

Interferência

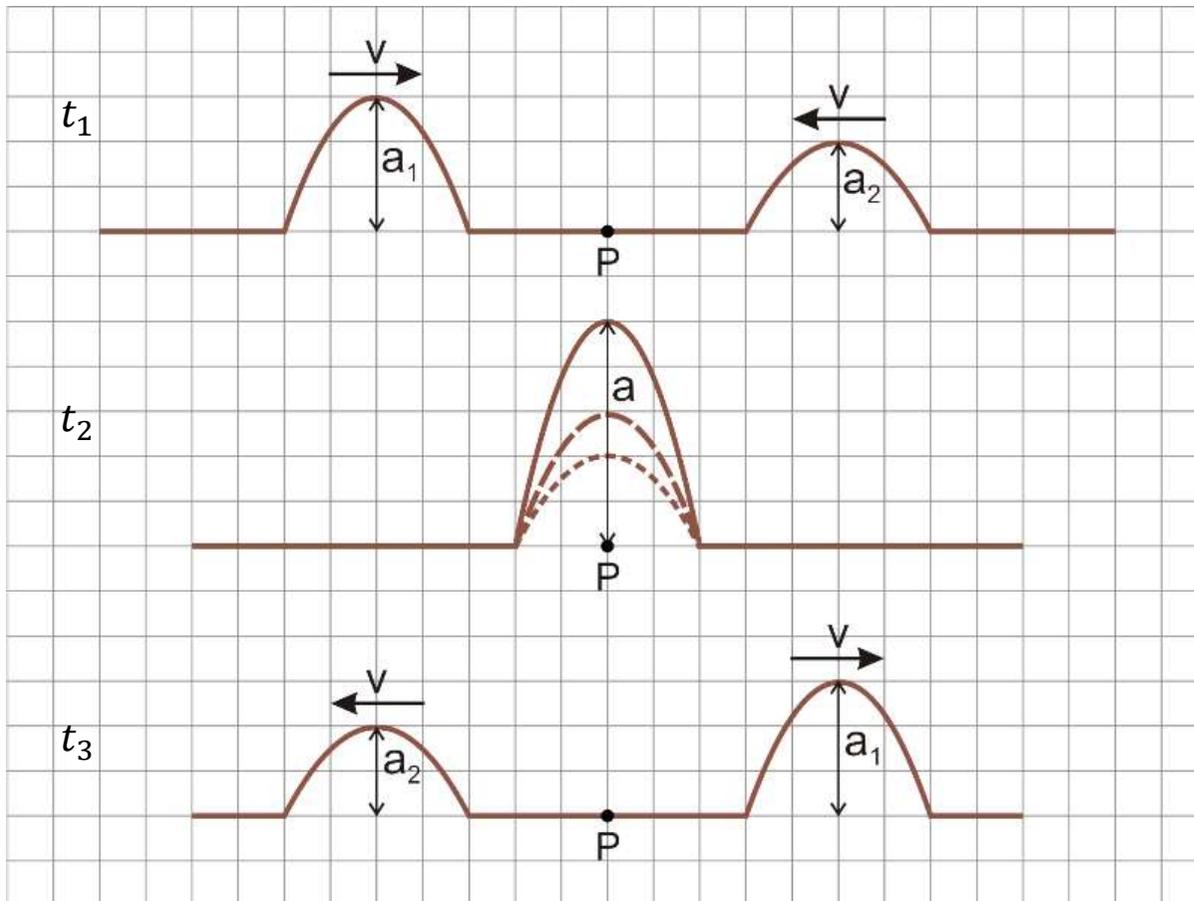
Aulas 52 e 53 - Tetra / Aula 26 - Hexa

- SL02: Análise qualitativa.
- SL07: Análise quantitativa.
- SL16: Interferência de ondas bidimensionais.
- SL22: Experiência da dupla fenda de Young.
- SL35: Exercícios.

Apresentação, orientação e tarefa: fisicasp.com.br

Interferência: análise qualitativa

Interferência construtiva de pulsos



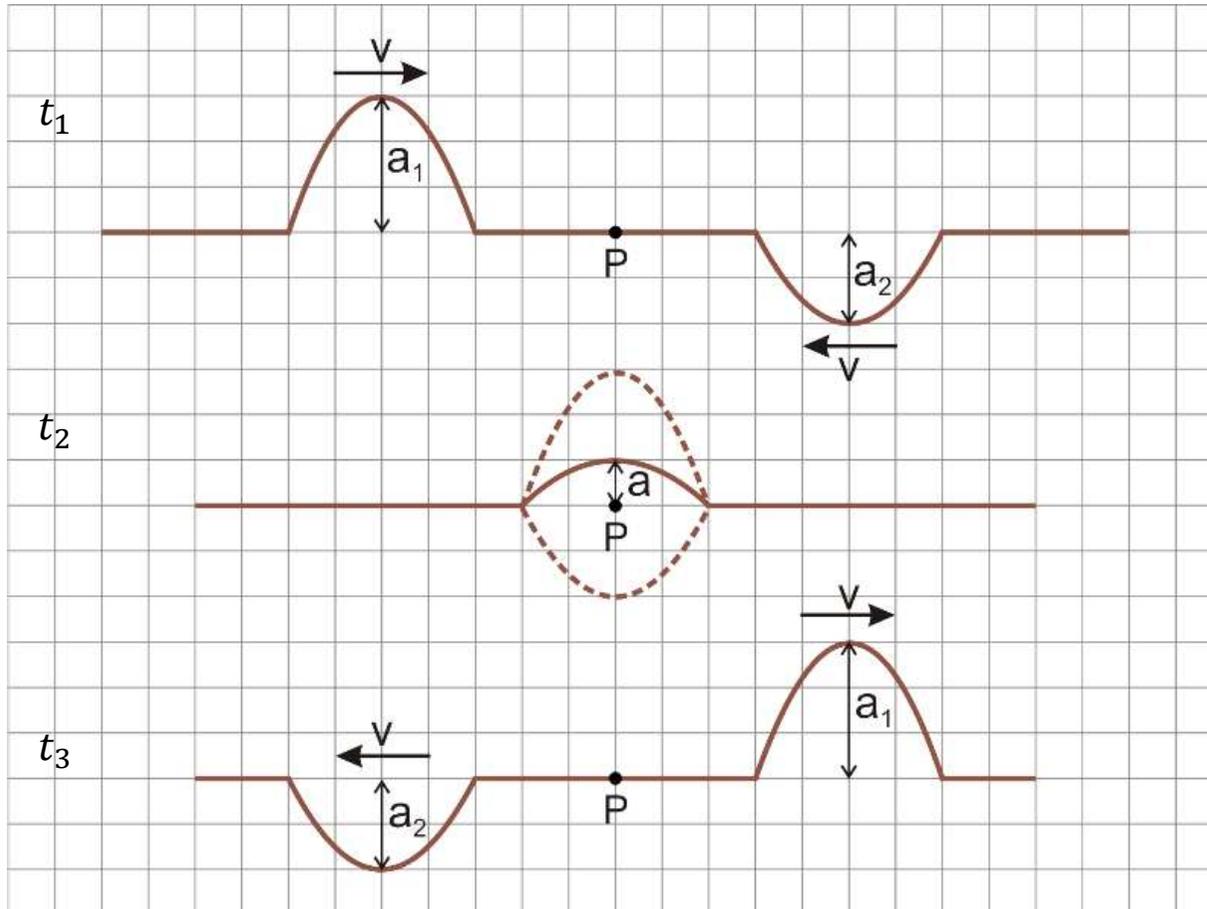
Princípio da Superposição: A perturbação resultante é a adição das perturbações causadas separadamente.

Neste caso temos um interferência do tipo **construtiva**:

$$a = a_1 + a_2$$

Princípio da independência das propagações das ondas: após a superposição, as ondas voltam a se propagar como antes.

Interferência parcialmente destrutiva de pulsos

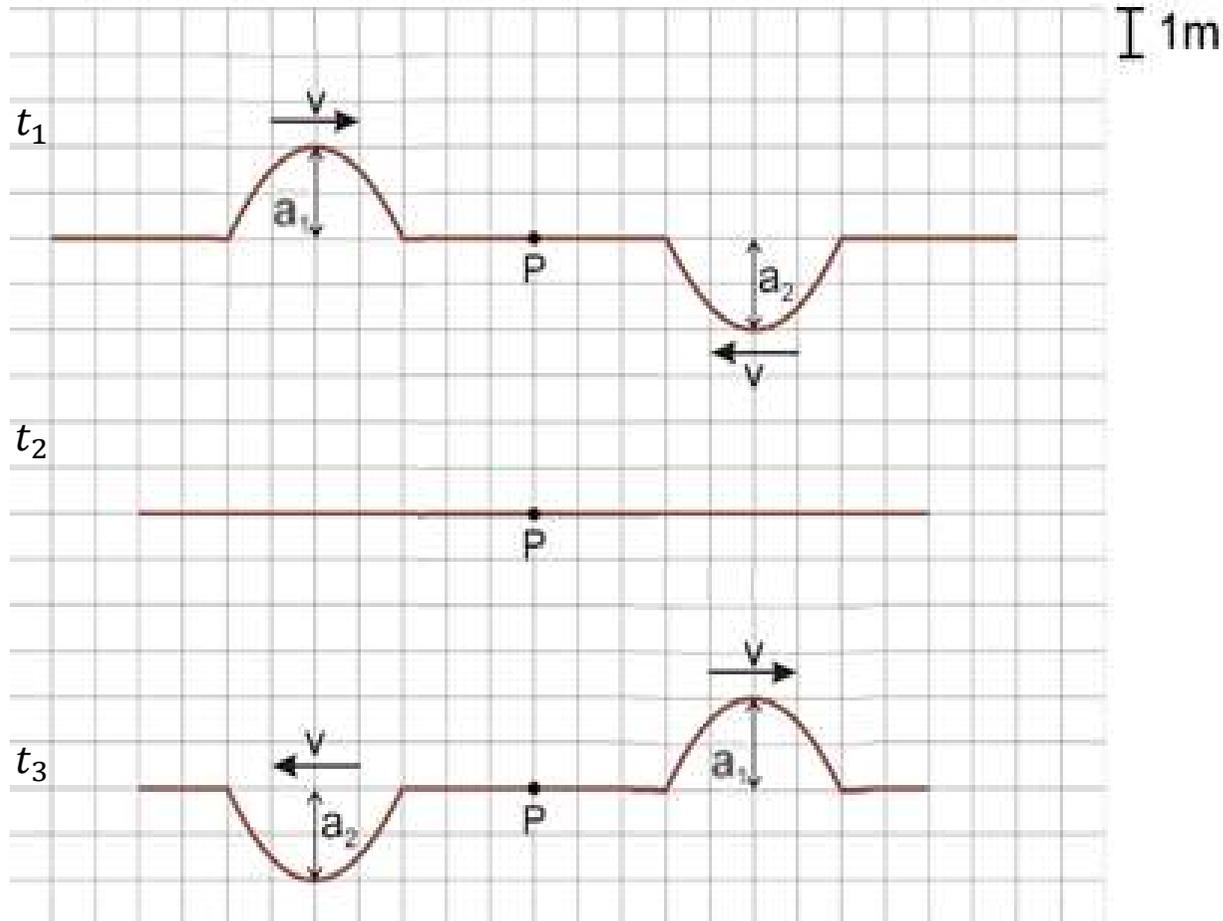


Neste caso temos um interferência do tipo
Parcialmente **destrutiva**:

$$a = a_1 - a_2$$

Princípio da independência das propagações das ondas: após a superposição, as ondas voltam a se propagar como antes.

Interferência totalmente destrutiva de pulsos



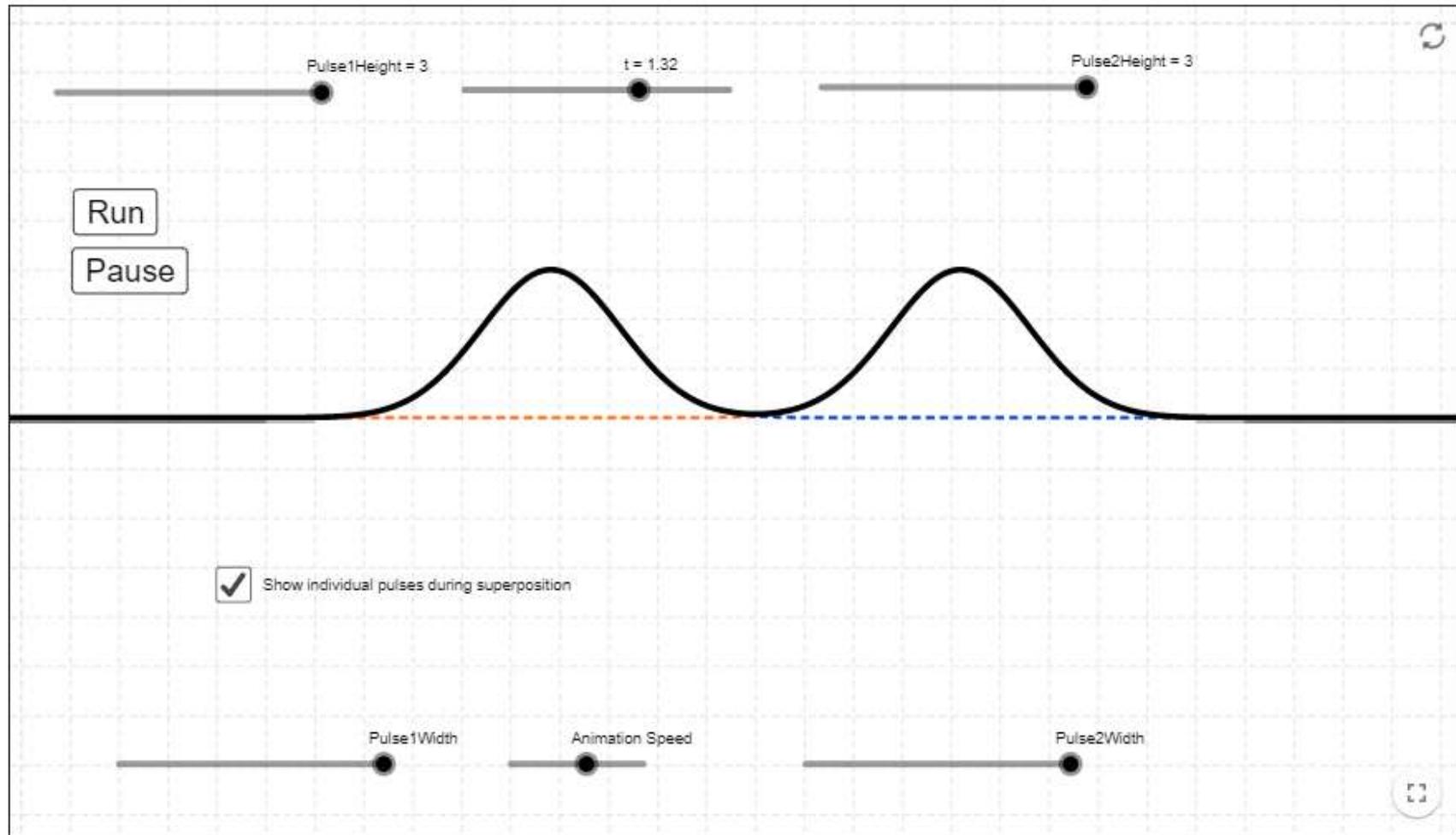
Neste caso temos um interferência do tipo totalmente **destrutiva**:

$$a = a_1 - a_2$$

Princípio da independência das propagações das ondas: após a superposição, as ondas voltam a se propagar como antes.

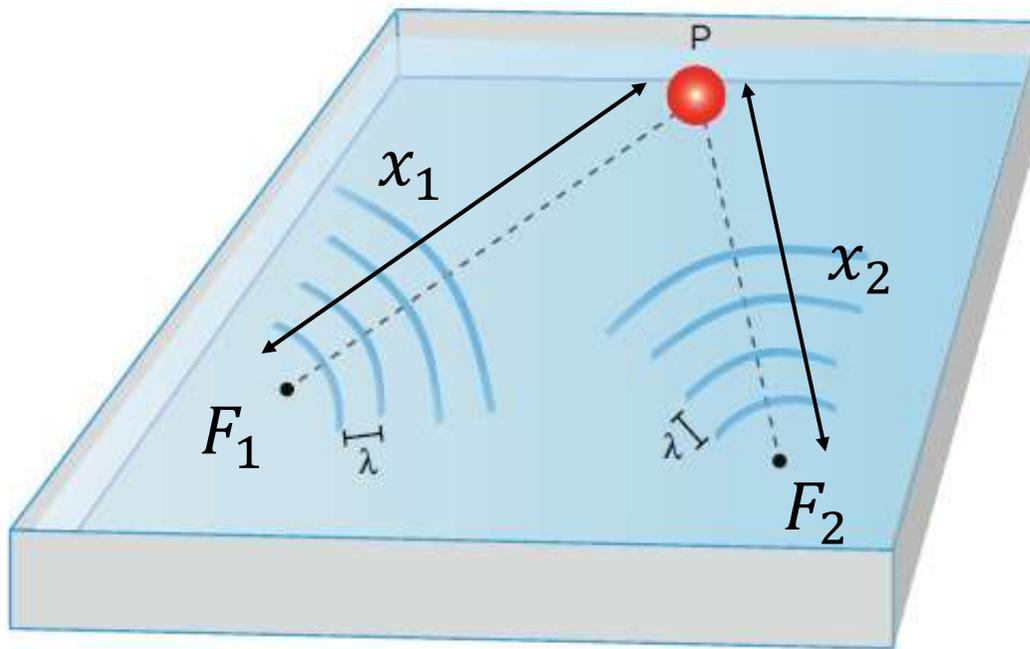
Simulador: Interferência de pulsos

<https://www.geogebra.org/m/dJrTcxYd>



Interferência: análise quantitativa

Interferência de Ondas



A diferença de caminhos (diferença de marcha) percorridos pelas ondas é descrita pela expressão

$$\Delta x = |x_1 - x_2| = n \cdot \frac{\lambda}{2}$$

- **Fontes em concordância de fase**

$$\Delta x = |x_1 - x_2| = n \cdot \frac{\lambda}{2}$$

Int. construtiva: $n = 0, 2, 4, 6 \dots$

Int. destrutiva: $n = 1, 3, 5, 7 \dots$

- **Fontes em oposição de fase**

$$\Delta x = |x_1 - x_2| = n \cdot \frac{\lambda}{2}$$

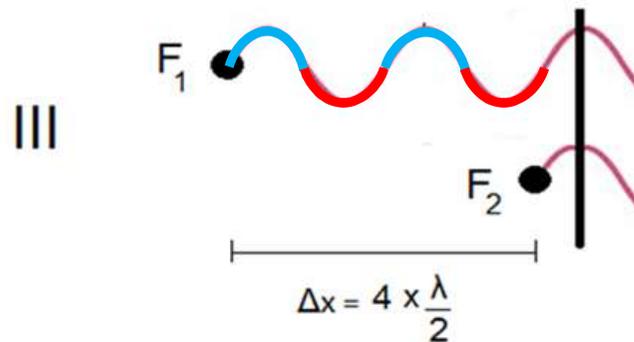
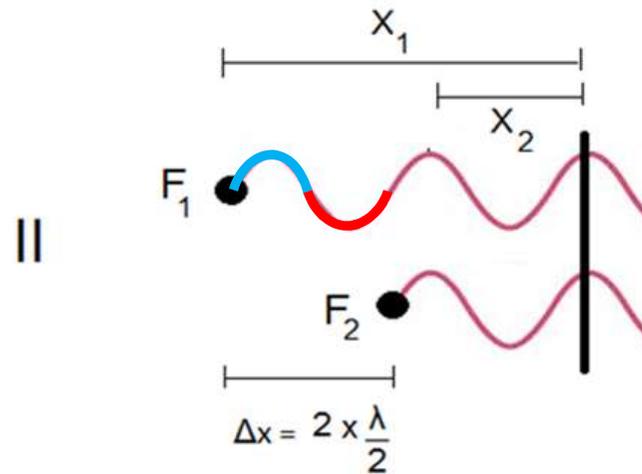
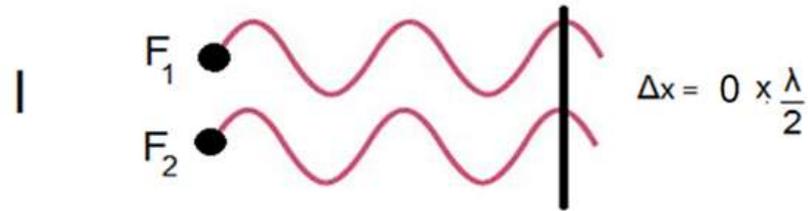
Int. destrutiva: $n = 0, 2, 4, 6 \dots$

