



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Escola de Engenharia de Lorena – EEL

“PPE6408 – Tópicos Especiais de Física”

Prof. Dr. Durval Rodrigues Junior

Departamento de Engenharia de Materiais (DEMAR)

Escola de Engenharia de Lorena (EEL)

Universidade de São Paulo (USP)

Polo Urbo-Industrial, Gleba AI-6 - Lorena, SP 12600-970

durval@demar.eel.usp.br

www.eel.usp.br – Comunidade – Alunos (Página dos professores)

Área I
Rodovia Itajubá-Lorena, Km 74,5
CEP 12600-970 - Lorena - SP
Tel. (12) 3159-5007/3153-3209

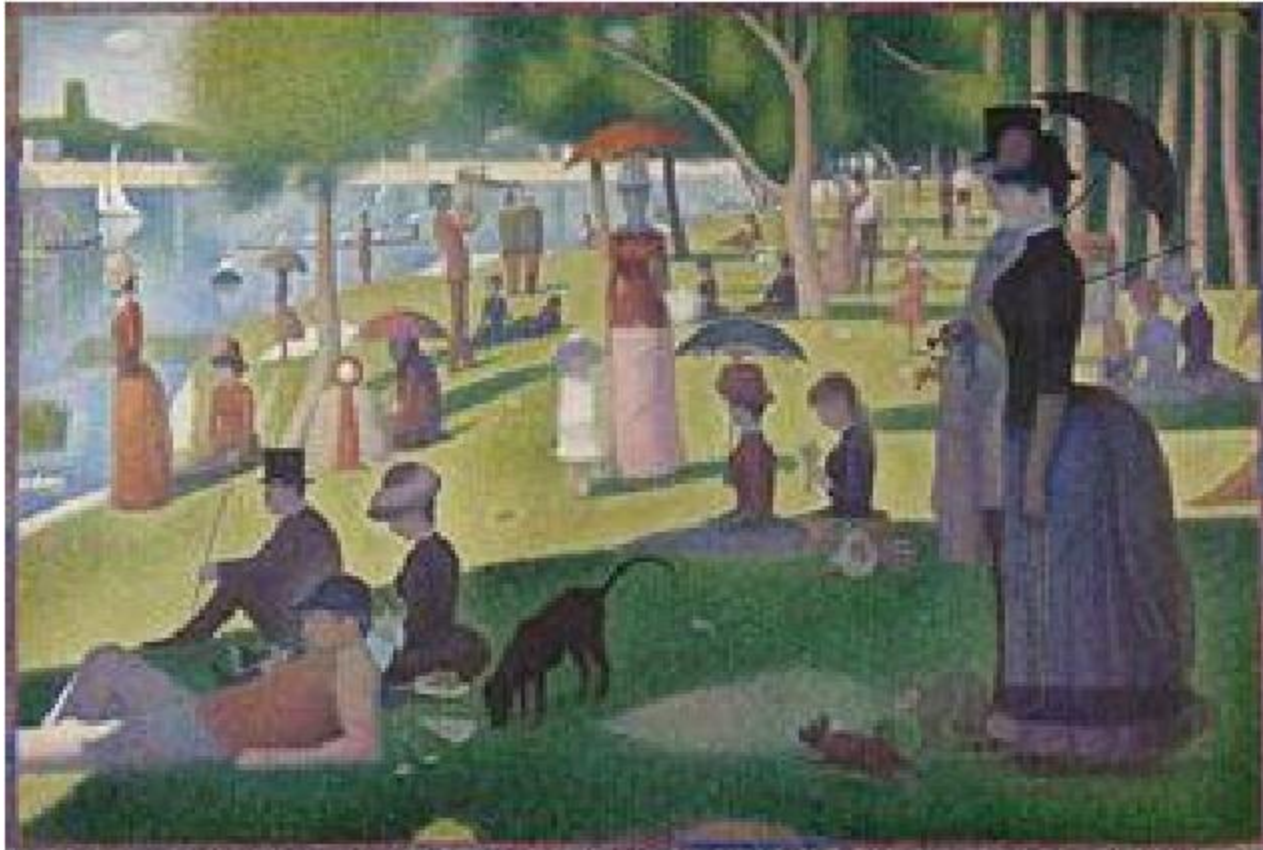
USP Lorena
www.eel.usp.br

Área II
Polo Urbo-Industrial Gleba AI-6
CEP 12600-970 - Lorena - SP
Tel. (12) 3159-9900

UNIDADE 6 -

Difração

A Sunday on La Grande Jatte



Georges Seurat (French, 1859-1891)

A Sunday on La Grande Jatte -- 1884, 1884-86

Oil on canvas, 81 3/4 x 121 1/4 in. (207.5 x 308.1 cm)

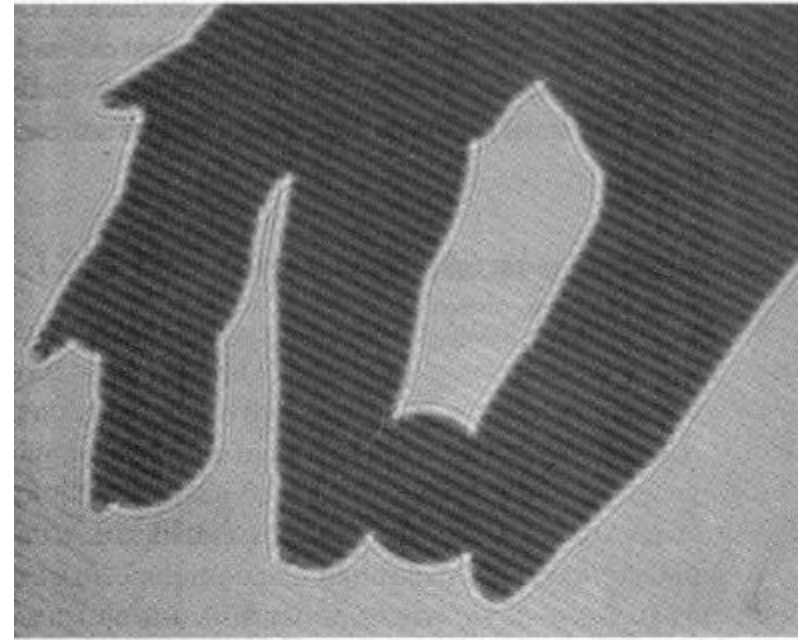
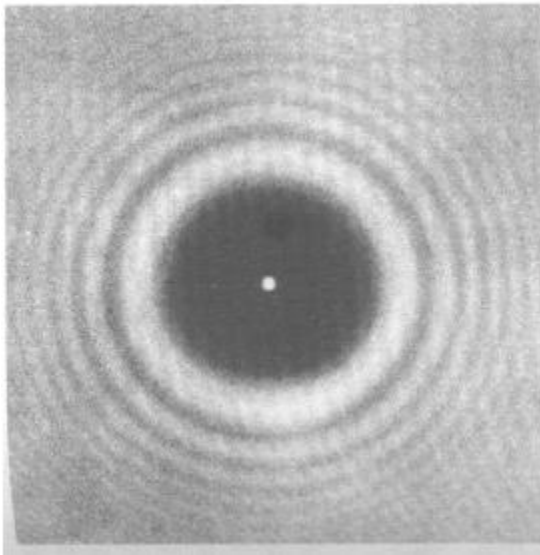
Helen Birch Bartlett Memorial Collection, 1926.224

Gallery 205

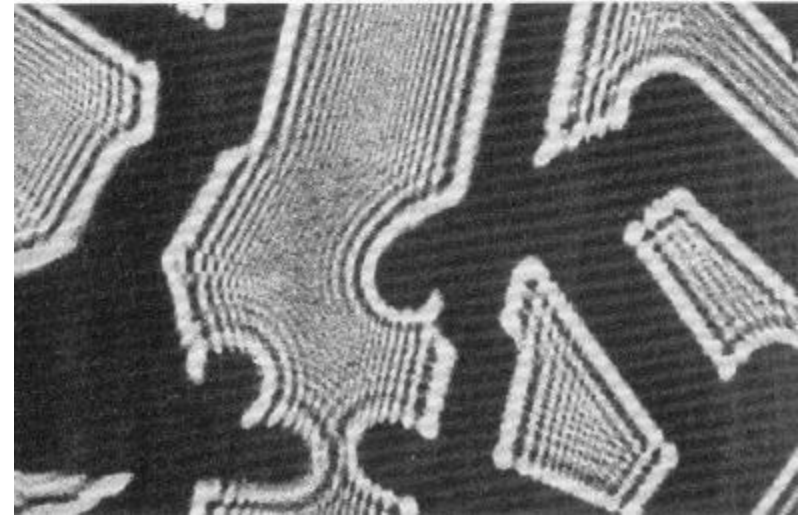
Difração: Desvio da luz da propagação retilínea.

Trata-se de um efeito característico de fenômenos ondulatórios que ocorre sempre que parte de uma frente de onda, seja de uma onda sonora, de matéria, ou luminosa, é obstruída de alguma forma.

Fresnel (1819)



(a)



Augustin Fresnel (1788-1827)

Dez anos mais nove que T. Young, Augustin Fresnel foi um engenheiro civil francês que se interessou por estudos de ótica.

Ele não participava do círculo acadêmico de Paris e não conhecia o trabalho de Young.

Era contrário a Napoleão e quando este retornou em 1815, Fresnel ficou em prisão domiciliar.

Fresnel estudou o efeito da luz por uma fenda.



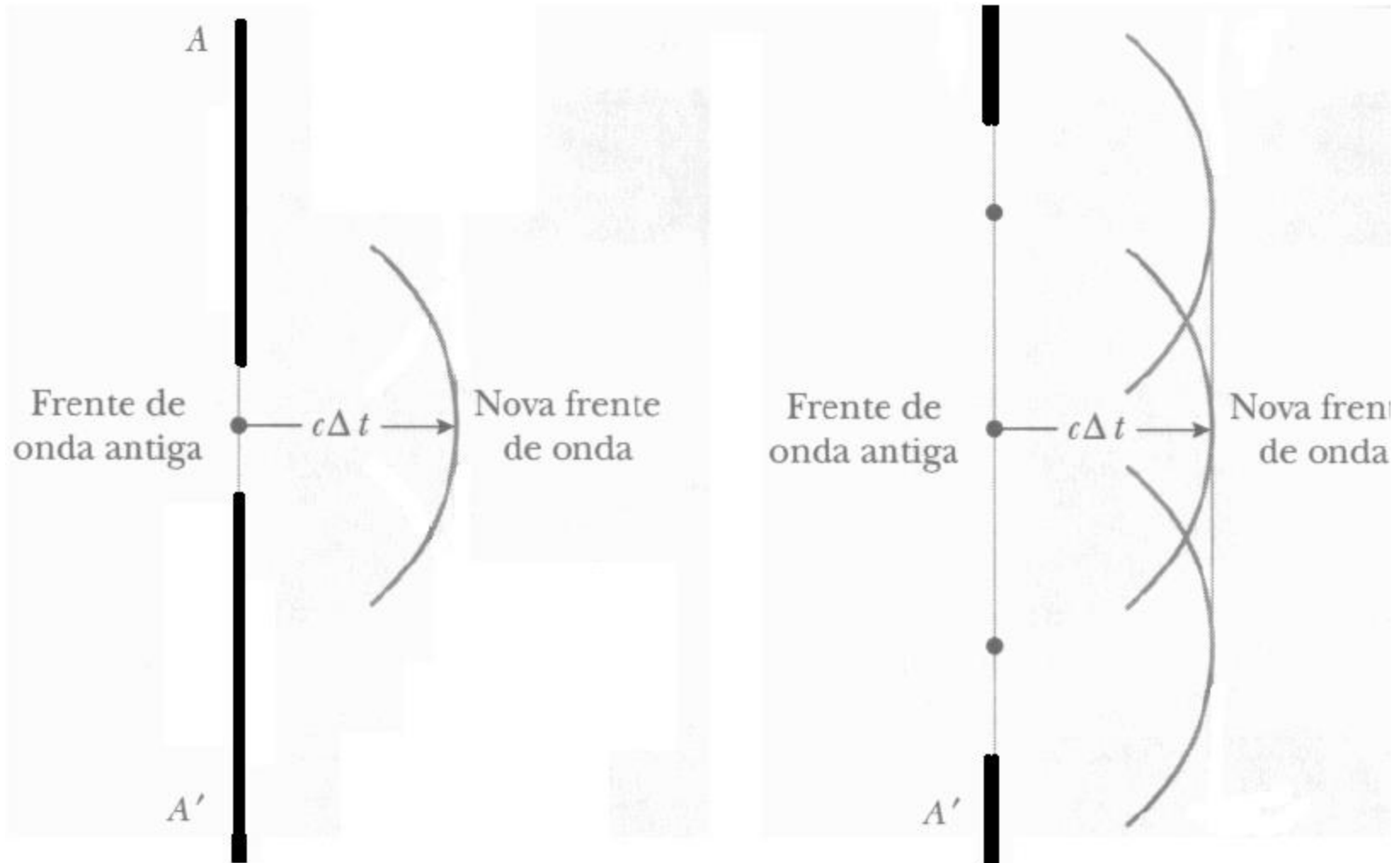
Em 1817 a Academia Francesa ofereceu um prêmio ao melhor trabalho experimental sobre difração e que apresentasse um modelo teórico explicando o efeito.

