



Prova Experimental

7 de julho de 2015

Instruções Gerais

- A prova experimental terá a duração de 5 horas e vale um total de **20 pontos**.
- Não abrir o envelope que contém os problemas nem tocar no equipamento experimental antes de ouvir o sinal sonoro que indicará o início da competição.
- Escrever as respostas, colocando-as nas caixas/tabelas apropriadas, nas Folhas de Resposta providenciadas. Os gráficos devem ser representados somente nas Folhas de Papel Milimétrico fornecidas. Folhas em Branco (marcadas com a letra **B**) são também providenciadas. Fazer uma cruz por cima de tudo o que pretender que não seja cotado (em qualquer folha).
- Preencher o cabeçalho (Código do participante, Número de página, etc.).
- Não é permitido sair do local de trabalho sem permissão para o fazer. Se precisar de qualquer assistência (calculadora que não funciona, necessidade de ir à casa de banho, etc.), chamar a atenção de um vigilante usando um dos dois cartões fornecidos (o cartão vermelho indica que necessita de ajuda e o cartão verde indica que quer ir à casa de banho).
- O início e o final da prova serão indicados com um sinal sonoro. Serão também ouvidos sinais sonoros que marcam a passagem de cada hora de prova. Adicionalmente, será ouvido um zumbido que indicará que faltam 15 minutos para o final da prova.
- Parar de escrever imediatamente no final da prova. Ordenar e numerar as Folhas de Resposta, Folhas de Papel Milimétrico e Folhas em Branco. Colocar todas as folhas no envelope fornecido e deixar o envelope sobre a mesa. Não levar para fora da sala de prova qualquer folha de papel.
- Esperar na mesa até que o envelope seja recolhido. Os guias irão conduzir os estudantes para fora da sala de prova quando todos os exames forem recolhidos.



Prova Experimental

7 de julho de 2015

10:00 – 15:00

Em 2015 celebra-se o Ano Internacional da Luz. As técnicas óticas desempenham um papel muito importante na Física Experimental. A difração é uma ferramenta incrivelmente poderosa que é usada em várias áreas científicas. A difração ajudou a descobrir a estrutura de moléculas complexas como o ADN e facilitou o estudo detalhado de muitas propriedades da matéria. As experiências que serão efetuadas hoje baseiam-se na difração da luz de um laser.

Questão E-I: **Difração em estruturas helicoidais** 10 pontos

Questão E-II: **Difração em ondas de tensão superficial da água** 10 pontos

As questões E-I e E-II recorrem ao mesmo banco ótico, mas usam equipamento diferente. Deve-se começar pela Questão E-I e posteriormente responder à Questão E-II.

Nota: NÃO é necessário calcular incertezas

Precauções importantes

- Não olhar para o feixe laser, quer diretamente quer através de qualquer dispositivo ótico.
- O laser que vai ser utilizado é um laser visível de baixa potência. É contudo recomendada a utilização de óculos de proteção enquanto se realizam alinhamentos do sistema ótico.
- Não colocar objetos altamente refletivos (anéis, relógios, etc.) no caminho do feixe laser.
- A montagem do lado direito foi pré-ajustada para a Questão E-II. Não deve ser alterada enquanto não se estiver a trabalhar na Questão E-II.
- Não tocar na superfície dos espelhos.
- Não utilizar a fonte de alimentação do equipamento para carregar o “tablet”.
- Evitar movimentos desnecessários durante a prova experimental. Não abanar a mesa ou as paredes do cubículo. As experiências com lasers requerem estabilidade.
- Não gerar ondas sinusoidais com o “tablet” com frequência superior a 500 Hz.

Difração em estruturas helicoidais

(Total de pontos: 10)

Introdução

A imagem do ADN obtida por difração de raios-X (Fig. 1) no laboratório de Rosalind Franklin, conhecida como “Foto 51”, foi a base da descoberta da estrutura em dupla hélice do ADN (Watson e Crick, 1952). Esta experiência irá ajudar a perceber os padrões de difração em estruturas helicoidais usando luz visível.

Objetivo

Determinar, por difração, os parâmetros geométricos de estruturas helicoidais.

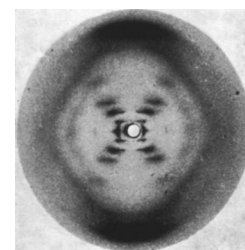


Figura 1: Foto 51.

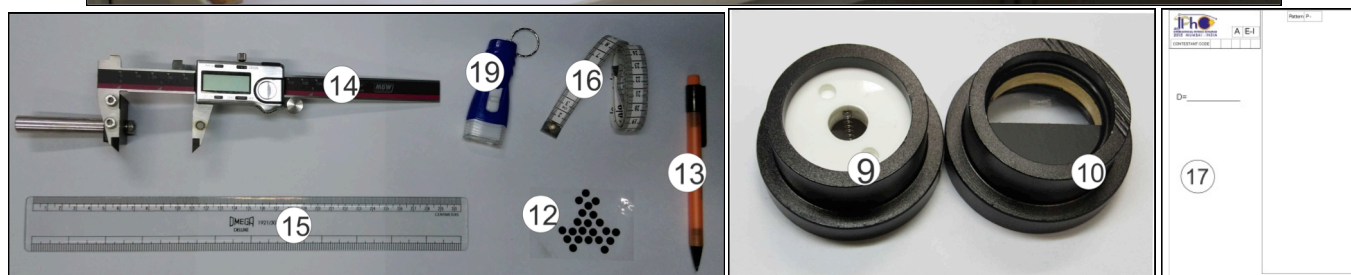
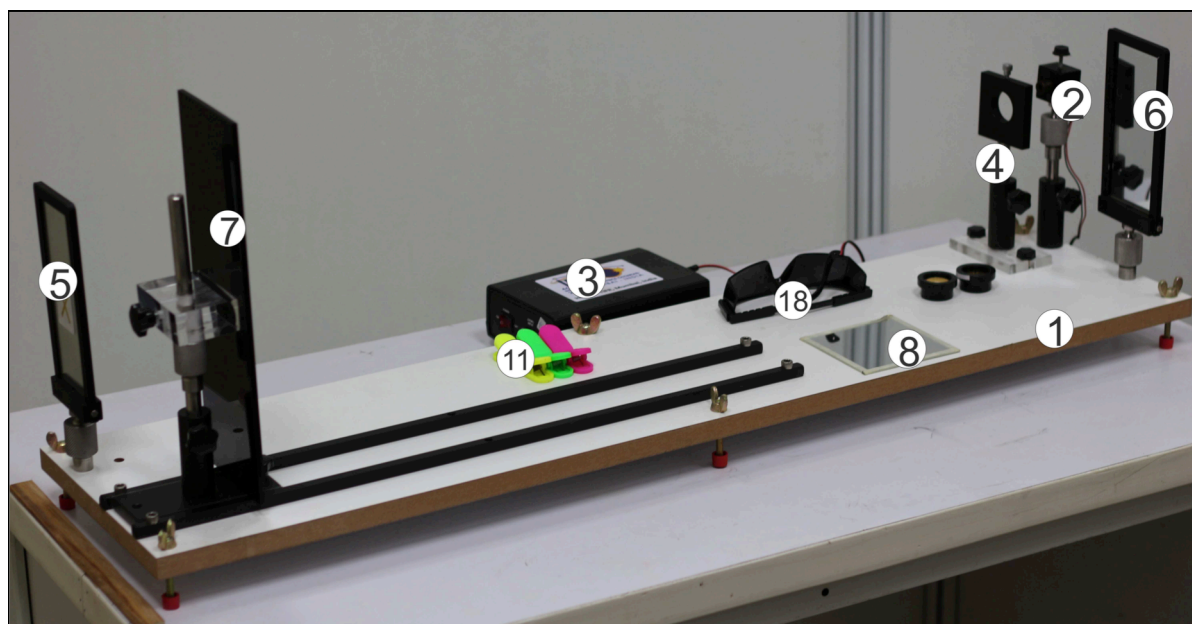


