

UM BREVE ESTUDO SOBRE ONDAS EM UMA CORDA: O EXPERIMENTO DE MELDE

Vinicius Nunes de Queiroz¹
Rejane Maria da Silva Farias²

RESUMO

A Física, sempre recebeu olhares de ampla complexidade por parte daqueles que apresentam dificuldades em assimilar seus componentes fundamentais, principalmente devido à sua característica multidisciplinar. Isso repercute na capacidade interpretativa de inúmeros fenômenos, tornando a sua descrição bastante limitada e, por vezes, insuficiente. Nesse contexto, o aprendizado através da prática experimental se apresenta extremamente relevante, por possibilitar não somente a resolução de problemas específicos, mas sobretudo, pela apresentação de uma visão global do sistema estudado, que não fica limitado apenas aos aspectos teóricos. Assim, mais do que uma melhor compreensão de experiências e fatos cotidianos, um bom experimento de Física desperta a criatividade e imaginação do estudante, potencializando o seu aprendizado em diversas áreas do conhecimento, a saber, a Matemática, Engenharias, Química, Computação entre outras. Este trabalho se propõe a apresentar uma análise teórico-experimental sobre a propagação de ondas sonoras em uma corda, a partir do notório experimento de Melde, desenvolvido com materiais de baixo custo, em diversas situações. Trata-se de uma pesquisa bibliográfica com abordagem experimental a partir do experimento de Melde com ondas sonoras e se torna de fato relevante uma vez que pode ser aplicado tanto em ensino médio como nos cursos de graduação, na Grande Área de Ciências Exatas e da Terra, onde se almeja que a presente pesquisa disponibilize, na medida do possível, informações que venham a contribuir com o desenvolvimento do Ensino de Física, mas especificamente, de Ondas Estacionárias.

Palavras-chave: Física, Ondas Estacionárias, Cordas, Experimento de Melde

INTRODUÇÃO

O conceito de ondas, em especial ondas estacionárias, está presente em quase todos os currículos dos cursos de ciências exatas, como a Física, seja em cursos de ensino superior ou no ensino médio. Existem várias maneiras de se visualizar ondas em estado estacionário, sendo a mais simples delas o experimento da corda vibrante baseado no conceito de ondas transversais. No caso de ondas longitudinais, as ondas de som são as mais habitualmente utili-

¹ Graduado em Física pela Universidade Estadual da Paraíba – UEPB. Membro do grupo de pesquisa Eletromagnetismo e Matemática Computacional Aplicada (GEMCA), viniciusqueiroz0509@gmail.com Lattes autor: <http://lattes.cnpq.br/7113477517978146>;

² Doutoranda pelo programa de Pós-Graduação em Educação, Contextos Contemporâneos e Demandas Populares da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, rejane.silvarms@hotmail.com Lattes autor: <http://lattes.cnpq.br/2144168769554084>;

zadas e é, neste caso, que se encontram as dificuldades na visualização e interpretação correta dos fenômenos envolvidos. O fato de as ondas longitudinais oscilarem na mesma direção de propagação representa um maior grau de dificuldade em relação a sua interpretação gráfica e, como consequência, a sua compreensão. Além disso, é necessário um cuidado ainda maior na interpretação teórica neste caso, que muitas vezes negligencia fatores experimentais, que são cruciais para o correto entendimento do fenômeno: tais como a distância da fonte sonora, as frequências de resposta dos elementos do sistema, etc.

Dessa forma, este trabalho traz uma abordagem sobre movimentos ondulatórios que acontecem no dia-a-dia, naquilo que diz respeito à sua presença nas inúmeras situações vivenciadas cotidianamente. A pesquisa apresentada tem como principal objetivo explicar a dinâmica das ondas estacionárias por meio de uma revisão bibliográfica, e através de uma análise teórico-experimental, pela reprodução do notório experimento de Melde.

