

1 Descrição do fenómeno físico escolhido e dos métodos utilizados

1.1 Efeito de *Doppler* e cone de *Mach*

Para o projeto final da cadeira de oscilações e ondas, eu decidi representar graficamente o efeito de *Doppler*. Este consiste numa variação da frequência percebida como consequência do movimento relativo entre a fonte emissora e o observador. O efeito em si traduz-se na seguinte fórmula:

$$f = \left(\frac{v_o \pm v_r}{v_o \pm v_f} \right) f_0 , \quad (1)$$

na qual se considera:

- f - frequência percebida;
- v_o - velocidade de propagação da onda no meio considerado;
- v_r - velocidade do observador, relativamente ao meio. É adicionada a v_o se o observador se aproxima da fonte, ou subtraída se este se afasta;
- v_f - velocidade da fonte, relativamente ao meio. É adicionada a v_o se a fonte se afasta do observador, ou subtraída se esta se aproxima;
- f_0 - frequência emitida.

O sistema que eu considere é muito simples: admito um observador estático e uma fonte emissora com uma velocidade v , que a cada x segundos emite um pulso. Neste caso, como o observador está parado, a fórmula do efeito de *Doppler* assume a forma:

$$f = \left(\frac{v_o}{v_o \pm v_f} \right) f_0 . \quad (2)$$

A formação do designado cone de *Mach* verifica-se quando a velocidade a que se movimenta a fonte, relativamente ao meio, é superior à velocidade de propagação da onda considerada nesse meio. A estrutura do cone de *Mach* surge como consequência da sobreposição de frentes de onda, gerando-se aquilo que é conhecido como uma onda de choque. O termo cone de *Mach* é geralmente utilizado com referência à propagação de som no ar, mas aqui eu acabo por o usar de uma forma mais geral, uma vez que o meio que considero na simulação não tem que necessariamente ser o ar. De qualquer modo, é possível caracterizar o cone de acordo com o seu ângulo, com recurso à fórmula:

$$\mu = \arcsin \left(\frac{v_o}{v_f} \right) , \quad (3)$$

para a qual se considera que v_o e v_f representam exatamente o mesmo que descrito acima e μ designa o ângulo de *Mach*.

1.2 Métodos utilizados

Para o desenvolvimento deste projeto servi-me da linguagem de programação 'C'. Foi bastante importante a biblioteca do gtk-3.0, que me permitiu a construção da interface gráfica propriamente dita. Não acho muito importante divagar sobre os aspetos técnicos do programa neste relatório, pelo que incluí, à parte, um 'manual de instruções' do programa que deverá ser consultado caso pretenda mais informações. Recomendo a leitura da secção 4 (Detalhes do código), onde especifico os mecanismos utilizados na representação do *Red/Blueshift* e do cone de *Mach*.

2 Resultados e discussão dos mesmos

2.1 Visualização dos resultados

A fim de facilitar a navegação no programa, incluí 3 exemplos para ilustrar os fenómenos de maior interesse. Os detalhes destes exemplos (nomeadamente os valores) estão descritos no 'manual de instruções'. Os resultados podem ser vistos aqui ([1], [2], [3]).

2.2 Discussão dos resultados

2.2.1 Exemplo 1 ($f_0 = 10$ Hz)

Este é o exemplo básico do efeito de Doppler: a velocidade da fonte é inferior à velocidade de propagação de ondas no meio. Para um observador estático que se encontre à frente (ou seja, à direita) da fonte, a frequência observada é 26,67 Hz, ou $2,67 f_0$. Para um observador estático atrás (ou seja, à esquerda) da fonte, a frequência percetida é 6,15 Hz, ou $0,615 f_0$. Estes valores são obtidos com a expressão (2). Tornei visível na simulação os fenómenos de *Red/Blueshift*, consequentes do efeito de Doppler.

2.2.2 Exemplo 2 ($f_0 = 15$ Hz)

Neste exemplo é visível a formação de um cone de *Mach*, cujo ângulo foi calculado com a expressão (3). A simples observação dos padrões formados (ver figura [2]) torna evidente a sobreposição de frentes de onda responsável pela onda de choque (cone de *Mach*). Podemos ainda observar que, movendo-se a fonte mais rapidamente que as ondas, esta acabará por chegar a um certo ponto 'A' antes dos pulsos que emite. Se estivermos a falar do som, o que se verifica na realidade é a chegada da onda de choque antes do som propriamente dito. Isto é, como a fonte se antecipa ao som, a onda de choque chegará sem qualquer aviso prévio, contrariamente ao que se verifica para velocidades subsónicas. A fonte passará por nós e só mais tarde ouviremos alguma coisa.

2.2.3 Exemplo 3 ($f_0 = 20$ Hz)

Este último exemplo consiste no caso limite em que $v_f = v_o$. Como é visível na figura (3), verifica-se uma concentração das frentes de onda no ponto onde se encontra a fonte. Em teoria, isto resulta numa frequência percetida infinita. Decidi colocar este caso como exemplo apenas porque achei interessante.

