

Difração em fendas múltiplas e grades

COMPROVAÇÃO DA NATUREZA DAS ONDAS DA LUZ E DETERMINAÇÃO DO COMPRIMENTO DE ONDAS.

- Estudo da difração em fendas duplas com diversas distâncias entre fendas.
- Estudo da difração em fendas duplas com diversas larguras de fendas.
- Estudo da difração em fendas múltiplas duplas com diversas quantidades de fendas.
- Estudo da difração na grade tracejada e na grade cruzada.

UE4030200

11/15 JS/UD



Fig. 1: Disposição de medição.

FUNDAMENTOS GERAIS

A difração da luz em fendas múltiplas e grades pode ser descrita pela sobreposição de ondas elementares coerentes, que de acordo com o princípio de Huygens partem de qualquer ponto iluminado para uma fenda múltipla. A sobreposição em determinadas direções leva a interferência construtiva ou destrutiva e explica, assim, o sistema de listas claras e escuras a ser observado atrás da fenda múltipla.

Atrás de uma fenda dupla a intensidade sob um ângulo de observação α_n é máxima, quando para cada onda elementar da primeira fenda surgir exatamente uma onda elementar da segunda fenda, que se sobreponha construtivamente. Isso ocorre se a diferença de avanço Δs_n entre as ondas elementares saídas do meio das fendas for um múltiplo inteiro do comprimento da onda λ da luz (veja Fig. 2).

$$(1) \Delta s_n(\alpha_n) = n \cdot \lambda$$

$n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$: ordem da difração

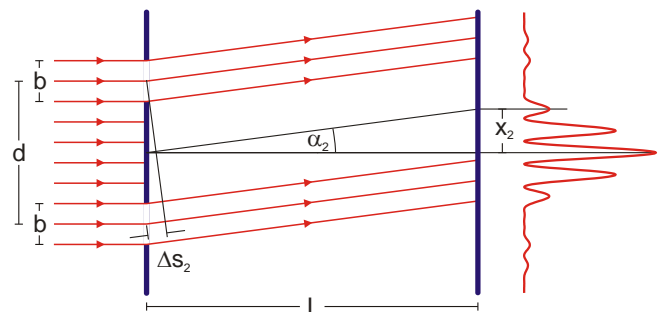


Fig. 2: Representação esquemática para a difração da luz numa fenda dupla. Representação esquemática para a difração da luz numa fenda dupla (b : largura da fenda, d : distância, L : distância da tela de observação em relação à fenda dupla, x_2 : distância entre a segunda máxima e o centro, α_2 : direção de observação para a segunda máxima, Δs_2 : diferença de avanço dos feixes centrais)

Numa longa distância L até a fenda dupla, entre a diferença de avanço Δs_n e a coordenada local x_n da máxima de intensidade existe para os pequenos ângulos de observação α_n o contexto

$$(2) \frac{\Delta s_n}{d} = \sin \alpha_n \approx \tan \alpha_n = \frac{x_n}{L}$$

d : distância de fenda

Por isso as máximas estão a distâncias regulares

$$(3) a = x_{n+1} - x_n = \frac{\lambda}{d} \cdot L$$

lado a lado.

O mesmo vale para a difração numa fenda múltipla com mais de 2 fendas equidistantes. A equação (1) denomina a condição para a interferência construtiva das ondas elementares de todas as fendas N . Portanto as equações (2) e (3) também podem ser aplicadas para uma fenda múltipla.

É matematicamente mais onerosa a determinação da intensidade mínima: enquanto que na fenda dupla exatamente no meio de duas intensidades máximas encontra-se uma intensidade mínima, encontramos na fenda múltipla o máximo n e o $(n+1)$ um mínimo, quando as ondas elementares das fendas N interferem precisamente, de modo que a intensidade total se transforme em zero. Isso ocorre quando a diferença do avanço entre as ondas elementares que partem do meio das fendas corresponder à condição

$$(4) \Delta s = n \cdot \lambda + m \frac{\lambda}{N}$$

$$n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, m = 1, \dots, N-1$$

Portanto, encontra-se $N-1$ mínima e no meio os $N-2$ assim chamados máxima secundária, cuja intensidade é menor que a assim chamada máxima principal.