Para melhor entendimento, a pesquisa encontra-se dividida em duas seções, onde: a primeira aponta as ondas: conceitos e definições; enquanto que a segunda explica o experimento de Melde. O objetivo principal deste estudo, é apresentar uma contribuição para uma melhor compreensão sobre o universo fenomenológico das ondas estacionárias, no caso especial da propagação em uma corda

METODOLOGIA

Pesquisa bibliográfica com abordagem qualitativa que pretende apresentar o experimento de Melde através de duas seções organizadas. A escolha por esse tipo de pesquisa se deu por entender-se que experimentalmente é muito mais assecível a aquisição do saber. Através da abordagem qualitativa se terá as condições de análises e discussões com muito mais propriedade dos dados.

REFERENCIAL TEÓRICO

O homem sempre sentiu fascínio e curiosidade pelas manifestações dos fenômenos da ondulatória, notadamente, a movimentação das ondas do mar. Devido a sua capacidade de observação e descrição, percebeu que estamos cercados por ondas de diversas naturezas: ondas mecânicas, sonoras, luminosas, ondas de rádio, eletromagnéticas, etc. Na história da Física, grandes cientistas dedicaram-se ao estudo das ondas, entre eles se destacam: Christian Huygens

(1629-1695), Robert Hooke (1635-1703), Isaac Newton (1643-1727), Guglielmo Marconi (1874-1937), Doppler (1803-1853), entre outros.

Graças ao estudo sistemático sobre a natureza das ondas é que foram desenvolvidos muitos dos avanços tecnológicos do mundo moderno, como a televisão, o rádio, as telecomunicações via satélite, o radar, o forno de micro-ondas, etc.

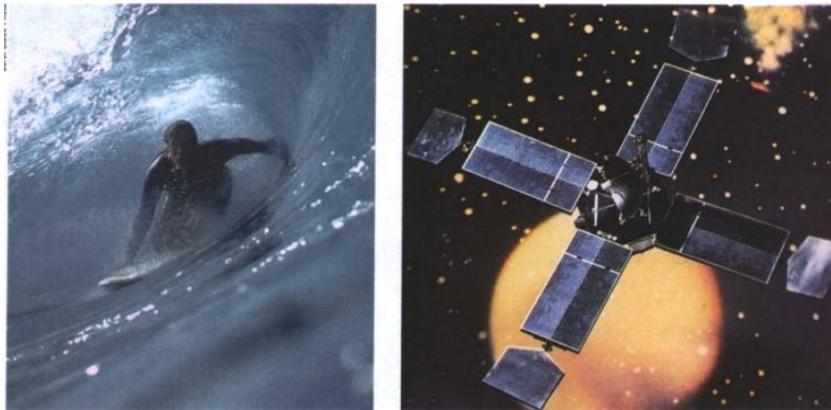


Figura 1 – Exemplos de Ondas. a) Onda no mar. b) Ondas de rádio via satélite.
Fonte: Site Unime, 2001.

O que se apreende do cotidiano é que muitos desses utensílios presentes na vida moderna criam ruídos e se tornam fontes de um dos objetos de estudo da Física, as chamadas ondas sonoras. A pesquisa sobre a Ondulatória, nos dias atuais, é de grande importância para diversas áreas da Ciência. Pode-se citar a Medicina, por exemplo, como auxiliar na formulação de diagnósticos das enfermidades. Também ela pode ser usada para o tratamento de doenças, através da radioterapia. Atualmente os diagnósticos de doenças, estão sendo efetuados por imagens formadas através da emissão de raios, compostos por ondas eletromagnéticas. Em outras profissões a ondulatória é de suma importância, como: Arquitetura, Engenharias, shows de teatro, musicais, etc. Nesta seção iremos listar as principais características das ondas, do ponto de vista físico e matemático, visando introduzir o experimento de ondas estacionárias de Melde.

