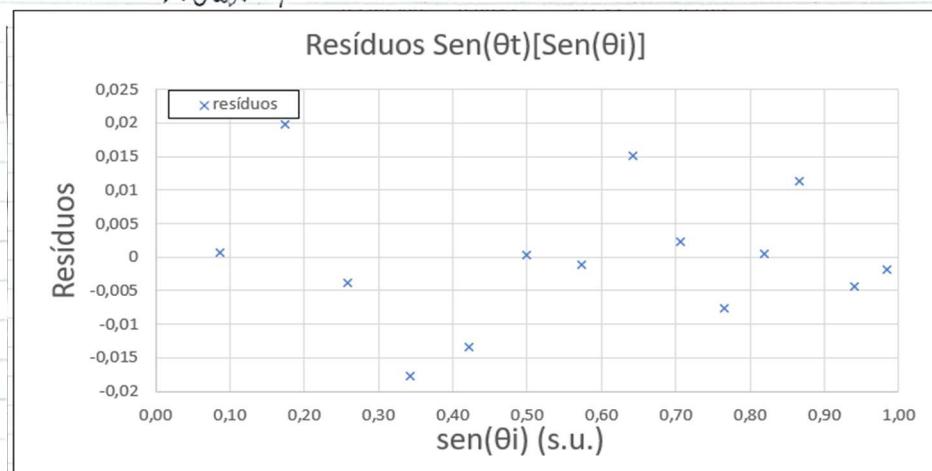


Gráfico 10 - Resíduos do gráfico 9

Azul - Superfície Curva						
$(\theta_i \pm 0,5)^\circ$	$\theta_t (\circ)$	$u(\theta_t)$	$\text{sen}(\theta_i)$	$u(\text{sen}(\theta_i))$	$\text{sen}(\theta_t)$	$u(\text{sen}(\theta_t))$
4,00	5,00	0,50	0,07	0,0087	0,09	0,0087
8,00	11,25	0,50	0,14	0,0086	0,20	0,0086
12,00	17,50	0,50	0,21	0,0085	0,30	0,0083
16,00	23,50	0,50	0,28	0,0084	0,40	0,0080
20,00	31,50	0,50	0,34	0,0082	0,52	0,0074
24,00	36,50	0,50	0,41	0,0080	0,59	0,0070
28,00	44,00	1,00	0,47	0,0077	0,69	0,0126
32,00	52,00	1,00	0,53	0,0074	0,79	0,0107
36,00	60,50	1,50	0,59	0,0071	0,87	0,0129
40,00	72,50	1,50	0,64	0,0067	0,95	0,0079

$n_i = n_{\text{acrilico}}$	1,51
$n_{\text{acrilico}} (\text{teórico})$	1,49
Erro %	1,52%
$u(n_t)$	0,0163
$u(nt) [\%]$	1,08%

Tabela 12 - Valores de  $n$  para os dados da Tabela 11

Tabela 11 - Dados obtidos para a refração da luz azul através de uma superfície curva