Int. construtiva : $n = 1, 3, 5, 7 \dots$

Fontes em fase

Interferência De Ondas

F1 e F2 são fontes coerentes (mesmo comprimento de onda, frequência e velocidade)



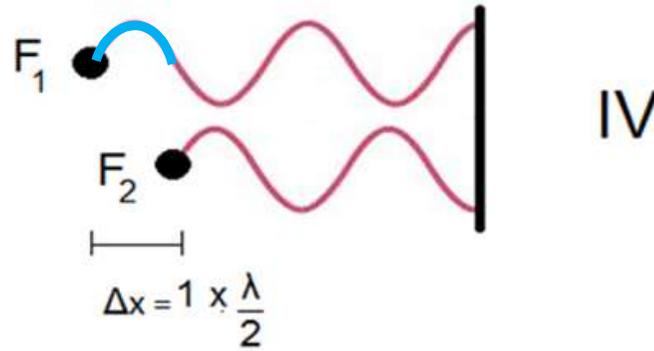
Se as fontes oscilam com a mesma fase

$$\Delta x = |x_1 - x_2| = n \cdot \frac{\lambda}{2}$$

Int. construtiva: $n = 0, 2, 4, 6 \dots$

Interferência De Ondas

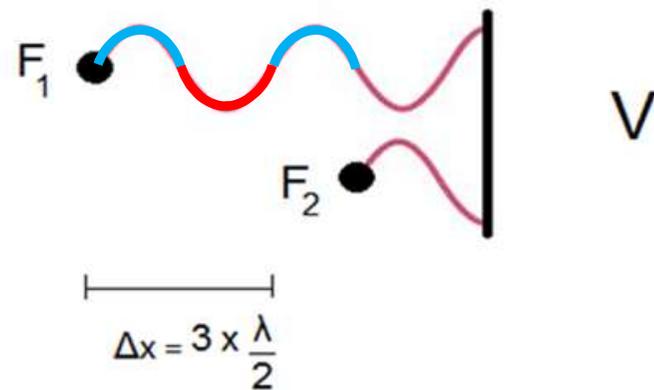
F1 e F2 são fontes
coerentes
(mesmo, comprimento
de onda, frequência e
velocidade)



Se as fontes oscilam
com a mesma fase

$$\Delta x = |x_1 - x_2| = n \cdot \frac{\lambda}{2}$$

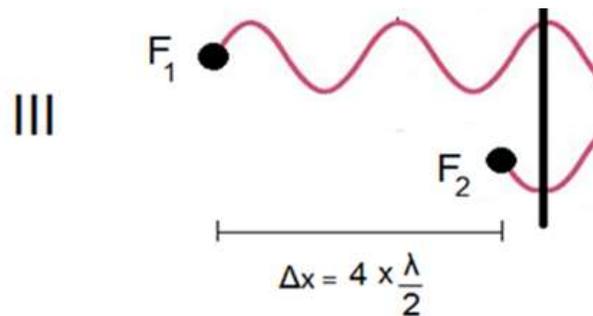
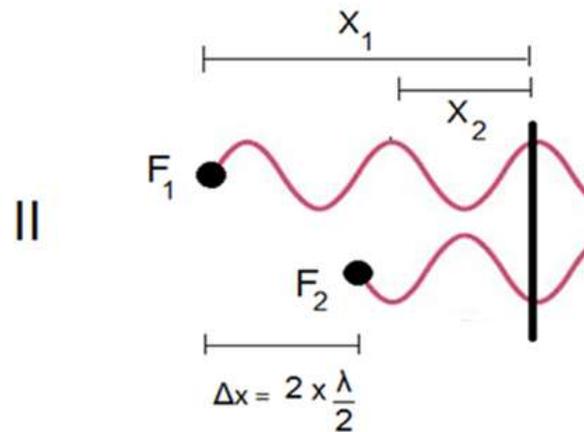
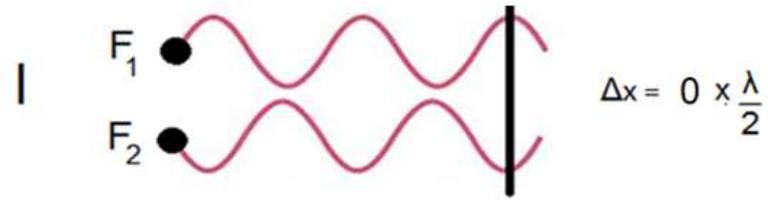
Int. destrutiva: $n = 1, 3, 5, 7 \dots$



Fontes em oposição de fase

Interferência De Ondas

F1 e F2 são fontes coerentes (mesmo, comprimento de onda, frequência e velocidade)



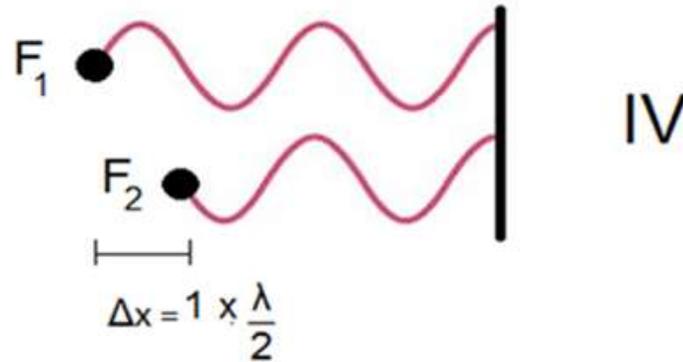
Se as fontes oscilam em oposição de fase

$$\Delta x = |x_1 - x_2| = n \cdot \frac{\lambda}{2}$$

Int. destrutiva: $n = 0, 2, 4, 6 \dots$

Interferência De Ondas

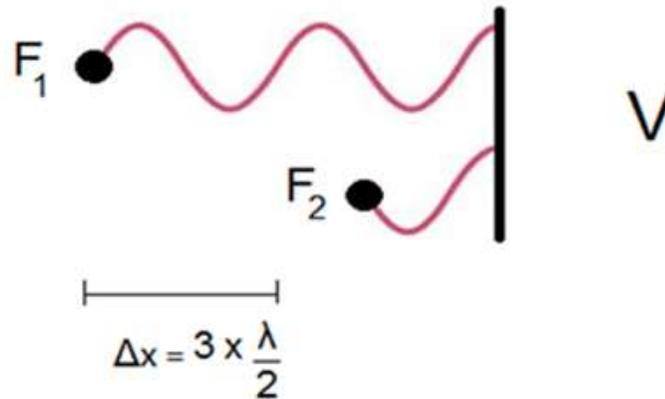
F1 e F2 são fontes
coerentes
(mesmo, comprimento
de onda, frequência e
velocidade)



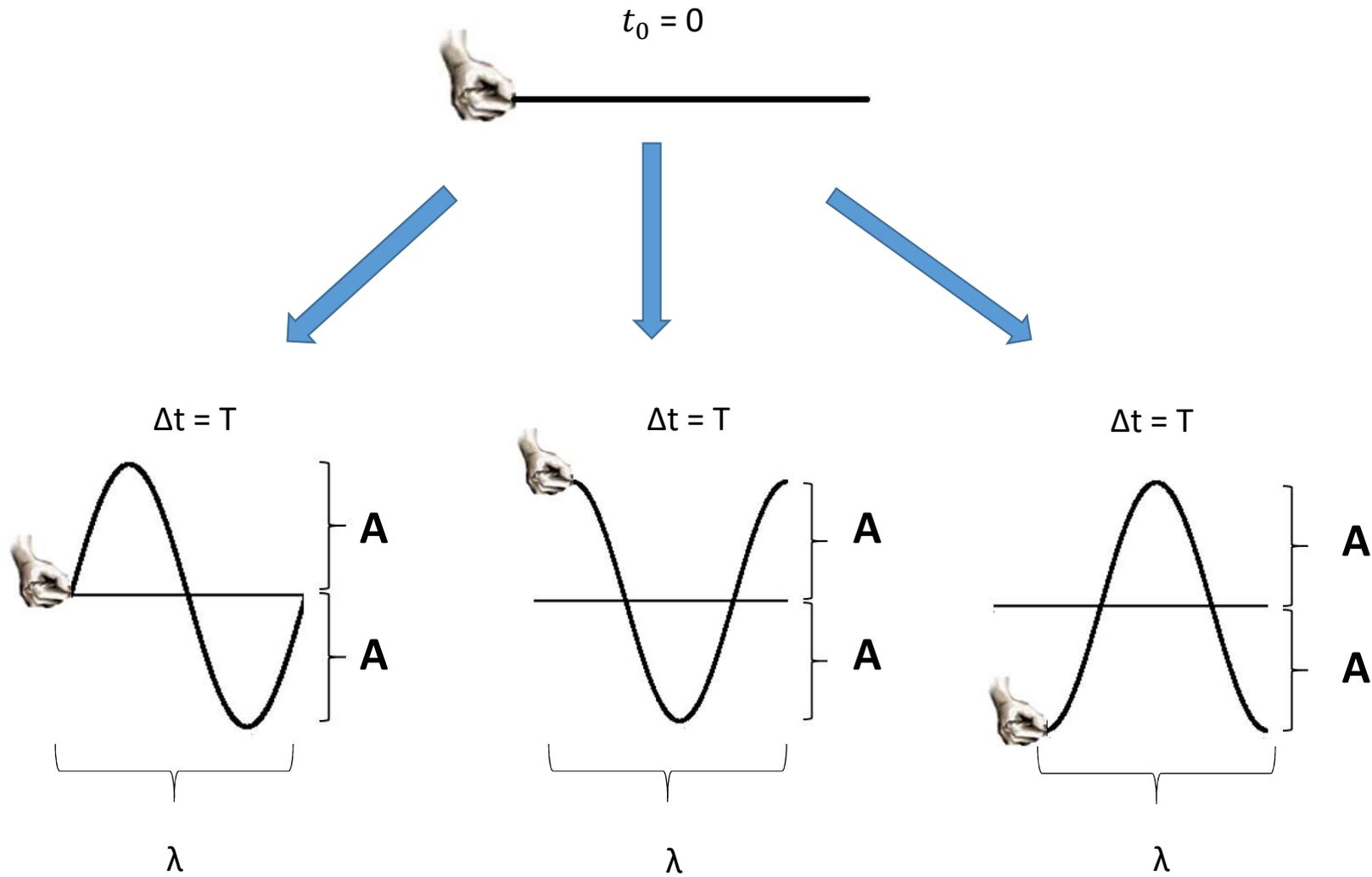
Se as fontes oscilam
em oposição de fase