Figura 2: Montagem experimental para a questão E-I.

Lista de equipamento

[1]	Plataforma de madeira	[11]	Clips de plástico
[2]	Laser e suporte para laser	[12]	Autocolantes circulares negros
[3]	Fonte de tensão contínua para alimentação do laser	[13]	Lápis (porta-minas)
[4]	Porta-amostras e suporte	[14]	Craveira digital e suporte
[5]	Refletor esquerdo (espelho)	[15]	Régua de plástico (30 cm)
[6]	Refletor direito (espelho)	[16]	Fita métrica (1,5 m)
[7]	Écran (10 cm x 30 cm) e suporte do écran	[17]	Folhas para desenhar padrões
[8]	Espelho plano (10 cm x 10 cm)	[18]	Óculos de segurança para o laser
[9]	Amostra I (mola)	[19]	Lanterna a pilhas
[10]	Amostra II (padrão de dupla hélice impresso numa placa de vidro)		

Nota: Os itens [1], [3], [14], [15], [16] e [18] serão também usados na Questão E-II.

Descrição do equipamento

Plataforma de madeira [1]: Para prender rigidamente um par de calhas, o laser, os refletores, o écran e o porta-amstras.

Laser e suporte para laser [2]: Laser de comprimento de onda $\lambda = 635 \text{ nm}$ ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$) colocado num suporte metálico. A haste do suporte é fixa à sua base usando uma junta de bola ([20] na Fig. 3), permitindo o ajuste nas direções X-Y-Z. O laser pode ser rodado e fixo usando o parafuso do topo. O feixe laser pode ser focado rodando a tampa frontal da lente (seta vermelha na Fig. 3) de modo a obter um padrão de difração claro e nítido.

Fonte de tensão contínua para alimentação do laser [3]: O painel frontal possui um regulador de intensidade (“high”/“low”), a tomada de alimentação do laser, e três fichas USB. No painel traseiro encontram-se o interruptor e a tomada de ligação à rede elétrica (subfigura da Fig. 4).

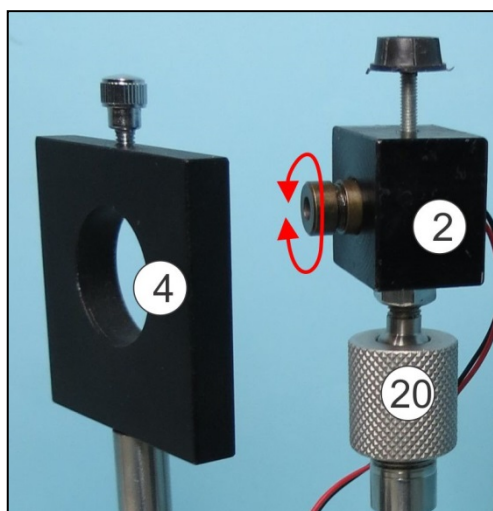


Figura 3: Laser e porta-amstras. [20] Junta de bola.



Figura 4: Fonte de alimentação.

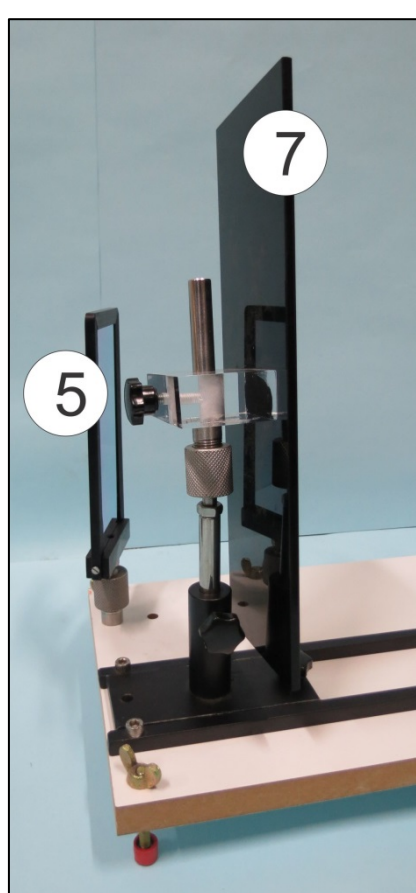


Figura 5: Refletor esquerdo e écran.

Porta-amstras e suporte [4]: O parafuso no topo deve ser usado para prender as amostras (Fig. 3). O porta-amstras pode ser ajustado horizontal e verticalmente e rodado.

Refletor esquerdo [5]: Este refletor está fixo à plataforma (Fig. 5). Não usar o lado marcado com X.

