

## EXPERIMENTO 6 - PRINCÍPIO DA INCERTEZA

### INTRODUÇÃO:

O princípio da incerteza consiste num enunciado da mecânica quântica formulado em 1927 por Heisenberg. Tal princípio estabelece um limite na precisão com que certos pares de propriedades de uma dada partícula física, podem ser conhecidos. Heisenberg propôs em 1927 que a nível quântico quanto menor for a incerteza na medida posição, maior será a incerteza de seu momento linear e vice-versa.

Esse princípio diz que não é possível medir a posição ( $x$ ) e o momento ( $p$ ) de um partícula simultaneamente, com precisão absoluta. Multiplicando os erros nas medições destes valores tem que dar um número maior ou igual à  $\hbar/2$ , onde  $\hbar = h/2\pi$ .

A fórmula que acompanha o princípio é:

$$\Delta x \Delta p \geq \hbar/2 \quad (1)$$

Partindo das relações de de Broglie e Einstein, obtemos a relação de princípio de incerteza válida também para a energia  $E$ , versus o tempo  $t$ :

$$p = \frac{\hbar \cdot 2\pi}{\lambda} = \hbar k$$

$$E = \hbar \omega$$

$$\Delta E \Delta t \geq \hbar/2 \quad (2)$$

A equação (1) pode ser comprovada a partir de um experimento com ondas eletromagnéticas, através da difração. E a eq. 2 pode ser validada através de experiência com onda mecânica, com a aquisição de um sinal sonoro o a análise de sua amplitude em função do tempo.

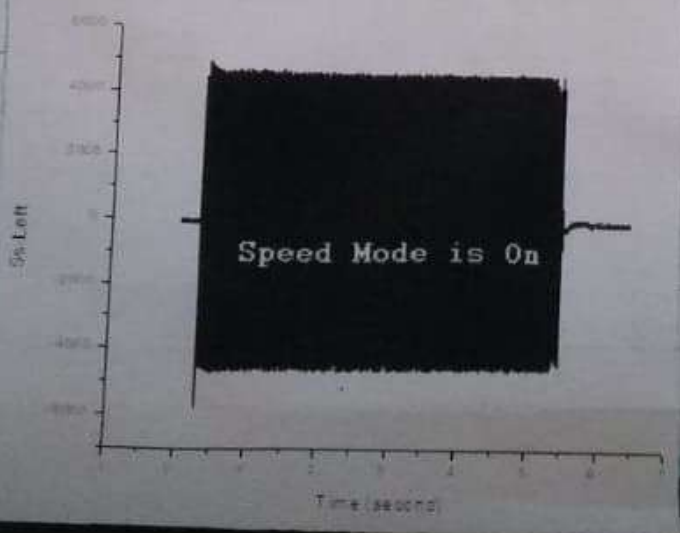
O experimento possui 2 partes, na qual analisamos as ondas sonoras com um gerador de frequência e quatro diapascões. Na segunda parte através de ondas eletromagnéticas e difração.

- **PARTE 1:** Com um gerador de função AC e frequência de 200 Hz, foi acoplado um microfone com um computador para captação da amplitude em função do tempo da onda sonora em aproximadamente  $\frac{1}{5}$  s, assim com passos de 5s em 5s até 50s foram coletados os pulsos sonoros. Após isso com a transformada de Fourier das amplitudes, foi possível obter a incerteza da frequência através do método largura de meia altura. O mesmo processo foi feito com 4 diapascões, contudo com um tempo fixo em 20ms dessa vez. Analisando a eq. 2