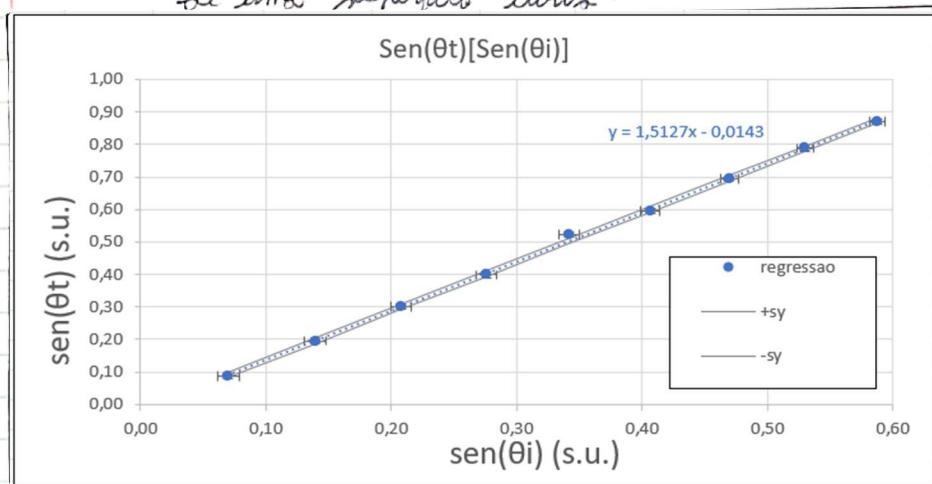


Gráfico 11 -  $\text{sen}(\theta_t)[\text{Sen}(\theta_i)]$  para os dados da Tabela 11

