



- 1) ..... NºUSP ..... função: .....  
2) ..... NºUSP ..... função: .....  
3) ..... NºUSP ..... função: .....  
Turma: ..... Data: .....

## Guia de Trabalho<sup>1</sup>

### 1) Objetivos

Estudar o fenômeno de ressonância num fio tensionado e, a partir desse estudo, determinar uma expressão empírica que estabeleça uma conexão entre as frequências de ressonância desse sistema com parâmetros relevantes ao experimento.

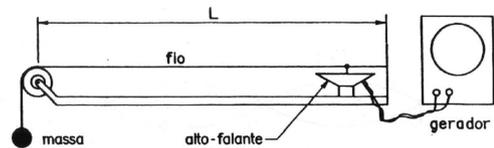


Figura 1: Arranjo experimental para o estudo do efeito de ressonância num fio tensionado.

### 2) Metodologia

Um fio de nylon tensionado e com extremidades fixas é submetido a oscilações forçadas por um alto-falante ligado numa das extremidades do fio e a um gerador de ondas senoidais, cuja frequência pode ser variada continuamente, conforme o esquema da Figura 1.

Para observar qualquer uma das formas apresentadas na Figura 2, deve-se variar a intensidade e a frequência no gerador de ondas. Entretanto, cada padrão não surge de pronto, sendo necessário sintonizar a frequência com certo cuidado, de forma a maximizar a amplitude observada e, evitar ao mesmo tempo, uma amplitude excessiva que introduziria o efeito indesejado de um "semi-nó", como mostra a Figura 3.

A frequência mais baixa ( $n = 1$ ) é denominada frequência fundamental  $f_1$  e depende dos parâmetros: comprimento da corda  $L$ , força tensora  $T$  e densidade linear de massa  $\mu$  (massa por unidade de comprimento do fio) do material de que é feita a corda. Todas as outras frequências de ressonância

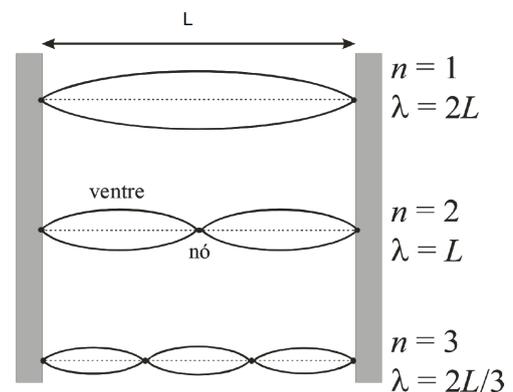


Figura 2: Modos normais de vibração de um fio de comprimento  $L$ .

<sup>1</sup>M. Donadelli, Física Experimental A, IFUSP - 2019

são múltiplos inteiros da frequência fundamental  $f_n = nf_1$ , onde  $n = 1, 2, 3 \dots$  é o número de ventres observado. Todos estes parâmetros compõem o seguinte modelo

$$f = Cn^\alpha L^\beta T^\gamma \mu^\delta, \quad (1)$$

onde  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  e  $\delta$  são constantes que podem ser extraídas dos dados experimentais. Cada parâmetro pode ser variado de maneira individual, com os outros mantidos fixos.

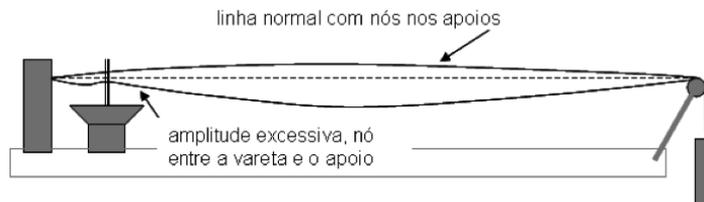


Figura 3: Efeito de semi-nó causado por amplitude excessiva aplicada no fio tensionado.

### 3) Atividade experimental

Determinar o valor das constantes do modelo expresso na Equação 1 a partir dos dados experimentais. Caso esta equação seja representativa do fenômeno de ressonância em um fio, ao se variar apenas um dos parâmetros, a dependência da frequência de ressonância com este será uma expressão da forma

