

CUBA DE ONDAS

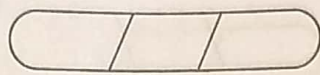
→ INTRODUÇÃO

Uma cuba de ondas é um instrumento que é usado para demonstrar fenômenos ondulatórios como reflexão, refração, interferência e difração. Ao gerar uma perturbação no meio líquido, a sua superfície livre se ondula e se propaga ao longo do plano determinado por ela. Os raios luminosos, vindos da lâmpada, ao encontrar uma superfície curva irão convergir ou divergir de acordo com as cristas e os vales da onda que se propaga na água.

Os vales funcionam como lentes divergentes, gerando as regiões escuras; já as cristas funcionam como lentes convergentes, gerando as regiões claras, quando são projetadas em um anteparo. O comprimento da onda λ é dado pela distância entre dois pontos claros (ou escuros).

Podemos explicar resumidamente os fenômenos ondulatórios a seguir:

- **Reflexão:** ocorre quando uma onda atinge determinada superfície e volta a propagar-se no meio de origem, mantendo a velocidade, frequência e comprimento de onda iguais aos da onda incidente.
- **Refração:** ocorre quando a onda muda seu meio de propagação. A velocidade de propagação da onda será alterada, pois a mudança de meio gera mudança no comprimento de onda. A frequência das ondas, por depender da fonte geradora, não é alterada na refração.
- **Interferência:** é o fenômeno que ocorre quando duas ou mais ondas se encontram, gerando uma onda resultante igual à soma algébrica das perturbações de cada onda.
- **Difração:** é a capacidade das ondas de contornar obstáculos.



→ MATERIAIS E METODOLOGIA

• materiais: fonte DC, cuba de acrílico com água, suporte para a cuba, estroboscópio, vibrador mecânico ligado ao frequencímetro, anteparos brancos para folha A4; objetos de acrílico de diferentes formas para anteparos (fonte pontual); paquímetro, régua ou trena.

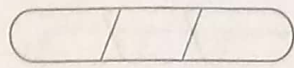
- colocou-se na água da cuba eletrolítica até uma altura de 0,5 a 0,75 cm e um suporte com a folha A4 no fundo da cuba
- ligou-se a fonte e variou-se lentamente a frequência do motor do vibrador observando a imagem formada na folha, percebendo que quanto maior a frequência, menor o comprimento de onda
- dividiu-se o experimento em 4 etapas: A, B, C e D.

• PARTE A (REFLEXÃO):

- produziu-se ondas planas utilizando três frequências de vibração (10, 20 e 30 Hz)
- inseriu-se na cuba um anteparo retilíneo com três ângulos diferentes
- analisou-se as ondas incidentes e refletidas em função do ângulo para uma frequência fixa
- depois colocou-se um anteparo curvilíneo para estudar as diferentes reflexões.

• PARTE B (REFRAÇÃO):

- produzindo ondas planas, inseriu-se a placa de acrílico oblíqua em relação à direção de propagação das ondas.
- analisou-se o espectro resultante para 2 frequências diferentes (20, 30 Hz) e com duas inclinações diferentes (0° , 45°).



• PARTE C (INTERFERÊNCIA):

- utilizou-se uma fonte pontual presa ao gerador para obter a figura resultante para 3 frequências diferentes (10, 20 e 30 Hz)
- depois utilizou-se duas fontes pontuais presas ao gerador com distância de 5 cm com 3 diferentes frequências (10, 20 e 30 Hz), repetindo para distâncias de 7,5 cm e 10 cm.

• PARTE D (DIFRAÇÃO):

- utilizou-se um gerador de ondas planas com frequência de 10, 20 e 30 Hz, e colocou-se um obstáculo reto com uma fenda para estudar a figura resultante em função da abertura do fendo
- colocou-se um obstáculo reto com duas fendas em paralelo para comparação das imagens

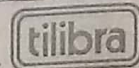
* Em todos os fenômenos estudados foram analisados os comprimentos de onda e a velocidade de propagação; as imagens estão em anexo.

→ RESULTADOS E ~~METODOLOGIA~~ DISCUSSÃO

Primeiramente calculou-se os valores de velocidade de propagação das ondas através da equação $v = \lambda \cdot f$; com os valores de frequência (10 Hz, 20 Hz e 30 Hz) e do comprimento de onda (λ) transformados em metros. Os resultados estão na Tabela 1 em anexo. O valor médio da velocidade foi 0,475 m/s.

• PARTE A: REFLEXÃO

Nesse fenômeno a onda encontra um anteparo e é refletida, como mostra a figura 1 em anexo.



O ângulo de incidência (i) é igual ao ângulo de reflexão (r). No caso de o anteparo possuir um ângulo 0° , as ondas incidentes e refletidas possuem mesmo sentido, mas direção opostas. Nos casos do anteparo rotacionado a 30° e 45° , os sentidos das ondas possuem diferenças, de acordo com a angulação. Em todos os casos, ocorrem interferências construtivas e destrutivas, e isso pode ser visto na superfície da água. Por último, no anteparo curvilíneo as ondas refletidas se propagam de forma circular; nesse caso os fenômenos de interferência podem ser vistos mais claramente.