Com a quantidade crescente N da fenda desaparece a contribuição da máxima secundária. Não se fala mais de uma fenda múltipla, e sim de uma grade tracejada. Uma grade cruzada pode ser compreendida finalmente como uma disposição de duas grades viradas a 90° uma contra a outra. As máximas de difração transformam-se em pontos numa rede retangular, cujo tamanho das malhas é dado por (3).

A claridade na máxima principal é modulada pela distribuição de claridade da difração na fenda unitária e será mais concentrada em pequenos ângulos α na medida em que aumentar a largura da fenda b . Para um cálculo exato, soma-se as amplitudes de todas as ondas elementares sob consideração das diferenças de avanço para a amplitude total A . Num local de livre escolha x no painel então será

$$(5) I = A^2 \propto \left(\frac{\sin\left(\frac{\pi \cdot b \cdot x}{\lambda \cdot L}\right)}{\frac{\pi \cdot b \cdot x}{\lambda \cdot L}} \right)^2 \cdot \left(\frac{\sin\left(N \cdot \frac{\pi \cdot d \cdot x}{\lambda \cdot L}\right)}{\sin\left(\frac{\pi \cdot d \cdot x}{\lambda \cdot L}\right)} \right)^2 = f(x).$$

A função $f(x)$ no lado direito da equação (5) está dada na posição $x = 0$ no centro da distribuição da claridade através do valor limite a seguir:

$$(6) \lim_{x \rightarrow 0} f(x) = N^2$$

O primeiro fator de $f(x)$ descreve a difração em uma fenda única e o segundo, a interferência entre N fendas.

LISTA DE APARELHOS

1	Díodo laser, vermelho	U22000	1003201
1	Banco óptico K, 1000 mm	U8475240	1009696
2	Cavalete óptico K	U8475350	1000862
1	Pinça suporte K	U84755401	1008518
1	Suporte K para laser de díodo	U8475550	1000868
1	Diafragma com 3 fendas duplas de diferentes larguras de fenda	U14100	1000596
1	Diafragma com 4 fendas duplas de diferentes distâncias entre as fendas	U14101	1000597
1	Diafragma com 4 fendas múltiplas e grade	U14102	1000598
1	Diafragma com 3 grades de linha	U14103	1000599
1	Diafragma com 2 grades cruzadas	U14106	1000601

MONTAGEM E EXECUÇÃO

- Posicionar e fixar um cavalete óptico respectivamente em 0 e em 70 cm sobre o banco óptico (Fig. 1).
- Inserir e fixar díodo no suporte. Colocar o suporte com o laser de díodo na posição de 70 cm.
- Colocar a pinça suporte no cavalete óptico na posição de 0 cm. Fixar um diafragma com objetos de difração na pinça suporte de forma que o objeto de difração a ser medido esteja centralizado no eixo óptico.
- Posicionar uma tela de projeção a uma distância $L \approx 7$ m do objeto de difração (Fig. 2) perpendicularmente ao eixo óptico. Medir com precisão e anotar a distância entre objeto de difração e tela de projeção. Não alterar mais a posição do banco óptico, se for o caso, medir novamente a distância L a cada troca de diafragma ou do objeto de difração.
- Conectar a fonte de alimentação do laser de díodo na rede e ligar o laser de díodo.
- Fixar sucessivamente todos os diafragmas com objetos de difração na pinça suporte e observar ou fotografar a respectiva distribuição da claridade na tela para todos os objetos de difração.
- Para as 4 fendas duplas de diferentes distâncias entre fendas, medir a distância x_n entre uma máxima de ordem $n \neq 0$ e a máxima de ordem 0 no centro da distribuição da claridade (exemplo para $n = 2$ vide Fig. 2) e anotar na Tab. 1 (vide avaliação).