$$\Delta x = |x_1 - x_2| = n \cdot \frac{\lambda}{2}$$

Int. construtiva: $n = 1, 3, 5, 7 \dots$

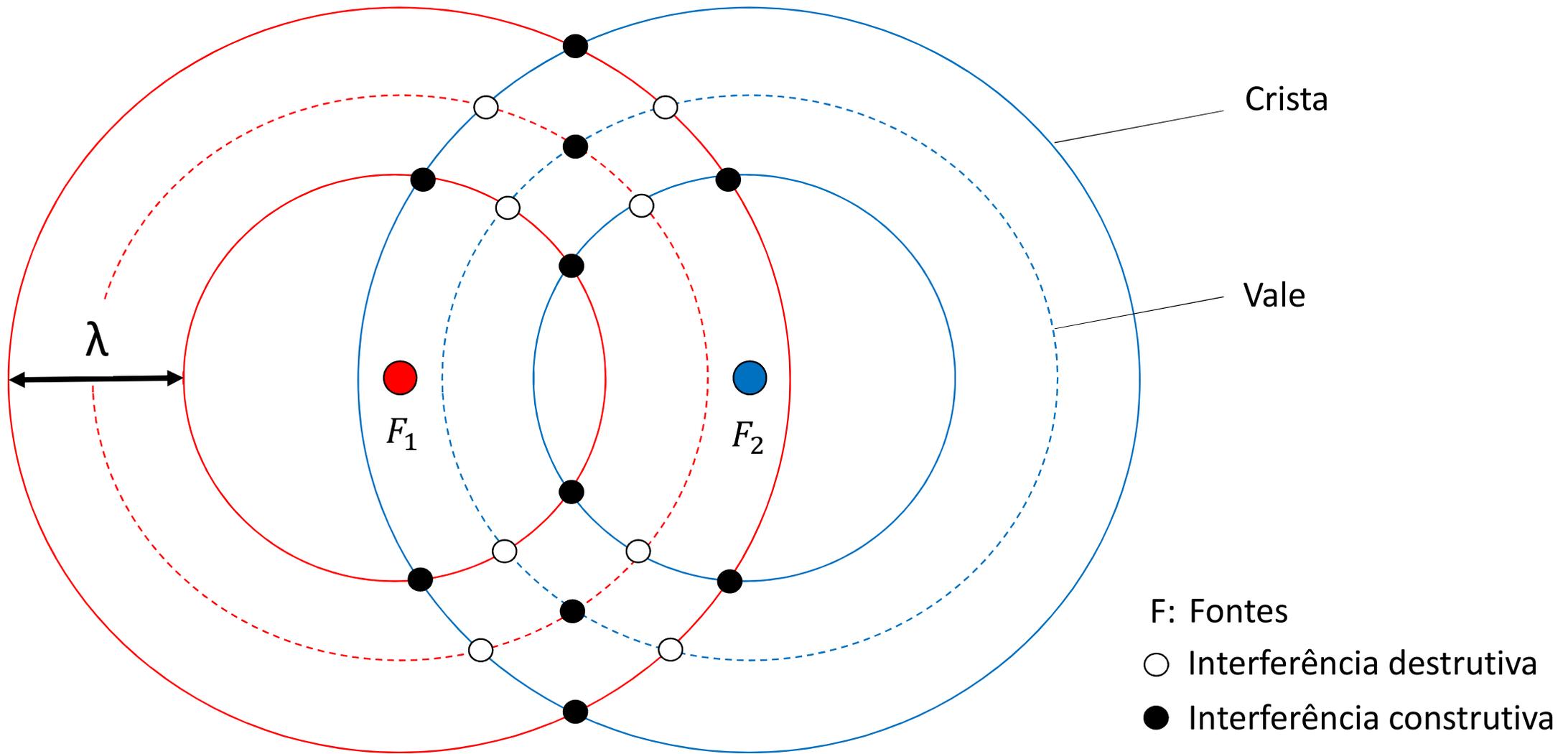


Revisão: perfil de onda após um período

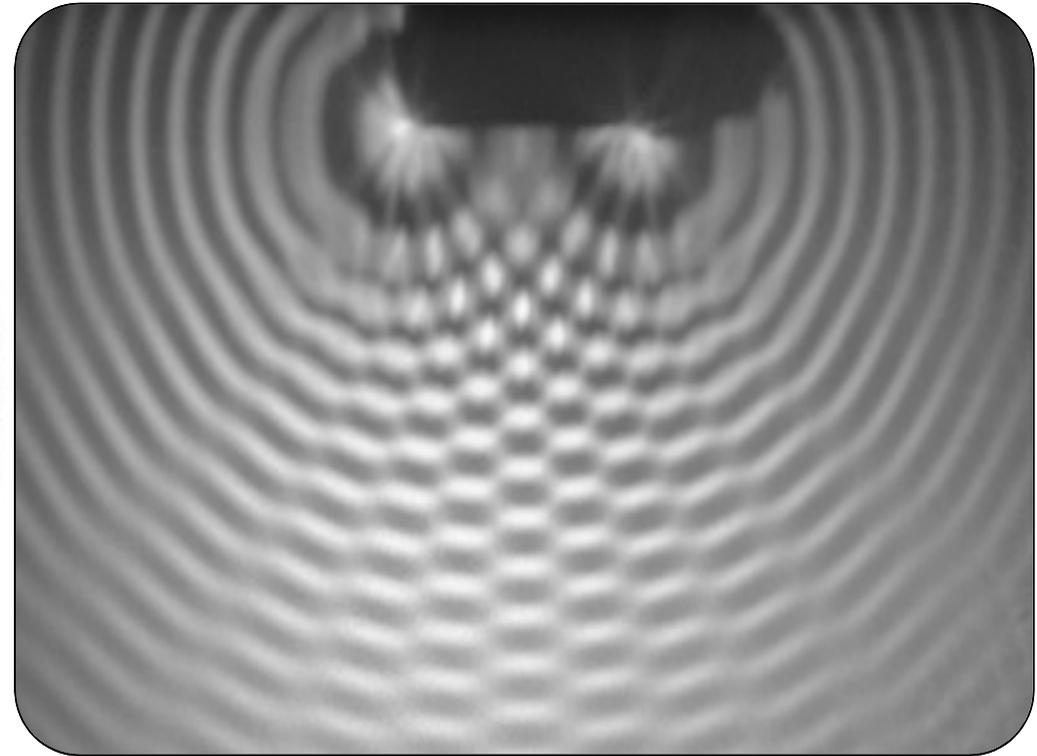
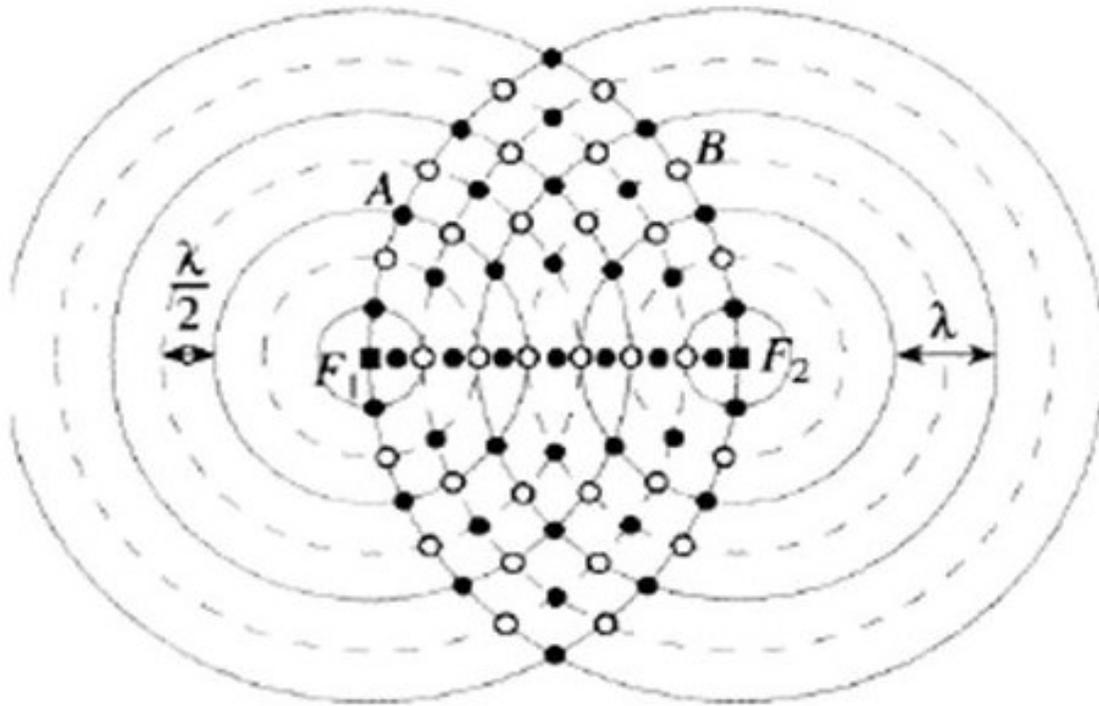


Ondas bidimensionais

Interferência de Ondas (duas dimensões)



Interferência de Ondas (duas dimensões)

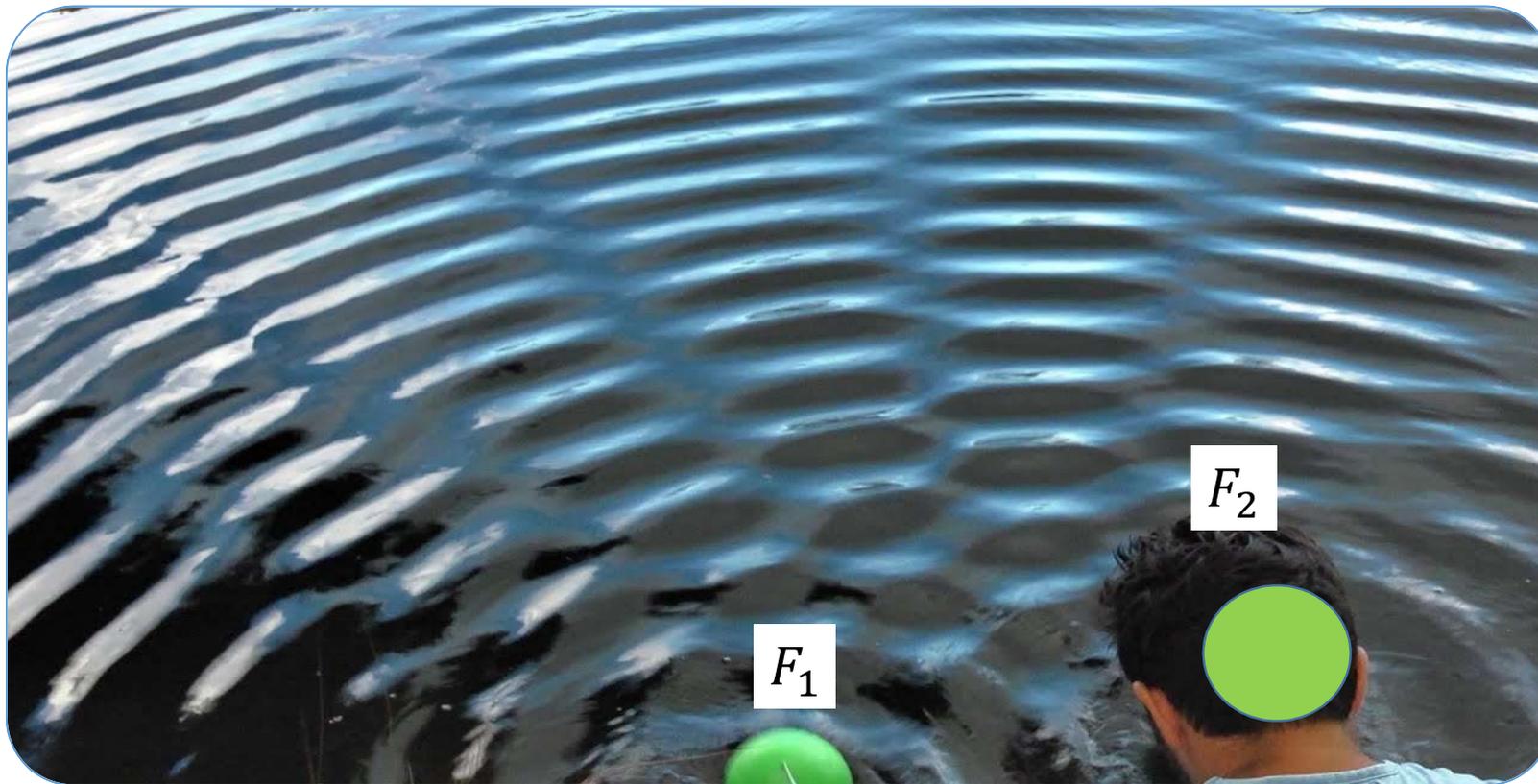


O fenômeno de interferência ocorre para ondas de mesma natureza, mesma forma, comprimentos de onda e frequências de magnitudes aproximadamente iguais.

Interferência de Ondas (duas dimensões)



Interferência de Ondas (duas dimensões)

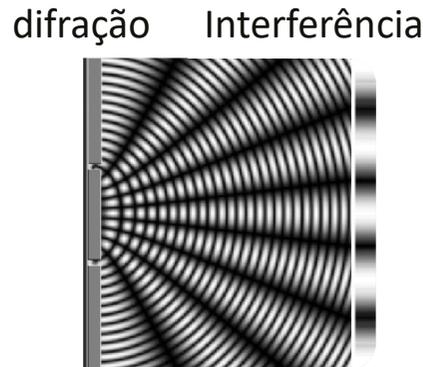
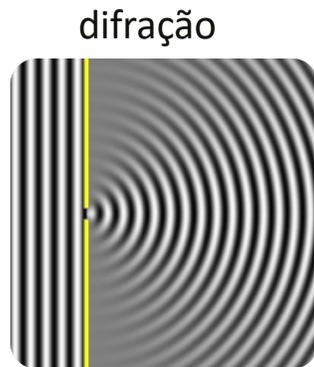


A experiência da dupla fenda de Thomas Young

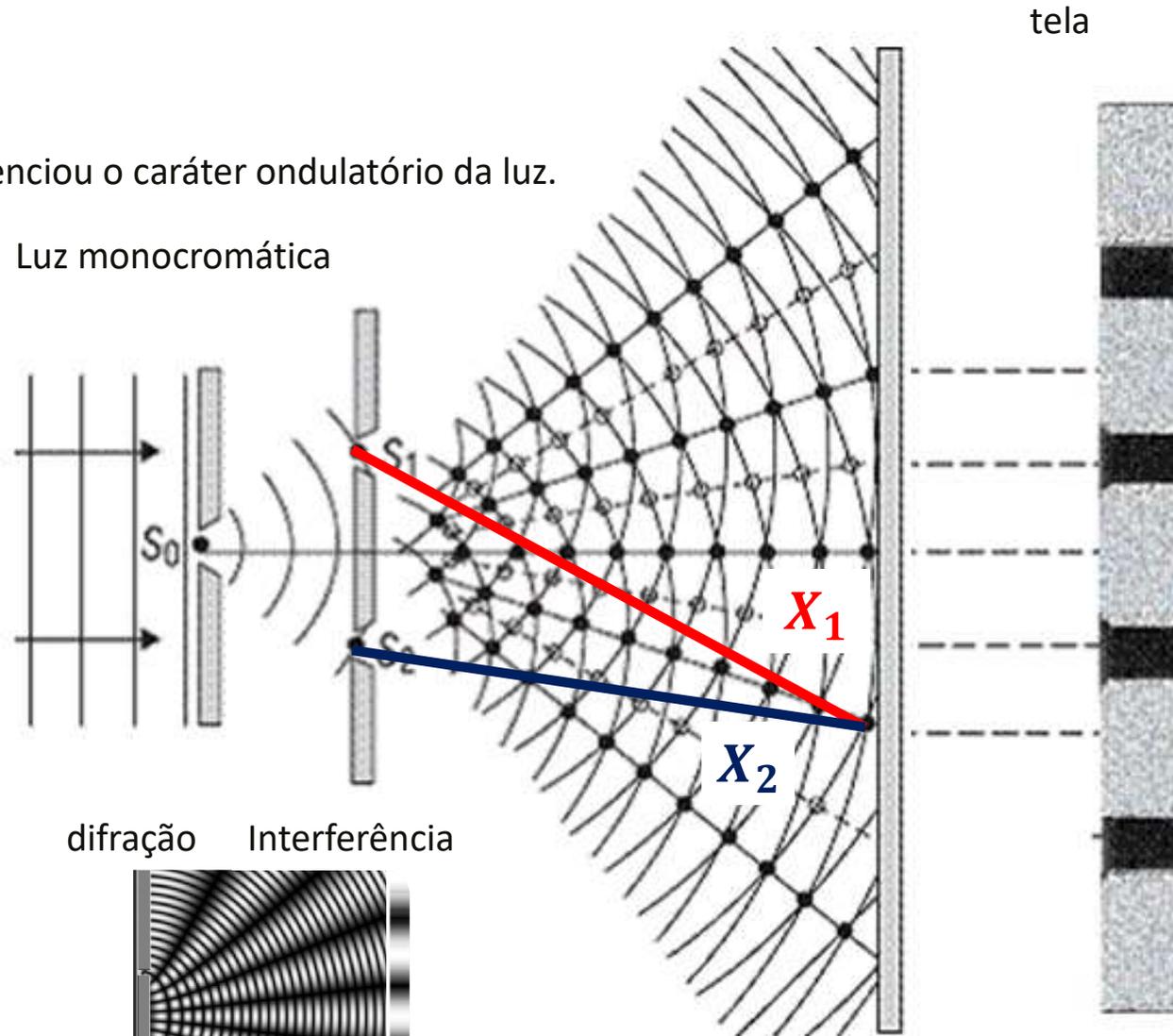
A experiência de Young

A experiência de Young (interferência e difração) evidenciou o caráter ondulatório da luz.

- Fendas S_0 , S_1 e S_2 → difração.
- As fendas S_0 , S_1 e S_2 se comportam como fontes.
- Regiões claras na parede → franjas claras → interferência construtiva (máximo).
- Regiões escuras na parede → franjas escuras → interferência destrutiva (mínimo).

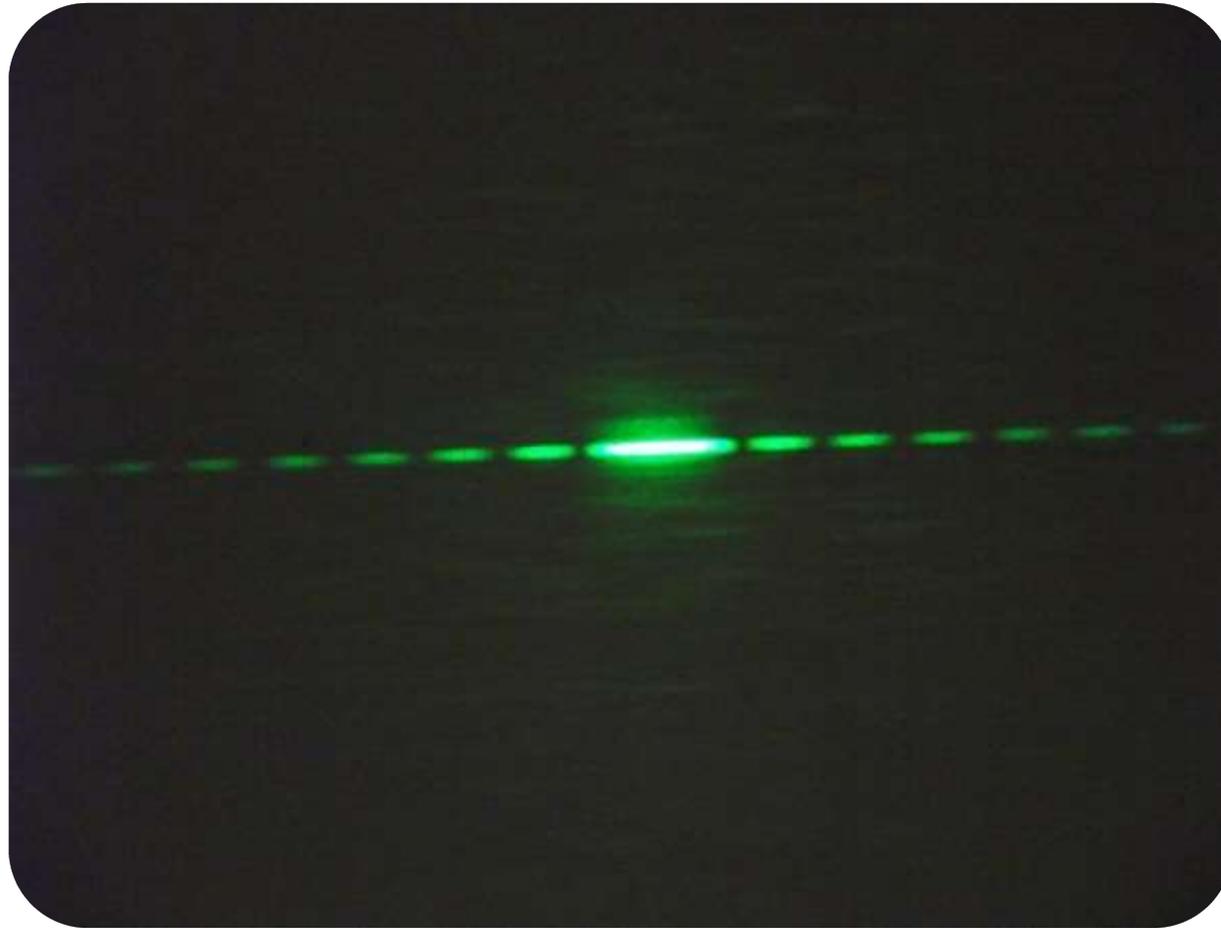


Luz monocromática

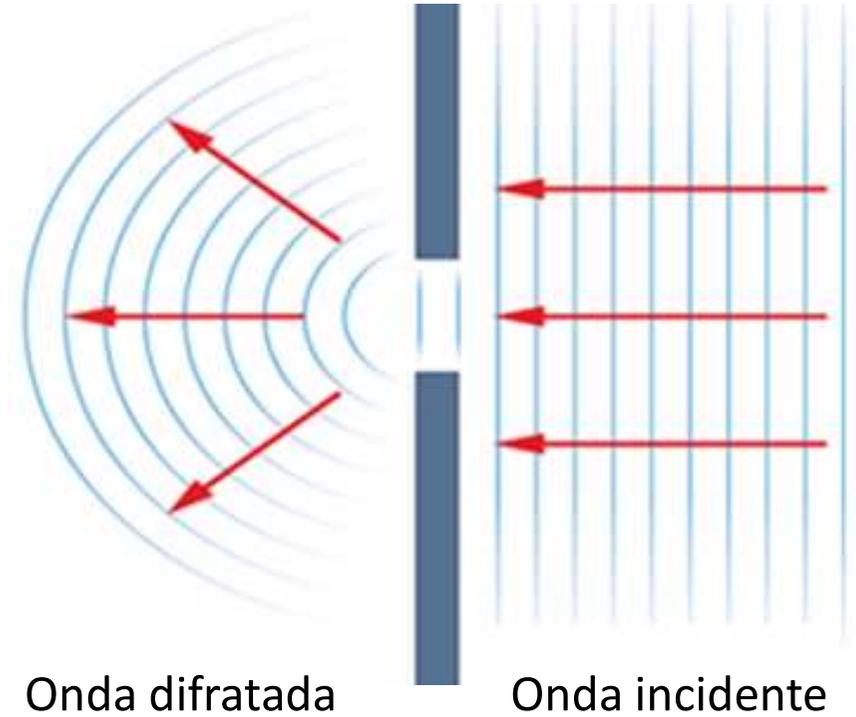


A experiência de Young

Padrão de interferência projetado na parede da sala da casa do prof. Caio



Difração de ondas



Difração: ocorre quando uma onda atinge um obstáculo ou orifício, muda sua forma e se espalha.