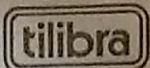
• PARTE B: REFRAÇÃO

Ao adicionar o anteparo na água, diminui-se a profundidade das lâminas, por isso nesse caso ~~existe~~ a profundidade deve ser levada em conta, pois afeta a velocidade de propagação das ondas. No caso em que a placa está paralela a propagação de ondas, a velocidade e o comprimento de onda diminuem ao passarem para a região mais rasa da cuba, mas a direção continua a mesma; o resultado pode ser visto ao observar as faixas escuras e claras mais estreitas. Já ao rotacionar o anteparo em ângulos de 30° e 45° , a direção de propagação da onda muda, isso ocorre pois o sólido diminui a velocidade de propagação da onda, assim ela fica um pouco mais atrasada em relação a outra, e possuem um menor comprimento de onda.

Isso está de acordo com o esperado teoricamente, e pode-se encontrar o comprimento de onda refratado através da Lei de Snell, com os respectivos ângulos usados.

• PARTE C: INTERFERÊNCIA

Se for utilizada apenas uma fonte pontual de ondas, verifica-se



que elas seguem sua trajetória sem sofrer qualquer tipo de in-

interferência. Já quando existe duas fontes pontuais, as ondas se sobrepõem quando se encontram em uma determinada região. Se a sobreposição ocorre entre duas cristas, a interferência será construtiva e a amplitude da onda dobra ($2A$); se a sobreposição for entre uma crista e um vale a interferência será destrutiva e a amplitude será nula. Quanto maior a distância entre as fontes, maior será a quantidade de locais de interferência. Nesses casos de interferência, a velocidade, o comprimento e a frequência da onda não se alteram, pois o meio continua o mesmo; o que sofre mudança é a amplitude, como explicado anteriormente.

• PARTE D: DIFRAÇÃO

Ao se depararem com um obstáculo, as ondas tendem a contorná-las, e se houver um orifício a onda irá se propagar através dele, tendo a direção de propagação alterada, tomando ondas secundárias. Ao passarem pela fenda, as ondas planas tornam-se ~~secundárias~~ circulares; e quanto menores forem o comprimento de onda e a largura da fenda, mais arredondadas serão as ondas propagadas. Se tiver duas fendas, ao passarem por elas as ondas propagadas sofrem a mesma interferência discutida no item anterior. Em ambos os casos a velocidade, o comprimento e a frequência da onda não se alteram, pois o meio continua o mesmo.

→ CONCLUSÃO

Com a realização do experimento pode-se analisar e compreender alguns fenômenos ondulatórios. Foi possível calcular a velocidade de propagação da onda e a interação delas com o meio e o anteparo. Inicialmente mediu-se e analisou-se as características principais das ondas, como velocidade, comprimento, meio, amplitude e frequência. Portanto, ao analisar as imagens obtidas experimentalmente, percebe-se a proximidade com a teoria e comprova-se a validade do experimento e da metodologia utilizada.

CORREÇÕES

A Tabela 1 foi atualizada com os valores após calcular o fator de conversão (α), que foi obtido ao dividir o valor da espessura do anteparo retilíneo (0,0181 m) pelo valor da espessura projetada desse anteparo (0,0355). O valor encontrado foi 0,51.

$$\alpha = \frac{0,0181}{0,0355} = 0,51$$

O valor médio da velocidade foi de 0,243 m/s

REFLEXÃO

Os pontos escuros são onde ocorrem interferência destrutiva, e os pontos mais claros são onde ocorrem interferência construtiva.

Com o anteparo a um ângulo de 0° com a normal, não se observa padrões. Praticamente todas as ondas são refletidas, pois o anteparo impede que as ondas passem para o outro lado; elas têm o mesmo sentido, mas direção opostas.

Ao variar o ângulo para 30° com a normal, as ondas são refletidas com um ângulo de 30° também. Pode se observar padrões no formato de losangos nas regiões próximas do anteparo.

Com o ângulo de 45° com a normal, as ondas são refletidas com um ângulo de 45° também. Observa também padrões no formato de losangos, mas com angulações diferentes.

Já para o objeto curvilíneo, em cada ponto dele a normal aponta para uma direção específica, e os ângulos de refração são diferentes: próximos da base são menores do que no topo do anteparo, que são próximos de 90° . Portanto as ondas refletidas terão formato curvilíneo.

REFRAÇÃO

Para $f = 20$ Hz, o ângulo formado é de 45° .

Como a frequência é a mesma: $f = \frac{v_1}{\lambda_1} = \frac{v_2}{\lambda_2}$

$$\text{Portanto} \quad \frac{D}{d} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \quad 1,25 = \frac{1,16}{\lambda_2} \quad \lambda_2 = 0,93 \text{ cm}$$

Assim encontra-se que $v_1 = 0,23$ m/s e $v_2 = 0,19$ m/s.

