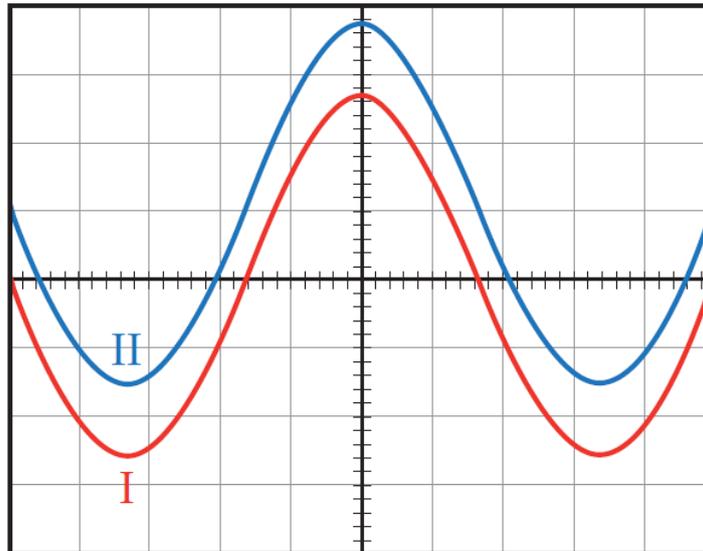
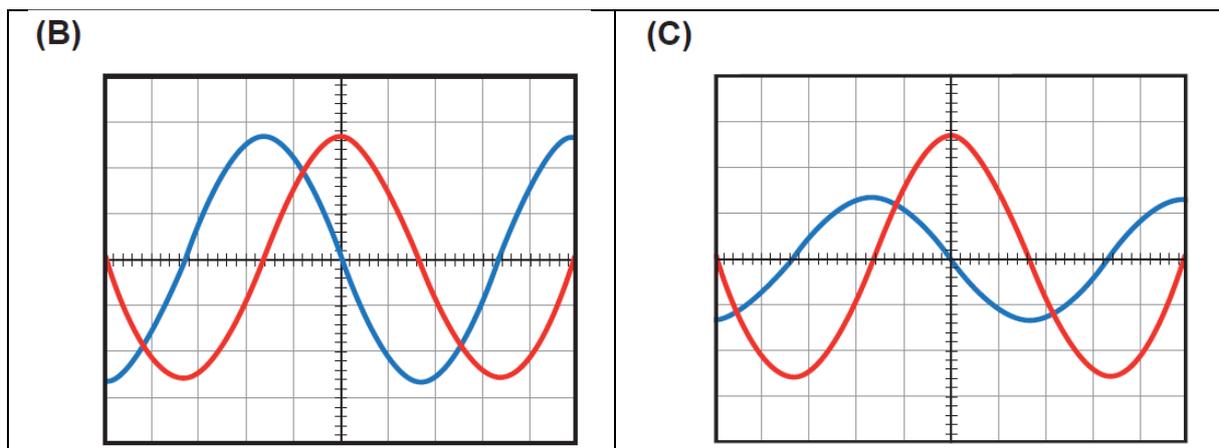


10. Dois microfones idênticos, ligados a um osciloscópio, foram colocados à mesma distância de um altifalante.



10.2. O microfone que originava o sinal II foi afastado do altifalante de uma distância igual a um quarto do comprimento de onda da onda sonora produzida pelo altifalante.

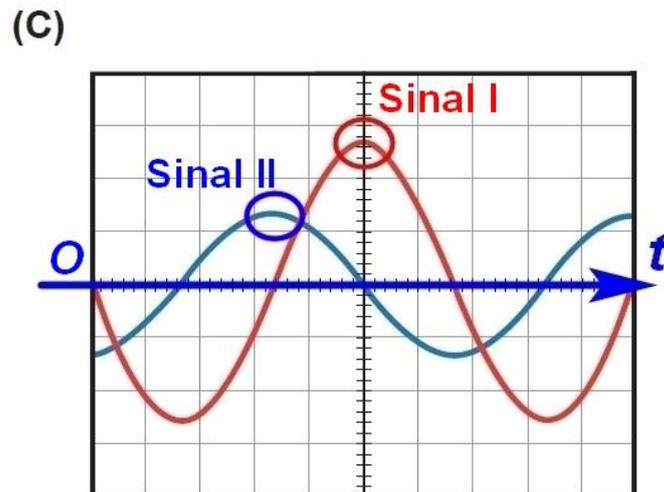
Qual das opções seguintes apresenta os sinais que seriam observados no ecrã do osciloscópio, após o ajuste do sinal II ao ecrã do osciloscópio?



**Porque C (e B) estão errados relativamente ao desfasamento proposto pelo enunciado. 3 explicações.**

## 1 – Explicação intuitiva

Primeiro há que compreender que em ambas as situações, B e C, os extremos da curva correspondente ao sinal captado pelo microfone II chegam antes dos mesmos extremos do microfone I, pois o eixo dos tempos está orientado da esquerda para a direita. Ver figura em baixo. O ponto  $O$  assinala a origem do eixo dos tempos, referência que usaremos em todo o documento.



Vamos imaginar que podemos seguir a crista duma onda sonora, como podemos seguir a crista duma onda num lago quando deixamos cair uma pedra, ou quando seguimos a crista duma onda no mar antes de atingir a costa. É então intuitivo perceber que um observador colocado mais afastado da fonte das ondas deverá ser atingido pela crista depois e não antes dum observador colocado mais próximo. Isto é, o máximo de II deveria estar depois do máximo de I e não o contrário como temos em B e C.