EXEMPLO DE MEDIÇÃO

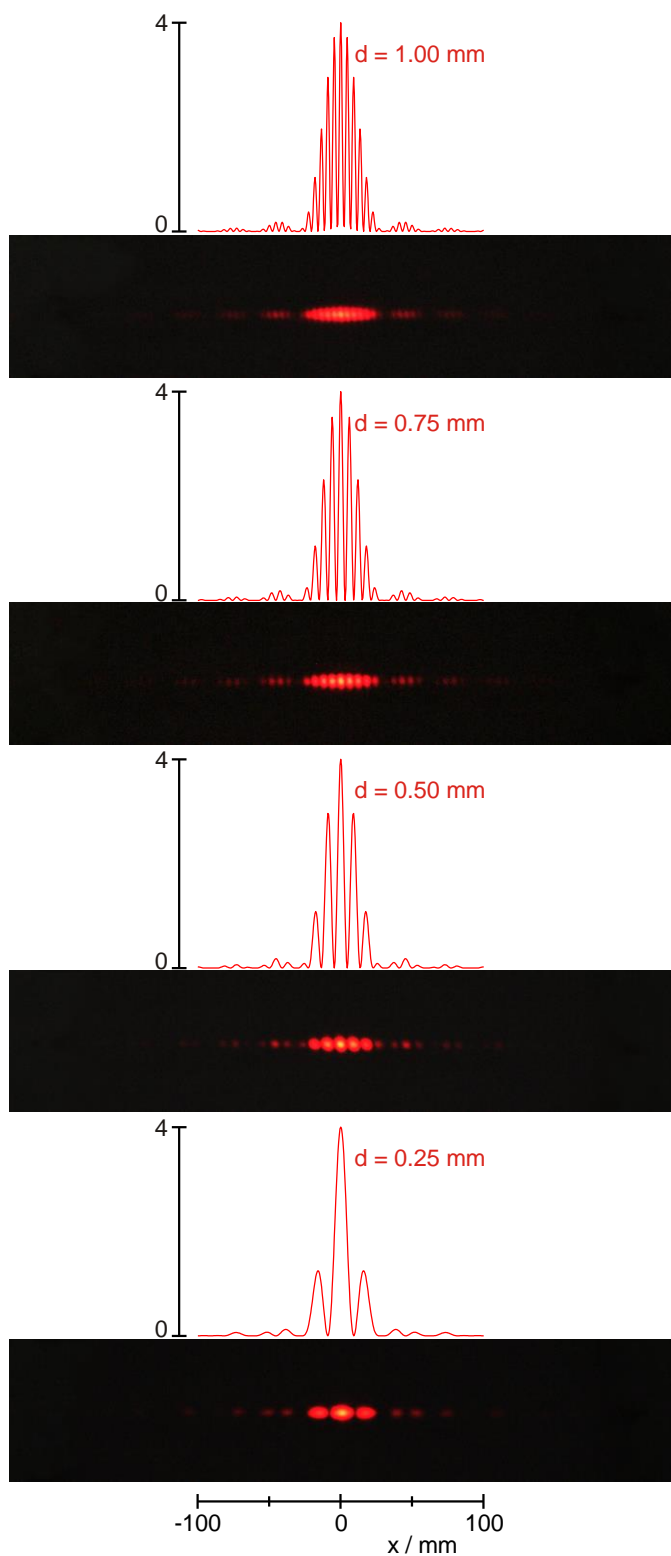


Fig. 3: Difração na fenda dupla com diferentes distâncias entre fendas d . Função calculada $f(x)$ e intensidade observada. Número de fendas $N = 2$, largura de fenda $b = 0,15 \text{ mm}$.