E conclui-se que a velocidade é menor em profundidades menores.

Para $f = 30$ Hz, o ângulo formado também é de 45° .

$$\lambda_2 = 0,71 \text{ cm}$$

E então $v_1 = 0,28$ m/s e $v_2 = 0,21$ m/s.

Por fim, pode-se utilizar a equação $v = \sqrt{gh}$ para encontrar a profundidade da onda.

Utilizando os dados da frequência de 20 Hz, calculou-se que

$$h_1 = 0,54 \text{ cm}$$

$$h_2 = 0,37 \text{ cm}$$

Portanto, a espessura da placa é $h_1 - h_2$, que é 0,17 cm.

INTERFERÊNCIA

Pode-se utilizar um expressão que indique se o ponto é de interferência destrutiva ou construtiva. Essa expressão é:

$$|D_a - D_b| = n \frac{\lambda}{2}$$

Se n for par é uma interferência construtiva; se n for ímpar é uma interferência destrutiva.

ANEXOS

TABELA 1: Valores de frequência (em Hz), comprimento de onda λ (em m) e velocidade de propagação (em m/s) para cada onda.

f (Hz)	λ projetado (m)	λ real (m)	Velocidade (m/s)
10	0,0431	0,0220	0,220
20	0,0227	0,0116	0,232
30	0,0180	0,0092	0,276

FIGURA 1: Representação dos fenômenos ondulatórios.

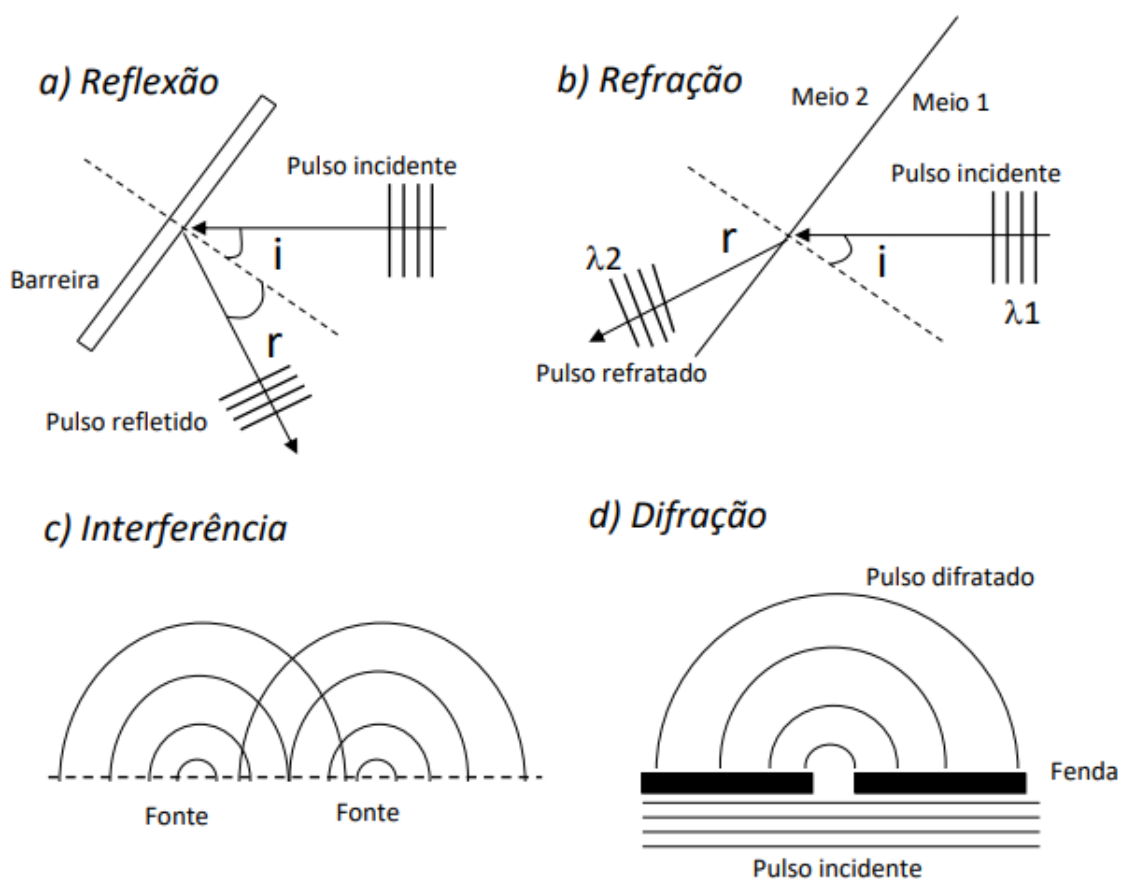
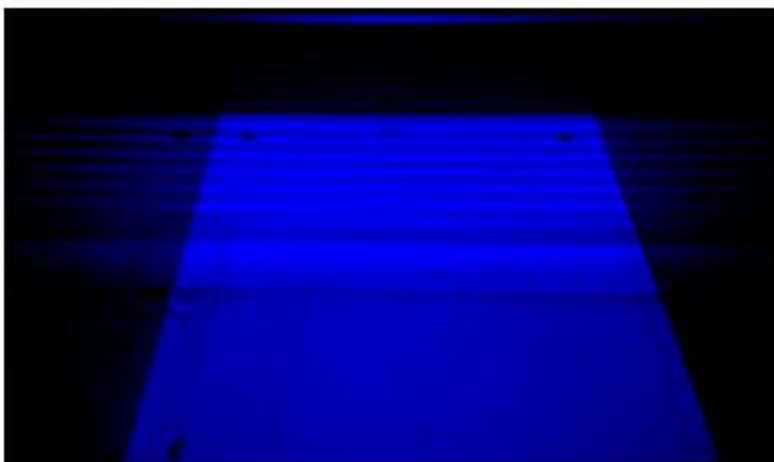