O EXPERIMENTO DE MELDE

Franz Emil Melde (11/03/1832 — 17/03/1901), físico, professor universitário e pesquisador alemão, ficou conhecido graças a um experimento realizado sobre as ondas estacionárias em uma corda, que leva o seu nome. Com o experimento de Melde é possível de-

terminar o padrão das ondas estacionárias e medir a velocidade de uma onda transversal em uma corda, dando-nos uma melhor compreensão da interferência em ondas mecânicas.

Quando duas ou mais ondas se movem em um meio, a onda resultante nessa região será obtida a partir da soma das funções individuais, que descrevem o comportamento de onda de cada uma delas. Essa operação de adição é conhecida como o princípio da superposição de ondas, cuja aplicação é válida desde que as equações que governam o fenômeno sejam lineares. A sobreposição de ondas retidas entre dois pontos é conhecida como ondas estacionárias, e são causadas por incidentes e várias reflexões entre os referidos pontos. Assim, a aferição do fenômeno de interferência construtiva (ou destrutiva) determinará a onda máxima (ou mínima) resultante.

Na construção de um experimento de baixo custo, que permita um estudo satisfatório das ondas estacionárias em uma corda, é necessária uma lista de materiais simples (Figura 2): 1 motor de impressora de 12V (com frequência de rotação conhecida), 4 parafusos pequenos, 7 porcas pequenas, 7 arruelas pequenas, 6 pregos pequenos, 1 fonte ajustável de 12V, 2 cabos plug banana/garra jacaré, 1 linha de crochê, 1 raio de bicicleta, 1 chave liga e desliga, 30cm de fio azul, 30cm de fio branco, 2 pedaços de compensado de 40x10cm, 3 bases de plástico, 1 mola pequena, 1 polia e 1 régua para medir os comprimentos de onda e as amplitudes.

Na montagem mostrada na Figura 2, o motor de impressora (com frequência fornecida pelo fabricante de $F = 1.500$ rpm) é conectado a uma fonte ajustável de 12V, onde atinge uma certa frequência provocando pequenos distúrbios na linha de crochê. A frequência fundamental pode ser obtida a partir da seguinte forma:

$$f = \frac{F}{N} \quad (1)$$

onde: $N = 60$ rotações, que resulta em uma frequência fundamental de $f = 60$ Hz.

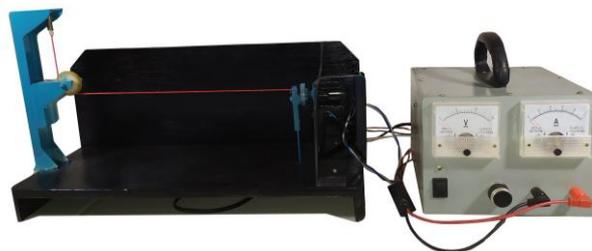


Figura 2 – Imagem dos objetos utilizados.
Fonte: Própria, 2022.



Figura 3 – Imagem dos objetos utilizados.
Fonte: Própria, 2022.

As perturbações se propagam ao longo da linha, percorrendo uma distância λ até a outra extremidade fixa, onde uma mola exerce uma tensão no cordão. As ondas estacionárias serão observadas quando a frequência, da fonte de vibrações (o motor), coincidir com uma das frequências da série de harmônicos. O comprimento de onda de cada harmônico pode ser medido com uma régua simples e, a partir destes dois dados, é possível calcular a velocidade de propagação da onda na corda.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O próximo passo é realizar a coleta de dados para testar a eficiência do experimento de Melde de baixo custo. Com o motor ligado e a linha de crochê posta para oscilar, movimentamos a mola presa na extremidade da corda na direção da fonte até formar uma figura de interferência. Com a régua medimos a amplitude (A) da onda gerada, que corresponde à distância entre a crista até o eixo horizontal que passa exatamente sobre a fonte da oscilação. Obtemos, assim os seguintes resultados:

- 1º Harmônico: $A = 0,040\text{m}$ e $\lambda = 0,270\text{m}$.