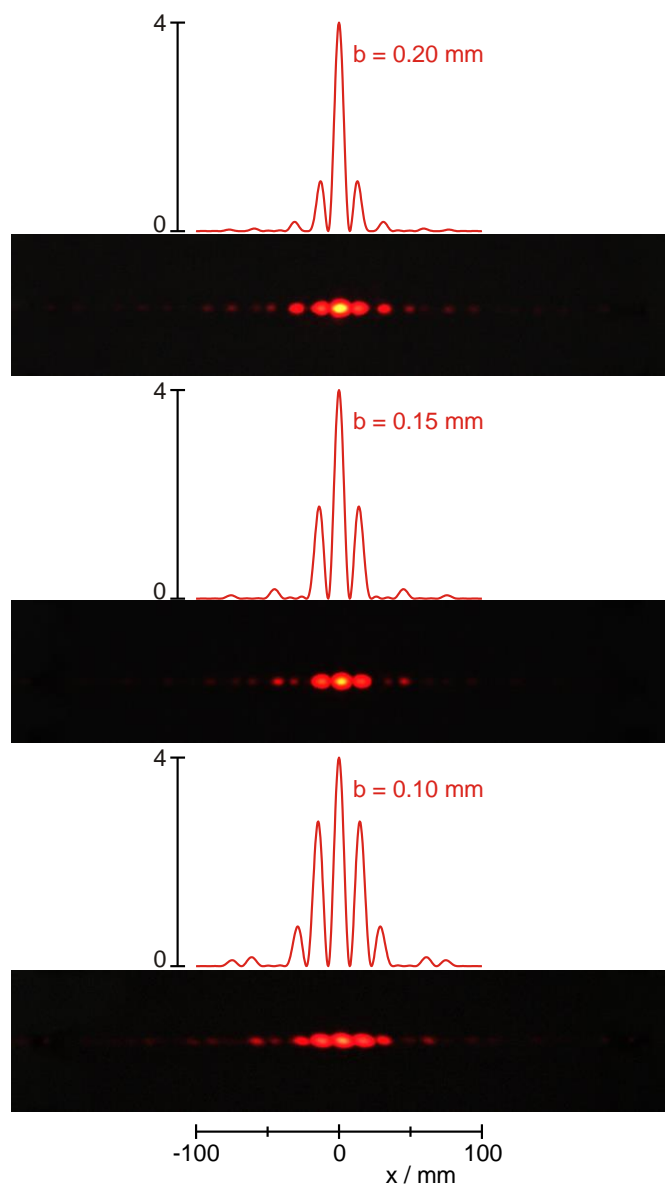


Fig. 4: Difração na fenda dupla com diferentes distâncias entre fendas b . Função calculada $f(x)$ e intensidade observada. Número de fendas $N = 2$, distância entre fendas $d = 0,30 \text{ mm}$.