FIGURA 2: Fotos dos fenômenos ondulatórios

A – REFLEXÃO

- Frequência fixa de 30 Hz

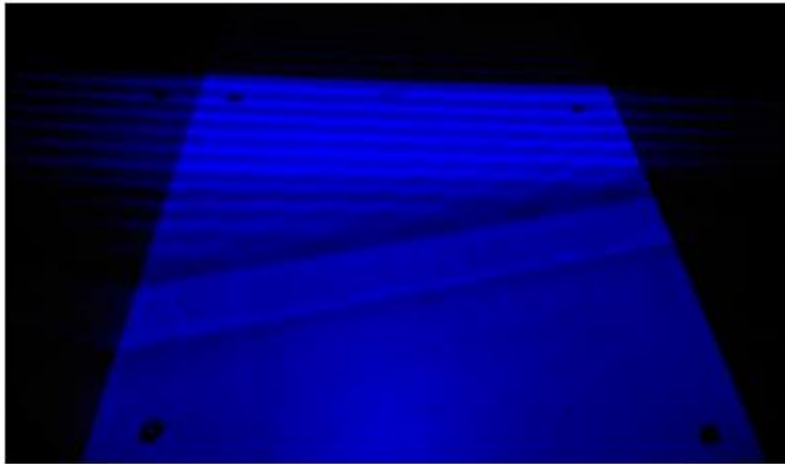
- Ângulo de 0°



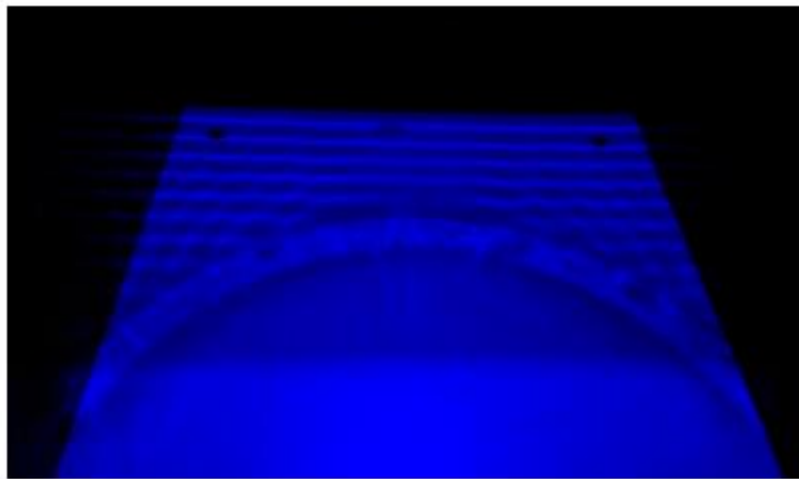
- Ângulo de 30°



- Ângulo de 45°



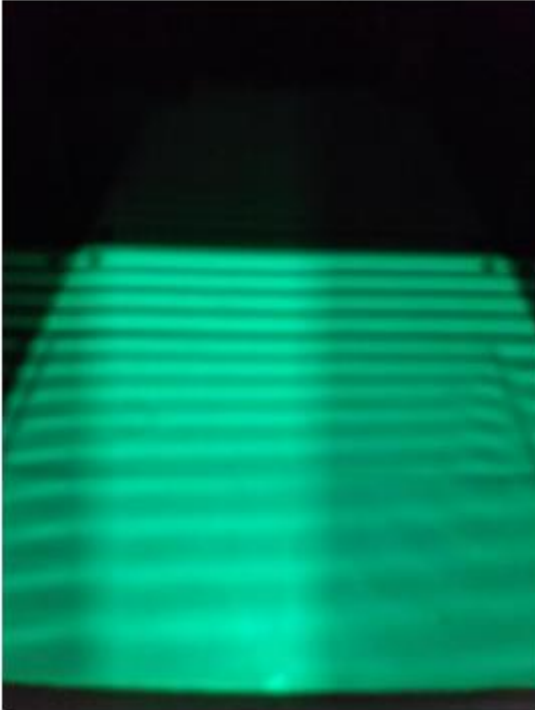
- Anteparo Curvilíneo



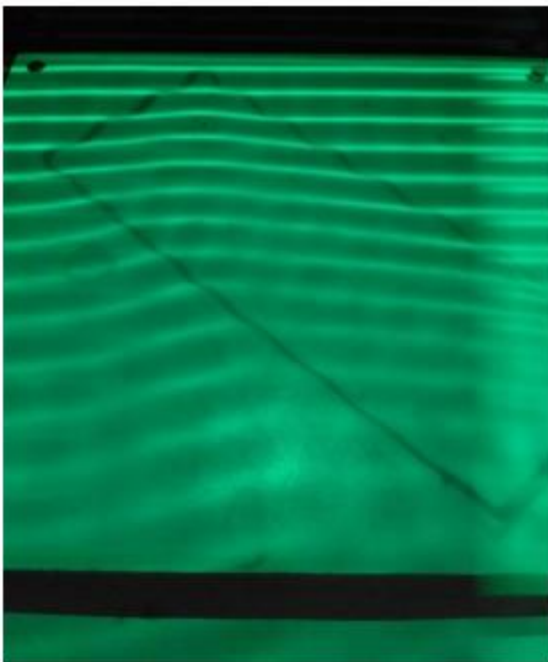