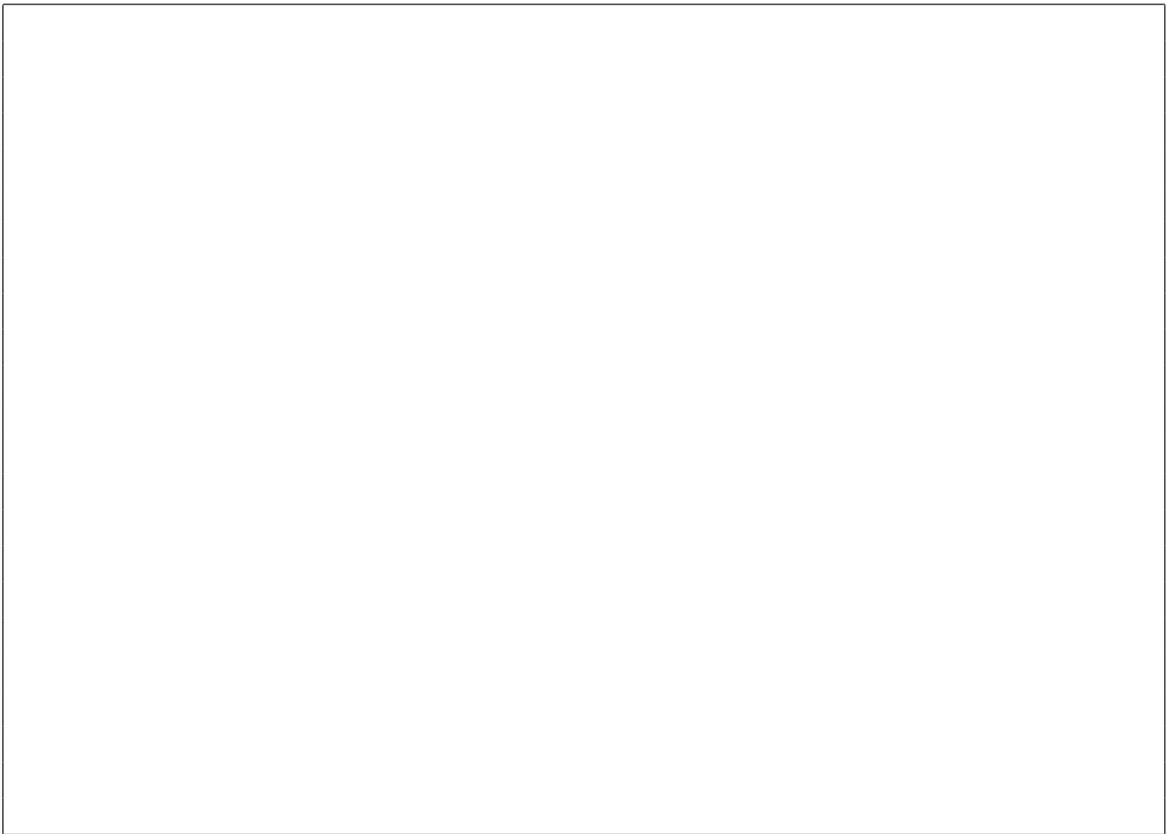
$$f(x) = Kx^a, \quad (2)$$

onde  $K$  é uma constante que depende de como os outros parâmetros foram fixados conforme a Equação 1,  $x$  é o parâmetro que está sendo variado ( $n$ ,  $L$ ,  $T$  ou  $\mu$ ) e  $a$  é a constante relacionada a este parâmetro ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , ou  $\delta$ ). Neste caso, fazendo-se um gráfico em escala di-log, obtém-se uma reta cuja inclinação é a constante  $a$ . A parametrização di-log é discutida no Guia de Estudos.

#### (i) Determinação das características do fio de nylon da montagem experimental [2,0 pontos]

Instrumentos de medida: balança de precisão, trena, micrômetro. Procedimento:

- medir a massa, o comprimento e o diâmetro das amostras de fio;
- para as medidas de massa e comprimento, adotar a incerteza do instrumento como  $\sigma_x$ ;
- a incerteza da densidade linear,  $\sigma_\mu$ , deve ser propagada a partir da incerteza dos operandos no quadro a seguir, lembrando que  $\mu = \frac{M}{L}$ ;
- preencher a Tabela 1 com os dados obtidos, não esquecendo de registrar a unidade de medida de cada grandeza.



fi	$\phi \pm \sigma_\phi$	$m \pm \sigma_m$	$L \pm \sigma_L$	$\mu \pm \sigma_\mu$
1	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$
2	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$
3	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$
4	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$
5	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$
6	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$
7	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$
8	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$

Tabela 1: Características das amostras de fios dos arranjos experimentais.