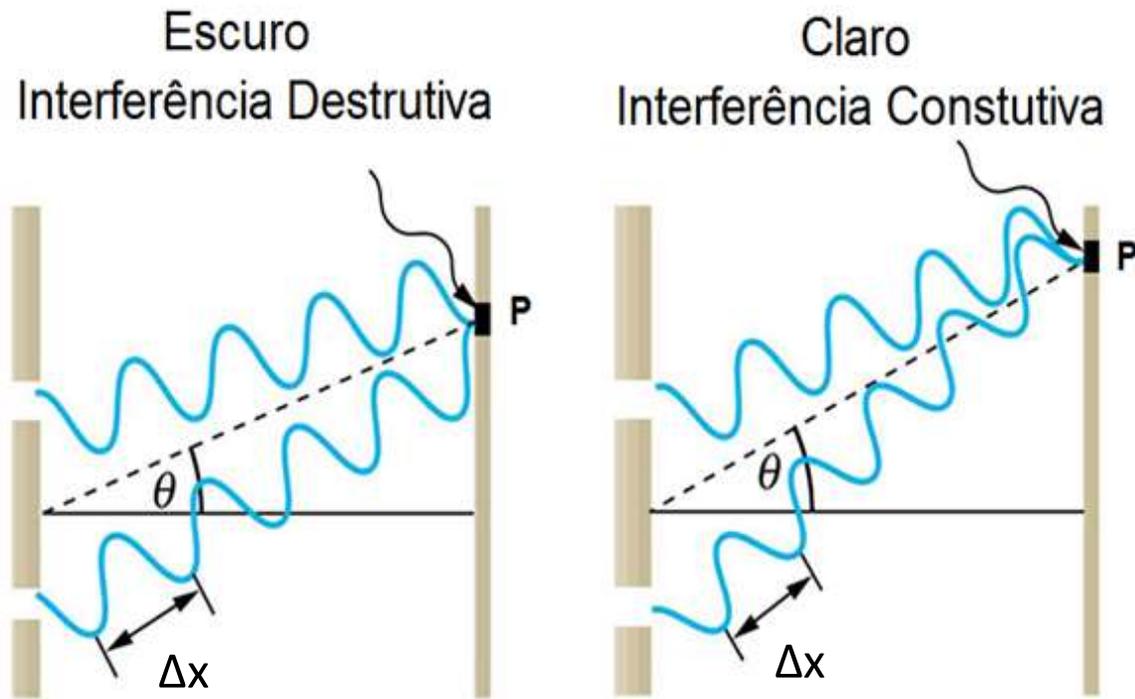
- A frequência, comprimento de onda e velocidade de propagação da onda permanecem constantes.
- Ocorre com onda transversais e longitudinais, mecânicas ou eletromagnéticas.

Não copiar

A experiência da dupla fenda de Thomas Young

Aprofundamento

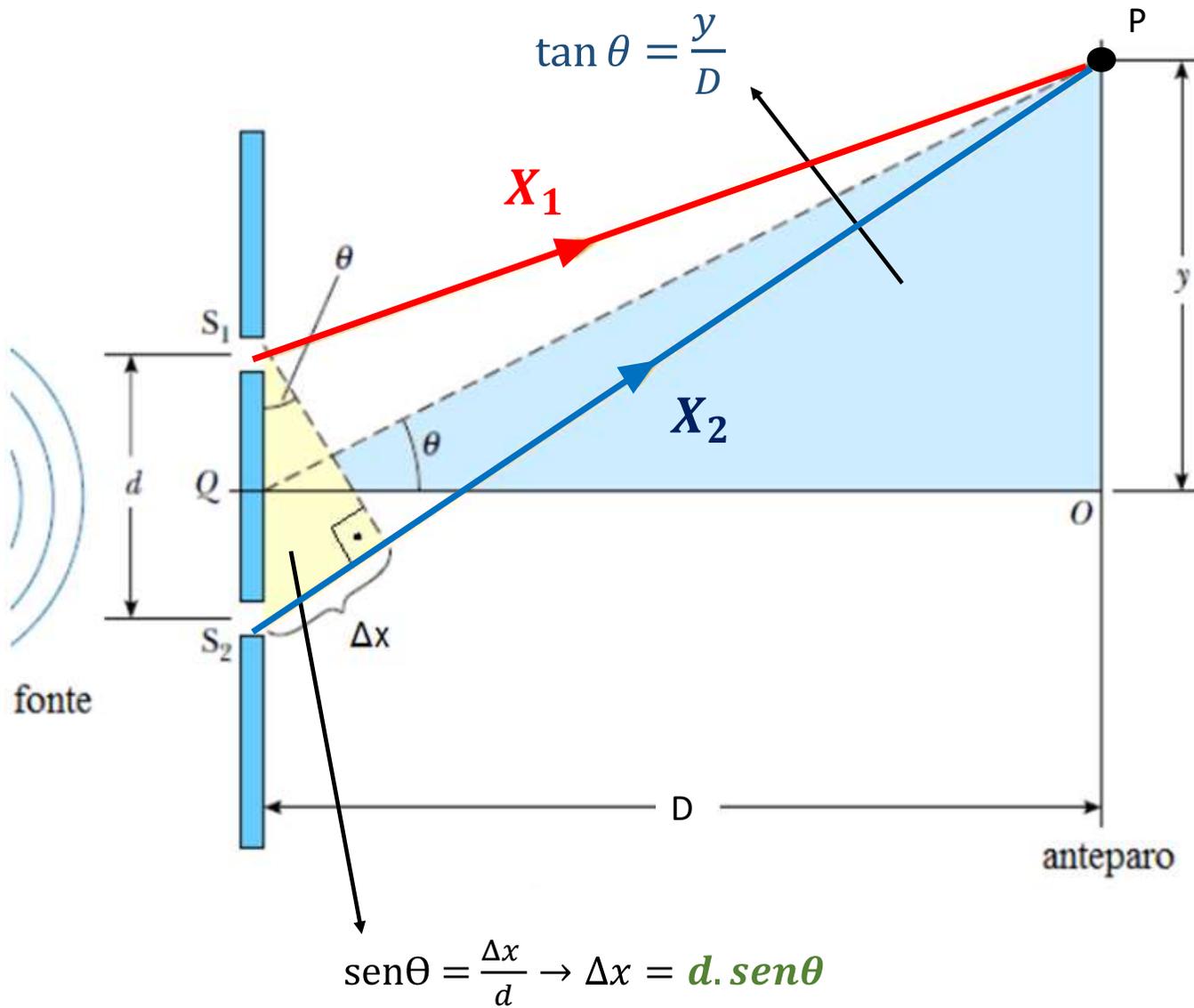
A Experiência de Young



Em um ponto P do anteparo haverá o encontro entre as ondas emitidas pelas fendas S_1 e S_2 . A diferença entre os caminhos percorridos será:

$$\Delta x = |x_1 - x_2| = n \cdot \frac{\lambda}{2}$$

- Interferência construtiva (máx / claro) no anteparo para $n = 0, 2, 4, 6, 8 \dots$
- Interferência destrutiva (mín / escuro) no anteparo para $n = 1, 3, 5 \dots$



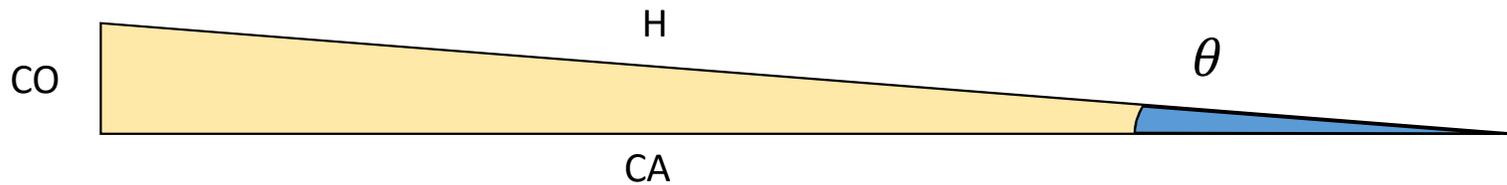
A diferença de caminho pode ser calculada:

$$\Delta x = n \cdot \frac{\lambda}{2} = \mathbf{d \cdot \sin \theta}$$

($D \gg d$). Neste caso, podemos aproximar:

$$\sin \theta \sim \mathbf{\text{tg} \theta} = \frac{y}{D}$$

Para pequenos ângulos



Se o ângulo θ tende a zero, o comprimento CO também tende a zero.

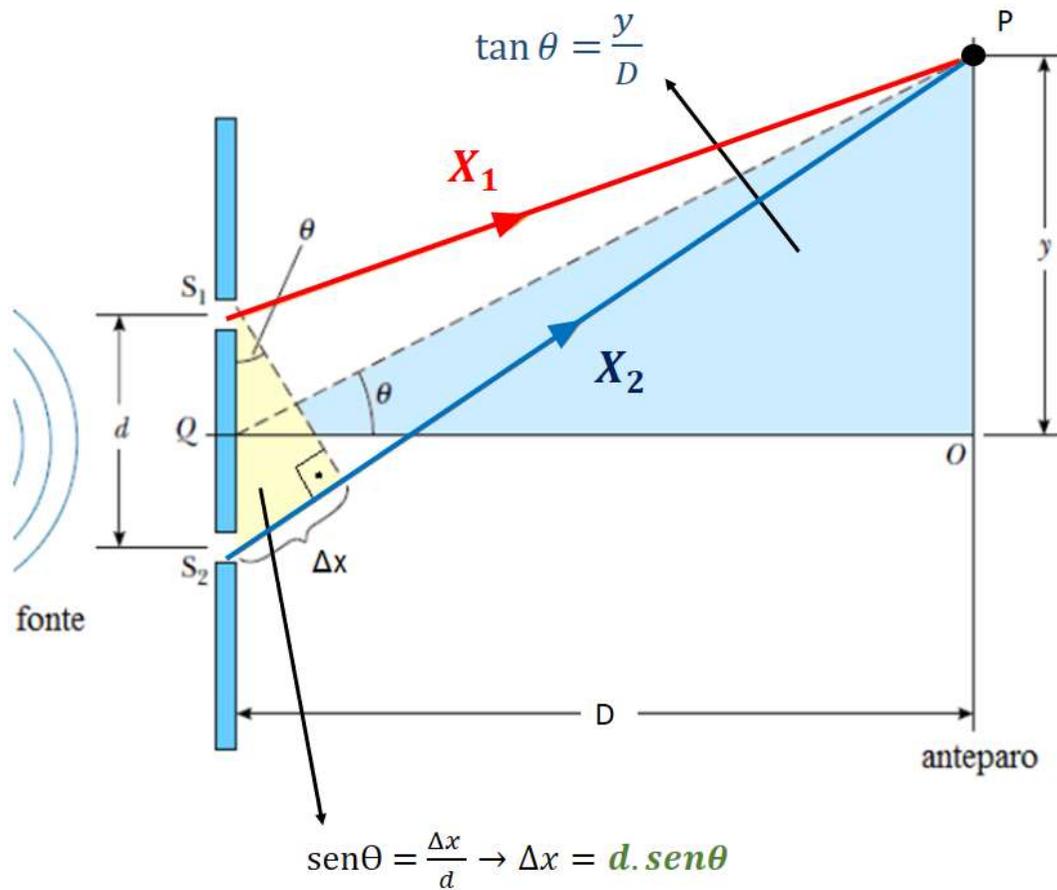
$$\theta \cong 0$$

$$CO \cong 0$$

$$\text{sen } \theta = \frac{CO}{H} \cong \frac{0}{H} = 0$$

$$\text{tan } \theta = \frac{CO}{CA} \cong \frac{0}{CA} = 0$$

$$\theta \cong \text{sen } \theta \cong \text{tan } \theta \cong 0$$



A diferença de caminhos pode ser calculada:

$$\Delta x = n \cdot \frac{\lambda}{2} = d \cdot \text{sen}\theta$$

($L \gg d$). Neste caso, podemos aproximar:

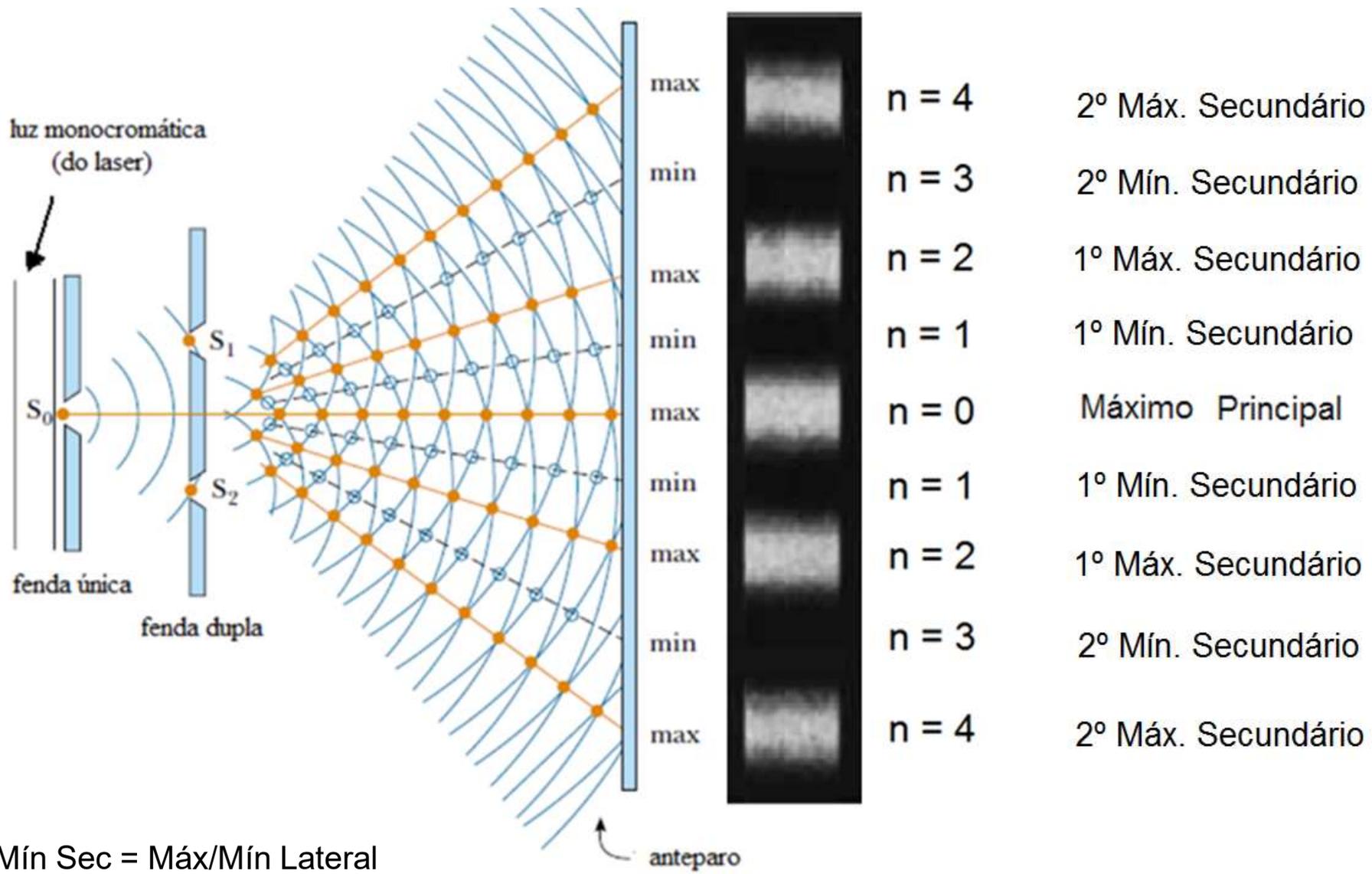
$$\text{sen}\theta \sim \text{tg}\theta = \frac{y}{D}$$

Portanto ficamos com a expressão:

$$n \cdot \frac{\lambda}{2} = d \cdot \frac{y}{D}$$

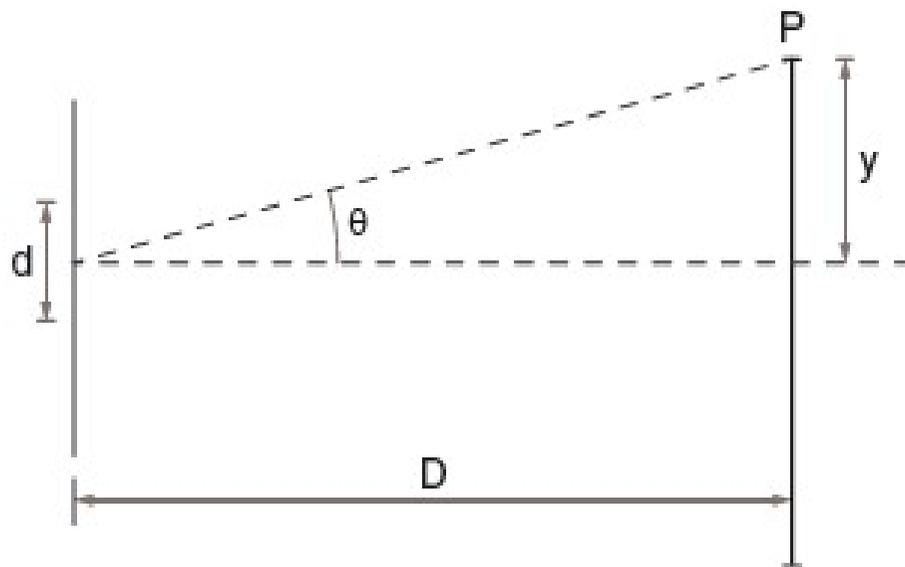
Interferência construtiva para $n = 0, 2, 4, 6, 8 \dots$

Interferência destrutiva para $n = 1, 3, 5 \dots$

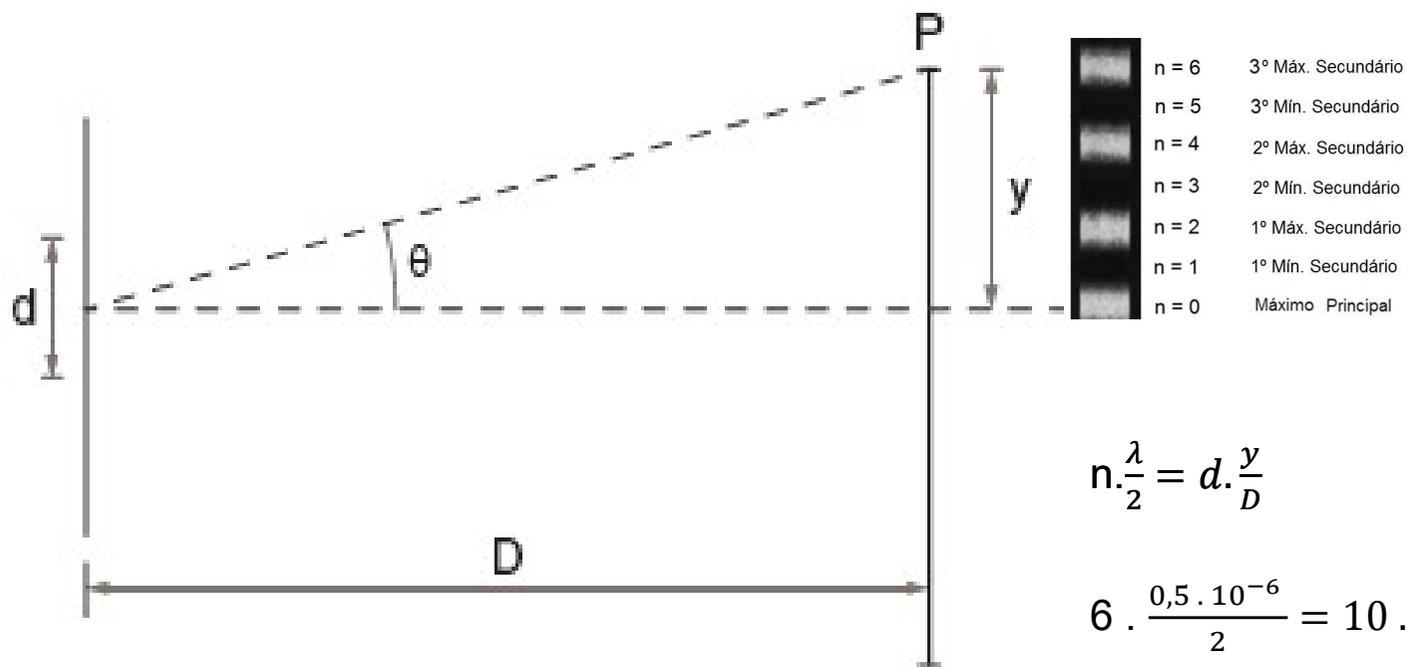


Máx/Mín Sec = Máx/Mín Lateral

1. (UFPE) A figura a seguir ilustra esquematicamente o aparato usado na experiência de Young (de fenda dupla) para observação da interferência óptica. As fendas estão separadas por $d = 10 \mu\text{m}$ e a distância delas ao anteparo é $D = 1,0 \text{ m}$. Qual o valor da distância y , em cm, correspondente ao terceiro máximo lateral do padrão de interferência quando as duas fendas são iluminadas por luz de comprimento de onda igual a $0,5 \mu\text{m}$?