B – REFRAÇÃO

- Frequência de 20 Hz

- Ângulo de 0°

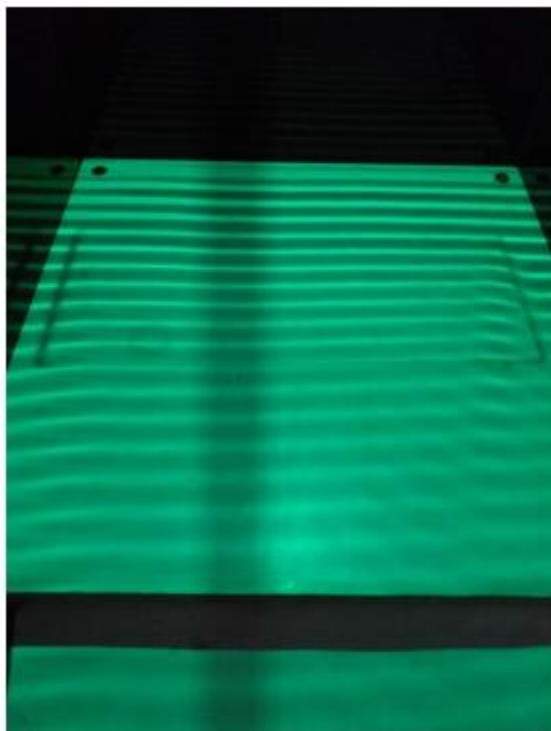


- Ângulo de 45°

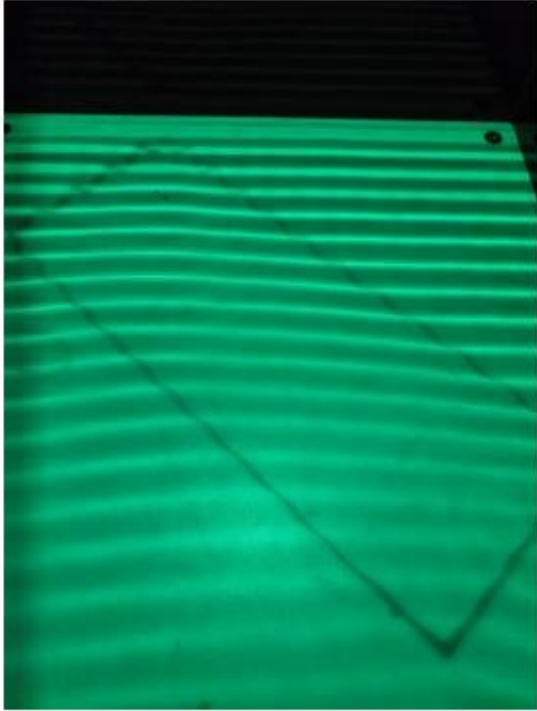


- Frequência de 30 Hz

- Ângulo de 0°



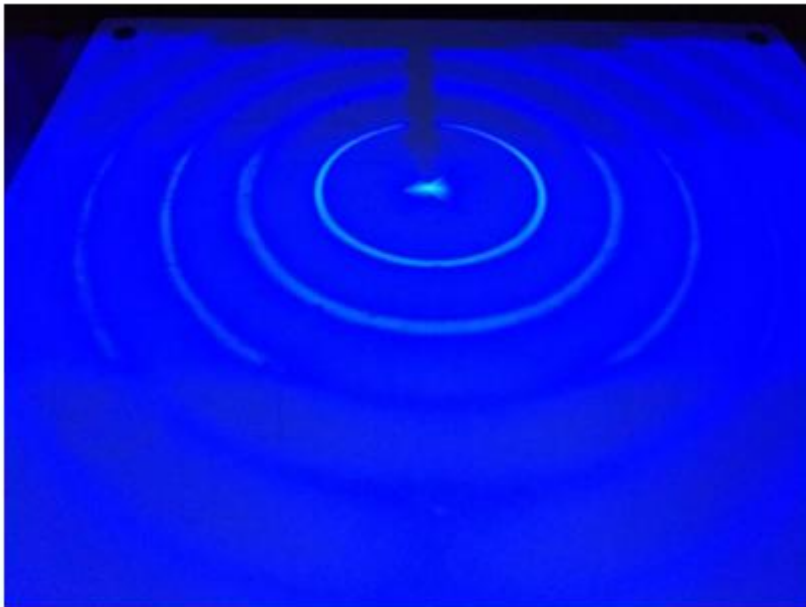
- Ângulo de 45°



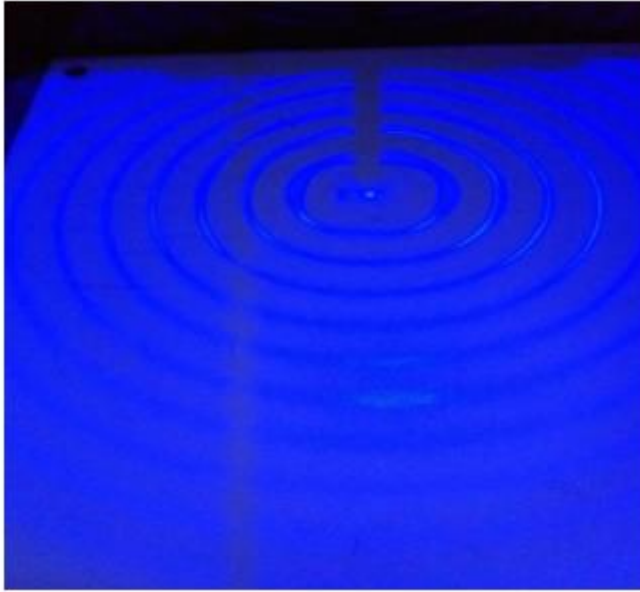
C – INTERFERÊNCIA