Refletor direito [6]: Este refletor está fixo à plataforma mas pode ser removido (será removido na Questão E-II). Não usar o lado marcado com X.

Écran e seu suporte [7]: O écran é preso ao suporte através de uma junta de bola, o que permite rodá-lo em todas as direções (Fig 5). O écran pode ser montado de duas formas diferentes, como se mostra nas figuras 2 e 6.

Amostra I [9]: Uma mola fixa a um suporte circular recorrendo a placas de acrílico brancas.

Amostra II [10]: Uma placa de vidro onde está impresso um padrão similar a uma dupla hélice, montada num suporte circular.

Craveira digital e suporte [14]: Craveira digital presa a um suporte (o suporte será utilizado na Questão E-II). A craveira possui um interruptor “On”/“Off”, um botão para colocar a zero a leitura no visor, um seletor mm/inch (que deve ser mantido em mm), um parafuso de bloqueio e um botão para mover uma das pontas. A craveira digital pode ser utilizada para medir os padrões desenhados nas folhas para desenhar padrões.

Folhas para desenhar padrões [17]: As folhas para desenhar padrões fornecidas podem ser dobradas ao meio, ao longo da linha pontilhada, e presas ao écran usando os clips de plástico. Os padrões de difração deverão ser desenhados dentro da caixa retangular.

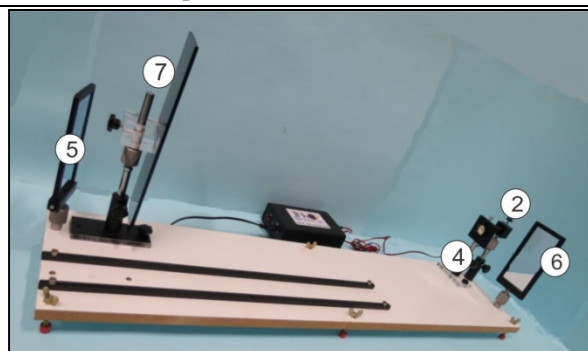


Figura 6: Posição alternativa do écran (comparar com a posição indicada na Fig. 2).

Teoria

Um feixe laser de comprimento de onda λ que incide perpendicularmente num fio cilíndrico de diâmetro a é difratado na direção perpendicular ao fio. O padrão de difração que é observado no écran está esquematizado na Fig. 7.

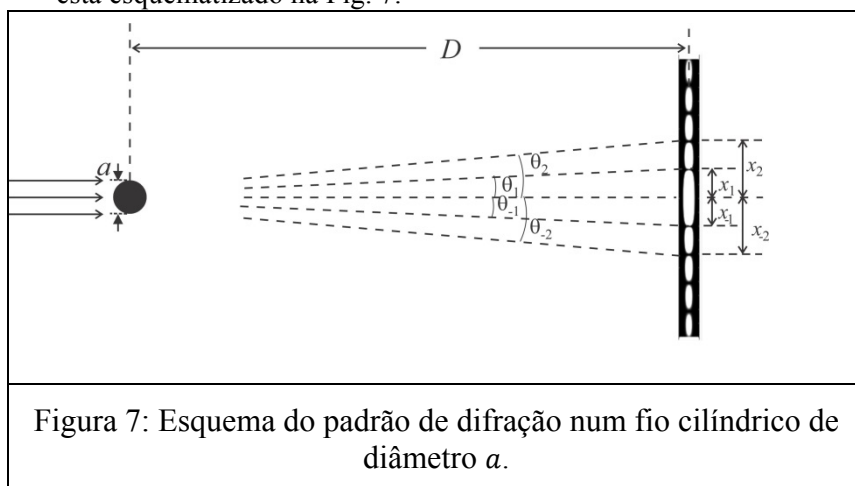


Figura 7: Esquema do padrão de difração num fio cilíndrico de diâmetro a .

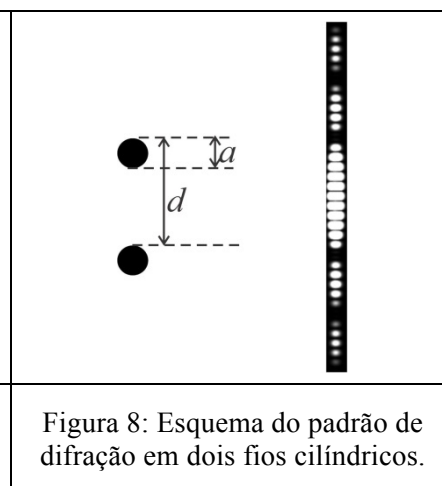


Figura 8: Esquema do padrão de difração em dois fios cilíndricos.

A variação da intensidade da luz incidente no écran com o ângulo θ , medido a partir da direção de incidência, é

$$I(\theta) = I(0) \left[\frac{\sin \beta}{\beta} \right]^2 \quad \text{onde} \quad \beta = \frac{\pi a \sin \theta}{\lambda}.$$

A mancha central é brilhante e para outros ângulos, quando $\sin \beta$ ($\beta \neq 0$) é zero, a intensidade é nula. O n -ésimo mínimo da distribuição de intensidade ocorre para um ângulo θ_n dado por

$$\sin \theta_n = \pm n \frac{\lambda}{a} \quad n = 1, 2, 3, 4, 5 \dots$$

O sinal \pm na expressão acima refere-se aos dois lados da mancha central ($\theta = 0$).

O padrão de difração por dois fios idênticos e paralelos à distância d um do outro (Fig. 8) resulta da combinação de dois padrões: difração por um só fio e interferência devido à existência de dois fios. A distribuição de intensidade resultante é dada por:

$$I(\theta) = I(0) \cos^2 \delta \left[\frac{\sin \beta}{\beta} \right]^2$$

$$\text{onde} \quad \delta = \frac{\pi d \sin \theta}{\lambda} \quad \text{e} \quad \beta = \frac{\pi a \sin \theta}{\lambda}.$$

Para um écran colocado a uma grande distância D do fio, os mínimos no écran são observados em $x_{\pm n} = \pm n \frac{\lambda D}{a}$ devido à difração e em $x_{\pm m} = \pm \left(m - \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda D}{d}$ devido à interferência (onde $m, n = 1, 2, 3, 4, 5 \dots$). De modo similar, para quatro fios idênticos (Fig. 9), a distribuição de intensidade resulta da combinação da difração em cada fio com a interferência devido aos pares de fios, e deve portanto depender de a , d e s , isto é, deve-se observar uma combinação de três padrões diferentes.