Fresnel apresentou um trabalho de 135 páginas; era um modelo de ondas.

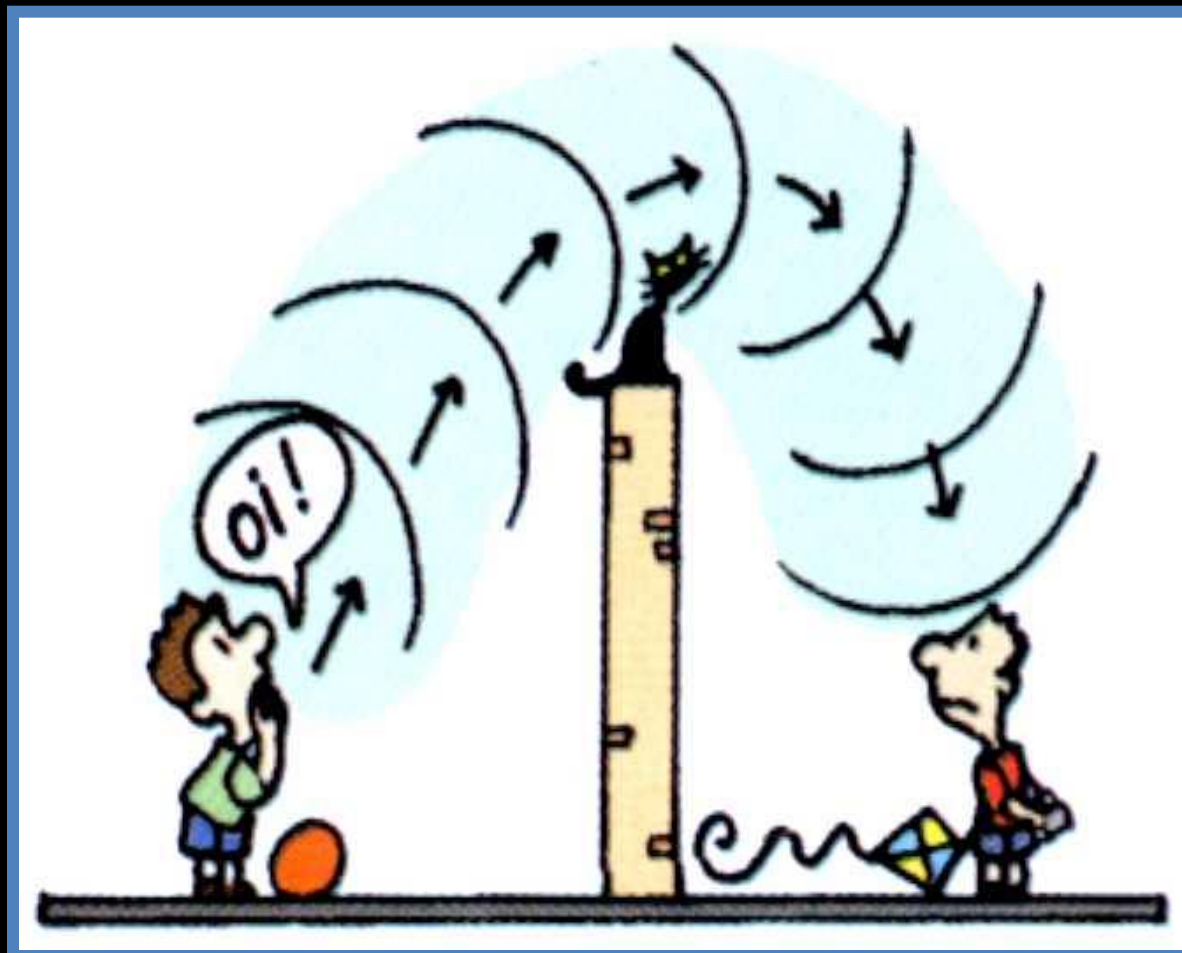
O júri era composto por S-D Poisson, J. B. Biot, e P. S. Laplace, todos Newtonianos ferrenhos que apoiavam a teoria corpuscular da luz.

Poisson calculou, usando a teoria de Fresnel, algo que parecia inconsistente. Feito o experimento, Fresnel estava correto!!!!

Se uma frente de onda é obstruída a sua forma é alterada



Difração



Difração

- É o fenômeno pelo qual uma onda pode contornar obstáculos ou fendas.
- A difração não altera V , f , T e λ .
- A difração ocorre com qualquer onda desde que seja satisfeita a seguinte condição:

$$\lambda \cong d \text{ ou } \lambda \gg d$$

onde d é o tamanho do obstáculo ou a largura da fenda.

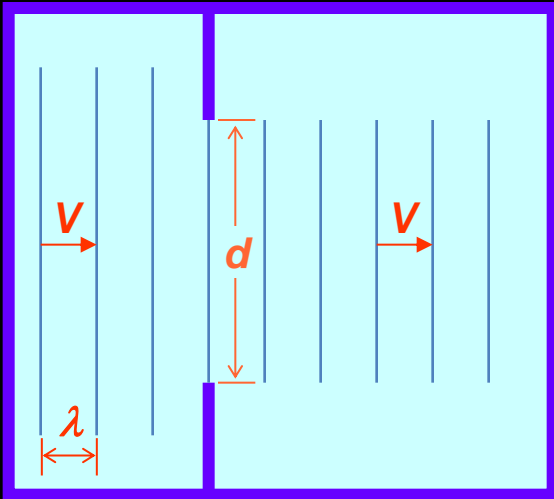
- Para $\lambda \ll d$, não ocorre difração.

Difração em uma fenda

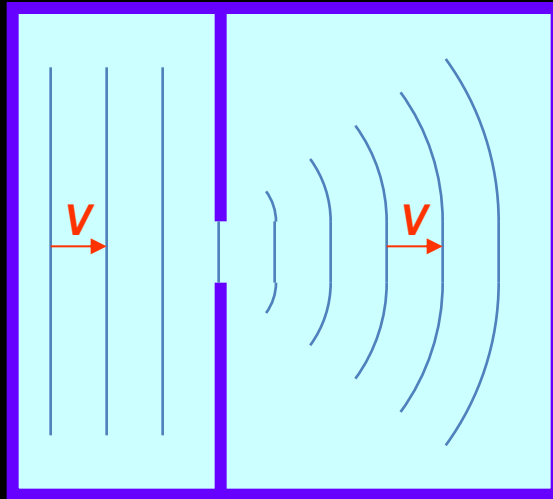
- $\lambda \ll d$

- $\lambda \cong d$

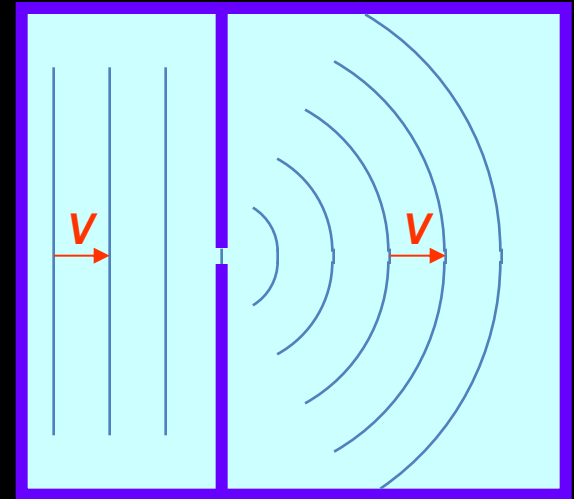
- $\lambda \gg d$



Não ocorre difração



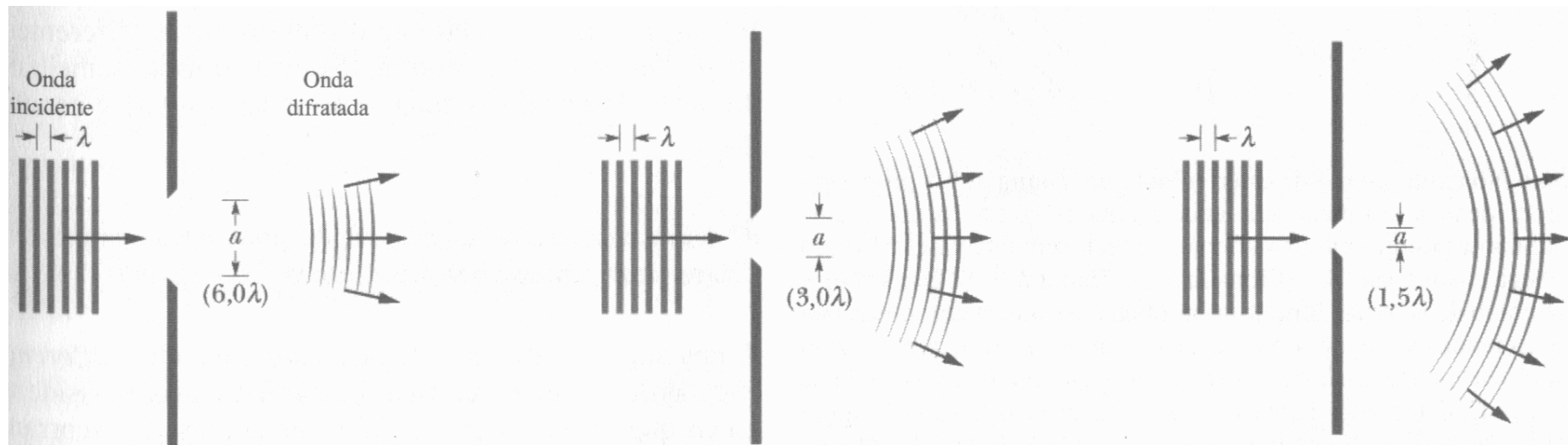
Ocorre difração



Ocorre difração acentuada

Difração

A difração ocorre quando a abertura é da ordem do comprimento de onda da onda incidente, ou para $\lambda \geq a$.