- Uma fonte pontual

- 20 Hz



- 30 Hz

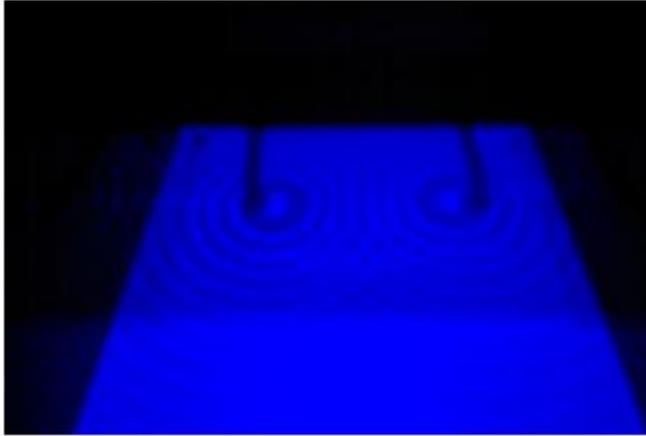


- Duas fontes pontuais com distâncias de 5 cm

- 20 Hz

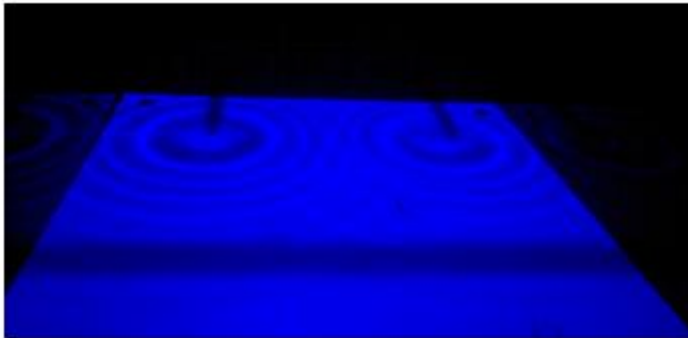


- 30 Hz

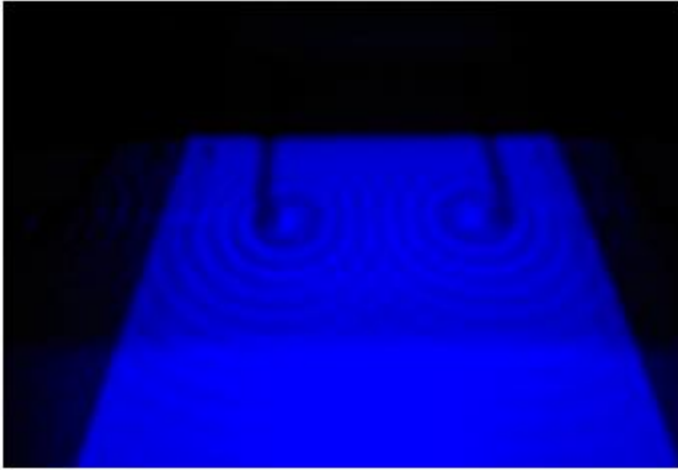


- Duas fontes pontuais com distâncias de 7,5 cm

- 20 Hz

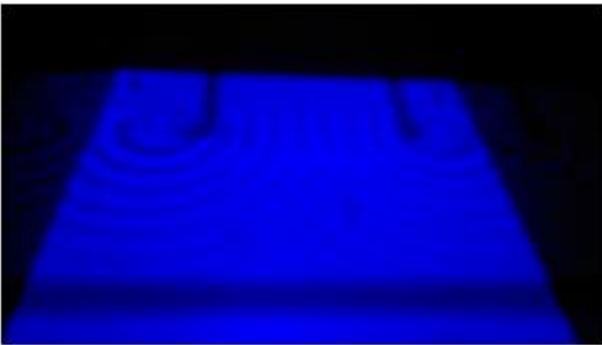