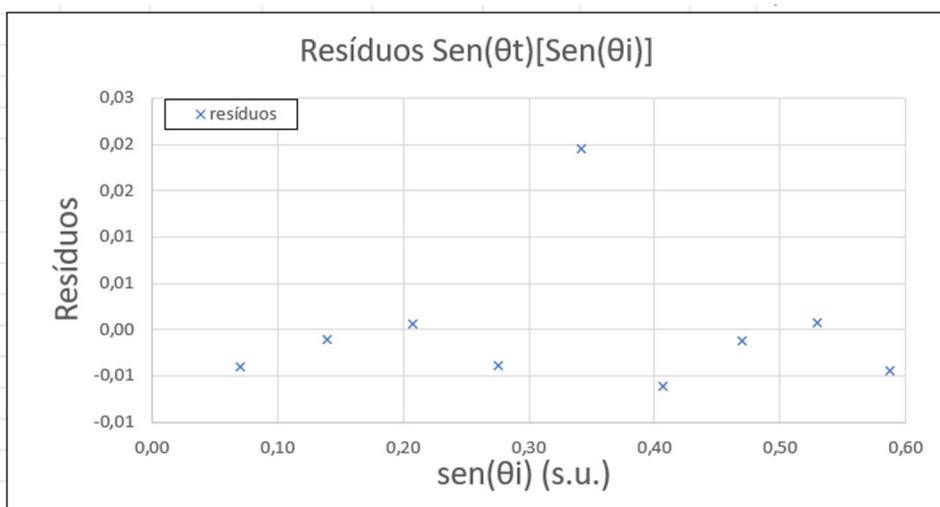


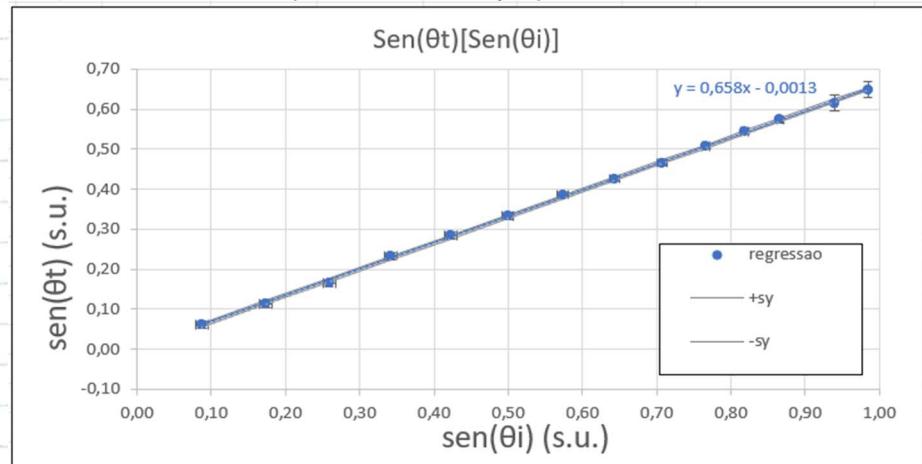
Gráfico 12 - Resíduos do gráfico 11

Vermelho - Superfície Plana						
$(\theta_i \pm 0,5)^\circ$	$\theta_t (\circ)$	$u(\theta_t)$	$\text{sen}(\theta_i)$	$u(\text{sen}(\theta_i))$	$\text{sen}(\theta_t)$	$u(\text{sen}(\theta_t))$
5,00	3,50	0,50	0,09	0,0087	0,06	0,0087
10,00	6,50	0,50	0,17	0,0086	0,11	0,0087
15,00	9,50	0,50	0,26	0,0084	0,17	0,0086
20,00	13,50	0,50	0,34	0,0082	0,23	0,0085
25,00	16,50	0,50	0,42	0,0079	0,28	0,0084
30,00	19,50	0,50	0,50	0,0076	0,33	0,0082
35,00	22,75	0,50	0,57	0,0071	0,39	0,0080
40,00	25,25	0,50	0,64	0,0067	0,43	0,0079
45,00	27,75	0,50	0,71	0,0062	0,47	0,0077
50,00	30,50	0,50	0,77	0,0056	0,51	0,0075
55,00	33,00	0,50	0,82	0,0050	0,54	0,0073
60,00	35,00	0,50	0,87	0,0044	0,57	0,0071
70,00	38,00	1,50	0,94	0,0030	0,62	0,0206
80,00	40,50	1,50	0,98	0,0015	0,65	0,0199

$n_i = n_{ar}$	1,000
$n_t = n_{acrilico}$	1,52
$n_{acrilico}$ (teórico)	1,49
Erro %	2,00%
$u(n_t)$	0,0094
$u(nt) [%]$	0,62%

Tabela 14 - Valores de  $n$  e erros correspondentes para a tabela 13

Tabela 13 - Dados obtidos no estudo da refracção da luz Vermelha num uma superfície plana



Parâmetros de ajuste:	
$m$	0,6580
$s_m$	0,0041
$r^2$	0,9995
$b$	0,0030
$s_b$	0,0026
$s_y$	0,0042

Gráfico 13 -  $\text{sen}(\theta_t)/[\text{sen}(\theta_i)]$  para os dados da Tabela 13