Figura 4 – 1º Harmônico obtido experimentalmente.

Fonte: Própria, 2022.

- 2º Harmônico: $A = 0,030\text{m}$ e $\lambda = 0,260\text{m}$.

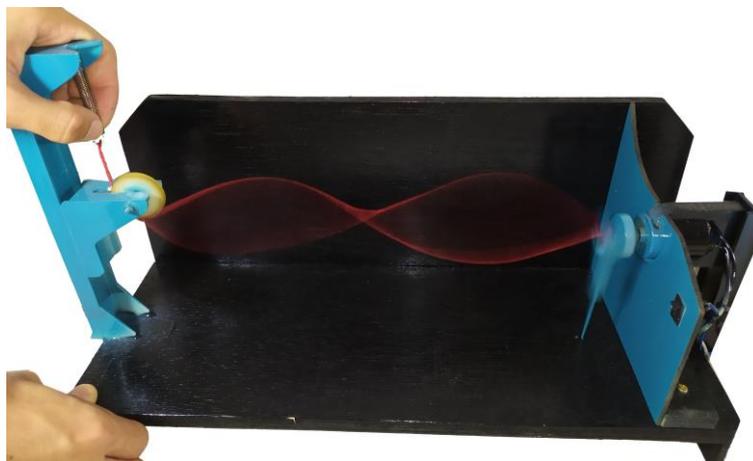


Figura 5 – 2º Harmônico obtido experimentalmente.

Fonte: Própria, 2022.

- 3º Harmônico: $A = 0,020\text{m}$ e $\lambda = 0,175\text{m}$.

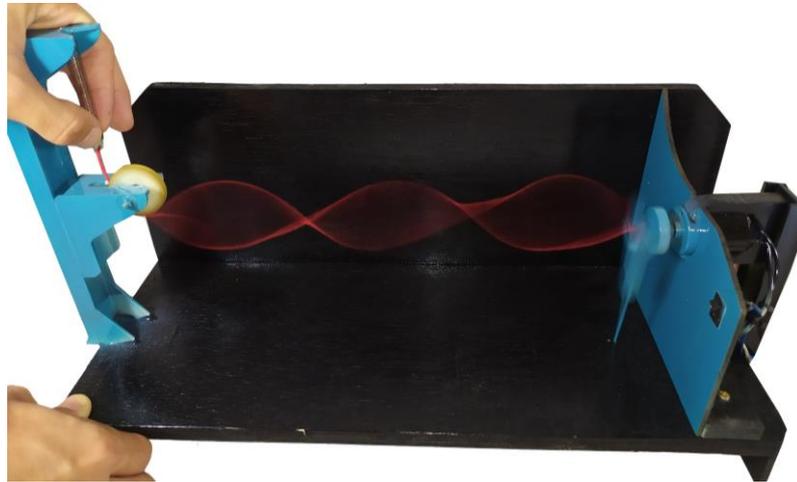


Figura 6 – 3º Harmônico obtido experimentalmente.

Fonte: Própria, 2022.

- 4º Harmônico: $A = 0,015\text{m}$ e $\lambda = 0,290\text{m}$.