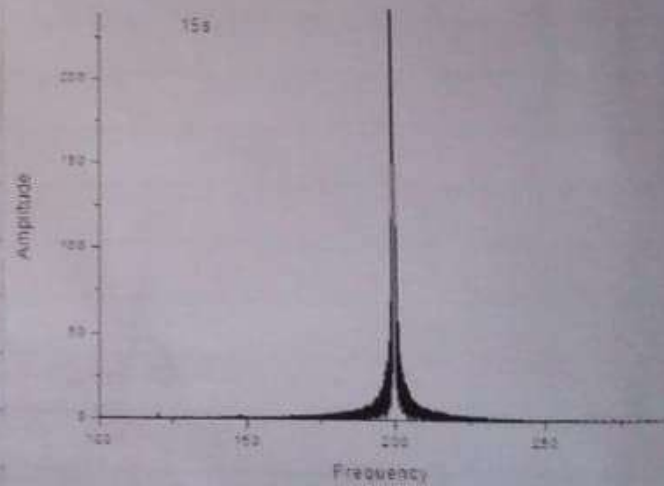
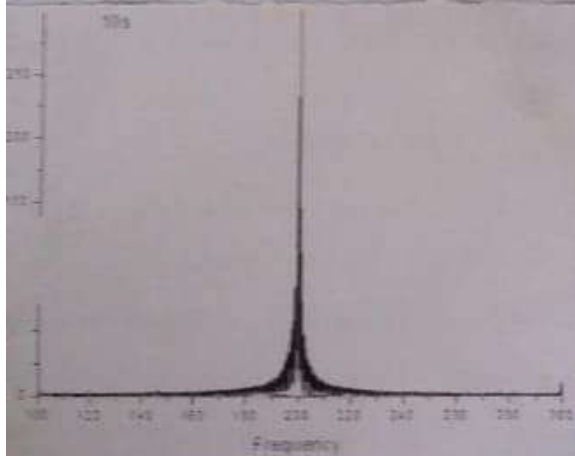
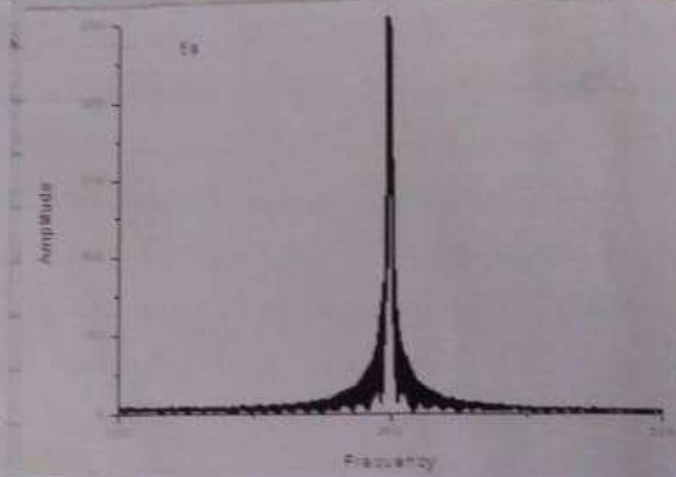
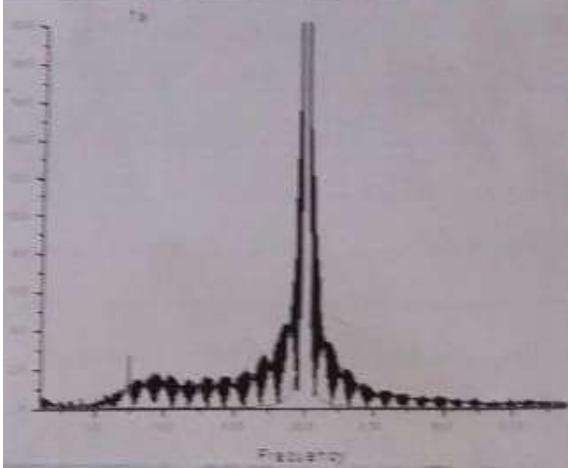
- **PARTE 2:** Foi posicionado e alinhado um laser, a uma fenda simples de tamanho variável e um anteparo. Com o laser ligado, foi se diminuindo o tamanho da fenda e analisando o padrão de difração formado até o anteparo. Mediu-se então o tamanho da fenda com relação ao tamanho do maior pico formado na difração no anteparo. Analisando a eq. 1