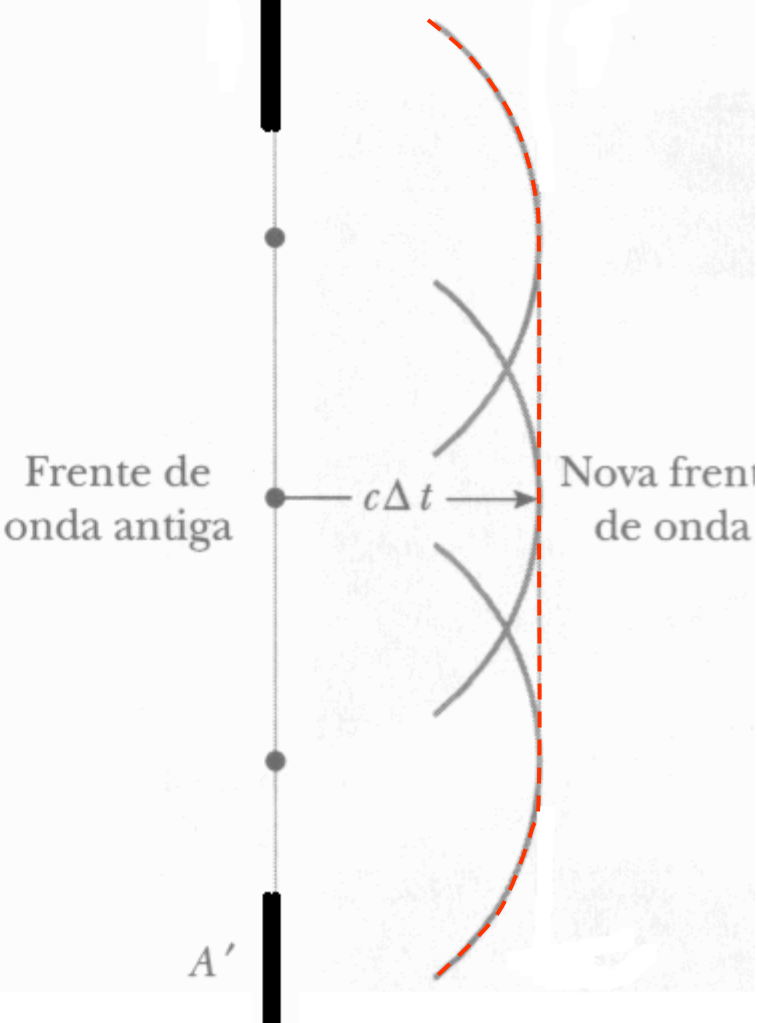
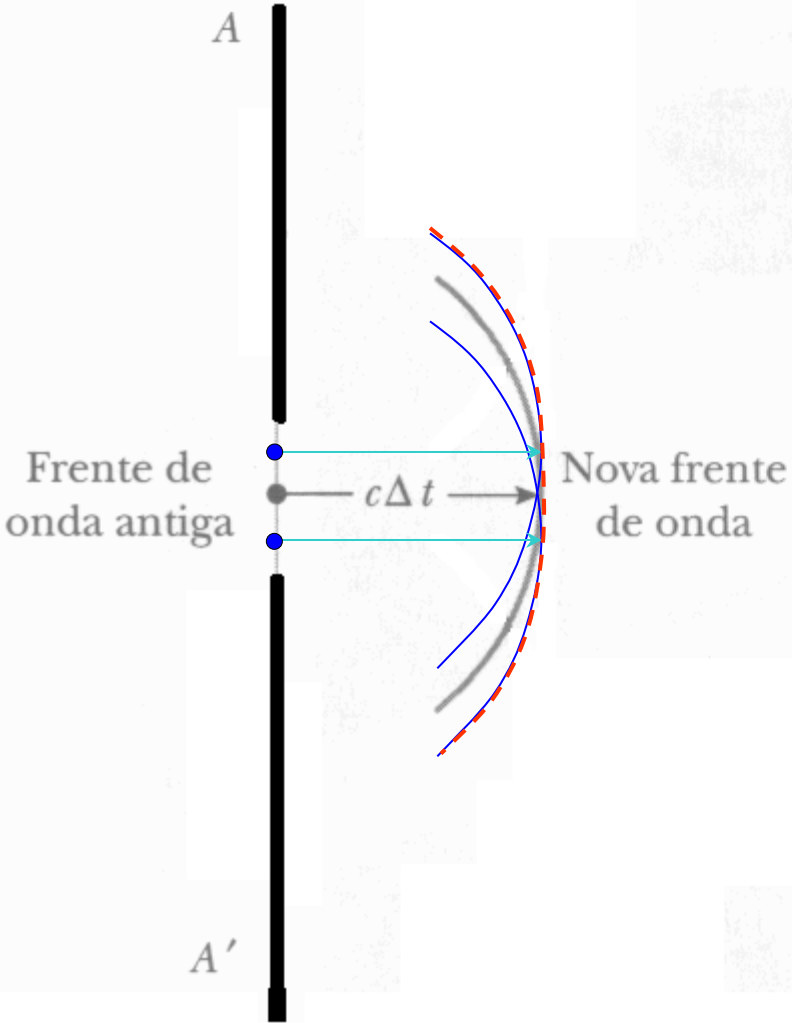


$$\lambda \ll a$$

$$\lambda < a$$

$$\lambda \approx a$$

Usando o Princípio de Huygens:



Exemplo de Difração em uma fenda

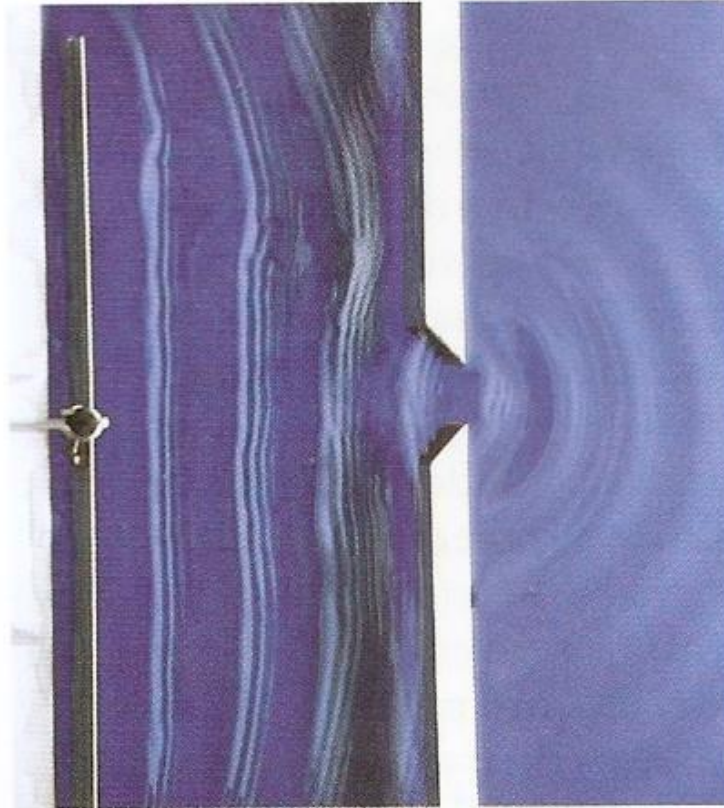
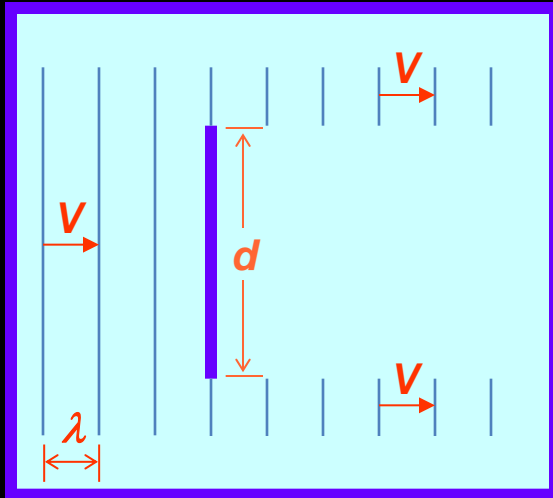


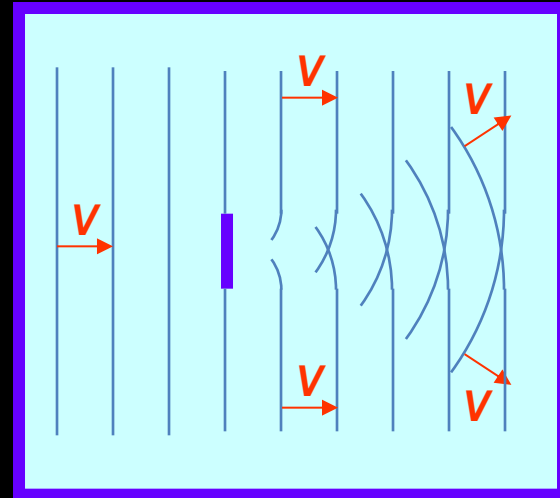
FIG. 35-6 Difração de ondas na água de um tanque. As ondas são produzidas do lado esquerdo e passam por uma abertura estreita para chegar ao lado direito. (*Runk Schoenberger/Grant Heilman Photography*)

Difração em um obstáculo

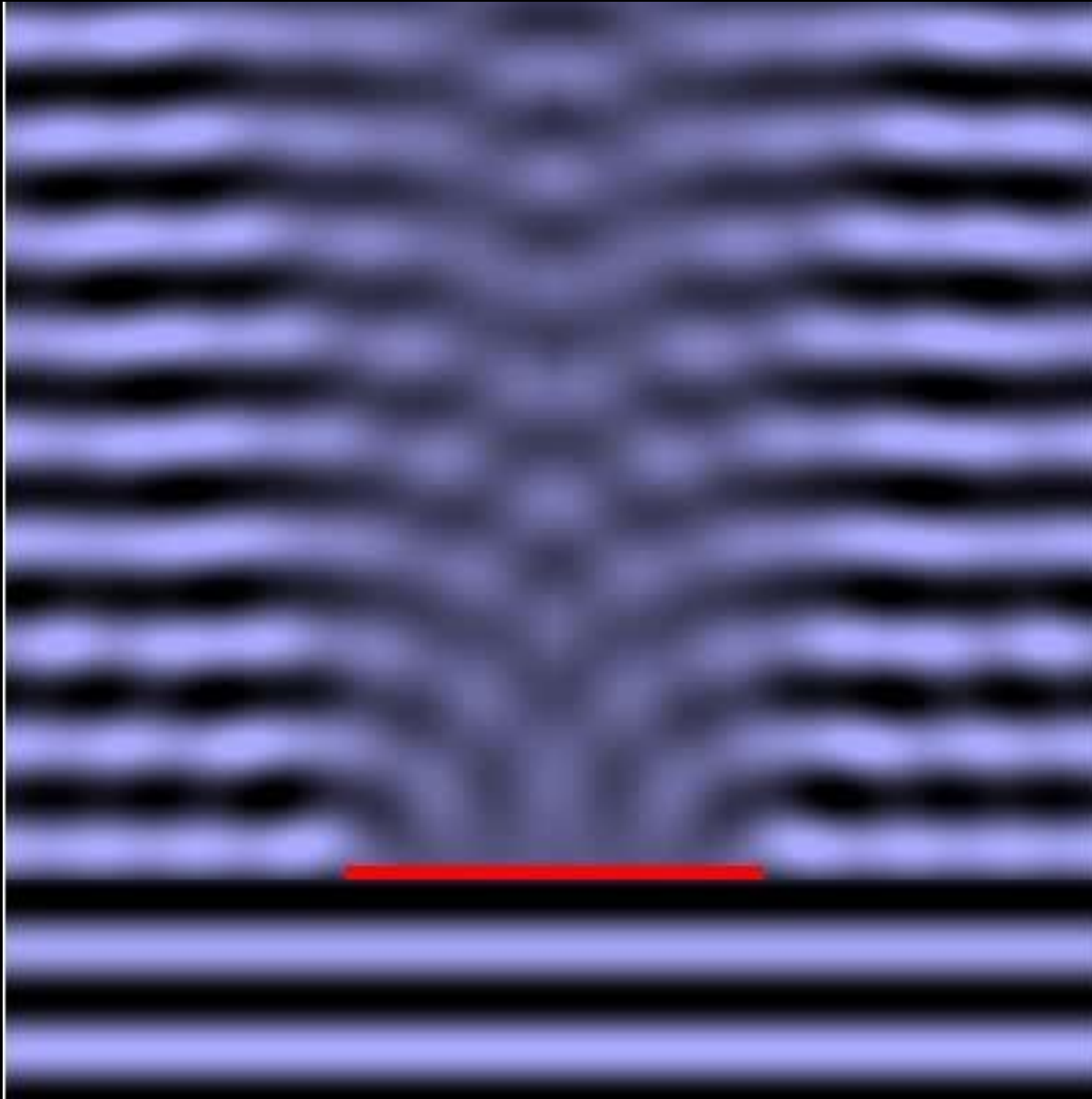
- $\lambda \ll d$



- $\lambda \cong d$ $\lambda \gg d$



Difração em um obstáculo



Difração da Luz e do Som

- $1,7\text{cm} < \lambda_{\text{SOM}} < 17\text{m}$
- $0,00004\text{cm} < \lambda_{\text{LUZ}} < 0,00008\text{cm}$
- Para obtermos a difração é necessário que $\lambda \cong d$ ou $\lambda \gg d$.
- Logo o som sofre difração com mais facilidade que a luz.