1. (UFPE) A figura a seguir ilustra esquematicamente o aparato usado na experiência de Young (de fenda dupla) para observação da interferência óptica. As fendas estão separadas por $d = 10 \mu\text{m}$ e a distância delas ao anteparo é $D = 1,0 \text{ m}$. Qual o valor da distância y , em cm, correspondente ao terceiro máximo lateral do padrão de interferência quando as duas fendas são iluminadas por luz de comprimento de onda igual a $0,5 \mu\text{m}$?



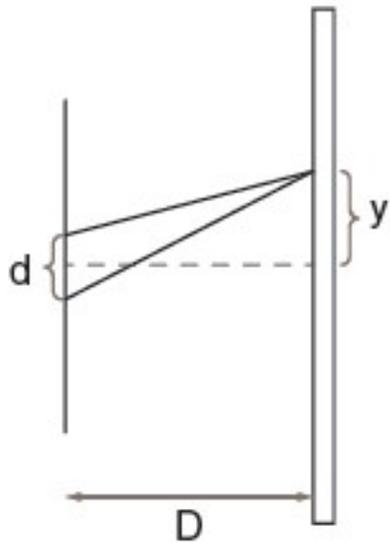
$$n \cdot \frac{\lambda}{2} = d \cdot \frac{y}{D}$$

$$6 \cdot \frac{0,5 \cdot 10^{-6}}{2} = 10 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{y}{1}$$

$$y = 6 \cdot \frac{0,5 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 10 \cdot 10^{-6}}$$

$$y = 0,15 \text{ m} = 15 \text{ cm}$$

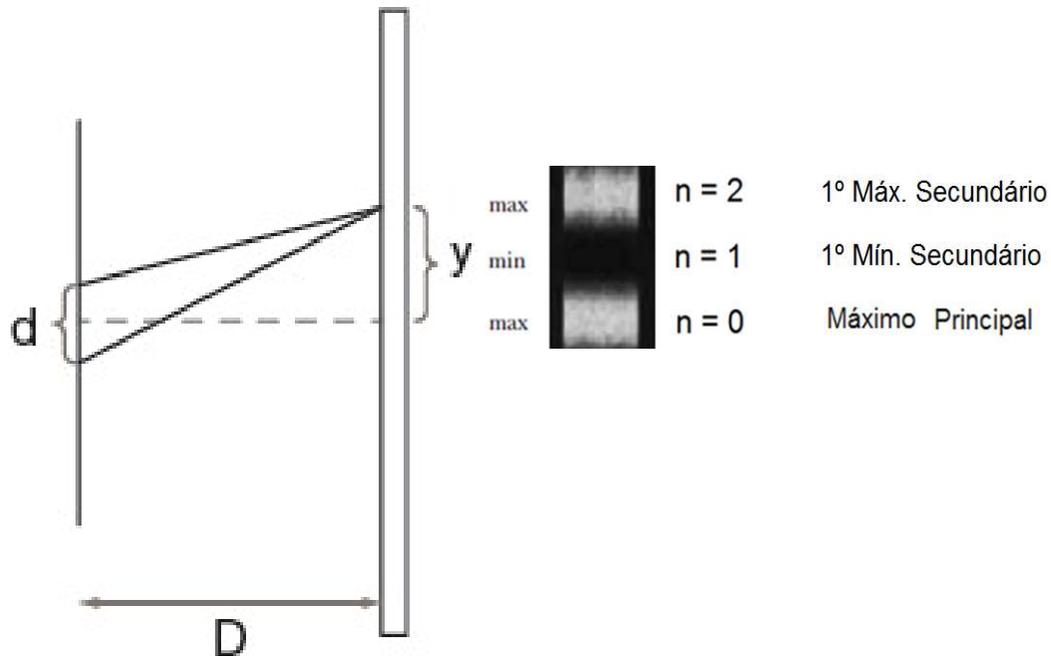
2. (Uece) Através de franjas de interferência é possível determinar características da radiação luminosa, como, por exemplo, o comprimento de onda. Considere uma figura de interferência devida a duas fendas separadas de $d = 0,1 \text{ mm}$.



O anteparo onde as franjas são projetadas fica a $D = 50 \text{ cm}$ das fendas. Admitindo-se que as franjas são igualmente espaçadas e que a distância entre duas franjas claras consecutivas é de $y = 4 \text{ mm}$, o comprimento de onda da luz incidente, em nm, é igual a:

- a) 200 b) 400 c) 800 d) 1.600

2. (Uece) Através de franjas de interferência é possível determinar características da radiação luminosa, como, por exemplo, o comprimento de onda. Considere uma figura de interferência devida a duas fendas separadas de $d = 0,1 \text{ mm}$.



$$n \cdot \frac{\lambda}{2} = d \cdot \frac{y}{D}$$

$$2 \cdot \frac{\lambda}{2} = 0,1 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{4 \cdot 10^{-3}}{0,5}$$

$$\lambda = 0,1 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{4 \cdot 10^{-3}}{0,5}$$

$$\lambda = 8 \cdot 0,1 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-3}$$

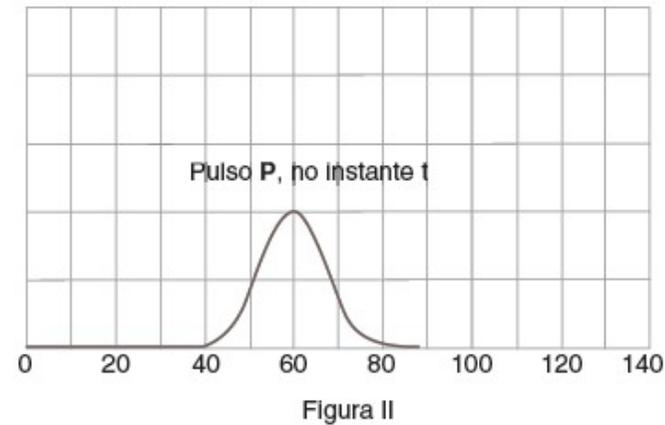
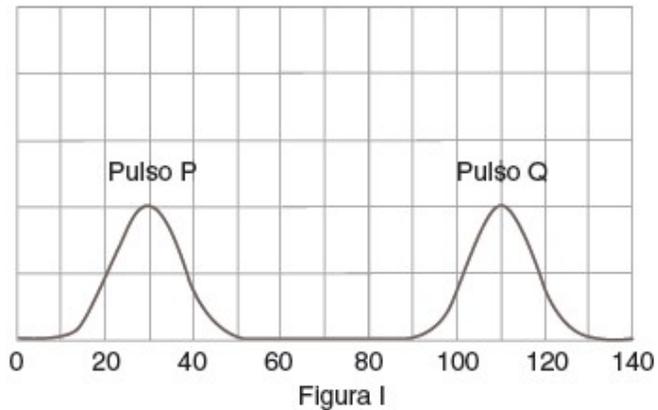
$$\lambda = 8 \cdot 10^{-7} = 800 \cdot 10^{-9} \text{ m} = 800 \text{ nm}$$

O anteparo onde as franjas são projetadas fica a $D = 50 \text{ cm}$ das fendas. Admitindo-se que as franjas são igualmente espaçadas e que a distância entre duas franjas claras consecutivas é de $y = 4 \text{ mm}$, o comprimento de onda da luz incidente, em nm, é igual a:

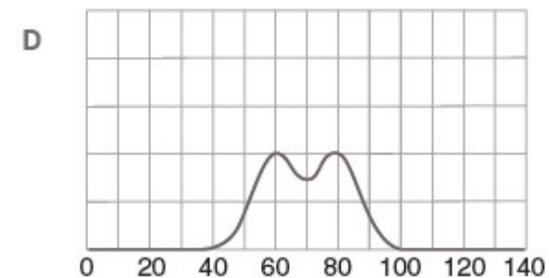
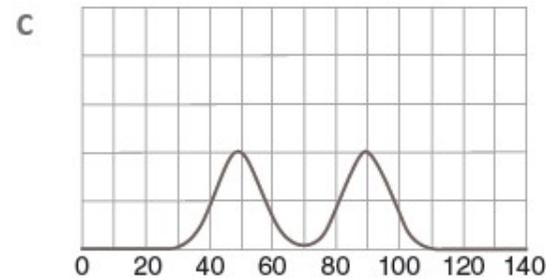
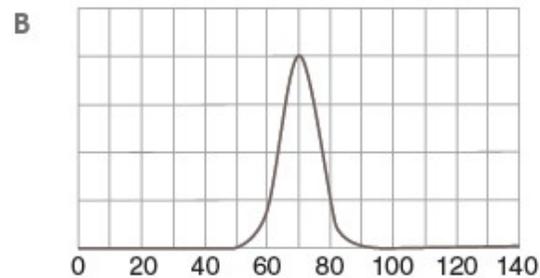
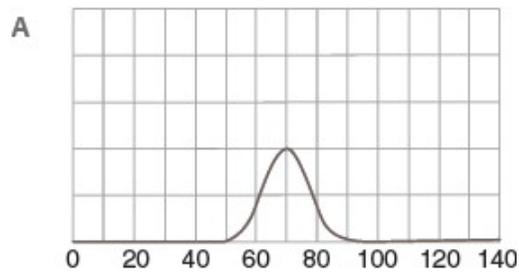
- a) 200 b) 400 **c) 800** d) 1.600

Exercícios

1. UFMG Na figura I, estão representados os pulsos P e Q, que estão se propagando em uma corda e se aproximam um do outro com velocidades de mesmo módulo. Na figura II, está representado o pulso P, em um instante t , posterior, caso ele estivesse se propagando sozinho.



A partir da análise dessas informações, assinale a alternativa em que a forma da corda no instante t está corretamente representada.



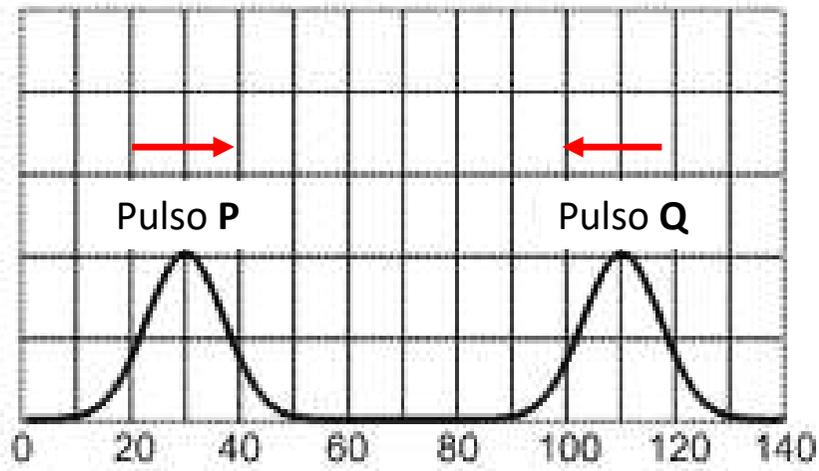


Figura I

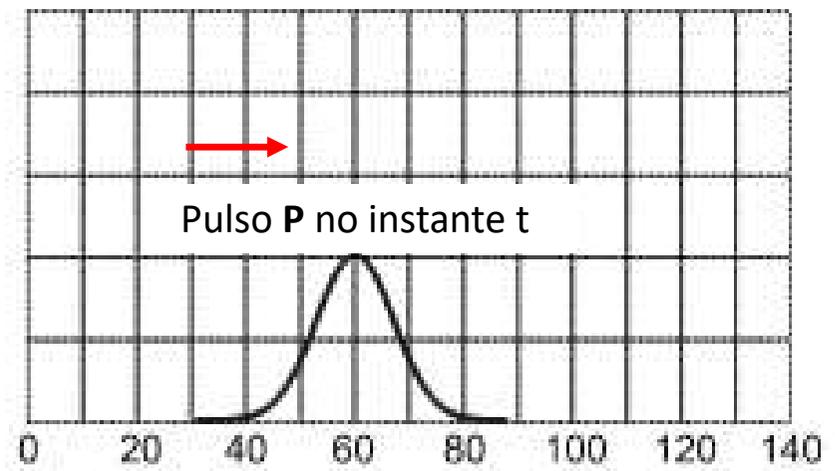
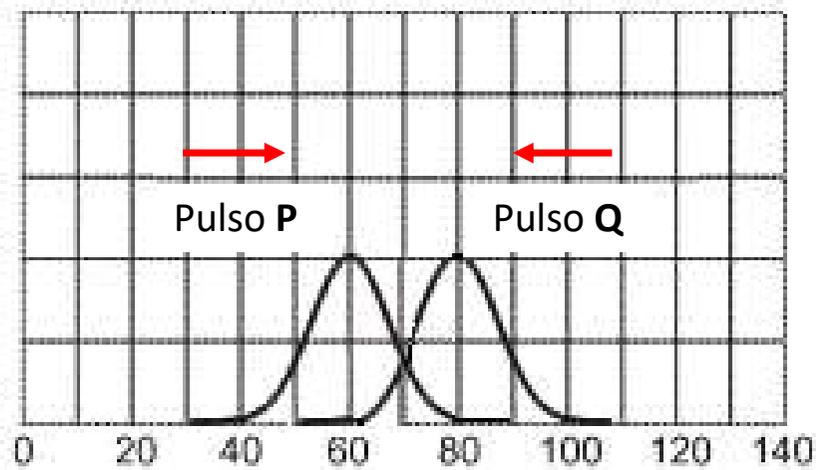
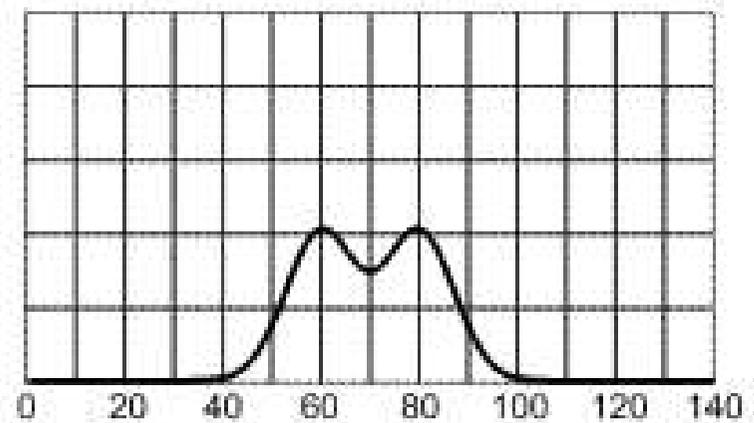


Figura II

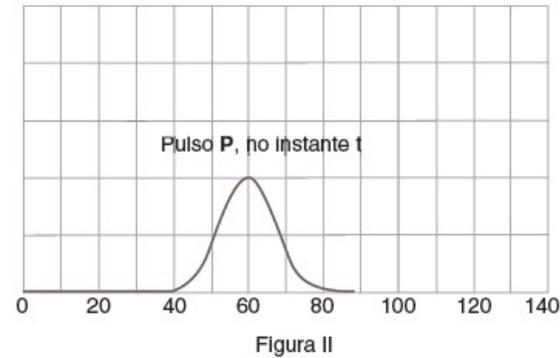
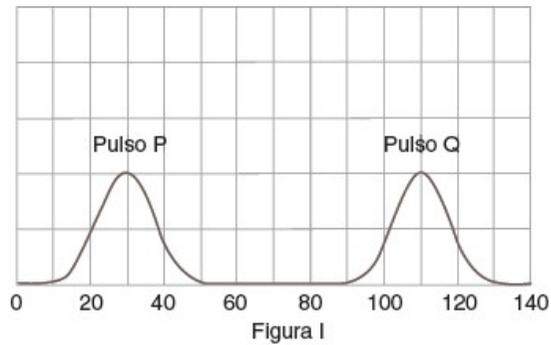