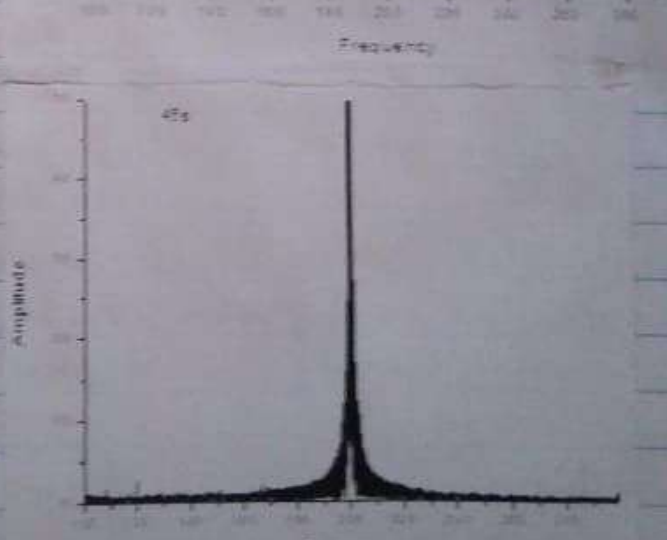
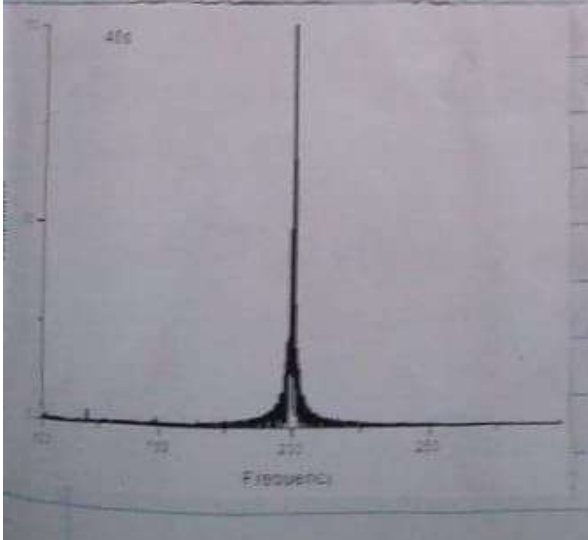
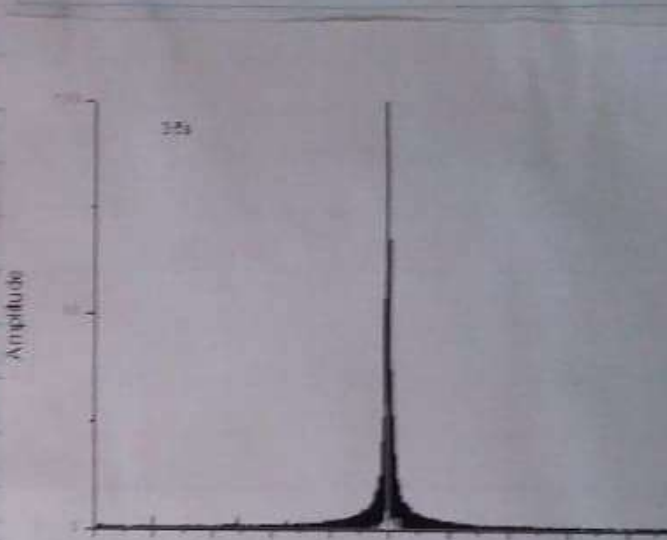
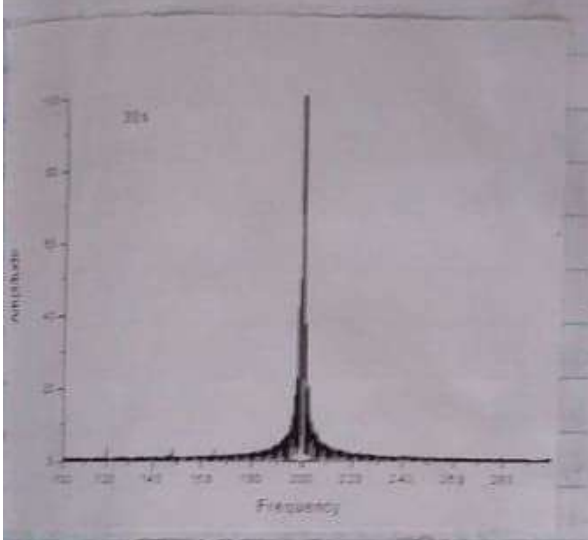
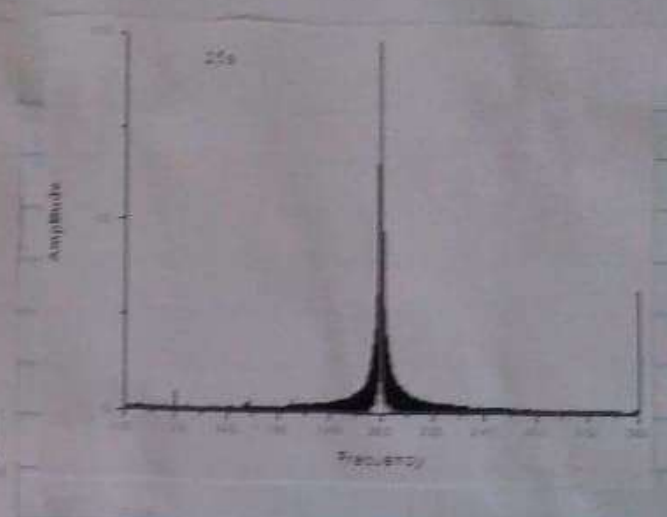
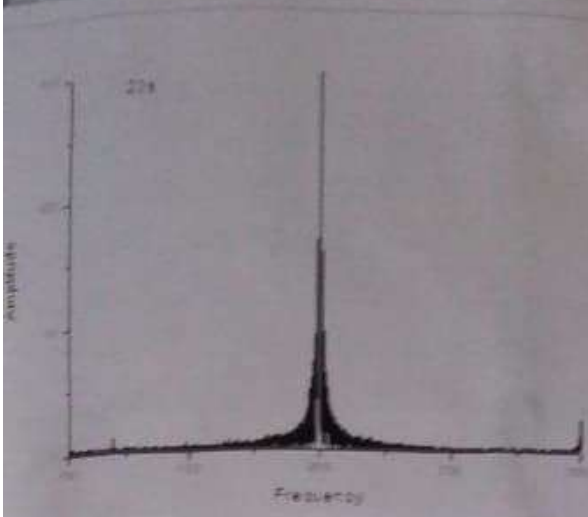
## RESULTADOS E DISCUSSÕES