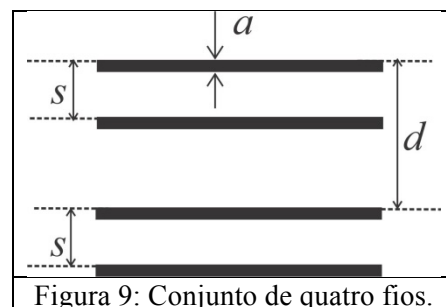


Figura 9: Conjunto de quatro fios.

Ajustes iniciais

1. Ligar o laser e regular ambos os refletores de modo a que o feixe laser incida no écran.
2. Com a ajuda da régua de plástico, ajustar os suportes do laser e dos refletores de modo a garantir que o feixe laser fica paralelo à plataforma.
3. Garantir que o feixe laser incide perto do centro do écran.
4. Desligar o laser. Prender uma folha para desenhar padrões ao écran.
5. Prender o espelho plano ao écran usando os clips de plástico. Ligar o laser.
6. Regular o écran de modo a que o feixe laser seja refletido de volta para o laser ao longo do caminho de incidência. Retirar o espelho quando o ajuste estiver concluído.
7. A iluminação do cubículo pode ser ligada ou desligada.

Execução

Parte A: Determinação dos parâmetros geométricos de uma mola

A amostra I é uma mola helicoidal de raio R e passo P . A mola é feita de um material de espessura uniforme a_1 , como se indica na Fig. 10(a). Quando a mola é observada de lado, a sua projeção é equivalente à de dois conjuntos de fios paralelos entre si e com a mesma espessura. Os fios de cada conjunto estão à distância d_1 uns dos outros e o ângulo entre fios de conjuntos diferentes é $2\alpha_1$ (Fig. 10(b)).

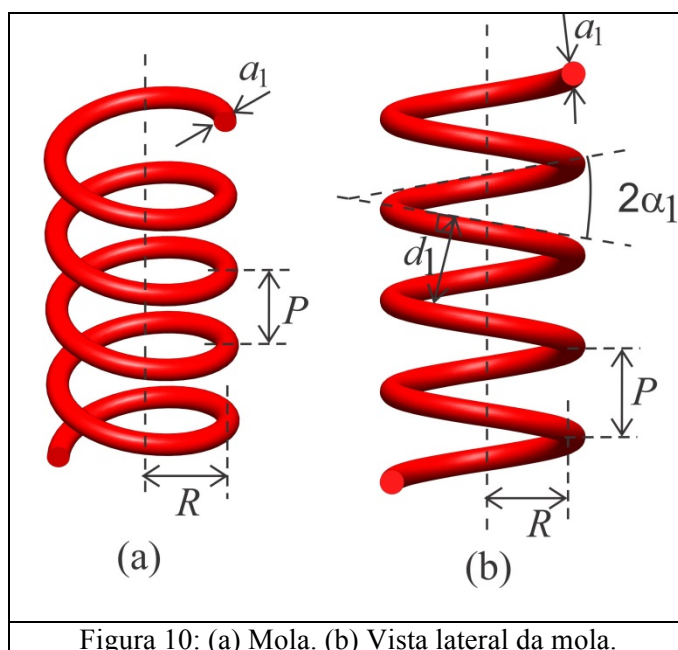


Figura 10: (a) Mola. (b) Vista lateral da mola.

- Montar a amostra I no porta-amostras, garantido que a mola fica na vertical.
- Obter um padrão de difração claro e nítido, em forma de X, na folha para desenhar padrões.

- Para obter este padrão podem-se regular:
 - a focagem do laser (rodando a tampa frontal do mesmo);
 - a orientação do feixe (rodar o laser de modo a iluminar apenas duas voltas da mola);
 - a intensidade do laser (interruptor “high”/“low” da fonte de alimentação);
 - a luz ambiente (ligando ou desligando a iluminação do cubículo).

Se o máximo central for demasiado brilhante, podem-se colar autocolantes circulares negros na folha para desenhar padrões de modo a reduzir a difusão da luz.

Tarefas	Descrição	Pontos
A1	Marcar na folha para desenhar padrões as posições dos mínimos de ambos os lados da mancha central (usando o lápis fornecido [13]) apropriados à determinação de a_1 e d_1 . Identificar as folhas para desenhar padrões com as etiquetas P-1, P-2, etc.	0,7
A2	Medir, usando a craveira digital, as distâncias apropriadas para a determinação de a_1 . Registrar as medidas na Tabela A1.	0,5
A3	Fazer um gráfico adequado, designá-lo por “Graph A1” e determinar a_1 a partir do seu declive.	0,7
A4	Medir as distâncias apropriadas para a determinação de d_1 . Registrar as medidas na Tabela A2.	0,8
A5	Fazer um gráfico adequado, designá-lo por “Graph A2” e determinar d_1 a partir do seu declive.	0,6
A6	Determinar o ângulo α_1 a partir do padrão em X.	0,2
A7	Expressar P em função de d_1 e α_1 e calcular P .	0,2
A8	Expressar R em função de P e α_1 e calcular R (desprezar a_1).	0,2

Parte B: Determinação dos parâmetros geométricos de um padrão de dupla hélice

A figura 11(a) mostra duas voltas de uma dupla hélice. A Fig. 11(b) é uma projeção bidimensional desta dupla hélice quando observada de lado. Cada hélice (de espessura a_2) é caracterizada pelo ângulo $2\alpha_2$ e pela distância d_2 entre voltas. A separação entre as duas hélices é s . A amostra II é uma placa de vidro onde está impresso um padrão similar a uma dupla hélice (Fig. 12). O padrão de difração desta amostra é semelhante ao de uma dupla hélice. Nesta parte serão determinados os parâmetros geométricos da amostra II.