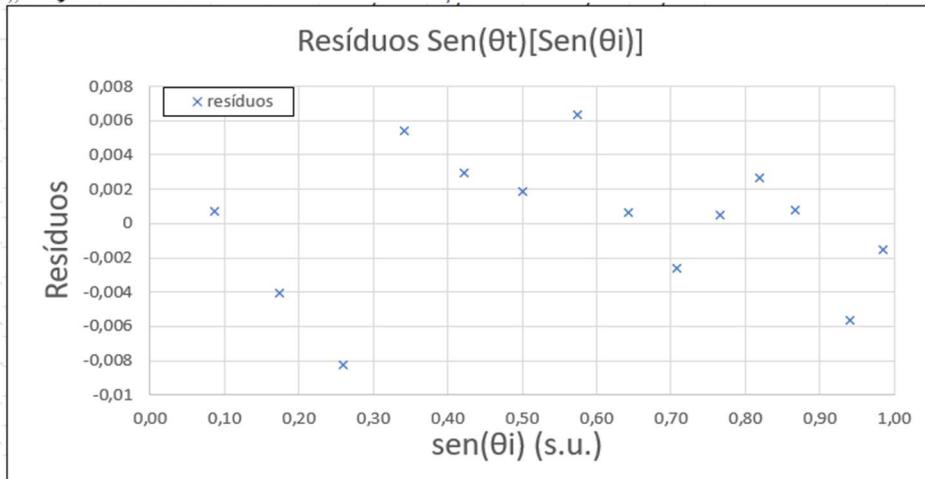


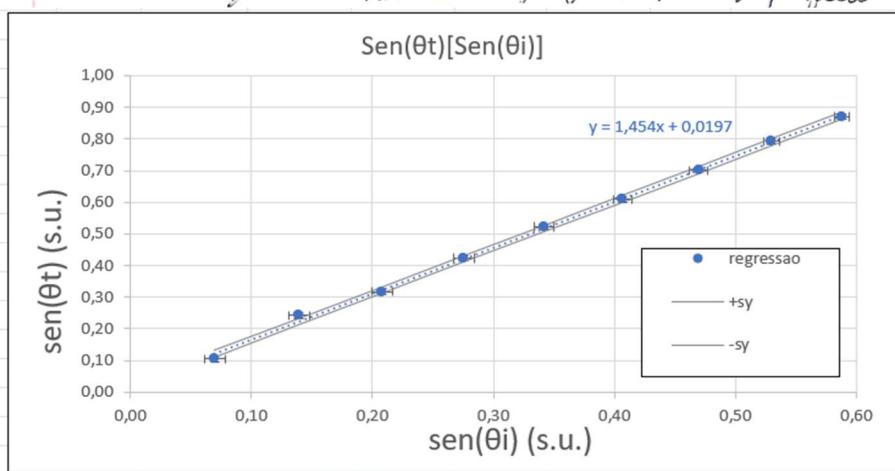
Gráfico 14 - Resíduos do gráfico 13

Vermelho - Superfície Curva						
$(\theta_i \pm 0,5)^\circ$	$\theta_t (\circ)$	$u(\theta_t)$	$\text{sen}(\theta_i)$	$u(\text{sen}(\theta_i))$	$\text{sen}(\theta_t)$	$u(\text{sen}(\theta_t))$
4,00	6,00	0,50	0,07	0,0087	0,10	0,0087
8,00	14,00	0,50	0,14	0,0086	0,24	0,0085
12,00	18,50	0,50	0,21	0,0085	0,32	0,0083
16,00	25,00	0,50	0,28	0,0084	0,42	0,0079
20,00	31,50	0,50	0,34	0,0082	0,52	0,0074
24,00	37,50	0,50	0,41	0,0080	0,61	0,0069
28,00	44,50	0,50	0,47	0,0077	0,70	0,0062
32,00	52,38	0,63	0,53	0,0074	0,79	0,0067
36,00	60,50	0,50	0,59	0,0071	0,87	0,0043
40,00	71,00	1,00	0,64	0,0067	0,95	0,0057

$n_i = n_{\text{acrilico}}$	1,45
$n_{\text{acrilico}} (\text{teórico})$	1,49
Erro %	2,41%
$u(n_i)$	0,0206
$u(nt) [\%]$	1,42%

Tabela 16 - Vários de  $n$  para a Tabela 15

Tabela 15 - Dados obtidos para o estudo da refração da luz vermelha sobre a de uma superfície curva



Parâmetros de ajuste:	
$m$	1,4540
$s_m$	0,0206
$r^2$	0,9986
$b$	0,0197
$s_b$	0,0077
$s_y$	0,0104

Gráfico 15 - Representação de  $\text{sen}(\theta_t)[\text{sen}(\theta_i)]$  para os dados da Tabela 15