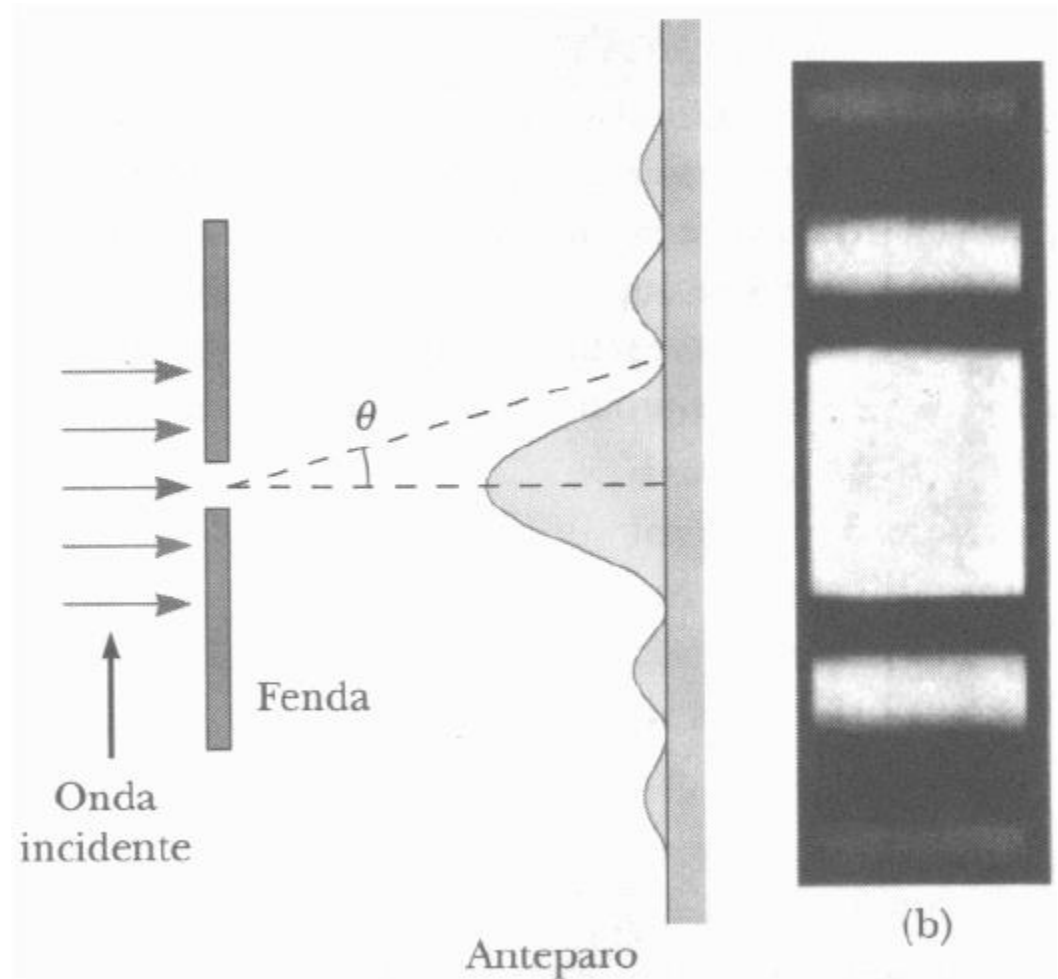
Difração por uma fenda

Em um anteparo, obtemos um padrão de difração

Franjas escuras ocorrem para:

$$\text{sen}\theta = m \frac{\lambda}{a}$$

a : largura da fenda



Determinação da Posição dos Máximos e Mínimos

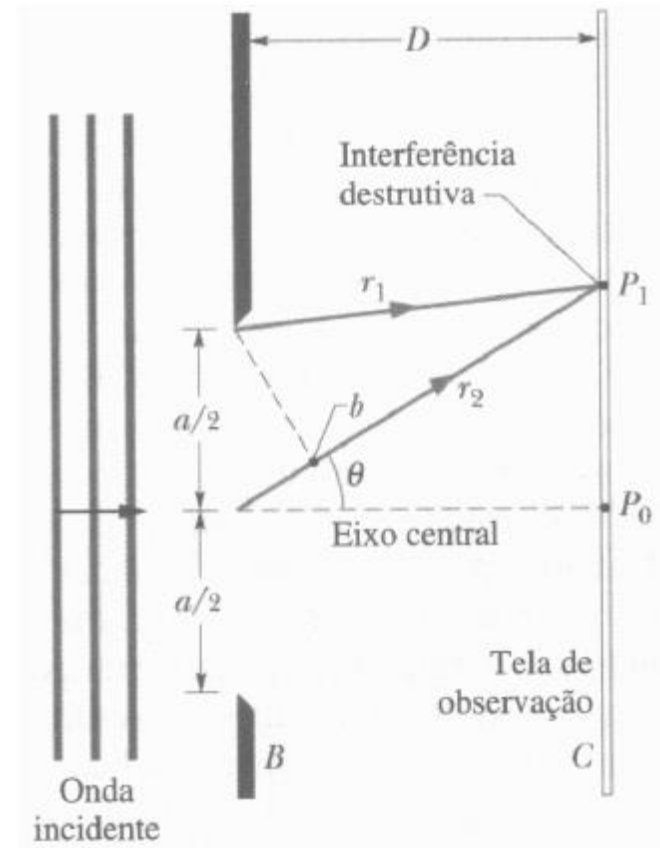
Suposição: $D \gg a$

Para o primeiro mínimo, a diferença de caminho óptico é

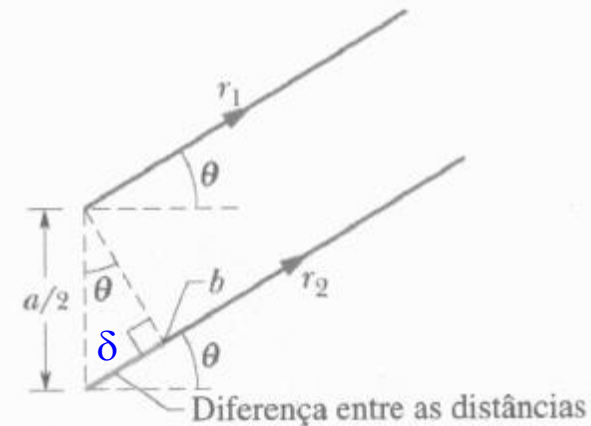
$$\delta = \frac{a}{2} \operatorname{sen} \theta$$

No anteparo as ondas devem estar fora de fase para formação da primeira franja escura:

$$\delta = \frac{\lambda}{2} \quad \rightarrow \quad \lambda = a \operatorname{sen} \theta$$



(a)



A condição que determina a segunda franja escura é encontrada dividindo a fenda em 4 partes :

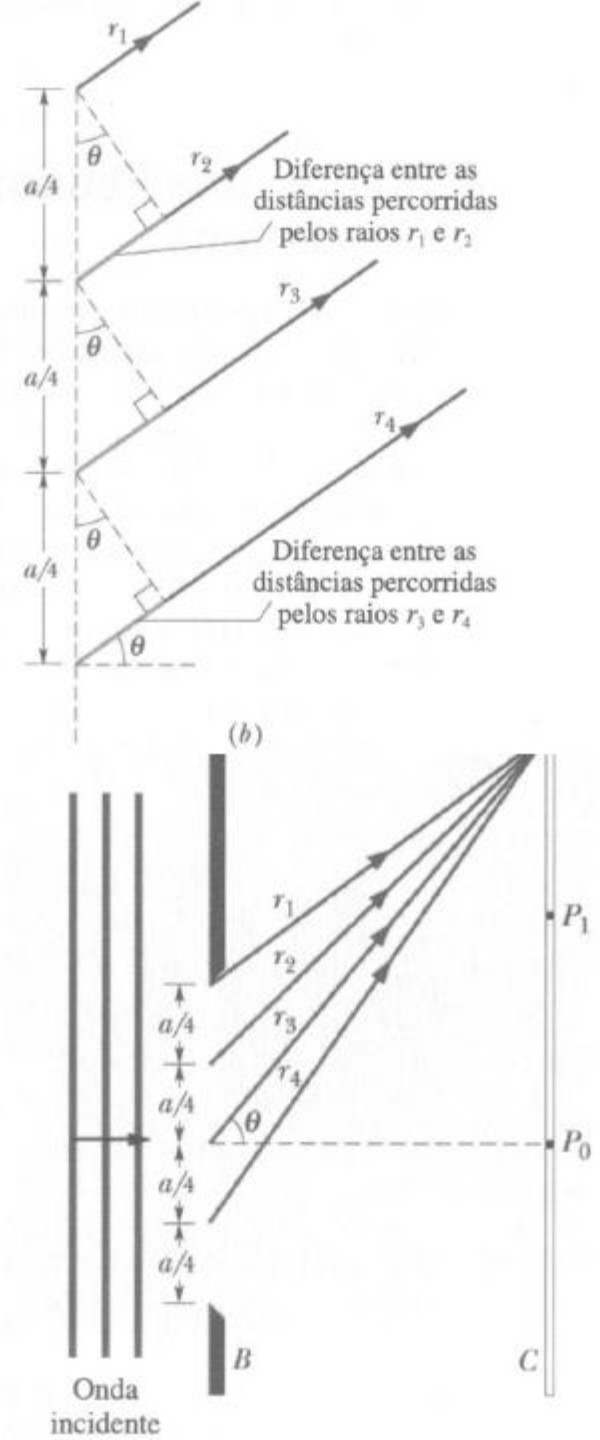
$$\frac{a}{4} \operatorname{sen} \theta$$

Teremos um mínimo quando:

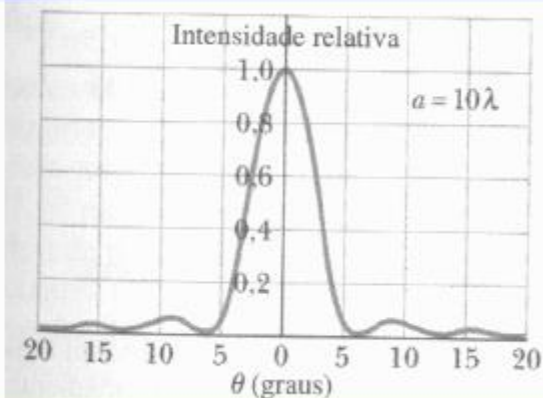
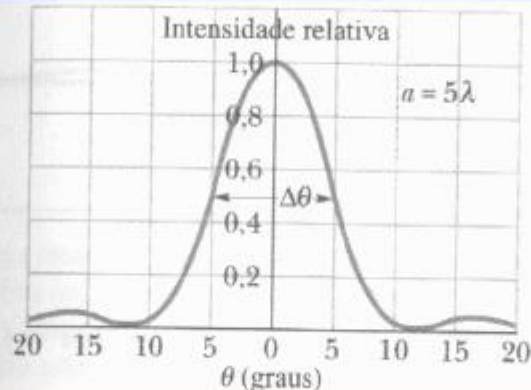
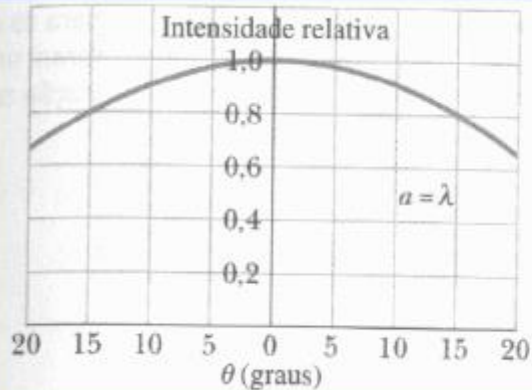
$$\delta = \frac{\lambda}{2} \rightarrow \operatorname{sen} \theta = 2 \frac{\lambda}{a}$$

Assim, para todos os mínimos :

$$\operatorname{sen} \theta = m \frac{\lambda}{a} ; m = 1, 2, \dots$$

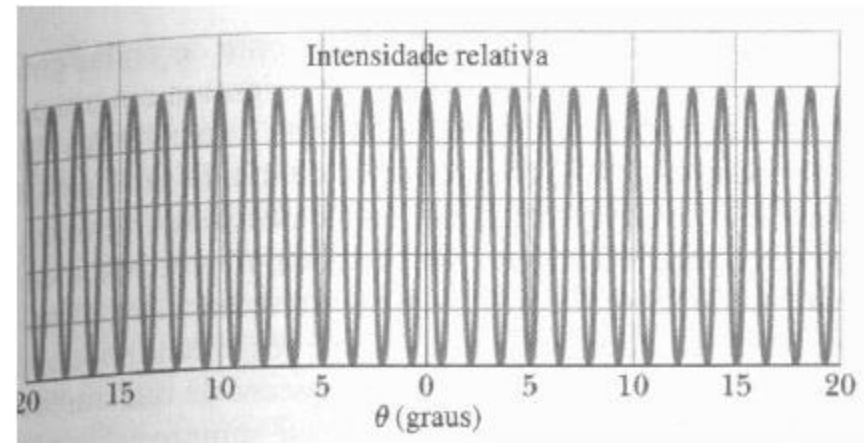


Observe que aumentando a largura da fenda, diminui a largura do máximo central:

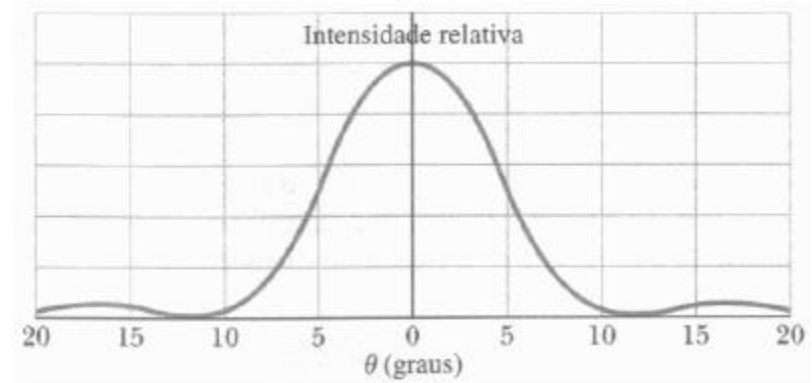


Difração por Duas Fendas

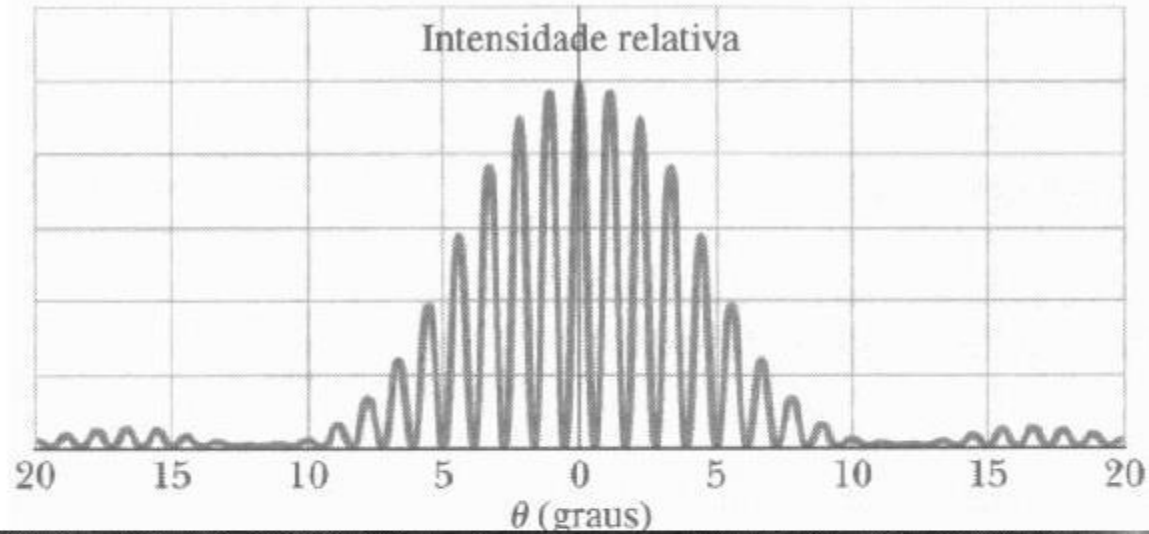
No estudo do experimento de Young consideramos $a/\lambda \rightarrow 0$ e obtivemos a figura da direita. Neste limite as fontes S1 e S2 irradiam (I_0) de modo uniforme para todos os ângulos.



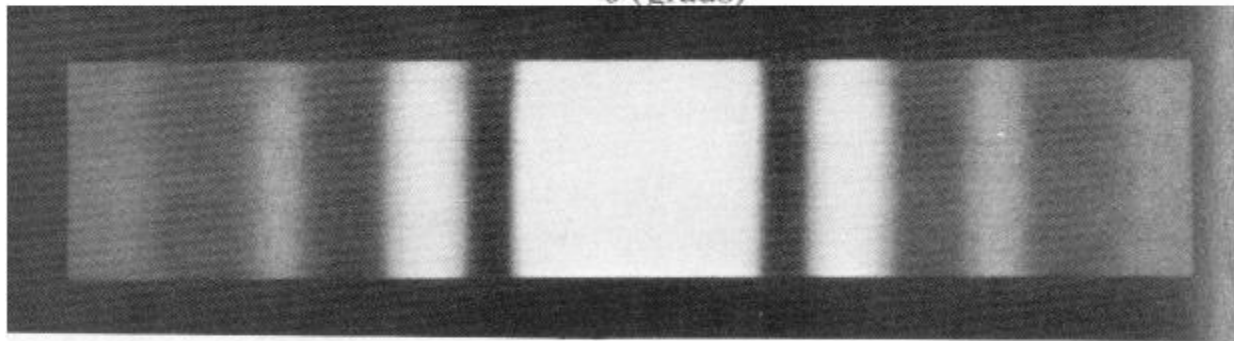
Mas, se considerarmos uma razão a/λ finita, cada fonte irradiará de modo semelhante a figura da direita.



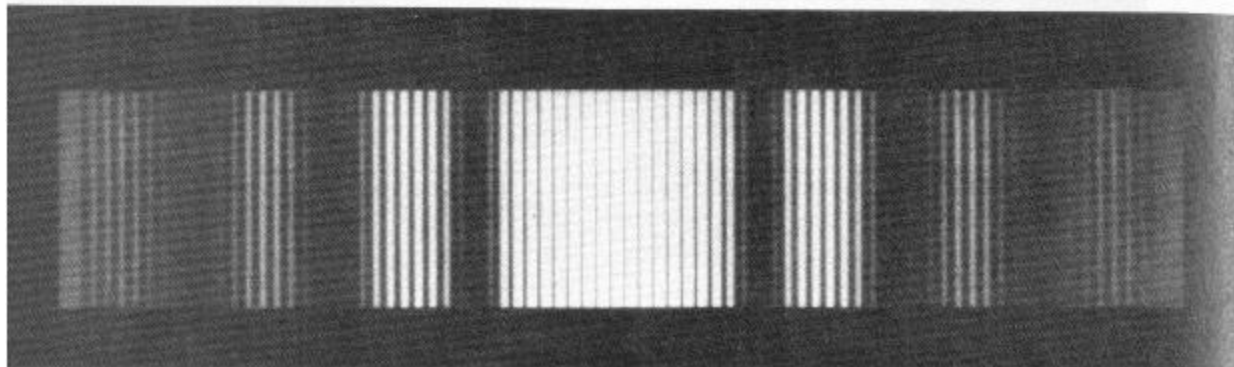
O gráfico geral da intensidade é algo como:



uma fenda



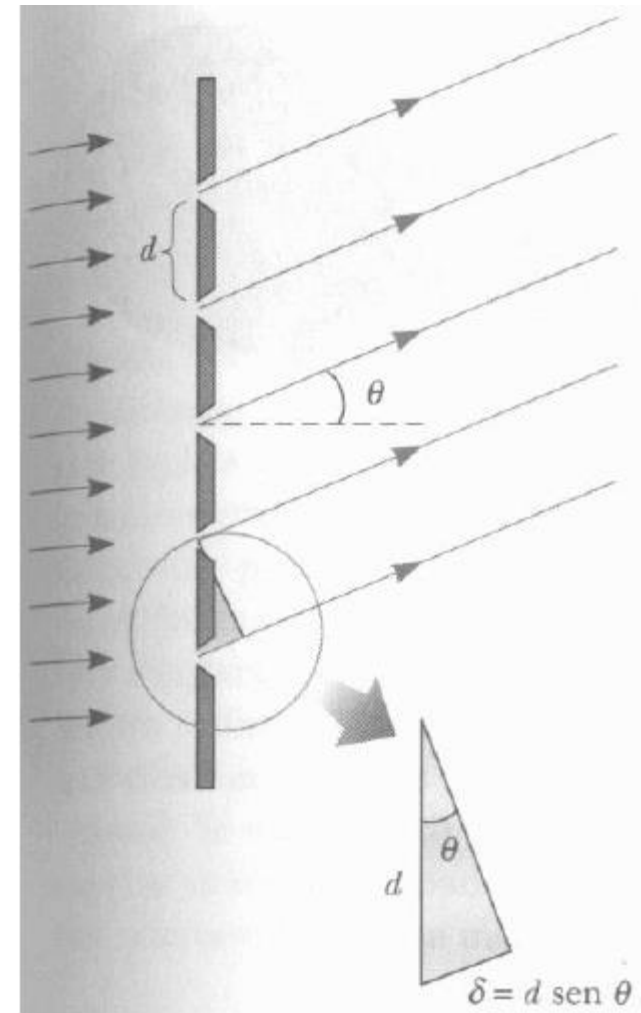
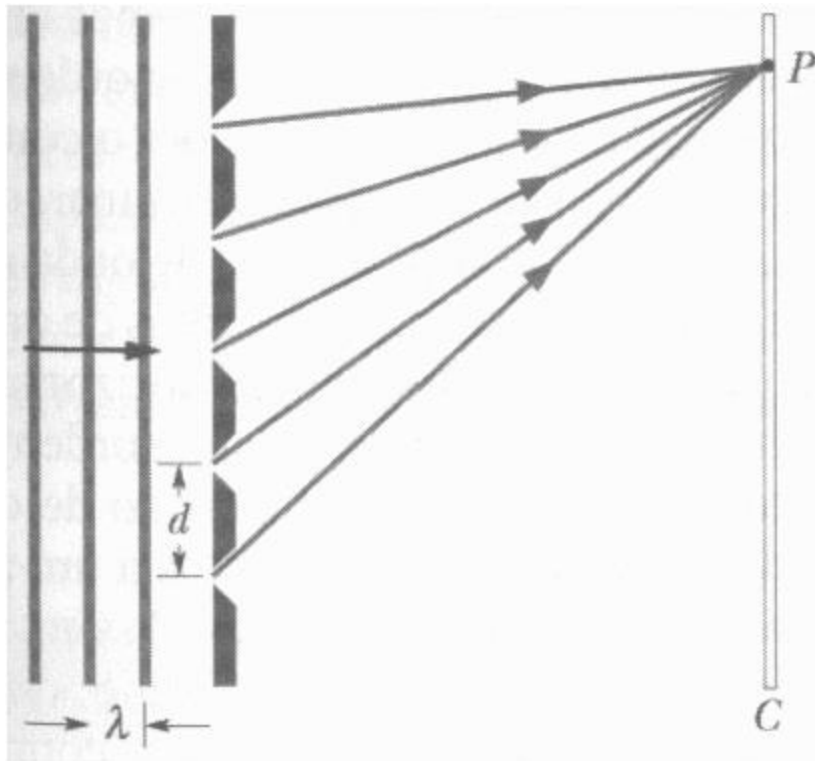
duas fendas