Pulso P e Q sobrepostos

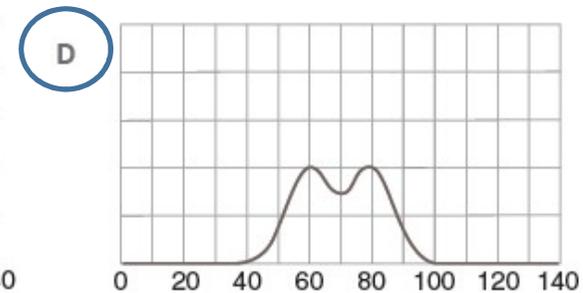
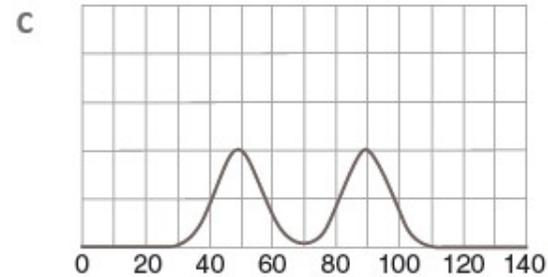
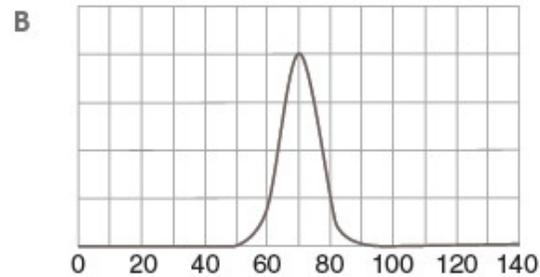
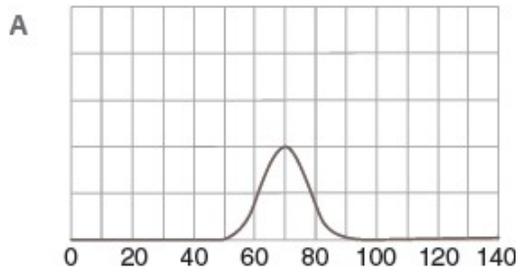


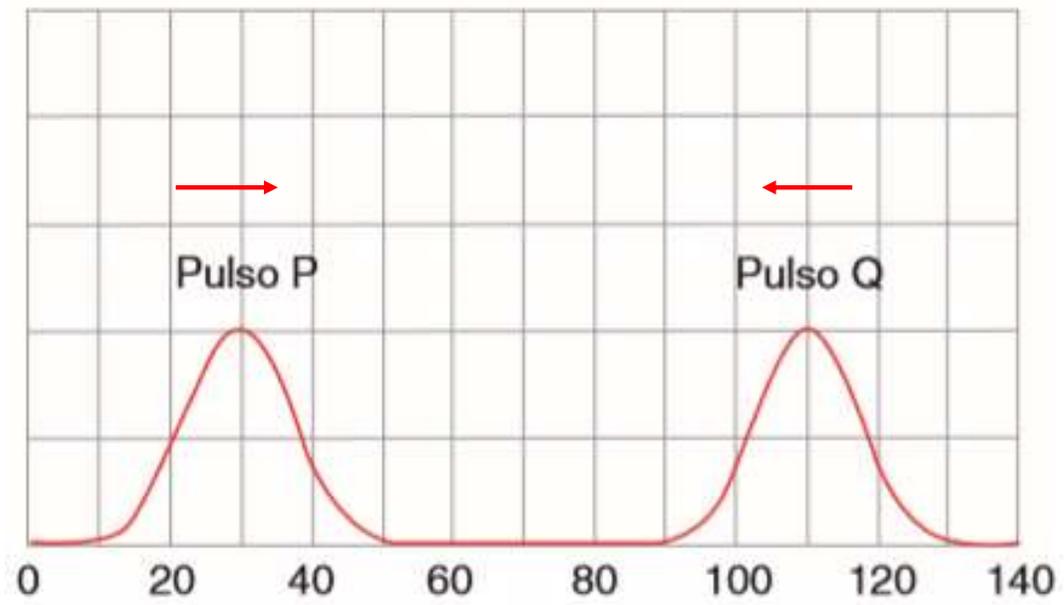
Interferência

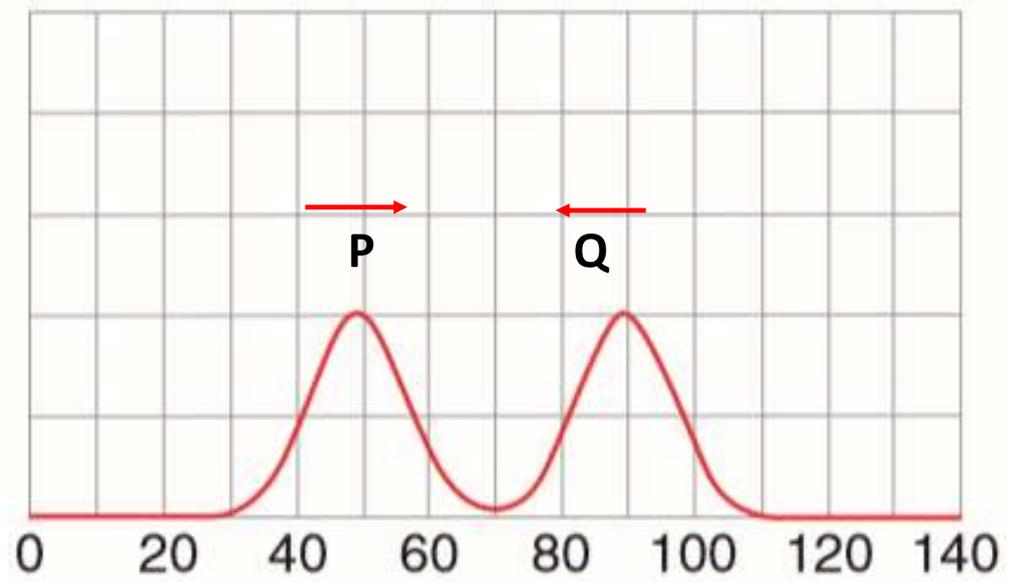
1. (UFMG) Na figura I, estão representados os pulsos P e Q, que estão se propagando em uma corda e se aproximam um do outro com velocidades de mesmo módulo. Na figura II, está representado o pulso P, em um instante t , posterior, caso ele estivesse se propagando sozinho.

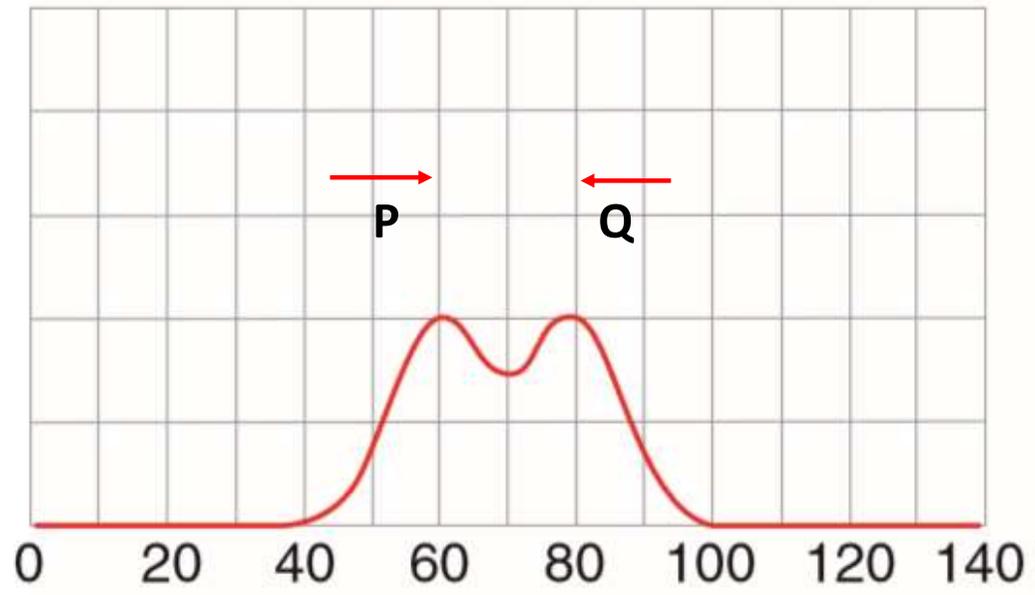


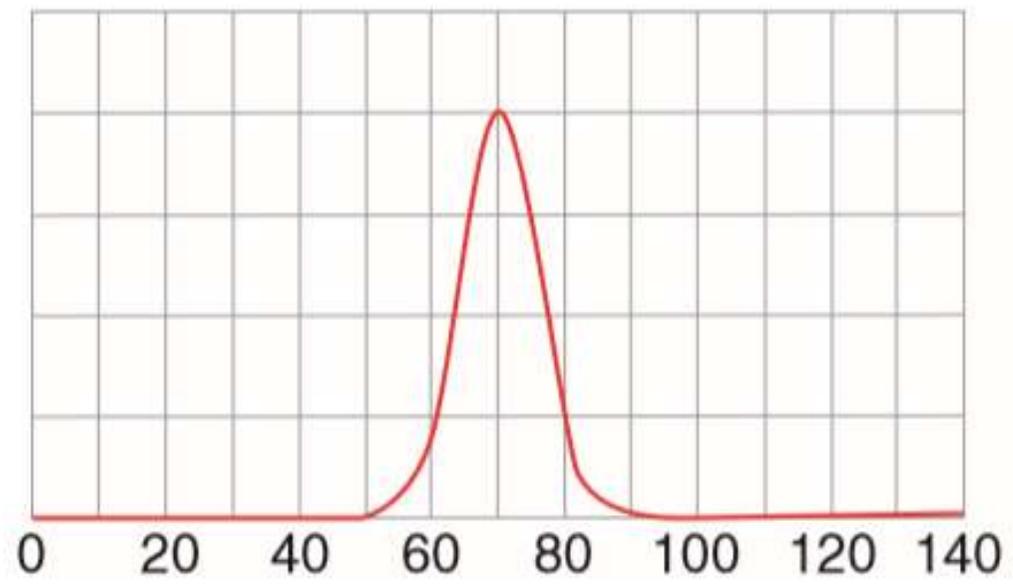
A partir da análise dessas informações, assinale a alternativa em que a forma da corda no instante t está corretamente representada.

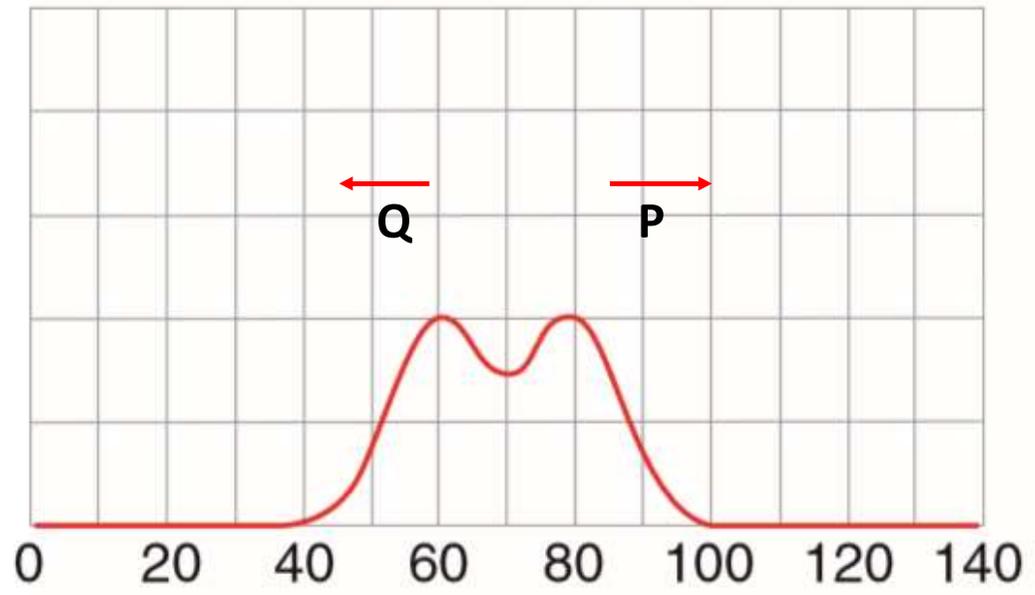


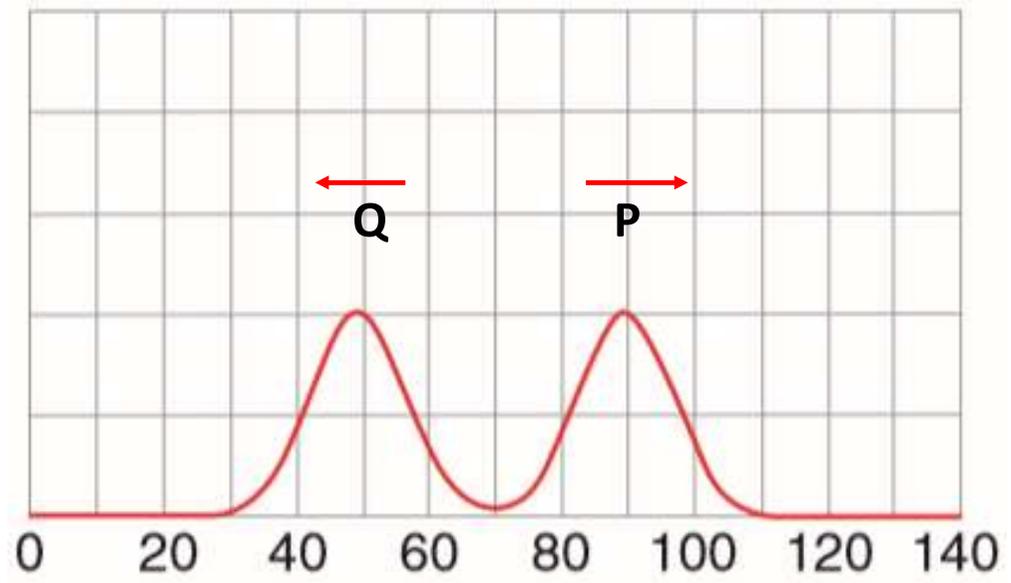




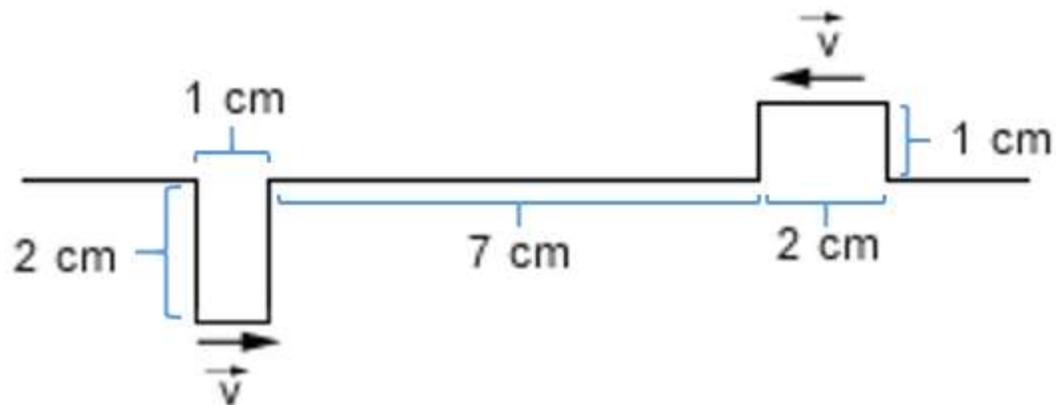








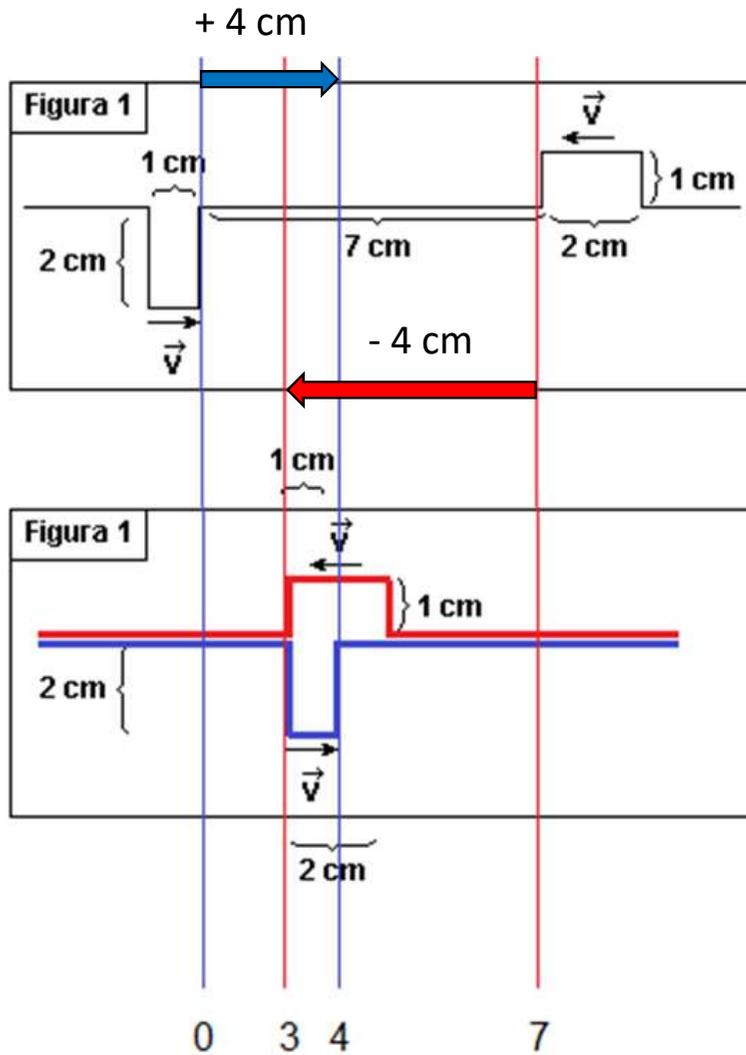
2. (UFSCar-SP) A figura mostra dois pulsos numa corda tensionada no instante $t = 0$ s, propagando-se com velocidade de 2 m/s em sentidos opostos.



A configuração da corda no instante $t = 20$ ms é:

- A)
- B)
- C)
- D)
- E)

2. (UFSCar-SP) A figura mostra dois pulsos numa corda tensionada no instante $t = 0$ s, propagando-se com velocidade de 2 m/s em sentidos opostos.

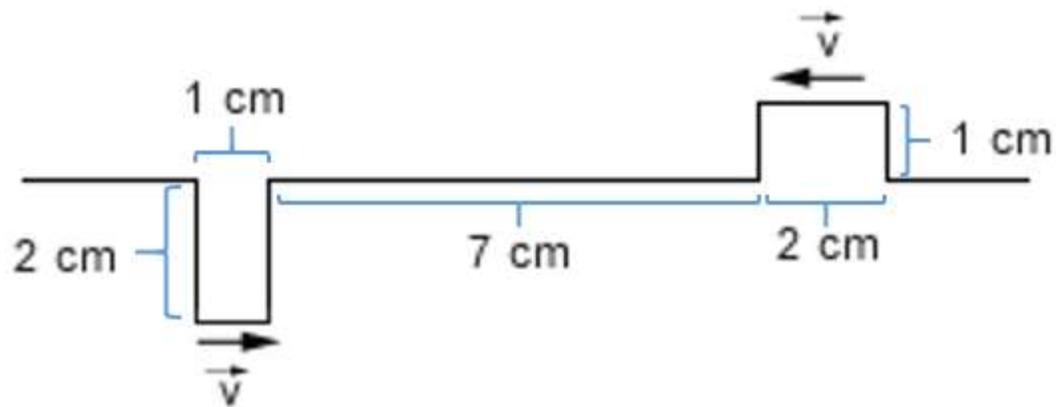


$$\Delta t = 20 \text{ ms} = 0,02 \text{ s}$$

- Pulso da esquerda: $\Delta S = V \times \Delta t = 2 \times 0,02 = 0,04 \text{ m} = 4 \text{ cm}$
- Pulso da direita: $\Delta S = V \times \Delta t = 2 \times 0,02 = 0,04 \text{ m} = 4 \text{ cm}$



2. (UFSCar-SP) A figura mostra dois pulsos numa corda tensionada no instante $t = 0$ s, propagando-se com velocidade de 2 m/s em sentidos opostos.