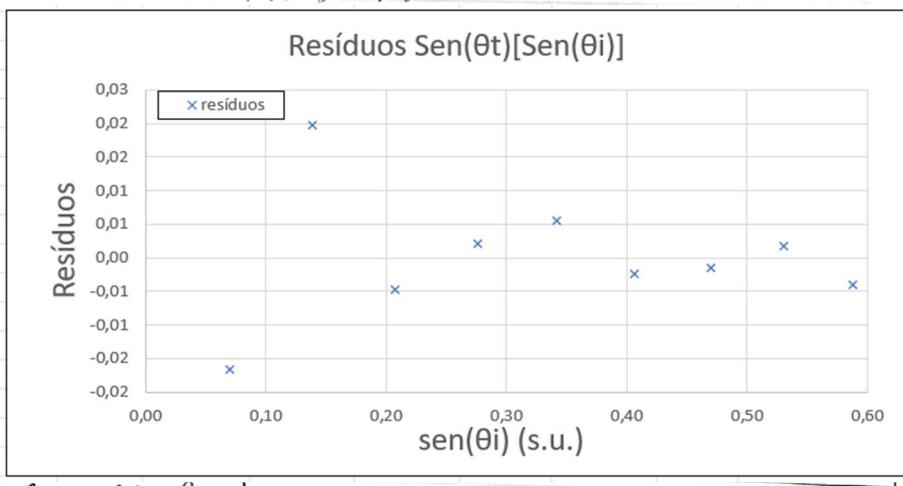


Gráfico 16 - Resíduos do Gráfico 15

## Análise de Dados

- 28/04/2022

- Ao longo da análise feita, assim como nos tabelas anteriormente mostradas, o índice de refração do óxido de zircônia que foi considerado como o valor de referência foi aquele obtido em [www.fq.pt/tabelas/indices-de-refracao](http://www.fq.pt/tabelas/indices-de-refracao) (consultado em 03/04/2022).

- Nos gráficos 1, 5, 9, 13; em que se tem um gráfico  $\sin(\theta_t) [\sin(\theta_i)]$  para o estudo da superfície plana, temos  $\sin(\theta_t) = \frac{n}{n_s} \sin(\theta_i)$ . Desta forma, temos que  $n = \frac{\sin(\theta_t)}{\sin(\theta_i)}$ . Daí vira, para a superfície plana, o ar é o meio inicial e o óxido de zircônia é o meio final. Assim, nestes gráficos,  $n = \frac{1}{\text{declive}}$ .

- Nos gráficos 3, 7, 11, 15; em que se tem um gráfico  $\sin(\theta_t) [\sin(\theta_i)]$  para o estudo da refração numa superfície curva, temos o contrário no ponto anterior. Por outras palavras, declive =  $\frac{n_{\text{óxido}}}{n_{\text{ar}}}$ . Daí vira, para a superfície curva, o óxido de zircônia é o meio inicial e o ar é o meio final. Desta forma, nestes gráficos,  $n = \text{declive}$ .

- A partir das medições de  $\theta_i$  e  $\theta_t$  efectuadas, foram obtidos os dados apresentados nas tabelas 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15.

- De notar aqui que, para cada valor de  $\theta_t$ , foi calculado o valor correspondente de  $\sin(\theta_i)$  e  $\sin(\theta_t)$ . Para isto usamos a seguinte fórmula:

- Tendo uma certa medida:  $\theta = (x \pm u(x))^\circ$

$$\sin \theta = \sin \left( \theta \mp \frac{\pi \cdot u(\theta)}{180} \right) \quad \leftarrow \begin{array}{l} \text{Entrar multiplicador} \\ \text{é feito para passar} \end{array}$$

$$u(\sin \theta) = \sqrt{\left( \frac{\partial (\sin(\frac{\pi \cdot u(\theta)}{180}))}{\partial \theta} u(\theta) \right)^2} \quad \begin{array}{l} \text{o ângulo de} \\ \text{graus para radianos} \end{array}$$

$$u(\sin \theta) = \sqrt{\left( \frac{\pi}{180} \times \cos\left(\frac{\pi \cdot u(\theta)}{180}\right) \times u(\theta) \right)^2}$$

### Conclusions

- Desta forma, tendo em conta os resultados dados, vemos que o índice de refracção da feixe de luz Vermelha é ~~maior~~<sup>menor</sup> que o do luz branca, enquanto que o do feixe azul é ~~menor~~<sup>maior</sup>. Desta forma, conclui-se que quanto maior for o comprimento de onda do feixe, ~~maior~~<sup>menor</sup> será o índice de refracção.

- Por fim, com a superfície curva do bloco de acrílico, medimos o ângulo de reflexão total, que foi de cerca de  $38^\circ$ .

## Questões

1 - Neste dividido, para determinar o incerteza de  $\sin(\theta_i)$  foi utilizado o método indicado na seção de análise desse logbook. Assim, tal como indicado, por exemplo, na tabela 1, tem-se que, apesar de  $u(\theta_i)$  ser constante, ~~o~~  $u(\sin(\theta_i))$  não é constante.