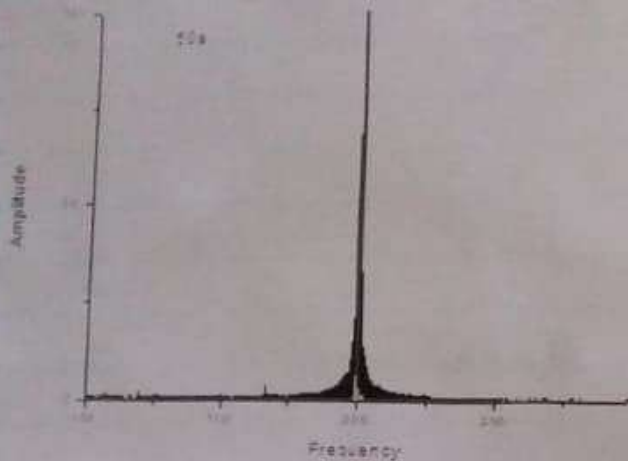
Com os dados do som coletados foi graficado, para os diversos valores de tempo (de  $\frac{1}{5}$  s até 50s), intensidade por tempo. Um exemplo da forma do gráfico é dado abaixo:



Com o ~~de~~ gráfico anterior foi calculado a transformada de Fourier para obter gráficos de Amplitude x Freqüência para obter um pico de amplitude e assim obter o erro na freqüência para validar o Princípio da Inversão. Assim tem-se todos os gráficos de  $t_s$  até 50s ~~em~~ em 5 em 5







Como pode ver, todos os gráficos apresentam um pico. E através do método largura de meia altura foi possível determinar a incerteza na frequência.