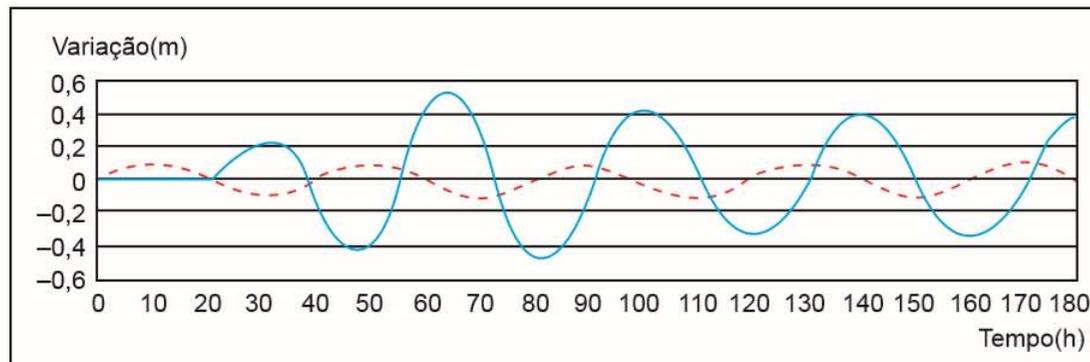
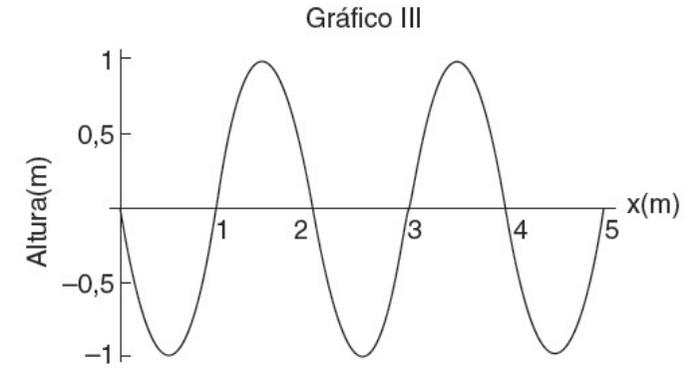
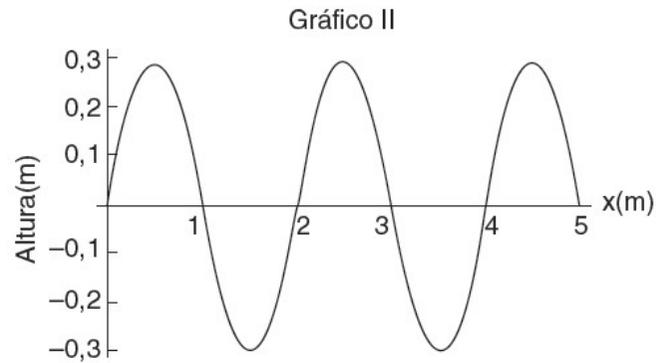
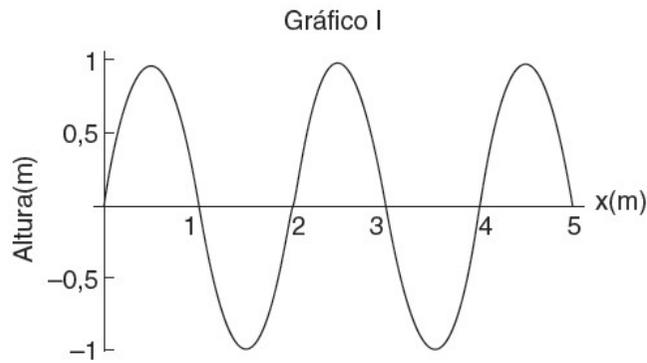


A configuração da corda no instante $t = 20$ ms é:

- A)
- B)
- C)
- D)
- E)

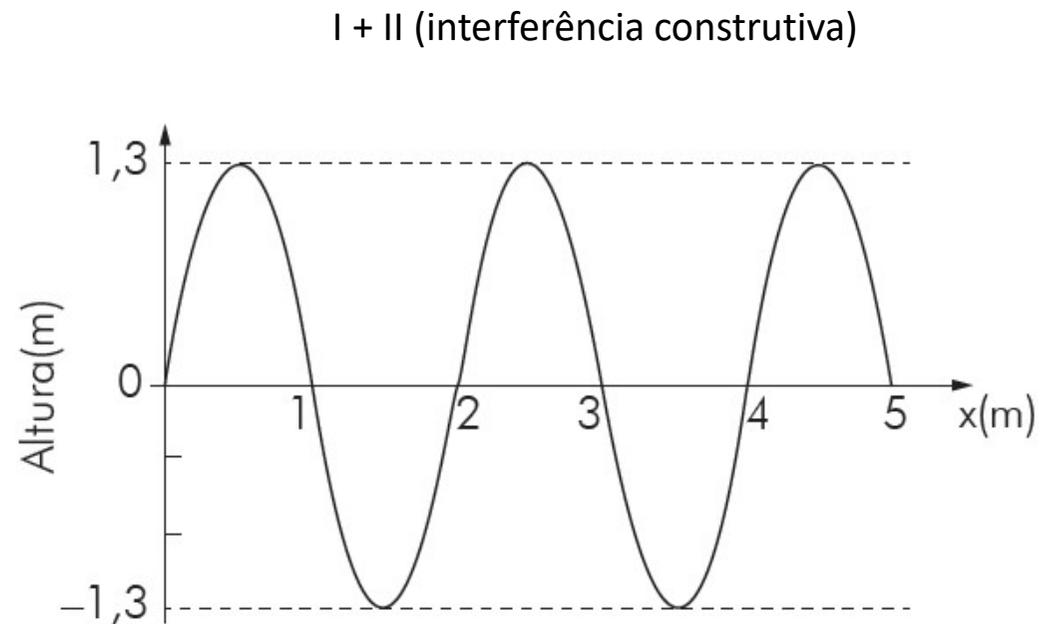
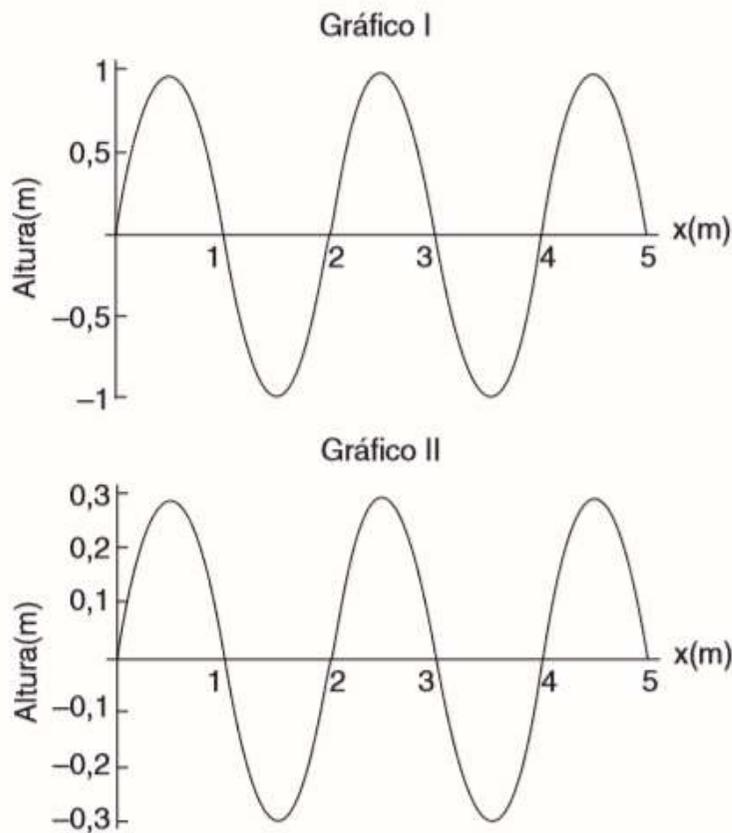


3. (Unesp) Em dezembro de 2004, um grande tsunami varreu a costa de alguns países asiáticos. Seus efeitos puderam ser medidos mesmo aqui no Brasil, cerca de 20 horas depois. Segundo uma matéria divulgada pela COPPE-UFRJ, como consequência do fenômeno de interferência, as ondas chegaram a subir cerca de 1m em alguns pontos da Baía de Guanabara, sendo que sua altura em alto-mar não passou de alguns poucos centímetros.

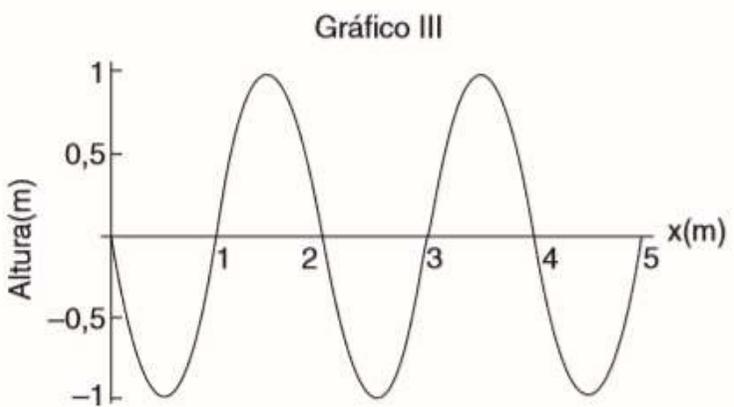
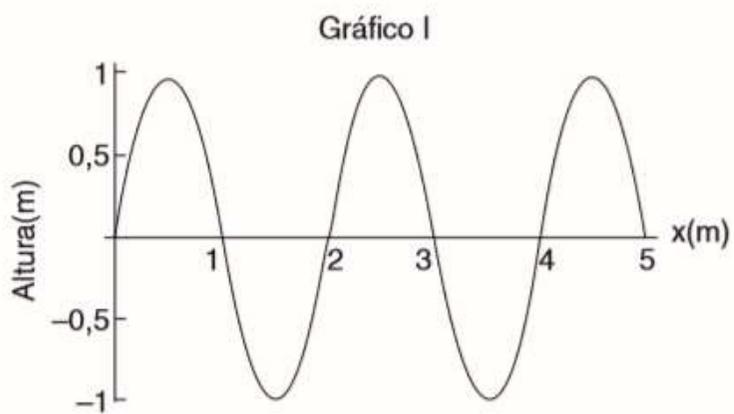


Observando os gráficos I, II e III, esboce dois gráficos, o da amplitude resultante da interferência das ondas I e II e o da amplitude resultante da interferência das ondas I e III. Indique que tipo de interferência ocorre em cada caso e qual delas seria a responsável pelas referidas ondas de 1 m.

Observando os gráficos I, II e III, esboce dois gráficos, **o da amplitude resultante da interferência das ondas I e II** e o da amplitude resultante da interferência das ondas I e III. Indique que tipo de interferência ocorre em cada caso e qual delas seria a responsável pelas referidas ondas de 1 m.



Observando os gráficos I, II e III, esboce dois gráficos, o da amplitude resultante da interferência das ondas I e II e o da amplitude **resultante da interferência das ondas I e III**. Indique que tipo de interferência ocorre em cada caso e qual delas seria a responsável pelas referidas ondas de 1 m.

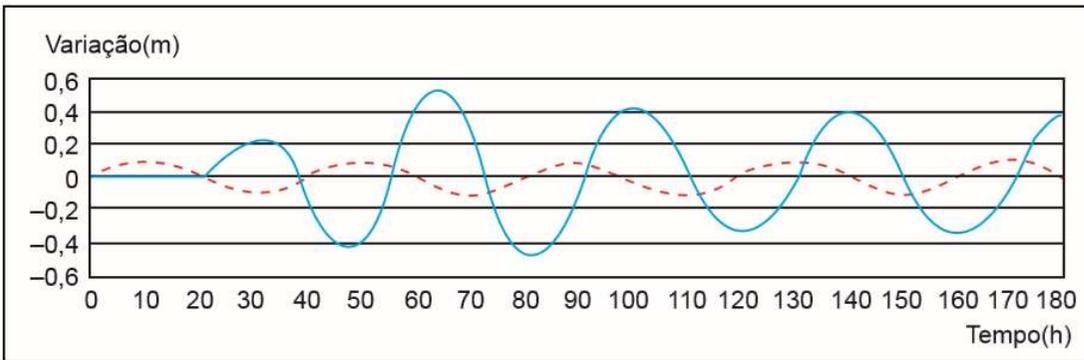


I + III (interferência destrutiva)

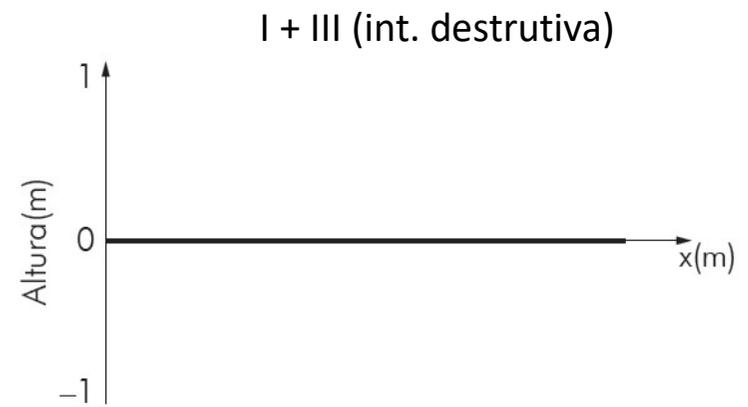
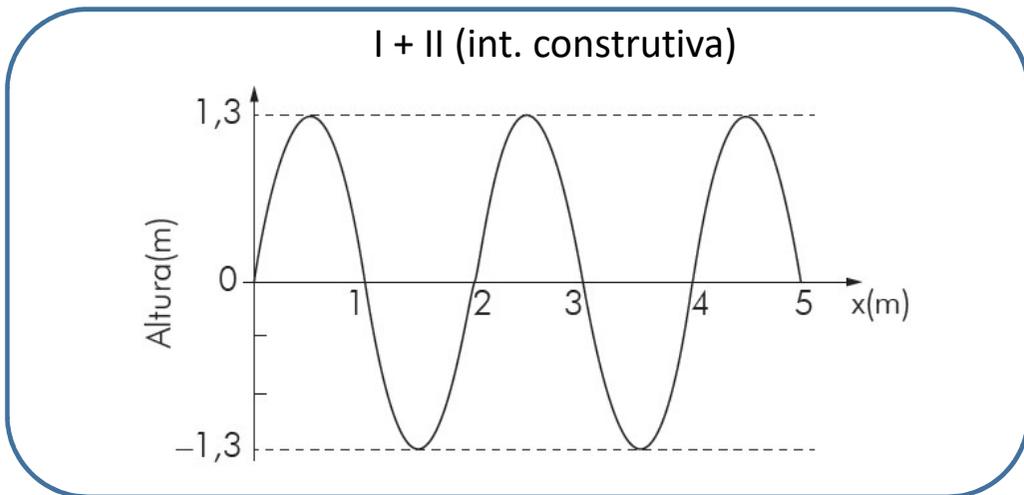


“Segundo uma matéria divulgada pela COPPE-UFRJ, como consequência do fenômeno de interferência, as ondas chegaram a subir cerca de 1m em alguns pontos da Baía de Guanabara, sendo que sua altura em alto-mar não passou de alguns poucos centímetros.”

Observando os gráficos I, II e III, esboce dois gráficos, o da amplitude resultante da interferência das ondas I e II e o da amplitude resultante da interferência das ondas I e III. **Indique que tipo de interferência ocorre em cada caso e qual delas seria a responsável pelas referidas ondas de 1 m.**



A interferência construtiva foi responsável pelas ondas de 1 m.





4. (Uece 2014) Uma onda sonora de 170 Hz se propaga no sentido norte-sul, com uma velocidade de 340 m/s. Nessa mesma região de propagação, há uma onda eletromagnética com comprimento de onda $2 \times 10^6 \mu\text{m}$ viajando em sentido contrário. Assim, é correto afirmar-se que as duas ondas têm:

- a) mesmo comprimento de onda, e pode haver interferência construtiva.
- b) mesmo comprimento de onda, e pode haver interferência destrutiva.
- c) mesmo comprimento de onda, e não pode haver interferência. ←
- e) diferentes comprimentos de onda, e não pode haver interferência.

Onda eletromagnética

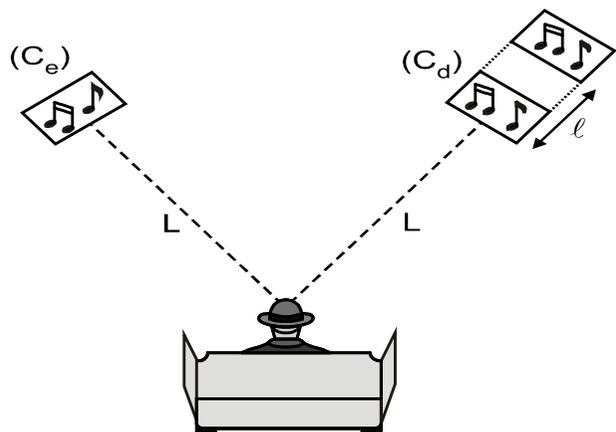
$$\lambda = 2 \cdot 10^6 \mu\text{m} = 2 \cdot 10^6 \cdot 10^{-6} = 2 \text{ m}$$

Onda sonora

$$\lambda = \frac{V}{f} = \frac{340}{170} = 2 \text{ m}$$

$$V = \lambda \cdot f \rightarrow \lambda = \frac{V}{f}$$

5. (Fuvest 2014) O Sr. Rubinato, um músico aposentado, gosta de ouvir seus velhos discos sentado em uma poltrona. Está ouvindo um conhecido solo de violino quando sua esposa Matilde afasta a caixa acústica da direita (C_d) de uma distância ℓ , como visto na figura abaixo.