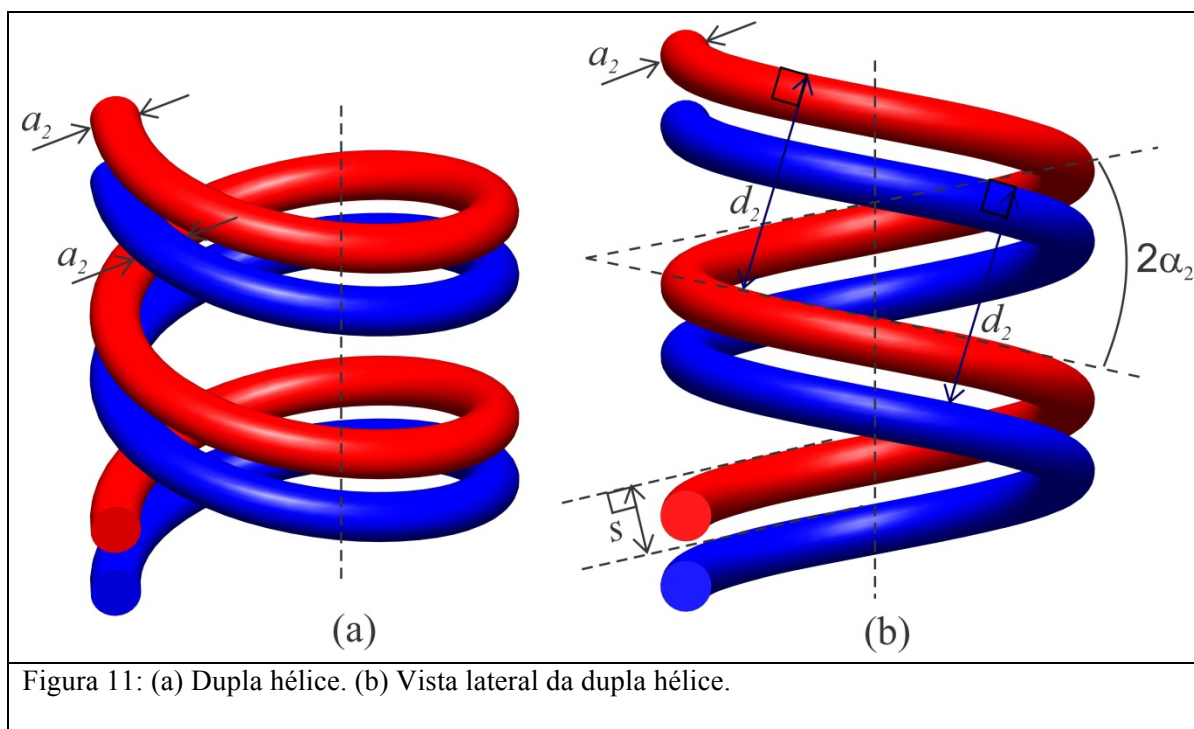


Figura 11: (a) Dupla hélice. (b) Vista lateral da dupla hélice.

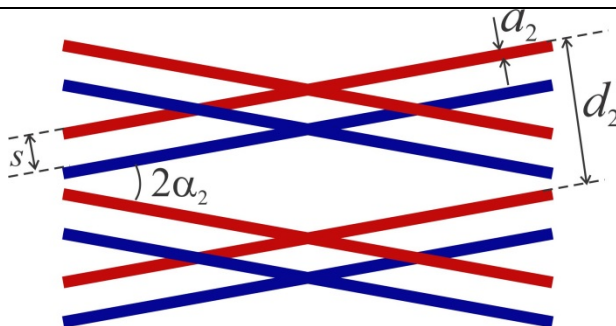


Figura 12: Padrão similar a uma dupla hélice impresso na amostra II.

- Montar a amostra II no porta-amostras.
- Prender uma nova folha para desenhar padrões ao écran.
- Obter no écran um padrão de difração claro e nítido em forma de X.

Tarefas	Descrição	Pontos
B1	Marcar na folha para desenhar padrões as posições dos mínimos de ambos os lados da mancha central apropriados à determinação de a_2 , s e d_2 . Pode ser utilizada mais do que uma folha para desenhar padrões.	1,1
B2	Medir as distâncias apropriadas para a determinação de a_2 . Registrar as medidas na Tabela B1.	0,5
B3	Fazer um gráfico adequado, designá-lo por “Graph B1” e determinar a_2 a partir do seu declive.	0,5
B4	Medir as distâncias apropriadas para a determinação de s . Registrar as medidas na Tabela B2.	1,2
B5	Fazer um gráfico adequado, designá-lo por “Graph B2” e determinar s a partir do seu declive.	0,5
B6	Medir as distâncias apropriadas para a determinação de d_2 . Registrar as medidas na Tabela B3.	1,6
B7	Fazer um gráfico adequado, designá-lo por “Graph B3” e determinar d_2 a partir do seu declive.	0,5
B8	Determinar o ângulo α_2 a partir do padrão em X.	0,2

Difração em ondas de tensão superficial da água

Introdução

A formação e a propagação de ondas numa superfície líquida é um fenómeno bastante importante e bem estudado. A força de restauro na superfície do líquido em oscilação é, em geral, o resultado dos efeitos combinados da gravidade e da tensão superficial. Para comprimentos de onda muito menores que um comprimento de onda crítico, λ_c , o efeito da gravidade é desprezável e é somente necessário considerar a tensão superficial ($\lambda_c = 2\pi \sqrt{\frac{\sigma}{\rho g}}$, onde σ é a tensão superficial, ρ é a densidade do líquido e g é a aceleração da gravidade).

Nesta parte serão estudadas as ondas de tensão superficial na superfície de um líquido com comprimento de onda menor do que λ_c . A tensão superficial é uma propriedade dos líquidos que caracteriza a capacidade da superfície de um líquido se comportar como uma membrana esticada e sob tensão. Quando a superfície é perturbada, essa perturbação propaga-se como uma onda do mesmo modo que aconteceria sobre uma membrana. Nesta experiência, um vibrador elétrico é usado para produzir estas ondas na superfície da água. Quando um feixe laser incide nestas ondas num ângulo rasante, surge um padrão de difração, pois as ondas atuam como uma rede de difração.

As ondas de tensão superficial são amortecidas (a sua amplitude diminui gradualmente) à medida que se propagam. Este amortecimento é devido à viscosidade do líquido, uma propriedade que descreve a fricção entre camadas adjacentes do líquido.

Objetivo

Usar a difração da luz nas ondas de tensão superficial da água de modo a determinar os valores da tensão superficial e da viscosidade da água fornecida.