(ii) **Estudo do número de ventres, determinação da constante  $\alpha$**  [3,0 pontos]

Procedimento:

- preencher a Tabela 2 com os valores dos parâmetros que permanecerão fixos nesta etapa. Lembre-se que quilograma-força [kgf] é uma unidade de força definida como a força exercida por uma massa medida em quilogramas sujeita à aceleração da gravidade. Esta é a unidade que usamos em nosso dia a dia, quando medimos, por exemplo, o nosso peso numa balança de banheiro. Para converter 1kgf em newtons (N), lembramos que  $\vec{P} = m\vec{g}$  ( $g = 9,7864 \pm 0,0001 \text{ m/s}^2$ ). Ao expressar o valor da força tensora  $T \pm \sigma_T$ , propagar a incerteza lembrando que o sistema está em equilíbrio:  $T = P$ , não esquecendo de considerar a massa do suporte;

parâmetro	valor
$L \pm \sigma_L$ [cm]	$\pm$
$m \pm \sigma_m$ [g]	$\pm$
$T \pm \sigma_T$ [N]	$\pm$
$\phi \pm \sigma_\phi$ [mm]	$\pm$
$\mu \pm \sigma_\mu$ [mg/m]	$\pm$

Tabela 2: Parâmetros fixos para o estudo de número de ventres  $n$ , sua relação com a frequência de oscilação do fio e determinação da constante  $\alpha$ .

- preencher a Tabela 3 com as frequências de ressonância correspondentes aos diferentes números de ventres  $n$ , mantendo todos os outros parâmetros fixos, como indicado na Tabela 2. Em geral é possível observar até oito ou nove ventres. Lembre-se que o último dígito de sua medida deve ser duvidoso, portanto, não exato e a incerteza ( $\sigma_f$ ) deve expressar essa dúvida.

$n$	$f$	$\pm$	$\sigma_f$ [Hz]
1		$\pm$	
2		$\pm$	
3		$\pm$	
4		$\pm$	
5		$\pm$	
6		$\pm$	
7		$\pm$	
8		$\pm$	

Tabela 3: Dados das frequências de ressonância correspondentes a diferentes números de ventres  $n$ , usados para a determinação da constante  $\alpha$ .

- a incerteza da frequência de ressonância pode ser estimada variando-a em uma região em torno do máximo da amplitude da onda estacionária de modo que esta ainda possa ser observada;
- fazer um gráfico  $f_n(n)$  utilizando o Origin<sup>®</sup>, obtendo os coeficientes angular e linear com a respectiva incerteza. O resultado deve ser expresso no quadro abaixo, levando em conta o correto número de algarismos significativos e o gráfico deve ser anexado a este guia;

$\alpha \pm \sigma_\alpha$	$\pm$
coeficiente linear $\pm \sigma_{\text{coef.linear}}$	$\pm$

- conforme já discutido no guia de estudos, o modelo para  $f_n(n)$  é uma reta com coeficiente angular unitário. Verificar se o modelo proposto descreve os seus dados justificando sua resposta no espaço abaixo.

(iii) **Estudo da densidade linear do fio, determinação da constante  $\delta$**  [3,0 pontos]

Para esta etapa, as equipes devem fazer um rodízio por cada montagem experimental usando os mesmos valores para  $n$ ,  $L$  e  $T$ . O professor indicará esses dados da Tabela 4. Cada montagem possui um fio de diâmetro diferente, cuja densidade linear  $\mu$  correspondente será extraída da Tabela 1.

parâmetro	valor
$n$	
$L \pm \sigma_L$ [cm]	$\pm$
$T \pm \sigma_T$ [gf]	$\pm$

Tabela 4: Parâmetros fixos para o estudo da densidade linear do fio  $\mu$ , sua relação com a frequência do segundo modo de oscilação e determinação da constante  $\delta$ .

$\phi \pm \sigma_\phi$ [mm]	$f_2 \pm \sigma_{f_2}$ [Hz]	$\mu \pm \sigma_\mu$ [mg/m]

Tabela 5: Dados das frequências de ressonância do modo  $n = 2$  correspondentes a diferentes densidades  $\mu$  do fio de nylon, usados para a determinação da constante  $\delta$ .

Procedimento:

- para cada montagem, procurar a frequência de ressonância do modo  $n = 2$ ;
- fazer a medida com a montagem experimental da sua equipe, iniciando o preenchimento da Tabela 5.
- fazer um gráfico  $f_2(\mu)$  utilizando o Origin<sup>®</sup>, determinando o coeficiente angular da curva obtida e sua incerteza a partir do ajuste. O resultado deve ser expresso no quadro abaixo, levando em conta o correto número de algarismos significativos, anexando o gráfico a este guia;

$\delta \pm \sigma_\delta$	±
----------------------------	---

- verificar se o modelo proposto descreve os seus dados. Justificar a resposta no espaço abaixo.