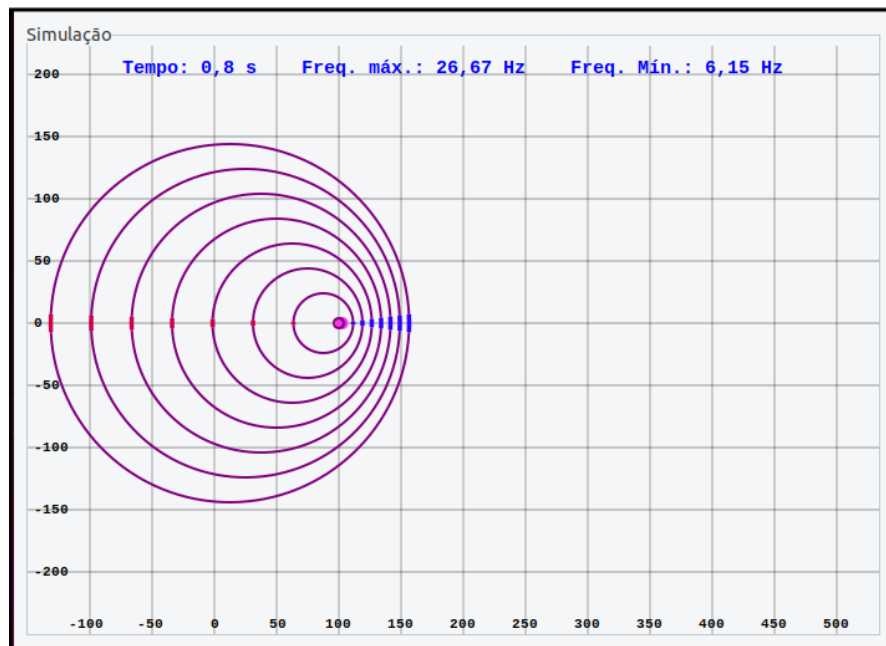


Figura 1: Exemplo 1

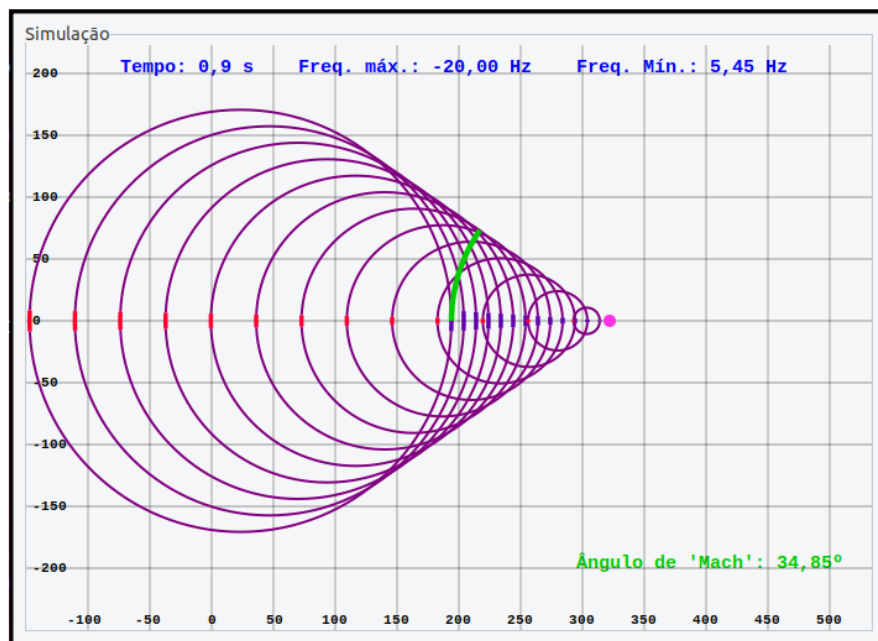


Figura 2: Exemplo 2

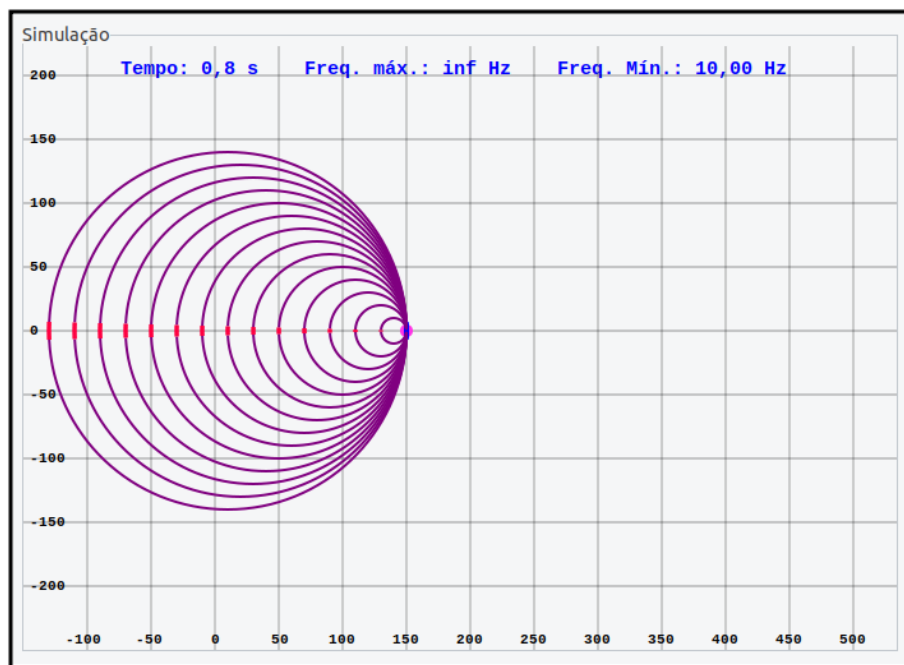


Figura 3: Exemplo 3