Lista do equipamento utilizado

	[1]	Medidor de intensidade luminosa (ligado ao sensor de luz)
	[2]	Sensor de luz montado na craveira digital colocada na base onde estava o écran
	[3]	“Tablet” (usado como gerador de ondas sinusoidais)
	[4]	Multímetro
	[5]	Caixa de controle do vibrador
	[6]	Plataforma de madeira
	[7]	Calha sobre a qual se move o sensor de luz
	[8]	Fonte de tensão contínua
	[9]	Chave hexagonal, fita métrica e régua

Figura 1: Equipamento sobre a plataforma de madeira

	[10]	Escala e calha do vibrador
	[11]	Vibrador
	[12]	Tabuleiro para a água
	[13]	Cobertura de plástico
	[14]	Montagem para ajustar a altura do vibrador
	[15]	Laser número 2 (Comprimento de onda $\lambda_L = 635 \text{ nm}$, $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$)
	[16]	Água para ser utilizada na experiência
	[17]	Proveta de 500 ml

Figura 2: Equipamento associado ao vibrador e ao laser

Descrição do equipamento

a) “Tablet” para gerar ondas sinusoidais

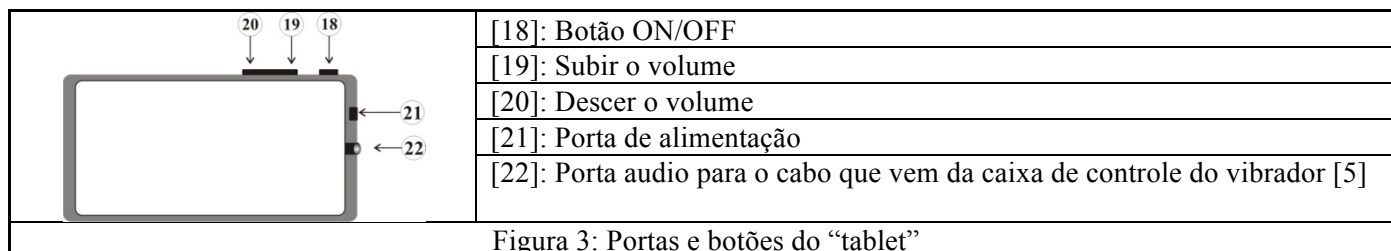


Figura 3: Portas e botões do “tablet”

- Nota
- Manter o “tablet” sempre a carregar.
 - Carregar gentilmente no botão ON/OFF *uma vez* de modo a mostrar o écran inicial
 - Manter o volume de saída no máximo usando o botão de subir o volume [19].

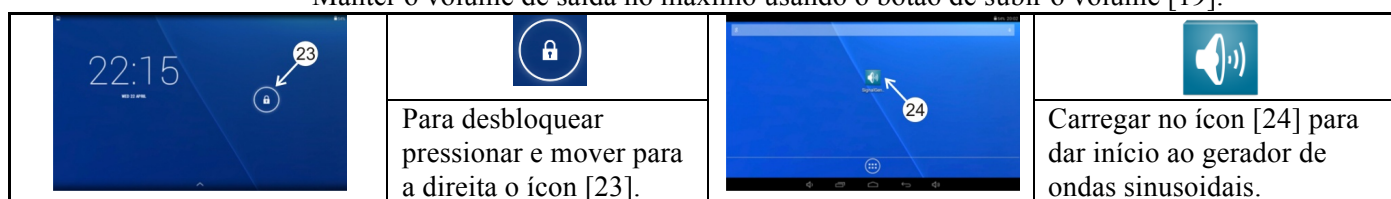


Figura 4: Primeiros écrans do “tablet”

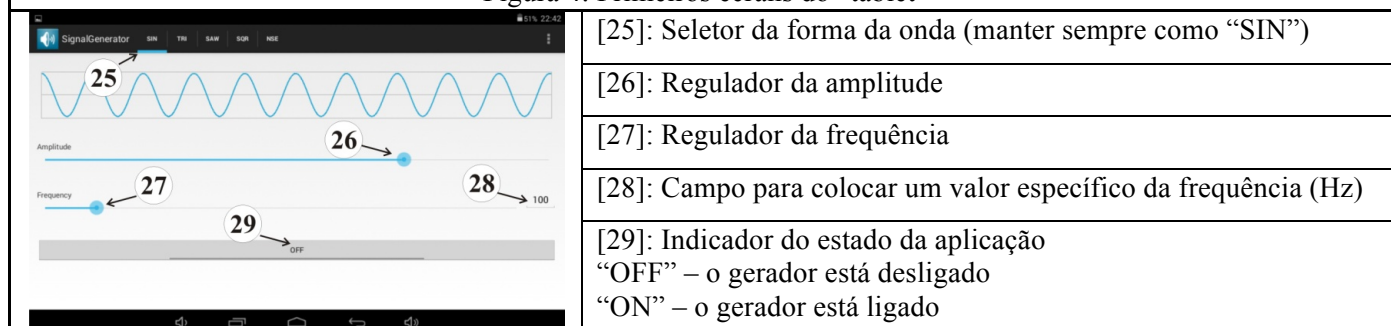


Figura 5: Aplicação do gerador de ondas sinusoidais

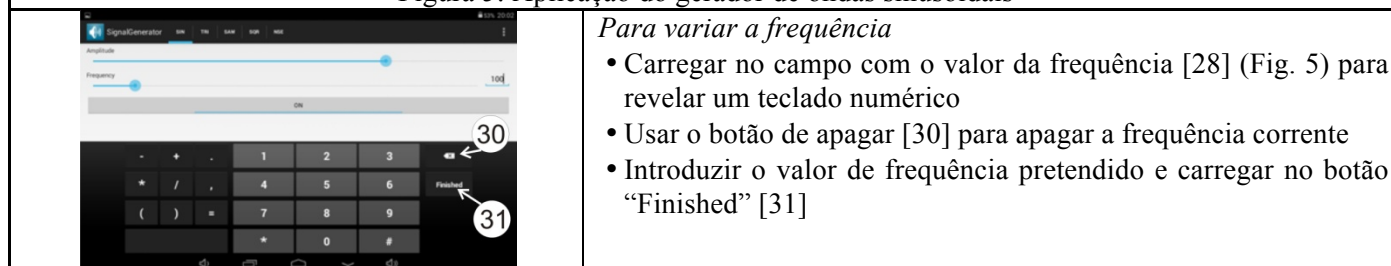
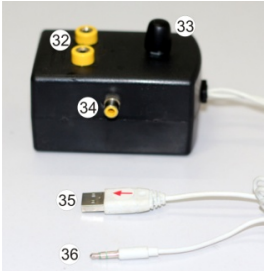
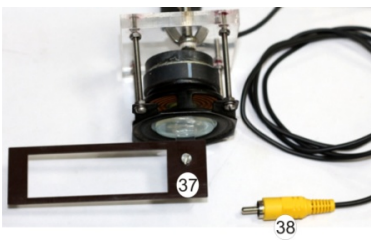
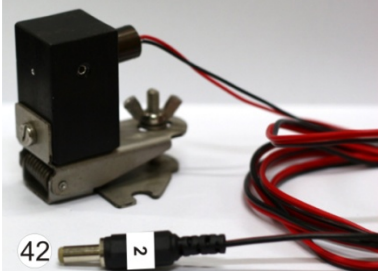