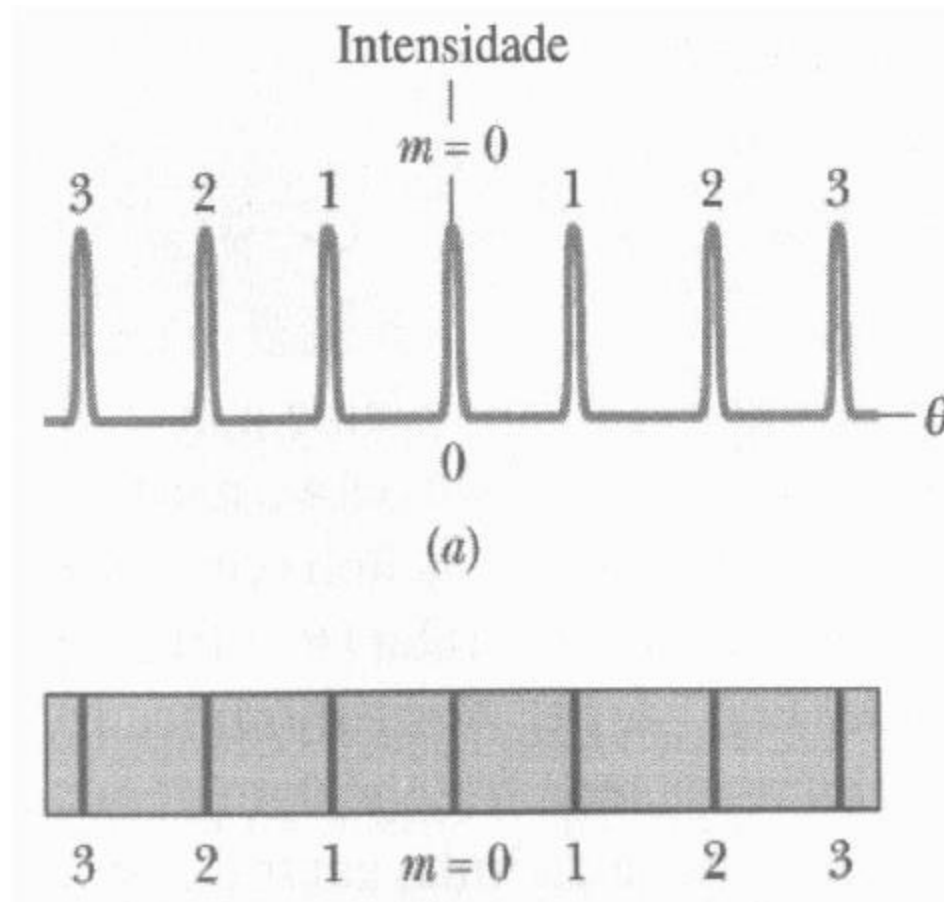
Rede de Difração

Somando os raios, dois a dois, teremos máximos no anteparo quando:

$$d \operatorname{sen} \theta = m \lambda \quad (m = 0, 1, 2, \dots)$$

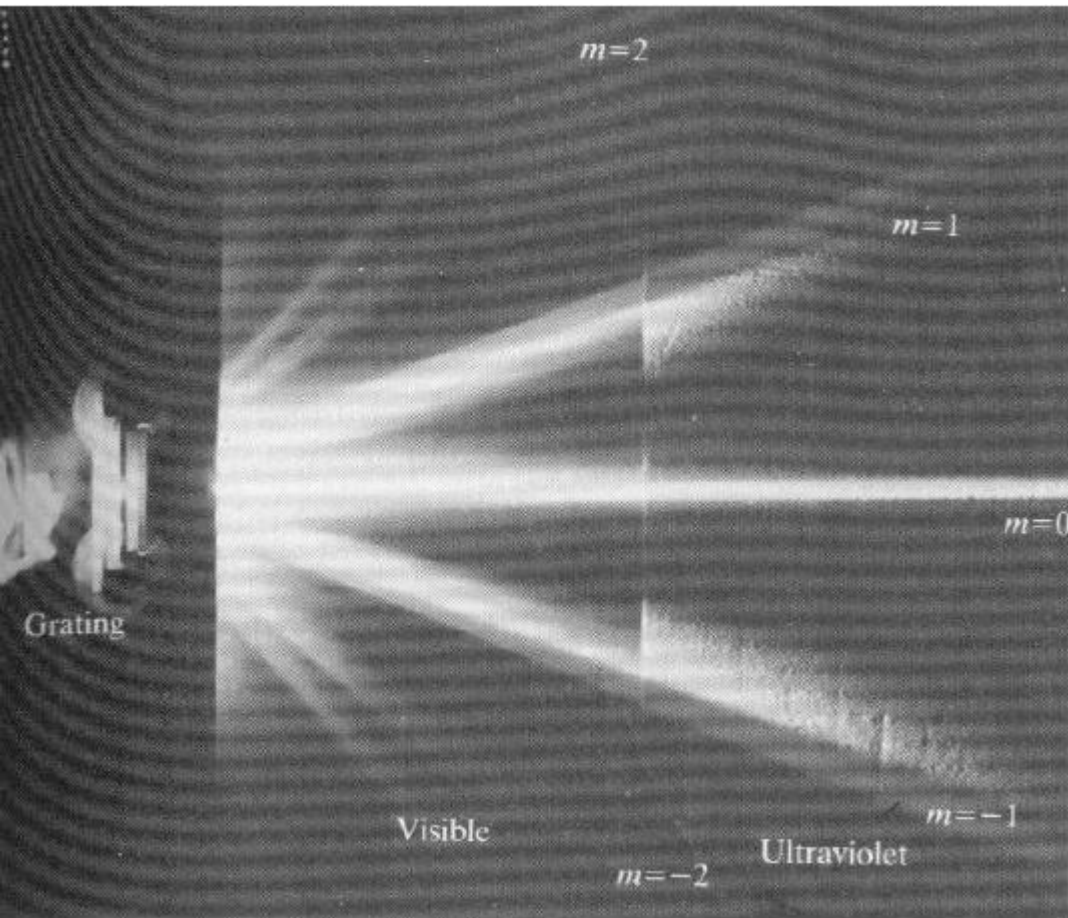


A rede de difração tem uma resolução muito superior a uma fenda dupla, por exemplo:

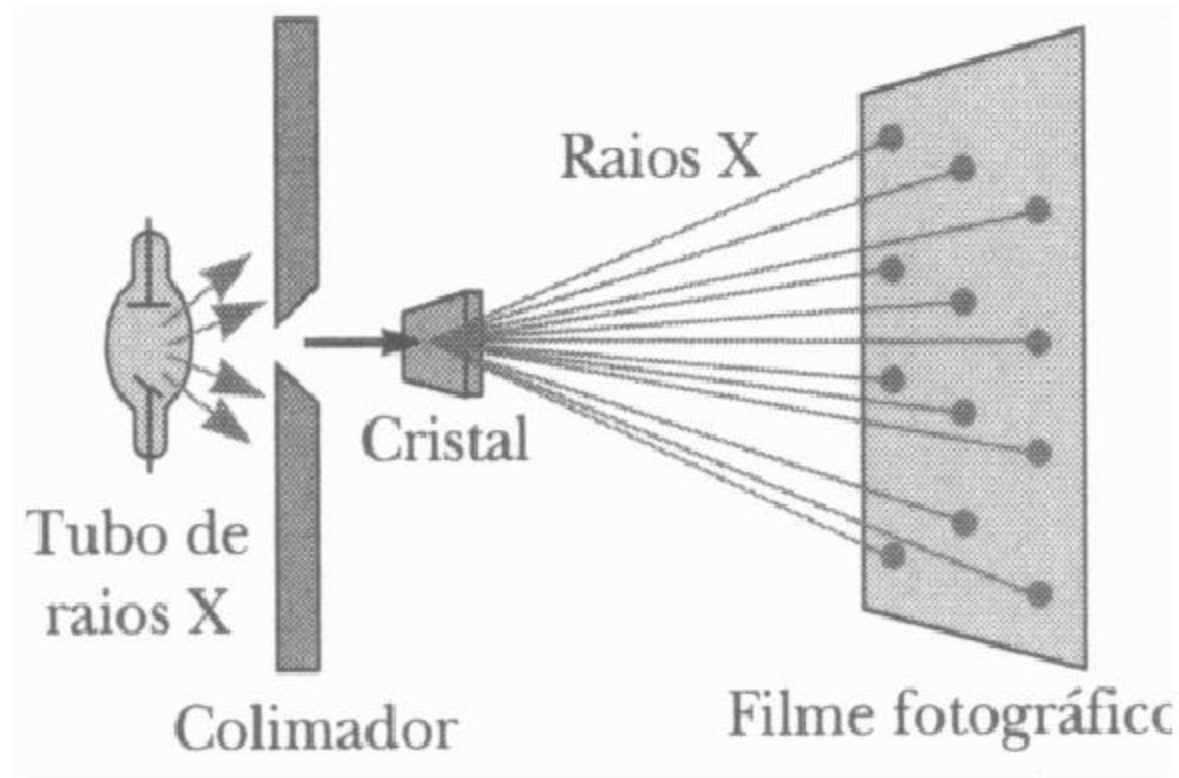


Pode ser utilizada para determinar um λ desconhecido a partir do θ .

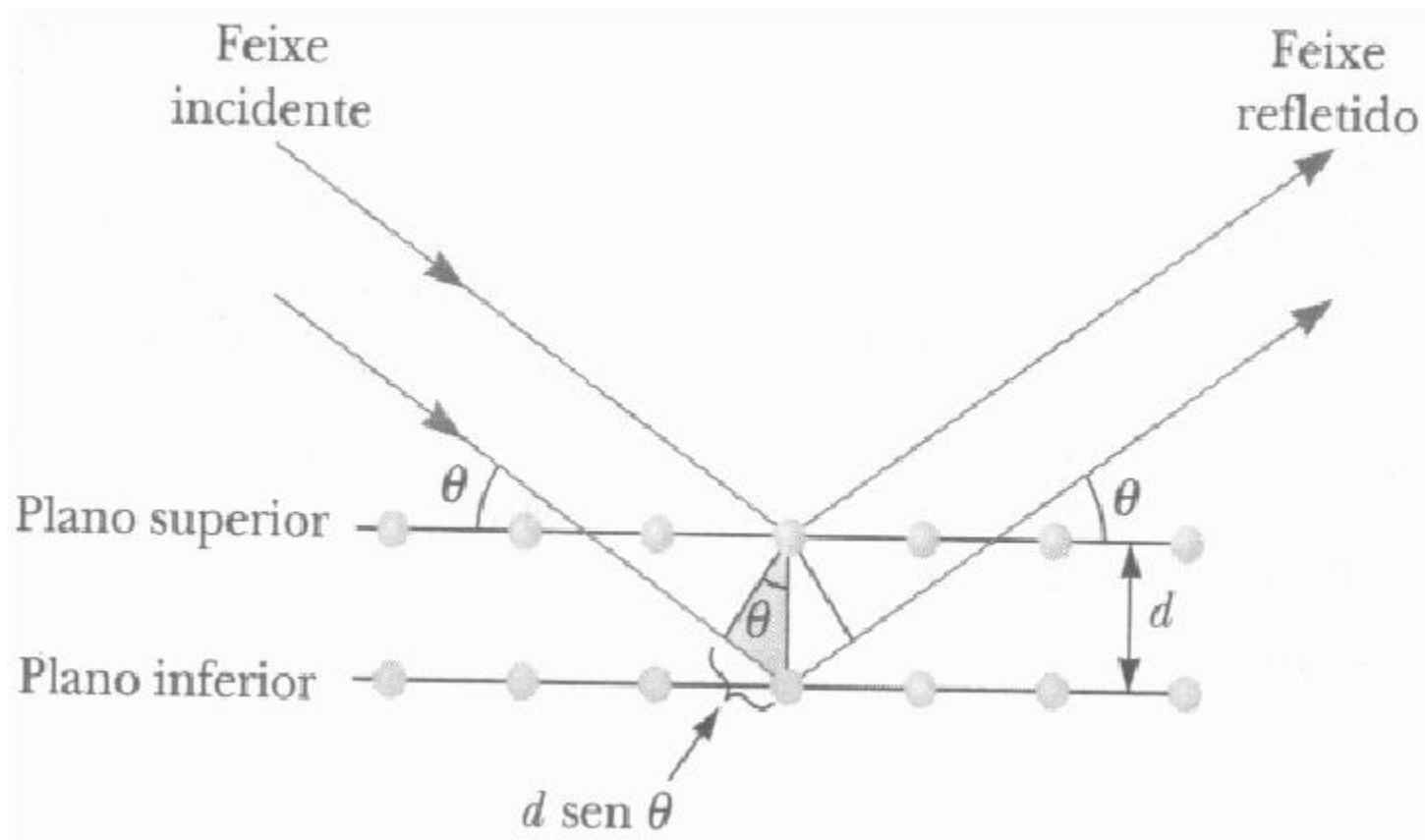
Redes de difração com resolução menor:



Difração de Raio X por Cristais



O comprimento de onda dos Raios X é da ordem do espaçamento atômico em cristais, $10^{-10} \text{ m} = 1 \text{ \AA}$.