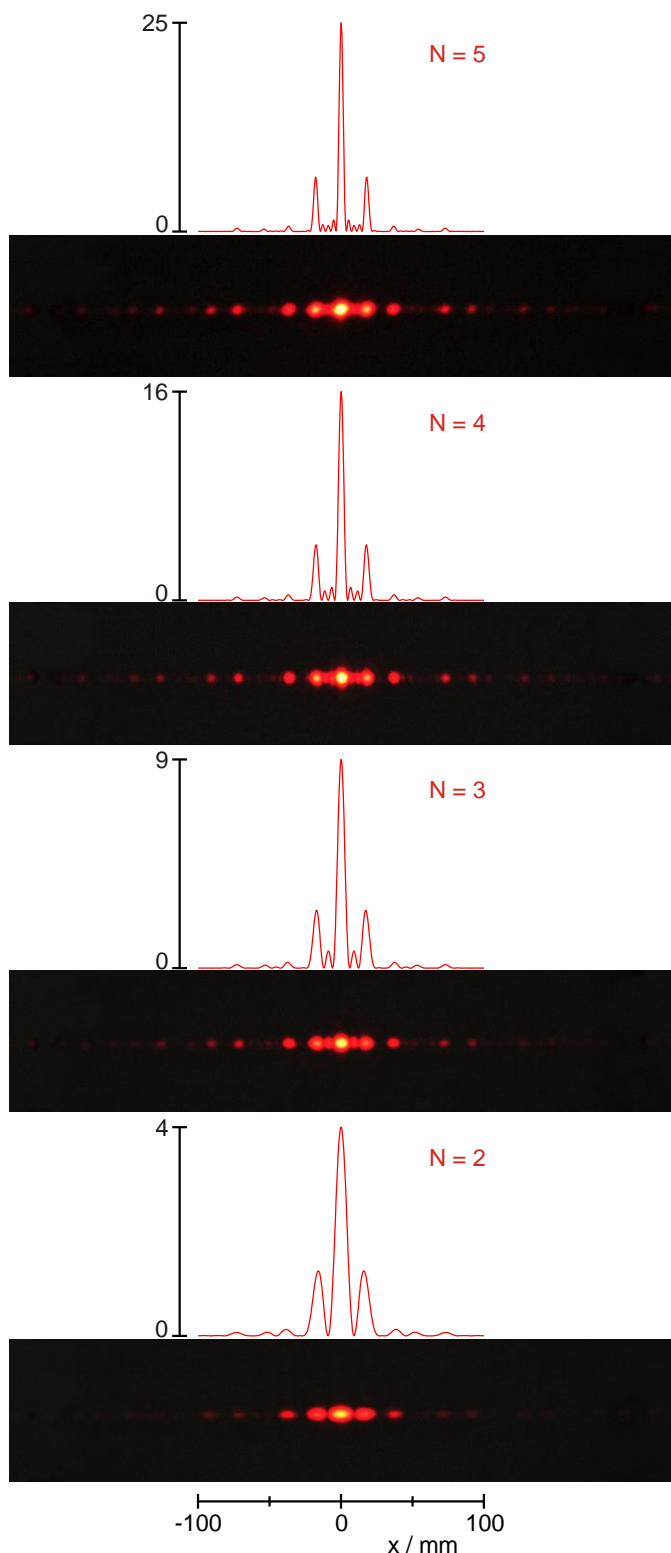


Fig. 5: Difração em fendas múltiplas com diferentes números de fendas N . Função calculada $f(x)$ e intensidade observada. Distância entre fendas $d = 0,25$ mm, largura de fenda $b = 0,15$ mm.

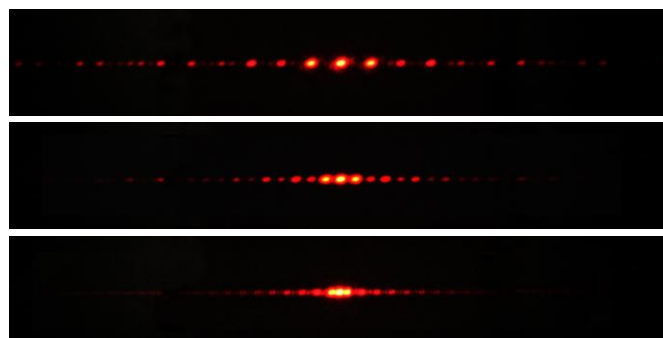


Fig. 6: Difração em grade tracejada com 20 (em baixo), 40 (centro) e 80 linhas / cm (em cima), correspondente a constante de grade $g = 0,50, 0,25$ e $0,125$ mm.

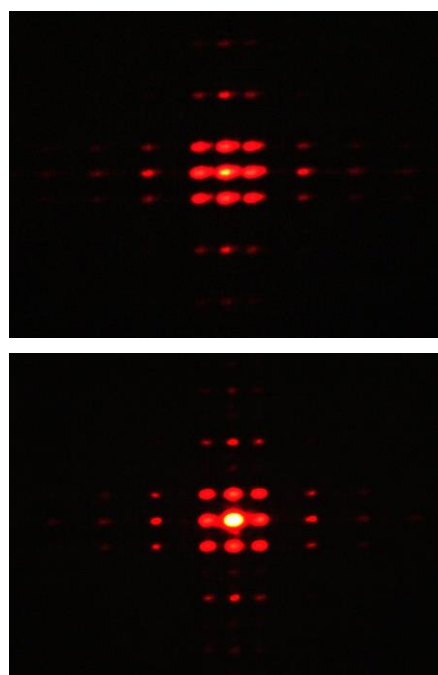


Fig. 7: Difração em grade cruzada branca (em baixo) e preta (em cima) com 40 linhas / cm, correspondente a uma constante de grade de $g = 0,25$ mm.

AValiação

Para uma avaliação detalhada das distribuições de claridade dos diferentes diafragmas de fendas observadas na tela, serão calculadas as distribuições de claridade ou as funções $f(x)$ conforme equação (5) mediante utilização das larguras, distâncias e números de fenda dados e comparadas com as distribuições de claridade observadas na tela (Fig. 3, 4 e 5).

Nas fendas com diferentes distâncias entre fendas (Fig. 3), reconhece-se que o número das máximas de interferência aumenta com o aumento da distância entre fendas e que sua largura diminui, pois a largura das máximas de difração (máximas envolvidoras ou de interferência) se mantém igual. Com o aumento da distância entre fendas, cada vez mais ondas difratadas podem interferir umas nas outras.

Nas fendas com diferentes distâncias entre fendas (Fig. 4), reconhece-se que o número de máximas de interferência se mantém igual com o aumento da largura da fenda e que sua intensidade para ordens $n \neq 0$ diminui, pois a largura das máximas de difração (máximas envolvidoras ou de interferência). Por conta da difração cada vez mais fraca com o aumento da largura da fenda, a interferência entre as ondas difratadas é correspondentemente mais fraca.