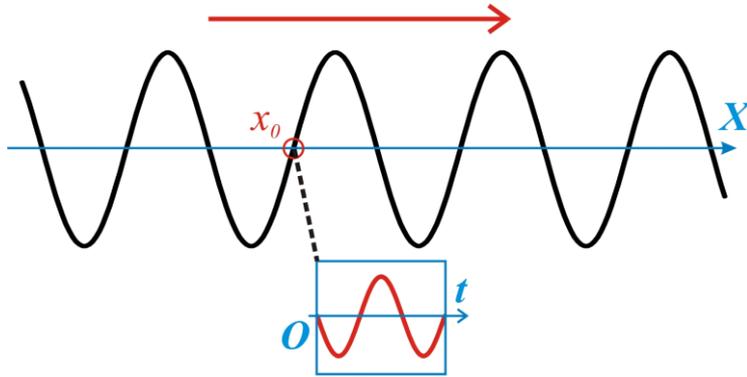
## 2 – Explicação gráfica

Vamos aqui desenhar no espaço a onda sonora (desprezando a atenuação com a distância) capaz de gerar os registos temporais do problema. Vamos identificar com  $x_0$  a posição do microfone I que não se altera na experiência. Vamos também designar como  $t_0$  o instante em que se dá o início do varrimento no osciloscópio (ponto  $O$  da figura anterior). Por simplicidade podemos considerar

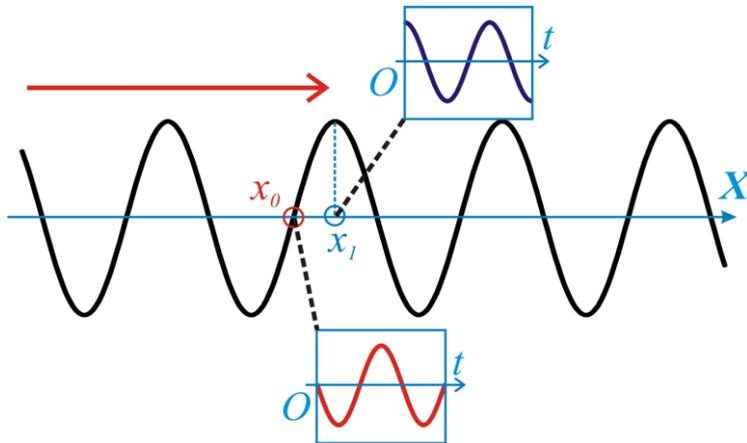
$$x_0 = 0 \quad e \quad t_0 = 0$$

No instante inicial a onda atinge o microfone I quando a sua amplitude é 0 e a decrescer. Isso só é possível se nesse instante inicial a onda tiver no espaço a configuração da figura em baixo.

A onda propaga-se no sentido positivo do eixo dos XX (seta vermelha). O retângulo mostra o que se deveria observar no ponto  $x_0$  a partir do instante  $t_0$ .



Vamos agora deslocar um dos microfones para o ponto  $x_1$  deslocado de  $\frac{1}{4}$  de comprimento de onda ( $\lambda/4$ ). O novo ponto de observação será o ponto ilustrado na figura em baixo. O instante da imagem espacial é o mesmo da figura anterior,  $t_0 = 0$ . Podemos assim perceber que nesse instante o microfone II deve registar um máximo de amplitude e o registo no osciloscópio será aquele que se mostra na figura. Contrário, portanto, às propostas C e B da resolução.



### 3 – Explicação algébrica

Uma onda plana monocromática que se propaga a uma dimensão na direção positiva do eixo dos X (portanto sem atenuação) pode ser descrita com generalidade pela equação

$$y(x, t) = A \sin(\omega t - kx + \varphi) \quad \text{com} \quad k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

$\varphi$  é a fase inicial do movimento, quando  $x = t = 0$ . Considerando como antes que o ponto de observação inicial dos microfones se encontra em  $x_0 = 0$  e que a origem do eixo dos tempos no osciloscópio coincide com  $t_0 = 0$  (ponto  $O$  das figuras anteriores), é fácil inferir que nesse caso a fase inicial vale  $180^\circ$  ou  $\pi$  radianos. As imagens do osciloscópio na posição inicial dos microfones ( $x_0 = 0$ ) são então dadas por

$$y(0, t) = A \sin(\omega t + \pi)$$

Deslocamos agora um dos microfones para a posição  $x_1 = x_0 + \lambda/4 = \lambda/4$ . Desprezando a variação de amplitude, que não é relevante para este problema, teremos então que o microfone em  $x_1$  deverá dar no osciloscópio um sinal descrito algebricamente por

$$y(x_1, t) = y\left(\frac{\lambda}{4}, t\right) = A \sin(\omega t - kx_1 + \pi) = A \sin\left(\omega t - \frac{2\pi\lambda}{\lambda} \frac{\lambda}{4} + \pi\right)$$

$$y(x_1, t) = A \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2} + \pi\right) = A \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$

Para  $t = 0$ , isto é, quando se dá o início do varrimento no osciloscópio, ponto **O** das figuras anteriores, esta função vale +A, ou seja, o microfone deve registrar um máximo da amplitude e não um mínimo como se mostra nas propostas B e C da prova.