Em seguida, Sr. Rubinato reclama: _ *Não consigo mais ouvir o Lá do violino, que antes soava bastante forte!* Dentre as alternativas abaixo para a distância ℓ , a única compatível com a reclamação do Sr. Rubinato é :

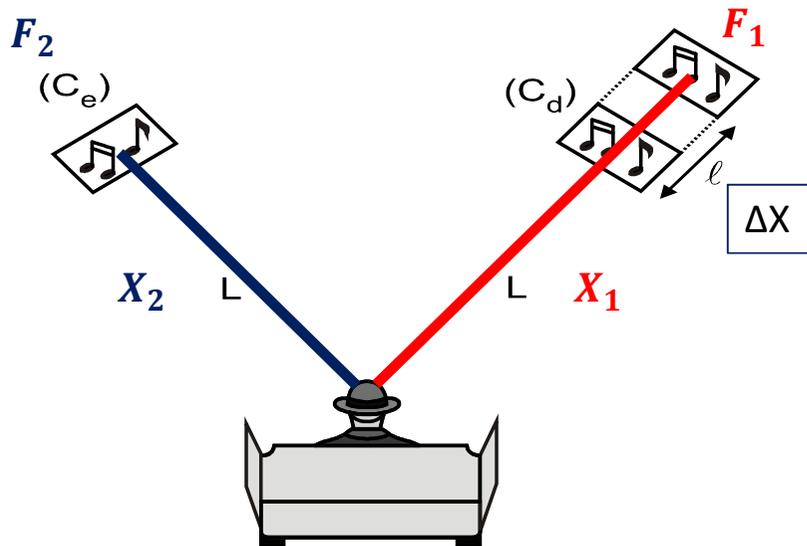
- a) 38 cm. b) 44 cm. c) 60 cm. d) 75 cm. e) 150 cm

Nota:

O mesmo sinal elétrico do amplificador é ligado nos alto-falantes, cujos cones se movimentam em fase.

- A frequência da nota Lá é 440 Hz.
- A velocidade do som no ar é 330 m/s.
- A distância entre as orelhas do Sr. Rubinato deve ser ignorada.

5. (Fuvest 2014) O Sr. Rubinato, um músico aposentado, gosta de ouvir seus velhos discos sentado em uma poltrona. Está ouvindo um conhecido solo de violino quando sua esposa Matilde afasta a caixa acústica da direita (C_d) de uma distância ℓ , como visto na figura abaixo.



Nota:
O mesmo sinal elétrico do amplificador é ligado nos alto-falantes, cujos cones se movimentam em fase.

- A frequência da nota Lá é 440 Hz.
- A velocidade do som no ar é 330 m/s.
- A distância entre as orelhas do Sr. Rubinato deve ser ignorada.

Em seguida, Sr. Rubinato reclama: **“Não consigo mais ouvir o Lá do violino, que antes soava bastante forte!”** Dentre as alternativas abaixo para a distância ℓ , a única compatível com a reclamação do Sr. Rubinato é :

- a) 38 cm. b) 44 cm. c) 60 cm. d) 75 cm. e) 150 cm

Interferência destrutiva

$$\ell = \Delta x = |x_1 - x_2| = n \cdot \frac{\lambda}{2} \quad \text{Int. destrutiva: } n = 1, 3, 5, 7 \dots$$

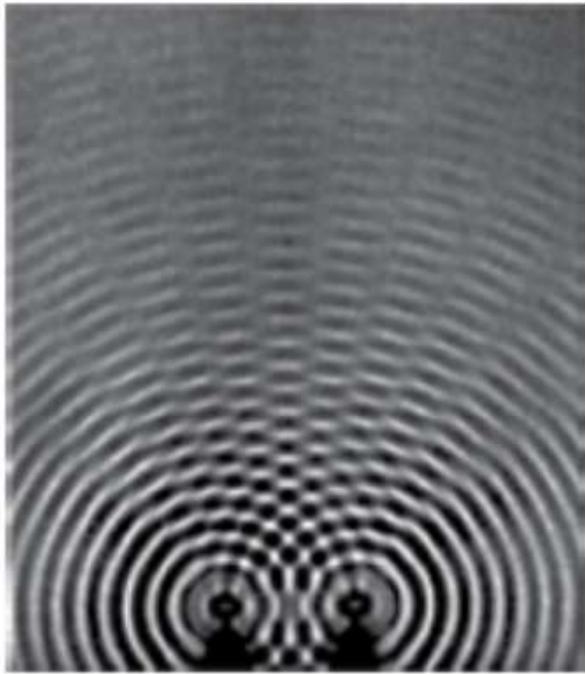
$$\lambda = \frac{V}{f} = \frac{330}{440} = 0,75 \text{ m} = 75 \text{ cm} \quad \rightarrow \quad \frac{\lambda}{2} = 37,5 \text{ cm}$$

$$n = 1 \quad \rightarrow \quad \ell = \Delta x = n \cdot \frac{\lambda}{2} \quad \rightarrow \quad \ell = \Delta x = 1 \cdot 37,5 \quad \rightarrow \quad \ell = 37,5 \text{ cm}$$

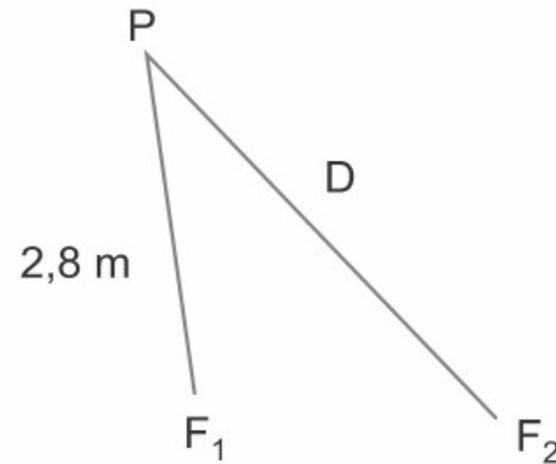
$$n = 3 \quad \rightarrow \quad \ell = \Delta x = n \cdot \frac{\lambda}{2} \quad \rightarrow \quad \ell = \Delta x = 3 \cdot 37,5 \quad \rightarrow \quad \ell = 112,5 \text{ cm}$$

$$n = 5 \quad \rightarrow \quad \ell = \Delta x = n \cdot \frac{\lambda}{2} \quad \rightarrow \quad \ell = \Delta x = 5 \cdot 37,5 \quad \rightarrow \quad \ell = 187,5 \text{ cm}$$

6. (FGV-SP) As figuras a seguir representam uma foto e um esquema em que F_1 e F_2 são fontes de frentes de ondas mecânicas planas, coerentes e em fase, oscilando com a frequência de $4,0$ Hz. As ondas produzidas propagam-se a uma velocidade de $2,0$ m/s. Sabe-se que $D > 2,8$ m e que P é um ponto vibrante de máxima amplitude.



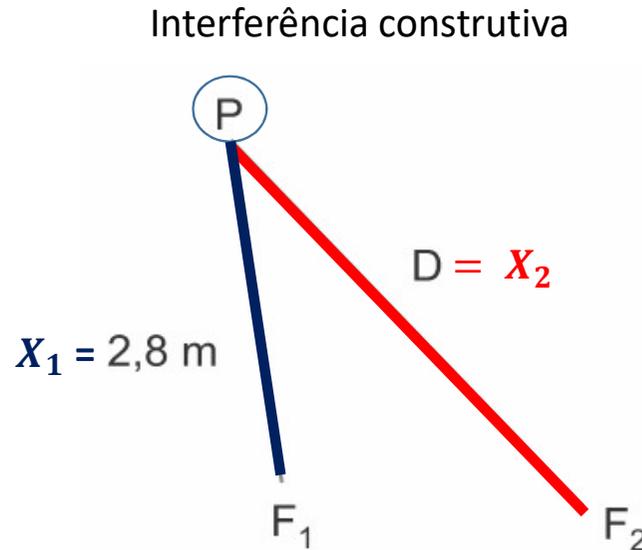
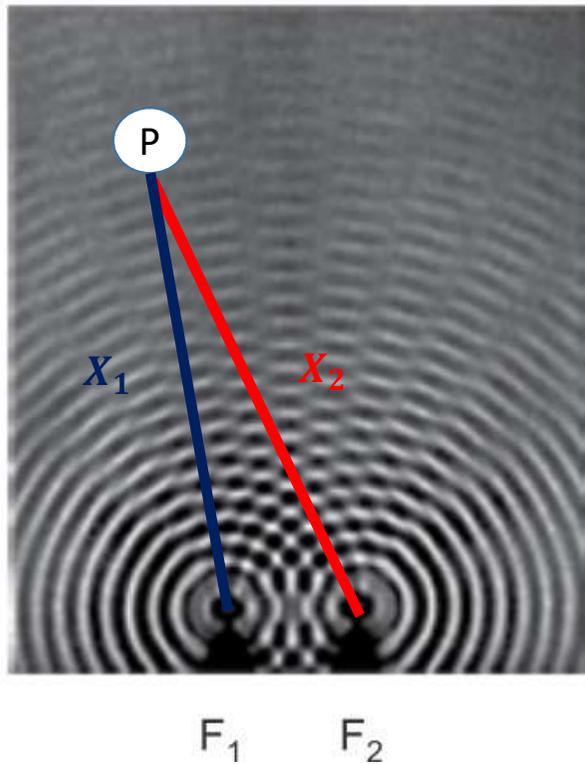
F_1 F_2



Nessas condições, o menor valor de D deve ser

- a) $2,9$ m b) $3,0$ m c) $3,1$ m d) $3,2$ m e) $3,3$ m

6. (FGV-SP) As figuras a seguir representam uma foto e um esquema em que **F1 e F2** são fontes de frentes de ondas mecânicas planas, **coerentes e em fase, oscilando com a frequência de 4,0 Hz**. As ondas produzidas propagam-se a uma **velocidade de 2,0 m/s**. Sabe-se que $D > 2,8$ m e que **P é um ponto vibrante de máxima amplitude**.



Int. construtiva: $n = 0, 2, 4, 6 \dots$

$$\Delta x = |x_2 - x_1| = n \cdot \frac{\lambda}{2}$$

$$\Delta x = |D - 2,8| = n \cdot \frac{\lambda}{2}$$

$$\Downarrow D = \Downarrow n \cdot \frac{\lambda}{2} + 2,8$$

$$n = 2$$

$$\lambda = \frac{V}{f} = \frac{2}{4} = 0,5 \text{ m} \quad \Rightarrow \quad \frac{\lambda}{2} = 0,25 \text{ m}$$

$$D = n \cdot \frac{\lambda}{2} + 2,8$$

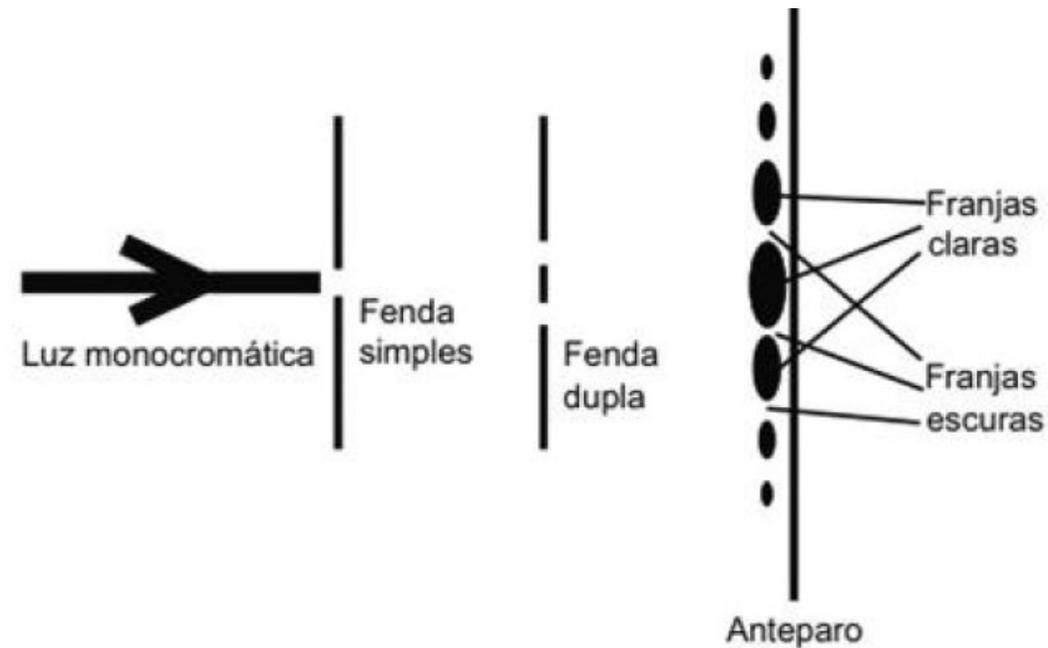
$$D = 2 \cdot 0,25 + 2,8$$

$$D = 3,3 \text{ m}$$

Nessas condições, o menor valor de D deve ser

- a) 2,9 m b) 3,0 m c) 3,1 m d) 3,2 m e) 3,3 m

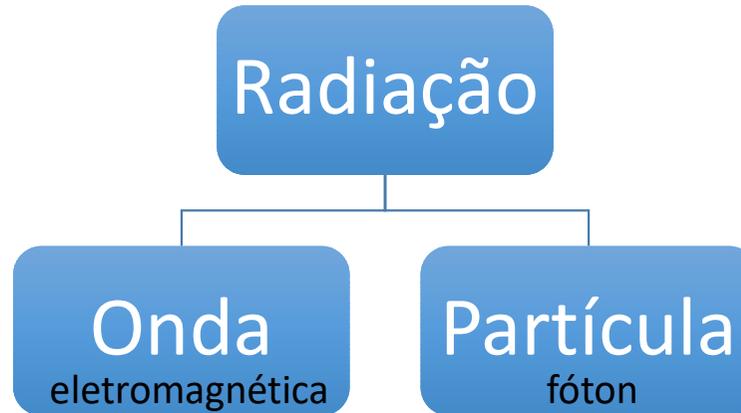
7. (Enem) O debate a respeito da natureza da luz perdurou por séculos, oscilando entre a teoria corpuscular e a teoria ondulatória. No início do século XIX, Thomas Young, com a finalidade de auxiliar na discussão, realizou o experimento apresentado de forma simplificada na figura. Nele, um feixe de luz monocromática passa por dois anteparos com fendas muito pequenas. No primeiro anteparo há uma fenda e no segundo, duas fendas. Após passar pelo segundo conjunto de fendas, a luz forma um padrão com franjas claras e escuras.



Com esse experimento, Young forneceu fortes argumentos para uma interpretação a respeito da natureza da luz, baseada em uma teoria

- a) corpuscular, justificada pelo fato de, no experimento, a luz sofrer dispersão e refração.
- b) corpuscular, justificada pelo fato de, no experimento, a luz sofrer dispersão e reflexão.
- c) ondulatória, justificada pelo fato de, no experimento, a luz sofrer difração e polarização.
- d) ondulatória, justificada pelo fato de, no experimento, a luz sofrer interferência e reflexão.
- e) ondulatória, justificada pelo fato de, no experimento, a luz sofrer difração e interferência.

Dualidade onda-partícula



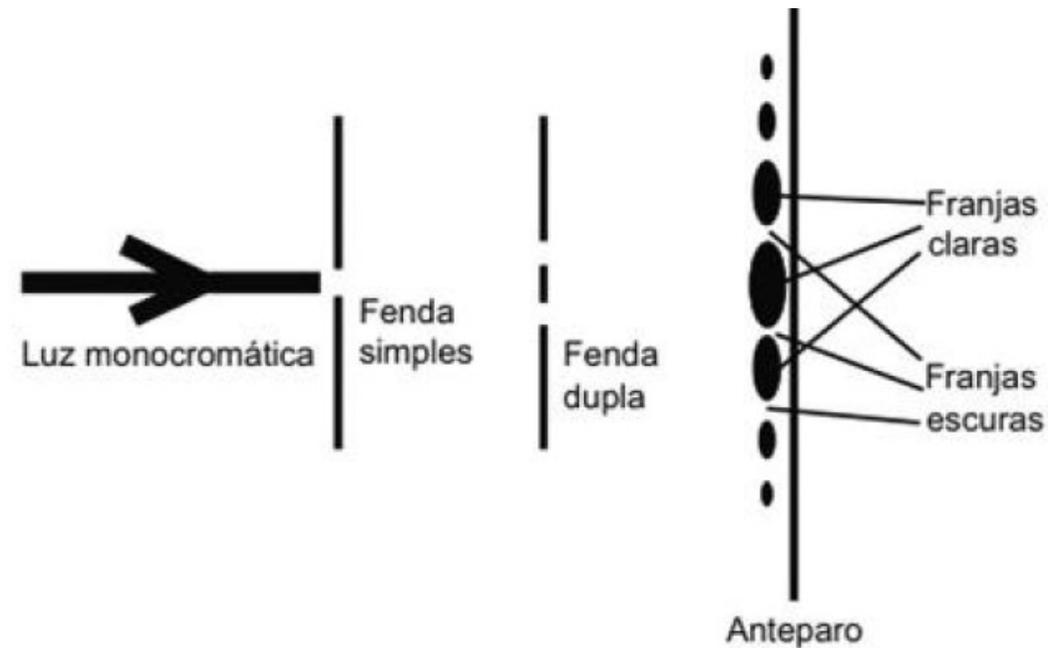
Exemplos:

- Interferência
- Difração

Exemplos:

- Efeito fotoelétrico
- Reflexão

7. (Enem) O debate a respeito da natureza da luz perdurou por séculos, oscilando entre a teoria corpuscular e a teoria ondulatória. No início do século XIX, Thomas Young, com a finalidade de auxiliar na discussão, realizou o experimento apresentado de forma simplificada na figura. Nele, um feixe de luz monocromática passa por dois anteparos com fendas muito pequenas. No primeiro anteparo há uma fenda e no segundo, duas fendas. Após passar pelo segundo conjunto de fendas, a luz forma um padrão com franjas claras e escuras.



Com esse experimento, Young forneceu fortes argumentos para uma interpretação a respeito da natureza da luz, baseada em uma teoria

- a) corpuscular, justificada pelo fato de, no experimento, a luz sofrer dispersão e refração.
- b) corpuscular, justificada pelo fato de, no experimento, a luz sofrer dispersão e reflexão.
- c) ondulatória, justificada pelo fato de, no experimento, a luz sofrer difração e polarização.
- d) ondulatória, justificada pelo fato de, no experimento, a luz sofrer interferência e reflexão.
- e) ondulatória, justificada pelo fato de, no experimento, a luz sofrer difração e interferência.