Assim obtve-se a tabela, para melhor visualizar os dados, com frequência, Energia (que

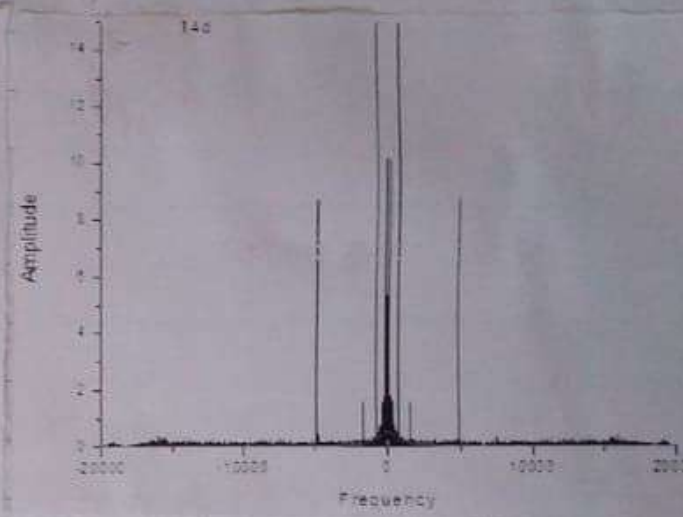
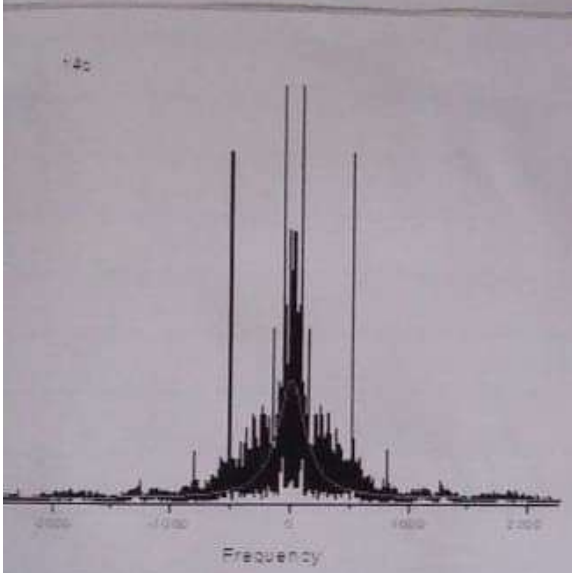
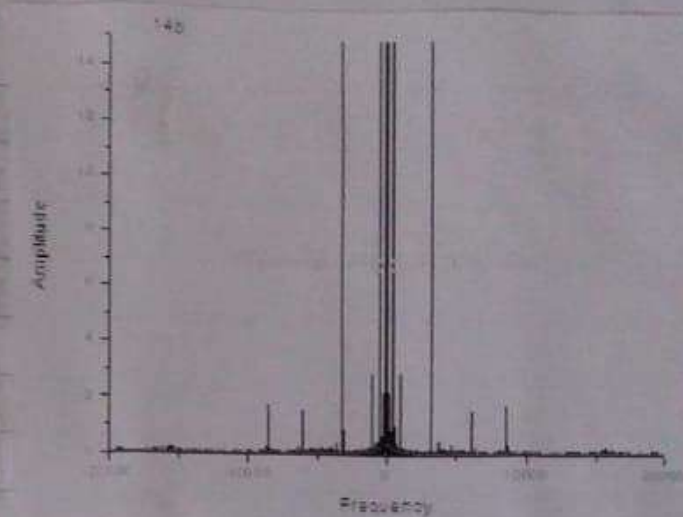
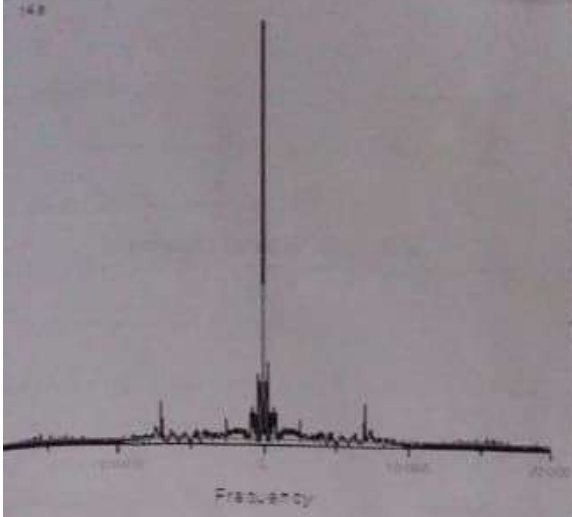
é calculado através de  $E = hf$ ) e a multiplicação de  $\Delta E$  com  $\Delta t$ , para avaliar a princípio, valores tem que ser maior que  $\hbar/2$  que é  $5,27 \times 10^{-35} \text{ m}^2 \text{ kg/s}$