Figura 6: Écran mostrando o teclado numérico para colocar novos valores da frequência

Para variar a amplitude


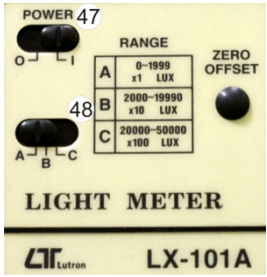

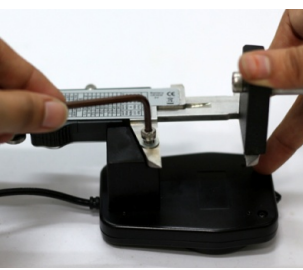
- Use o regulador de amplitude [26] no écran do “tablet” ou o botão regulador [33] da caixa de controle do vibrador [5] de modo a variar a amplitude do sinal de saída.

b) Caixa de controle do vibrador, multímetro, fonte de tensão contínua e os seus cabos de ligação

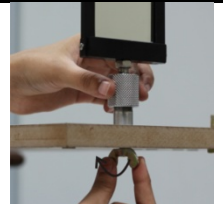
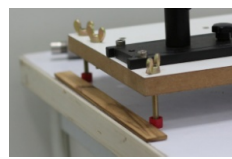
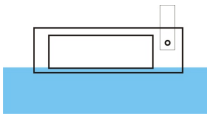
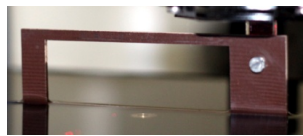

		
[32]: Portas para ligar os cabos ao multímetro	[37]: Placa vibratória	Figura 10: Laser número 2 [15] (montado sobre um bloco metálico) com o seu cabo [42]
[33]: Botão regulador para variar a amplitude da onda sinusoidal	[38]: Cabo que será ligado à caixa de controle do vibrador	
[34]: Porta para o cabo do vibrador	Figura 8: Vibrador [11]	
[35]: Ponta USB que será ligada à fonte de tensão contínua		
[36]: Ponta áudio para ser ligada ao "tablet"	[39]: Seletor AC/DC	
	[40]: Seletor do intervalo de medida	[43]: Botão de intensidade (manter na posição "High")
Figura 7: Caixa de controle do vibrador [5]	Figura 9: Multímetro [4]	[44]: Porta USB para o cabo que vem da caixa de controle do vibrador
		[45]: Porta para o cabo do laser número 2
		Figura 11: Fonte de tensão contínua [8]

			
[36]→[22]	[38]→[34]	[41]↔[32]	[35]→[44] e [42]→[45]
Figura 12: Ligações entre o "tablet", a caixa de controle do vibrador e a fonte de tensão contínua			

c) Montagem do sensor de luz

			
<p>[46]: Abertura circular no sensor de luz</p> <p>[47]: Botão ON/OFF</p> <p>[48]: A, B, C – Diferentes sensibilidades do medidor de intensidade luminosa</p>	<p>Uma ponta da craveira digital fixa-se atrás do sensor de luz</p>	<p>Apertar o parafuso utilizando a chave hexagonal</p>	
<p>Figura 13: Sensor e medidor de intensidade luminosa</p>	<p>Figura 14: Montando o sensor de luz</p>		

Ajustes iniciais

				
<p>Figura 15: Remover o refletor da direita</p>	<p>Figura 16: Os parafusos da base devem tocar a régua de madeira</p>	<p>Figura 17: Posição correta da placa vibratória e do regulador da altura do vibrador.</p>		

1. Desligar o cabo do laser número 1 e ligar o cabo do laser número 2 na porta da fonte de tensão contínua. Nota: o laser número 2 já foi ajustado para o ângulo de incidência requerido. Não mexer na fonte de luz!
2. Remover o refletor da direita usado na experiência E-1 rodando a porca de orelhas que está por baixo da plataforma de madeira (Fig. 15).
3. Remover o écran usado em E-1 e inserir o sensor de luz montado na sua base. Colocar a base na calha [7].
4. Posicionar a plataforma de madeira [6] com os parafusos da base a tocar a régua de madeira colada à mesa. (Fig. 16).
5. Abrir e levantar a cobertura de plástico que está sobre o vibrador e o laser. Colocar exatamente 500 ml de água no tabuleiro [12] usando a proveta [17].
6. Ligar o laser. Localizar no sensor de luz o ponto onde incide a luz laser refletida na água. À medida que se move o sensor para trás e para a frente sobre a calha, deve-se observar a mancha de luz a mover-se verticalmente e não obliquamente. Pequenos ajustes laterais da plataforma de madeira e verticais da craveira digital ligada ao sensor de luz permitem colocar o ponto de luz laser exatamente sobre a

abertura que está no centro do sensor de luz. A intensidade indicada pelo medidor de intensidade luminosa será máxima se o ponto central da mancha coincidir com o centro do sensor de luz.

7. A placa vibratória já está colocada na posição vertical correta. **NÃO deverá ajustar** a posição vertical com o regulador [14] (Fig.17).

8. O vibrador pode ser movido horizontalmente para a frente e para trás. A posição do vibrador está indicada na escala respectiva [10].

9. Manter a cobertura de plástico fechada (ou para baixo) quando estiver a recolher dados experimentais de modo a proteger a superfície da água de correntes de ar.