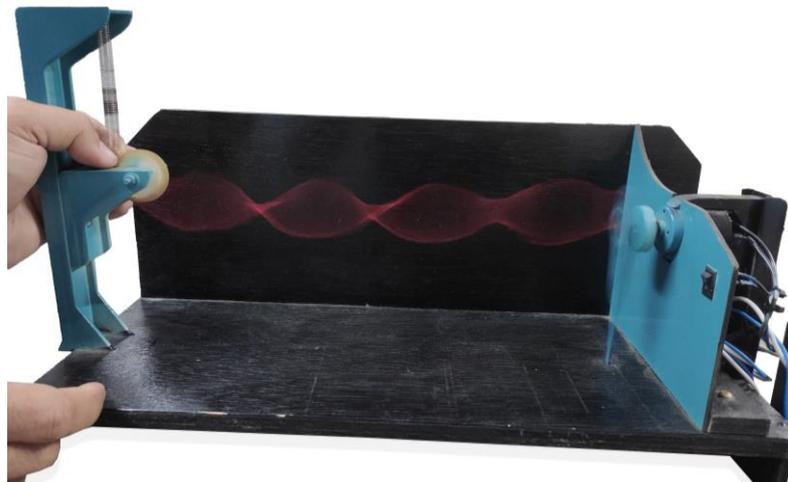


Figura 7 – 4º Harmônico obtido experimentalmente.

Fonte: Própria, 2022.

Substituindo os valores obtidos na equação da velocidade, calculamos a velocidade de propagação da onda que geram os harmônicos mostrados nas figuras acima.

Tabela 1 – Velocidade de propagação em unidades S.I.

Harmônico	λ (m)	$v = \lambda f$ (m/s)
1 ^o	0,270	6,750
2 ^o	0,260	6,500
3 ^o	0,175	4,375
4 ^o	0,290	7,250

Logo em seguida é realizado a coleta de dados para testar a eficiência do experimento de Melde com equipamento industrial. Com o motor ligado e a linha de crochê posta para oscilar, movimentamos dinamômetro na extremidade da corda na direção da fonte até formar uma figura de interferência. Com a régua e trena medimos a amplitude (A) da onda gerada, que corresponde à distância entre a crista até o eixo horizontal que passa exatamente sobre a fonte da oscilação. Obtemos, assim os seguintes resultados:

- 1^o Harmônico: $A = 0,060\text{m}$ e $\lambda = 0,497\text{m}$.



Figura 8 – 1^o Harmônico obtido experimentalmente.

Fonte: Própria, 2022.

- 2º Harmônico: $A = 0,020\text{m}$ e $\lambda = 0,480\text{m}$.

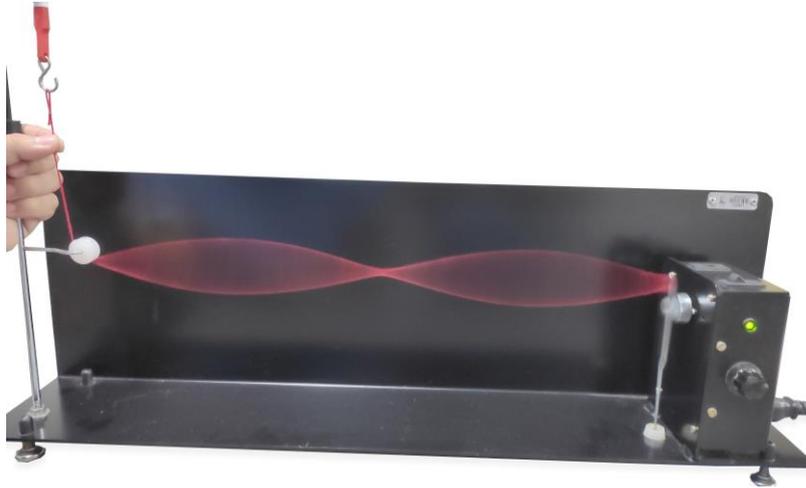


Figura 9 – 2º Harmônico obtido experimentalmente.

Fonte: Própria, 2022.

- 3º Harmônico: $A = 0,0175\text{m}$ e $\lambda = 0,490\text{m}$.