$\Delta t (s)$	$\Delta f (Hz)$	$\Delta E (J)$	$\Delta E \cdot \Delta t$	$\hbar/2$
1	1,0607	7,03E-34	7,03E-34	5,27E-35
5	0,1637	1,08E-34	5,42E-34	5,27E-35
10	0,10649	7,19E-35	7,19E-34	5,27E-35
15	0,04998	3,30E-35	4,96E-34	5,27E-35
20	0,05303	3,51E-35	7,03E-34	5,27E-35
25	0,05627	3,73E-35	9,32E-34	5,27E-35
30	0,03086	2,04E-35	6,13E-34	5,27E-35
35	0,01361	9,02E-36	3,16E-34	5,27E-35
40	0,01522	1,01E-35	4,03E-34	5,27E-35
45	0,02541	1,68E-35	7,58E-34	5,27E-35
50	0,00964	6,39E-36	3,19E-34	5,27E-35

Com essa tabela é possível observar a validação do princípio da incerteza, pois os valores de  $\Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar/2$ , conforme visto em tabela. Apesar de os valores serem na ordem de  $10^{-34}$  enquanto teórico

é dado por  $10^{-35}$ , mostrando uma proximidade entre os valores.

Na sequência foi feito o mesmo experimento contudo com diapasões e um tempo fixo. Assim obtve-se os gráficos e também uma tabela pra comprovar o Princípio da Incerteza:



$\Delta t$ (s)	$\Delta f$ (Hz)	$\Delta E$ (J)	$\Delta E \cdot \Delta t$	$\hbar/2$
0,02	150,3499	9,96E-32	1,99E-33	5,27E-35
0,02	1435,711	9,51E-31	1,90E-32	5,27E-35
0,02	280,565	1,86E-31	3,72E-33	5,27E-35
0,02	1575,063	1,04E-30	2,09E-32	5,27E-35

A tabela foi feita da mesma forma que a anterior, com frequência e a multiplicação entre

$\Delta E \cdot \Delta t$  para ser maior que  $\hbar/2$ . É foi visto, conforme a tabela, a validação de Princípio da Incerteza.

Para a última parte foi feito um experimento de difração com um fenda para comprovar outra parcela do princípio de Incerteza (com posição e momento). Assim foi possível a tabela:

Medida	Abertura Micrômetro (mm)	Largura Feixe (cm)	Abertura (m) $\Delta y$	Largura Feixe (m) $\Delta p$	$\Delta y \cdot \Delta p$	$h/2$
1	10,00	2,65	0,01	0,0265	2,65E-04	5,27E-35
2	10,05	1,90	0,01005	0,019	1,91E-04	5,27E-35
3	10,10	1,05	0,0101	0,0105	1,06E-04	5,27E-35
4	10,15	0,80	0,01015	0,008	8,1E-05	5,27E-35
5	10,20	0,65	0,0102	0,0065	6,6E-05	5,27E-35
5	10,25	0,50	0,01025	0,005	5,1E-05	5,27E-35
6	10,30	0,40	0,0103	0,004	4,1E-05	5,27E-35
7	10,35	0,35	0,01035	0,0035	3,6E-05	5,27E-35
8	10,40	0,32	0,0104	0,0032	3,3E-05	5,27E-35

Como pode ser visto na tabela  $\Delta y \Delta p \geq h/2$  dado como a ~~este~~ abertura ~~o~~  $\Delta y$  e a largura  $\Delta p$ , pode ser confirmado o princípio.

## CONCLUSÃO

Através do experimento foi possível explorar o princípio da incerteza da posição em relação ao ~~momento~~ momento, através de ondas elétricas e a incerteza na energia através de ondas mecânicas. Percebeu-se a dificuldade em mensurar ao mesmo tempo as variáveis a serem analisadas tanto com as ondas <sup>mecânicas</sup> quanto com ondas eletromagnéticas.