- 30 Hz

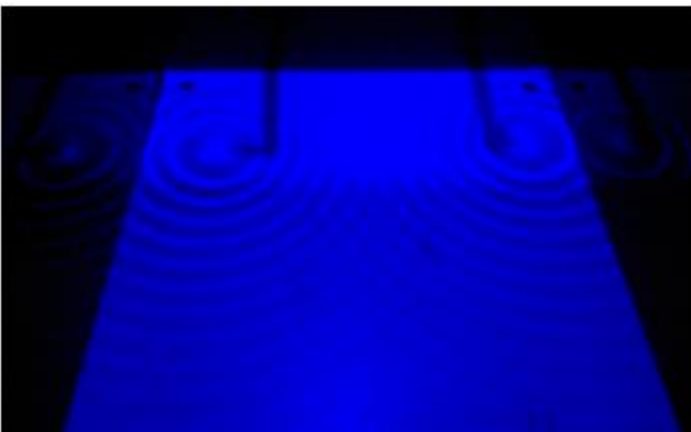


- Duas fontes pontuais com distâncias de 10 cm

- 20 Hz



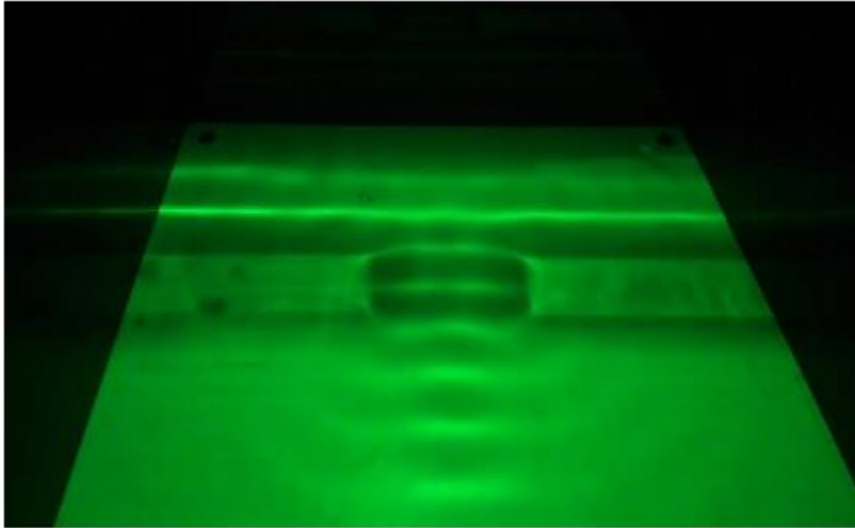
- 30 Hz



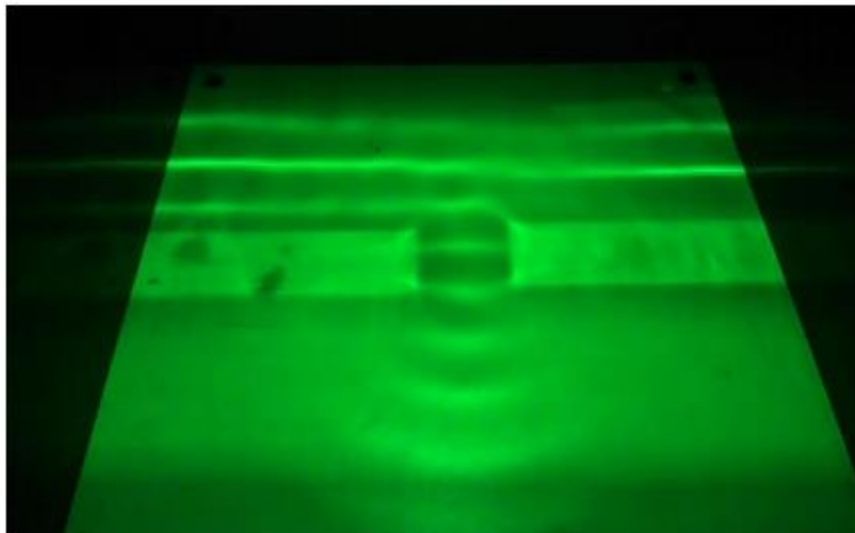
D – DIFRAÇÃO

- Frequência de 20 Hz variando a abertura do anteparo em relação ao comprimento de onda