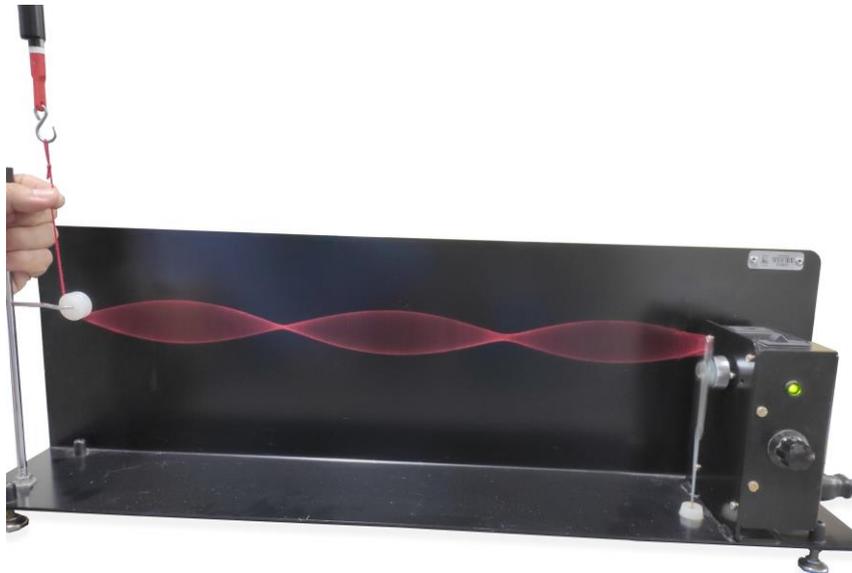


Figura 10 – 3º Harmônico obtido experimentalmente.

Fonte: Própria, 2022.

- 4º Harmônico: $A = 0,015\text{m}$ e $\lambda = 0,500\text{m}$.



Figura 11 – 4º Harmônico obtido experimentalmente.

Fonte: Própria, 2022.

Substituindo os valores obtidos na equação da velocidade, calculamos a velocidade de propagação da onda que geram os harmônicos mostrados nas figuras acima.

Tabela 2 – Velocidade de propagação em unidades S.I.

Harmônico	$\lambda(\text{m})$	$v = \lambda f$ (m/s)
1º	0,470	11,750
2º	0,480	12,000
3º	0,490	12,250
4º	0,500	12,500

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante das perspectivas propostas ao longo do trabalho, compreende-se a eficácia do aprendizado experimental no entendimento dos fatos científicos, especialmente, no ramo das Ciências Exatas. Assim, a assimilação prática do funcionamento de conceitos básicos e essenciais é indispensável para o êxito de qualquer disciplina. Com um experimento montado com materiais simples, e de baixo custo, fomos capazes de determinar grandezas fundamentais no estudo de ondas em uma corda com um erro experimental aceitável, do ponto de vista didático.

Nesse contexto, a aplicação do experimento de Melde confirma que um pulsador (mecânico ou manual) provoca movimentos ondulatórios padronizados, gerando uma superposição, ou seja, vibrações que, ao tocarem um objeto fixo, retornam de forma invertida, em sentido simétrico e que há uma relação diretamente proporcional da velocidade de propagação da onda e o comprimento de onda.

Por fim, constatamos que há inúmeras maneiras de realizar o experimento descrito ao longo deste trabalho, de forma simples, haja vista que os materiais básicos utilizados não afetam na qualidade de sua realização.

REFERÊNCIAS

[1]Júnior, F. R., Ferraro, N. G., Soares, P. A. T. (1999), *Os fundamentos da física*. São Paulo: Moderna.

Halliday, Resnick, Walker (2009), *Fundamentos de física, volume 2: gravitação, ondas e termodinâmica*. Rio de Janeiro: LTC.

[2]Young, Freedman e Ford (2008), *Física II: Termodinâmica e Ondas*. São Paulo: Addison Wesley.

[3]Ribeiro, T. (2008) *Onda Estacionária*. Disponível online: <https://www.infoescola.com/fisica/onda-estacionaria/>. Consultado em 10/06/2022.

[4]SILVA, D. C. M. (2008), *Ondas Estacionárias*. Disponível online: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/ondas-estacionarias.htm>. Consultado em 10/06/2022.