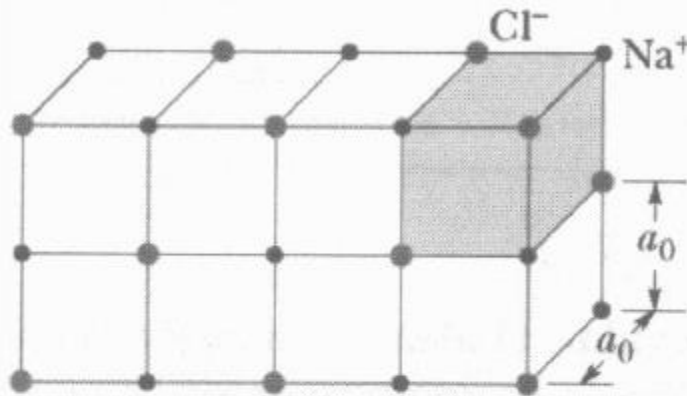


Temos interferências construtivas quando:

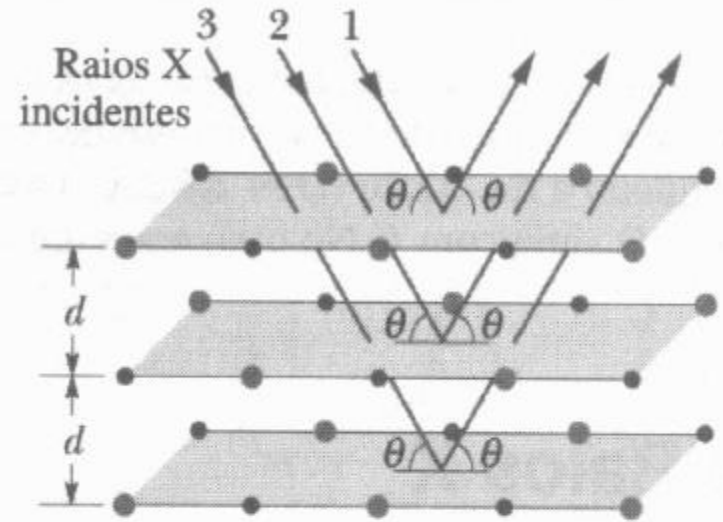
$$2d \text{ sen } \theta = m\lambda \quad \text{Lei de Bragg}$$

($m = 1, 2, 3 \dots$)

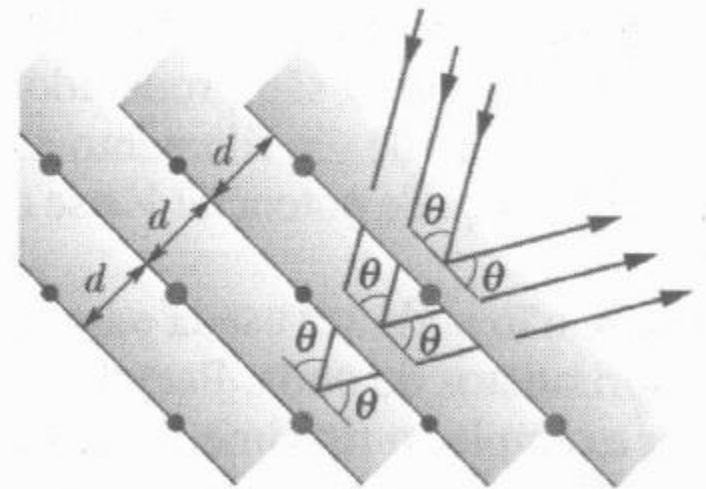
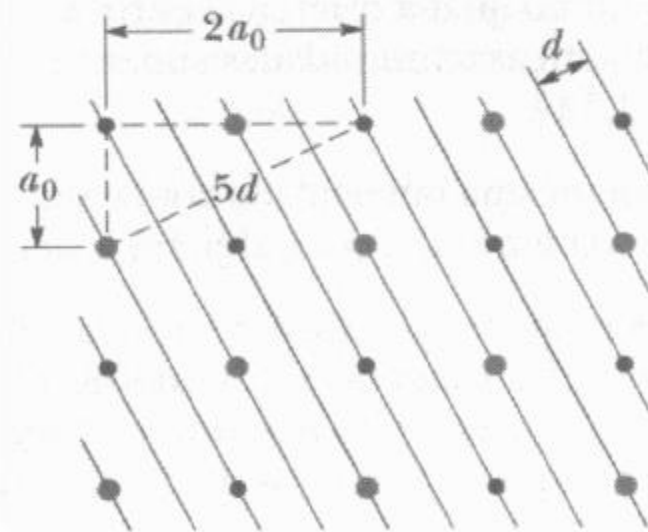
Porém, para qualquer ângulo de incidência, temos vários planos de reflexão.



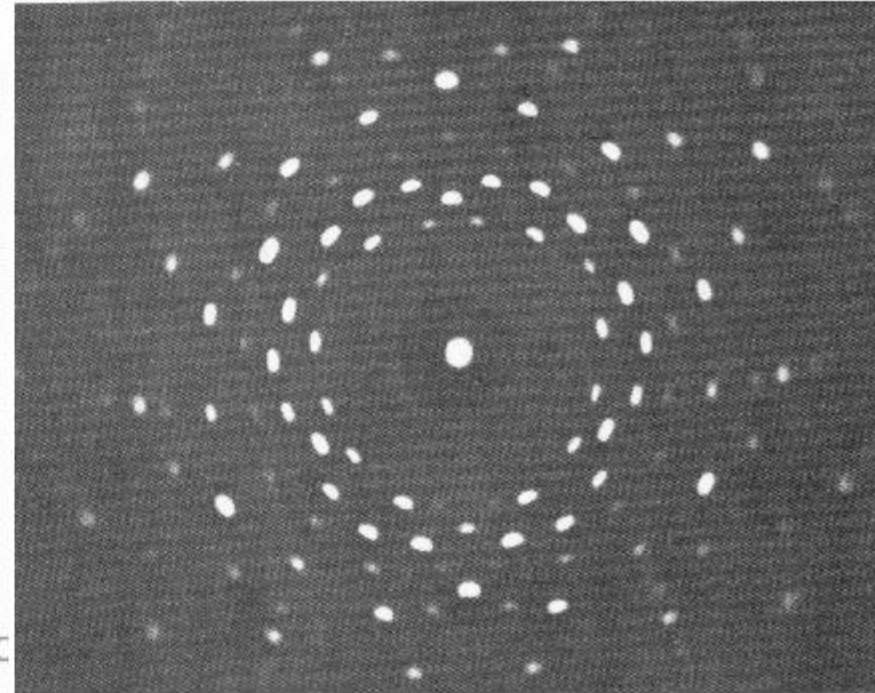
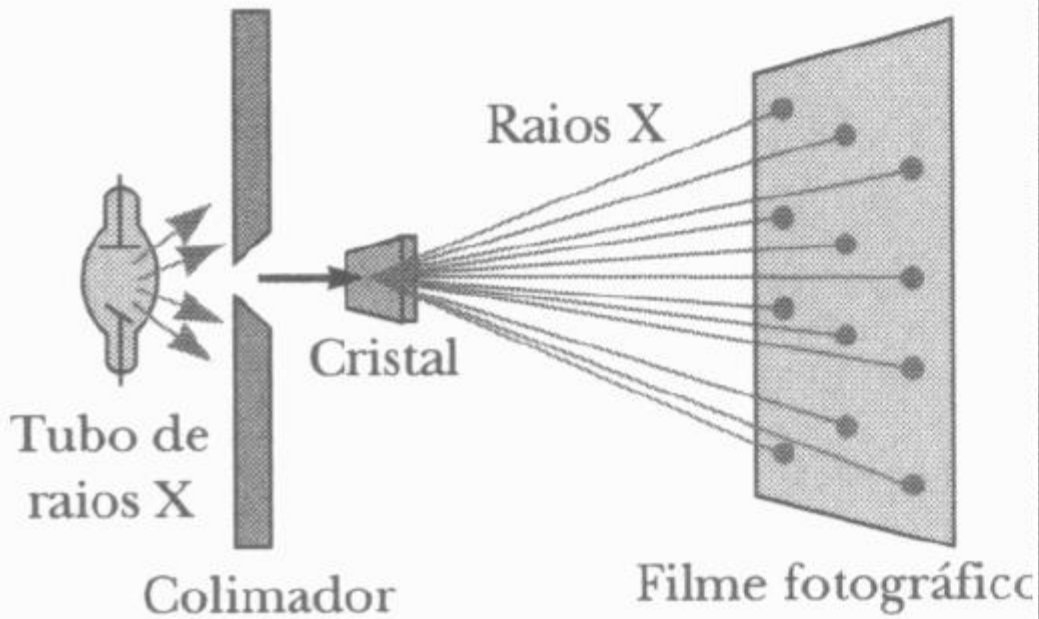
(a)



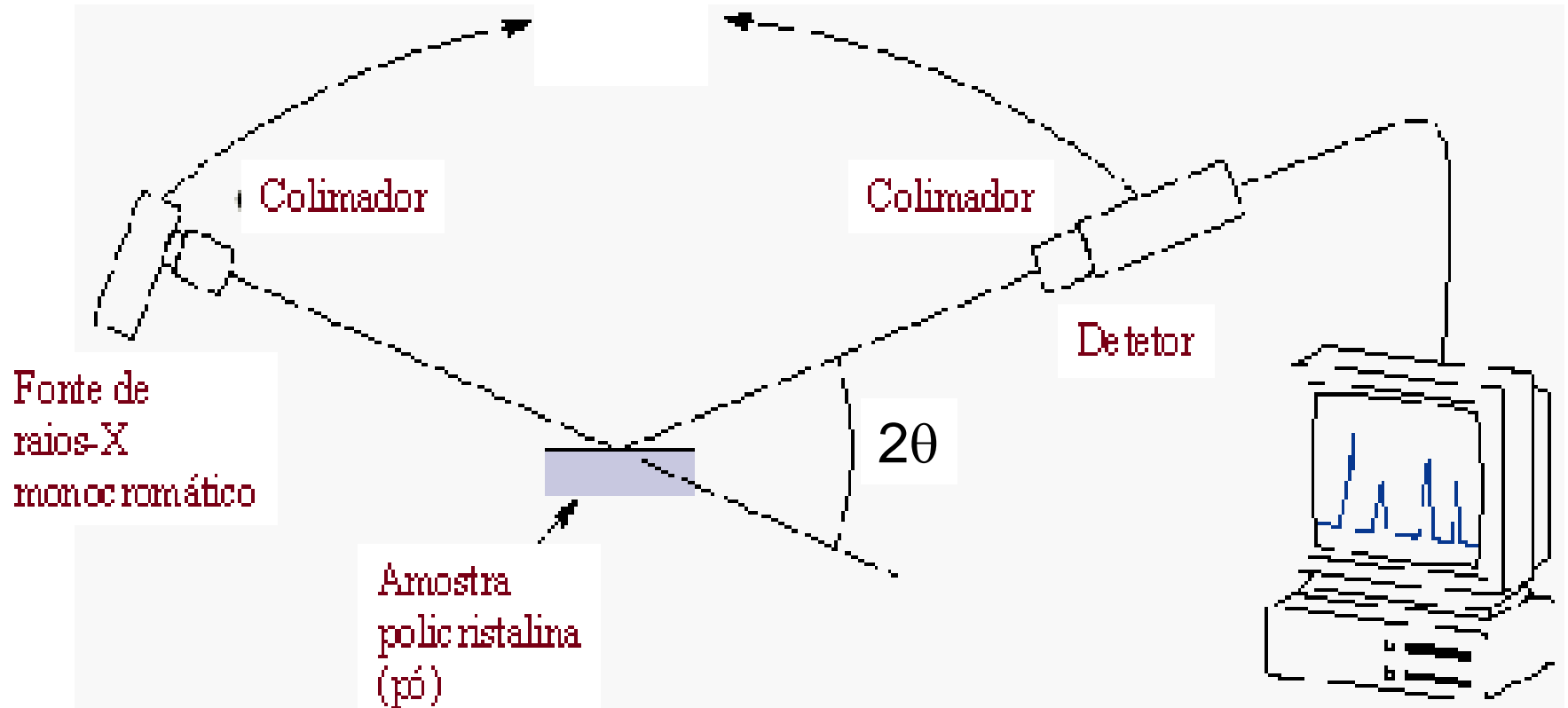
(b)



Assim, temos uma figura de difração complexa.