2 - Sim, mas a forma como se determina o incerteza do valor de  $n$  obtém verificando o tipo de superfície em estudo  
→ Superfície ~~é~~ curva - como declive =  $n$ , então temos que  $u(n) = u(m)$

→ Superfície ~~é~~ plana - Como  $m = \frac{1}{n}$  ( $m$  = declive) então temos que

$$\begin{aligned} u(n) &= \sqrt{\left(\frac{\partial n}{\partial m} u(m)\right)^2} \\ &= \sqrt{\left(-\frac{1}{m^2} \times u(m)\right)^2} \end{aligned}$$

3 - Quando o ângulo de incidência se aproxima do ângulo em que ocorre reflexão total, verifica-se que a luz branca se divide num espectro de luz. Este vai dos tons vermelhos aos azuis (menor para maior comprimento de onda), constante o ângulo de refracção aumenta. Assim confirma-se o que anteriormente foi dito: quanto menor o comprimento de onda, menor o índice de refração (e maior o ângulo de refração).



Imagen 1:  
Procedimento realizado  
para olhar/centrar o  
bloco de acrílico

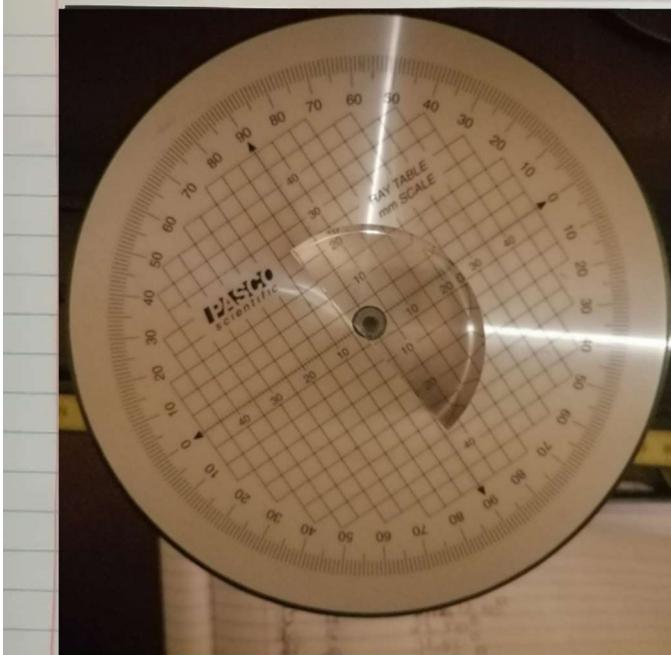


Imagen 2:  
Ângulo de reflexão  
total para o feixe  
de luz branca

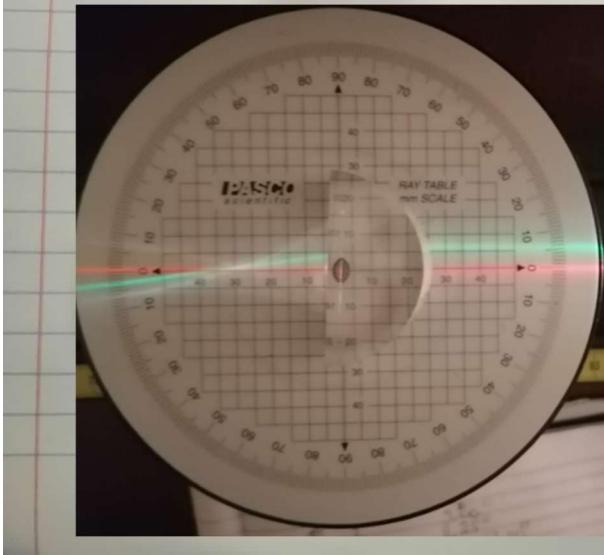


Imagen 3:  
Estudo de um  
feixe de luz vermelha