- $\gg \lambda$

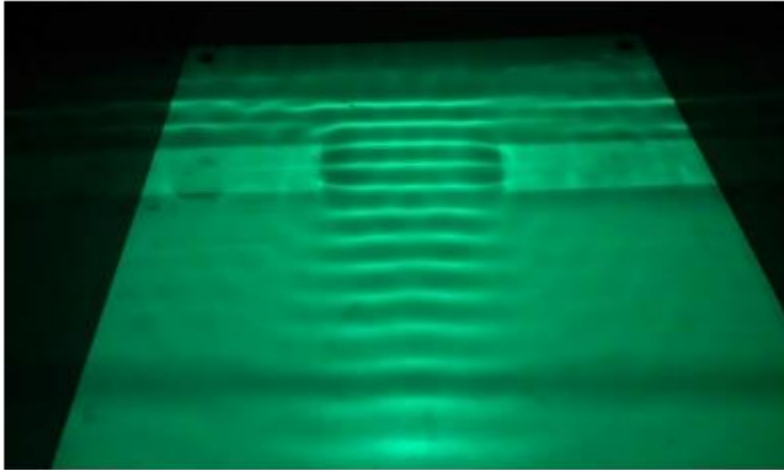


- $> \lambda$

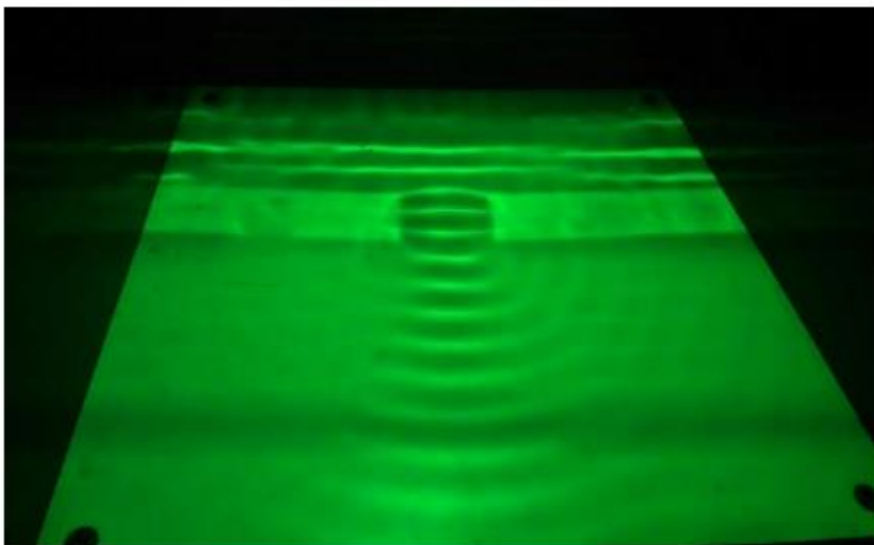


- Frequência de 20 Hz variando a abertura do anteparo em relação ao comprimento de onda

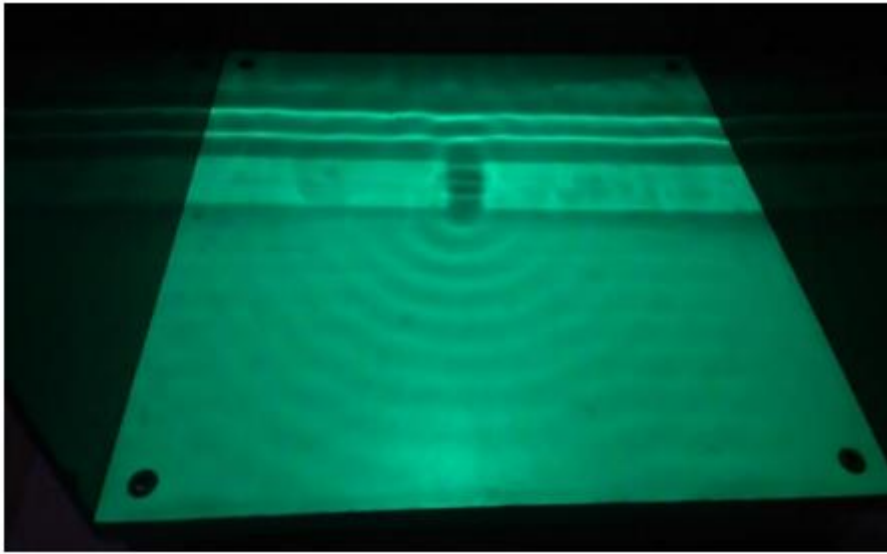
- $\gg \lambda$



- $> \lambda$



• $\approx \lambda$



- Frequência de 30 Hz com duas fendas