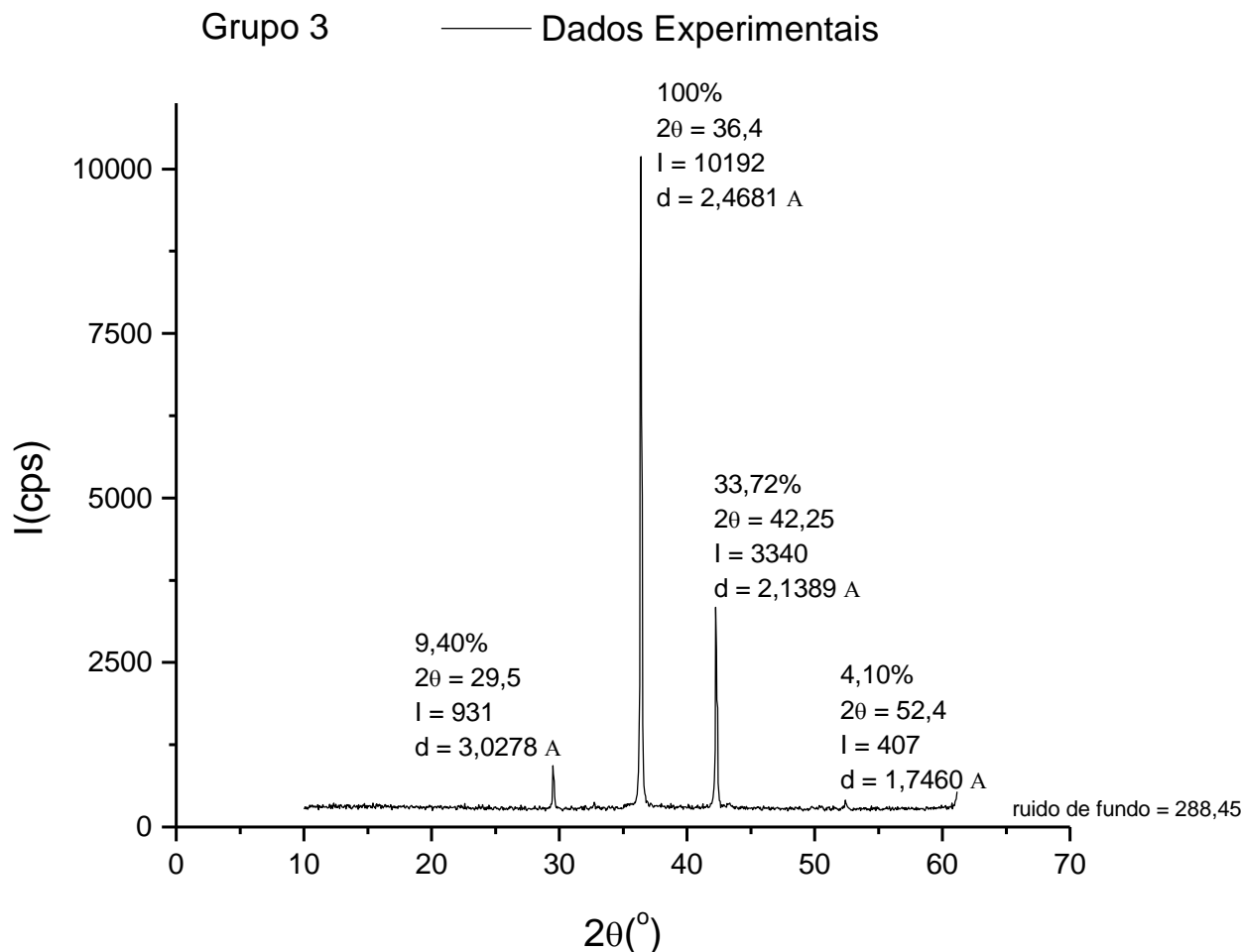
Técnica da Difração de Raios X (DRX)



Análise dos dados de DRX

- Gráfico *Intensidade x 2θ*

Calcula-se os dados: distância interplanar (d) e a intensidade relativa para cada reflexão



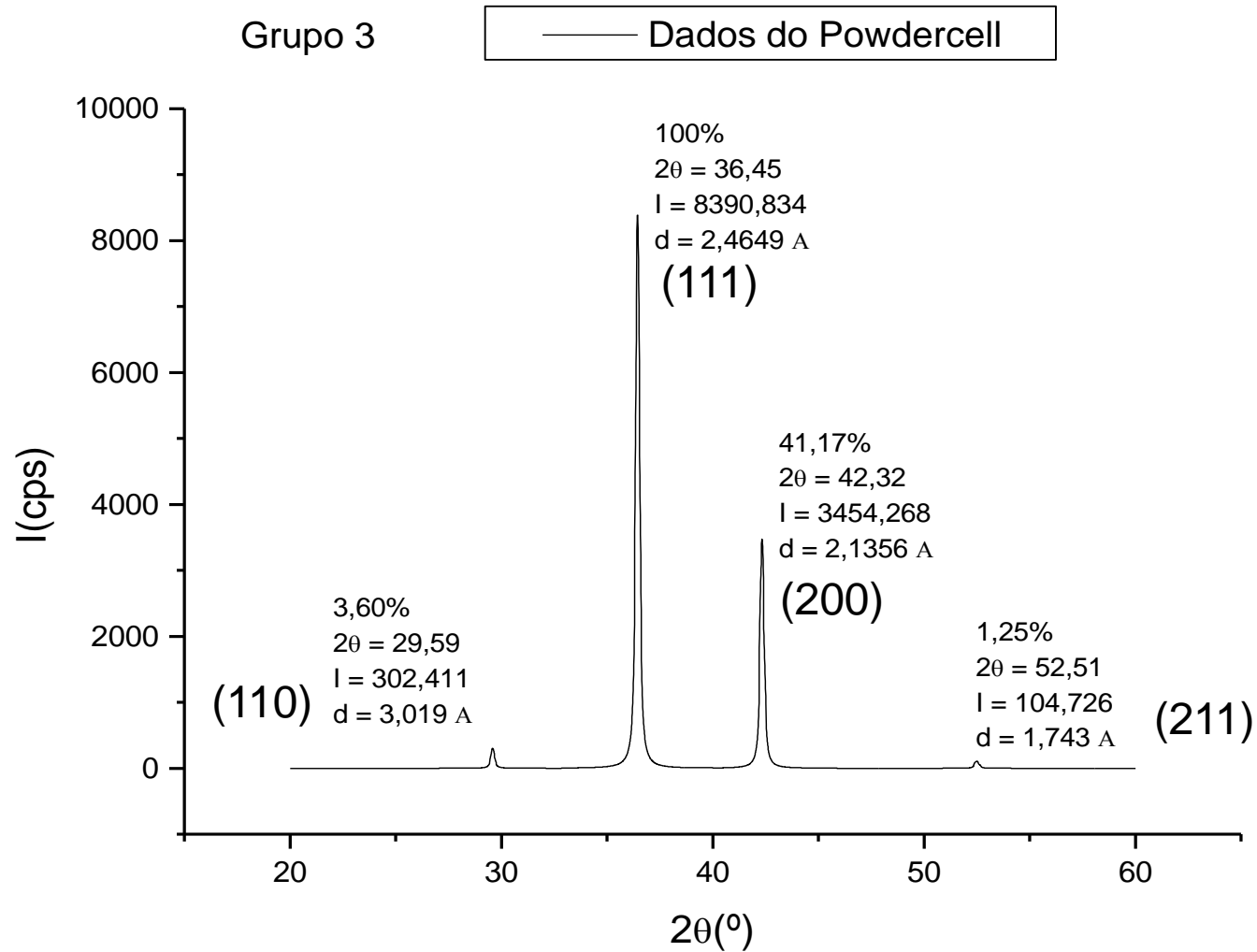
Análise dos dados de DRX

- A partir do conjunto de distâncias interplanares e intensidades relativas dos picos, identifica-se o composto pelo Método Hanawalt. Em seguida consulta-se o arquivo referente ao composto.

5 - 667

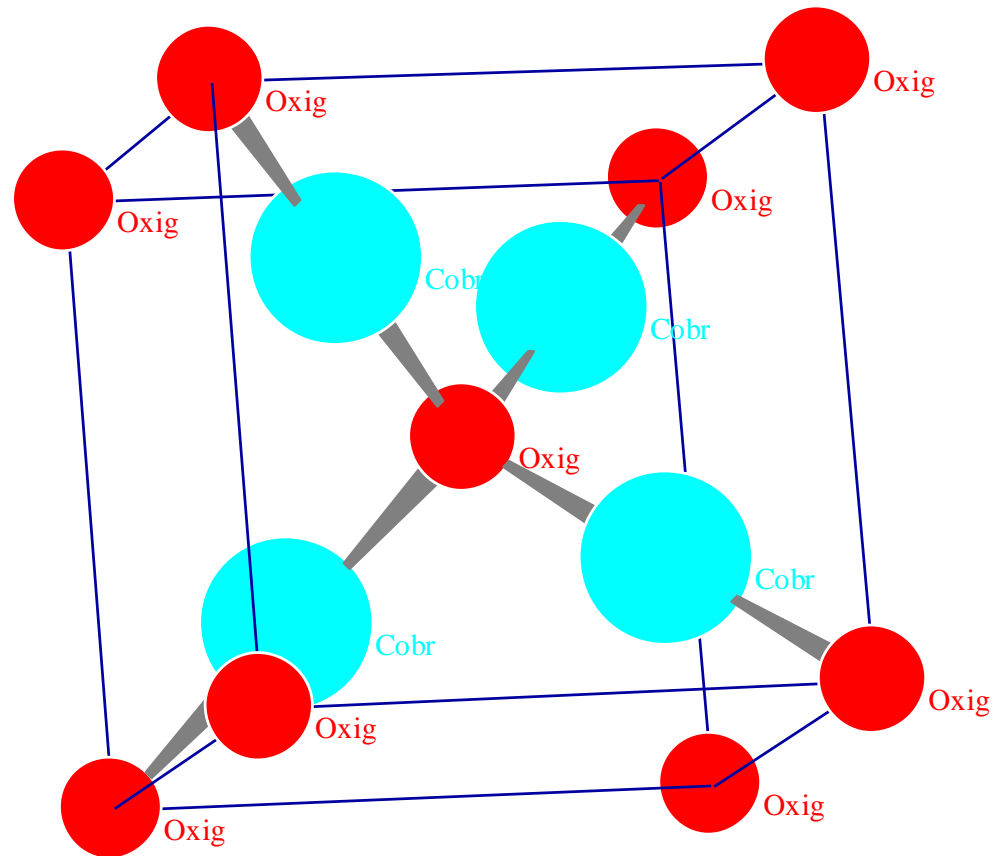
d	2.47	2.14	1.51	3.02	(Cu ₂ O) <u>6C</u>	★			
I/I ₁	100	37	27	9	Copper Oxide		(Cuprite)		
Rad. CuKα ₁ λ	1.5405	Filter Ni	Diap.	d Å	I/I ₁	hkl	d Å	I/I ₁	hkl
Cut off	I/I ₁ Diffractometer	I/I		3.020	9	110			
Ref. Swanson and Fuyat, NBS Circular 539, Vol. II, 23 (1953)				2.465	100	111			
				2.135	37	200			
				1.743	1	211			
Sys. Cubic		S.G. Pn3m (224)		1.510	27	220			
a ₀ 4.2696	b ₀	c ₀	A	1.287	17	311			
α	β	γ	Z 2	1.233	4	222			
Ref. Ibid.			C Dx 6.100	1.0674	2	400			
				0.9795	4	331			
εα	nωβ	εγ	Sign	.9548	3	420			
2V	D	mp	Color Red	.8715	3	422			
Ref. Ibid.				.8216	3	511			
<p>Sample prepared at the NBS by sintering CuCl and Na₂CO₂ at ~800°C, then leaching with water and drying. Spect. analysis: <1% Ca, Si; <0.1% Al, Mg; <0.01% Ag, B, Ba, Fe, Ti; <0.001% Mn, Pb, Sn. X-ray pattern at 26°C. Merck Index, 8th Ed., p. 303.</p>									

Software de Auxílio



- Gráfico Intensidade x 2θ , sem ruído de fundo.

Software de Auxílio



- **Visualização da estrutura cristalina da amostra estudada.**