Para a fenda múltipla (Fig. 5), observa-se, conforme esperado, N-2 máximas paralelas, ou seja, na fenda dupla, nenhuma, na fenda tripla, uma, na fenda quádrupla, duas e na fenda quádrupla, três.

Em geral, nos locais onde há mínimas de difração, não podem ser observadas máximas de interferência. Este é o caso quando o primeiro fator de $f(x)$ na equação (5) se torna zero, ou seja, com múltiplos inteiros de $x = (\lambda / b) \cdot L$. Para $b = 0,15 \text{ mm}$, resulta, por exemplo, (vide Fig. 3 e Fig. 5):

$$(7) \quad x = \frac{\lambda}{b} \cdot L = \frac{650 \text{ nm}}{0,15 \text{ mm}} \cdot 7 \text{ m} = 30,3 \text{ mm}$$

Nas três grades tracejadas (Fig. 6), desaparece, conforme esperado, a contribuição da máxima paralela e a distância a da máxima principal na tela aumenta cada vez mais conforme equação (3) com o aumento do número das linhas/cm, correspondente à diminuição da constante de grade g .

Nas duas grades cruzadas (Fig. 7), as máximas de difração tornam-se, conforme esperado, pontos em uma rede retangular. As máximas de difração da grade cruzada branca são mais claras que as da grade preta, porque, na rede cruzada branca, mais intensidade é transmitida e, correspondentemente, menos intensidade é absorvida que com a grade preta.

O comprimento de onda da luz difratada pode ser determinado para a fenda dupla de distâncias diferentes entre fendas conforme equação (3) a partir das distâncias regulares a das máximas.

- Formar os quocientes L / d para as 4 fendas duplas de diferentes distâncias entre as fendas (Tab. 1).
- Para a determinação da distância a das máximas, dividir as respectivas distâncias medidas x_n pela ordem de difração n (Tab. 1).
- Aplicar os valores determinados para a por medição contra L / d em um diagrama e adaptar uma reta aos pontos de medição (Fig. 8).

Conforme equação (3), a inclinação da reta corresponde exatamente ao comprimento de onda λ :

$$(8) \quad a = \lambda \cdot \left(\frac{L}{d} \right)$$

Resulta um valor de $\lambda = 630 \text{ nm}$, que corresponde até 3% com o valor especificado $\lambda = 650 \text{ nm}$.

Tab. 1: Difração na fenda dupla de diferentes distâncias entre fendas d , veja Fig. 3 ($L = 7 \text{ m}$: distância para a tela, n : ordem de difração, x_n : distância medida, a : distância das máximas determinada a partir de x_n).

d / mm	L / d	n	x_n / mm	a / mm
0,25	28000	2	35,56	17,78
0,50	14000	6	53,20	8,87
0,75	9333	8	47,60	5,95
1,00	7000	12	53,20	4,43

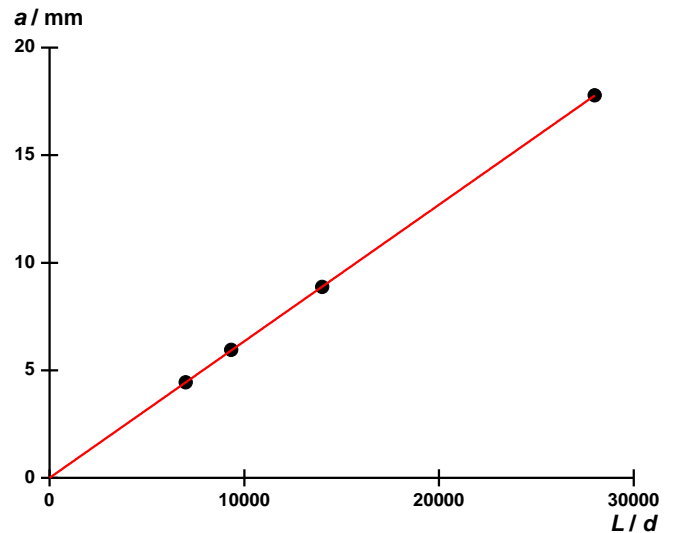


Fig. 8: Distâncias das máximas a em dependência do quociente L / d a partir da distância da tela $L = 7 \text{ m}$ e as distâncias entre fendas d .