Execução

Parte C: Medição do ângulo θ entre o feixe laser e a superfície da água

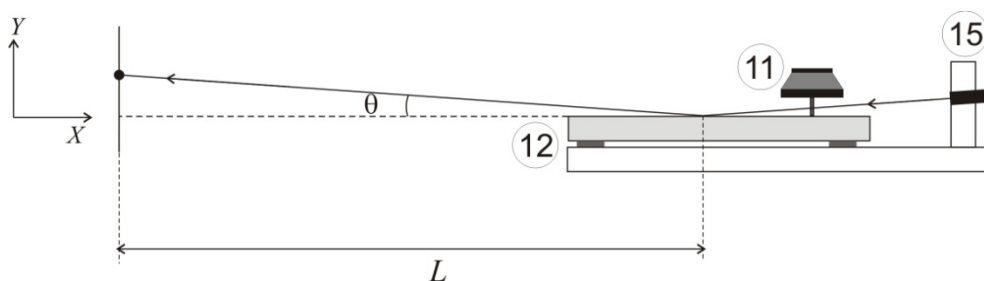


Figura 18: Medição do ângulo θ

Tarefas	Descrição	Pontos
C1	Mover o sensor de luz em passos adequados ao longo da calha. Tomar nota na Tabela C1 do deslocamento X do sensor e do correspondente deslocamento Y do ponto de luz. (Selecionar a sensibilidade adequada no medidor de intensidade luminosa.)	1,0
C2	Representar um gráfico adequado (identificar o gráfico com a etiqueta C1) de modo a determinar o ângulo θ , em graus, a partir do seu declive.	0,6

Parte D: Determinação da tensão superficial σ da água fornecida

A partir da teoria de difração pode ser mostrado que

$$k = \frac{2\pi}{\lambda_L} \sin(\theta) \sin(\gamma) \quad (1)$$

onde $k = 2\pi/\lambda_w$ é o número de onda das ondas de tensão superficial, e λ_w e λ_L são, respetivamente, os comprimentos de onda das ondas de tensão superficial e do laser. O ângulo γ é a distância angular entre o máximo central e o máximo de primeira ordem (Fig. 19).

A frequência de vibração (f) das ondas está relacionada com o número de onda k da seguinte forma:

$$\omega = \sqrt{\frac{\sigma}{\rho}} k^q \quad (2)$$

onde $\omega = 2\pi f$, ρ é a densidade da água e q é um inteiro.

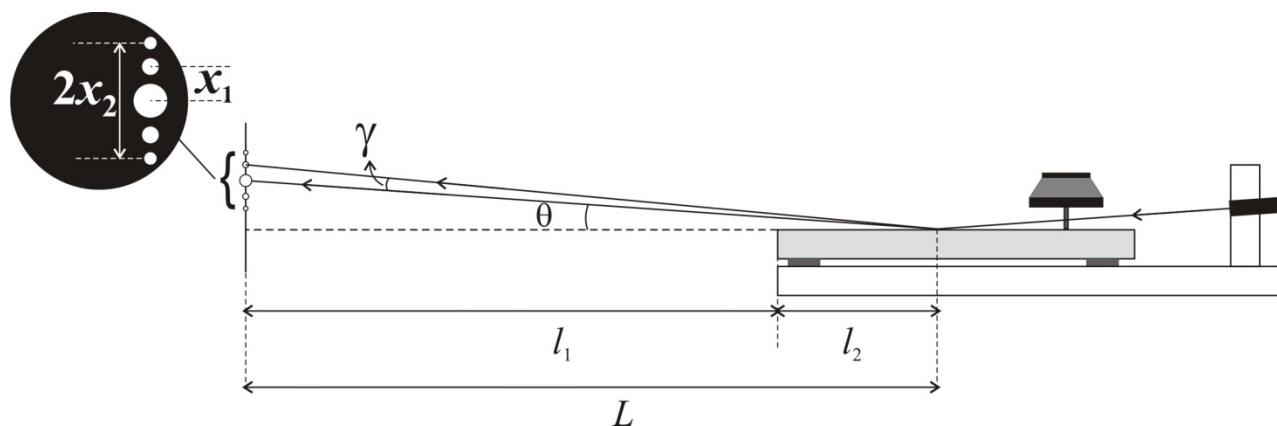


Figura 19: Diagrama esquemático da montagem

1. Fixar o sensor de luz [2] (usando a rosca na sua base) no final da calha na posição mostrada na Fig. 1. Selecionar a escala de sensibilidade apropriada para o medidor de intensidade luminosa.

Tarefas	Descrição	Pontos
D1	Medir a distância l_1 entre a abertura do sensor de luz e o limite do tabuleiro de água. Uma linha luminosa pode ser observada onde o laser incide na superfície da água. O meio desta linha é o ponto de incidência do laser. Medir l_2 , a distância deste ponto ao limite do tabuleiro. Obter L . Tomar nota deste valor na Folha de Respostas.	0,3

2. Colocar o vibrador na posição 7,0 cm da escala horizontal [10].
3. Colocar a frequência do gerador de ondas sinusoidais a 60 Hz. Ajustar a sua amplitude de modo a que os máximos de primeira e de segunda ordem sejam claramente visíveis (Fig. 19 inset).

Tarefas	Descrição	Pontos
D2	Medir a distância entre os máximos de segunda ordem acima e abaixo do máximo central. Usar este resultado para calcular x_1 . Tomar nota das observações na Tabela D1. Repetir o processo aumentando a frequência em passos apropriados.	2,8
D3	Identificar as variáveis apropriadas para um gráfico cujo declive seja o valor do expoente q . Tomar nota dos valores destas variáveis na Tabela D2. Fazer o gráfico para obter q (identificar com a etiqueta D1). Escrever a equação 2 com o valor inteiro apropriado para q .	0,9
D4	A partir da equação 2, identificar as variáveis apropriadas para um gráfico cujo declive seja o valor da tensão superficial σ . Tomar nota dos valores destas variáveis na Tabela D3. Fazer o gráfico para obter σ (identificar com a etiqueta D2). ($\rho = 1000 \text{ kg.m}^{-3}$)	1,2

Parte E: Determinação da constante de amortecimento δ e da viscosidade da água η

As ondas de tensão superficial são amortecidas devido à viscosidade da água. A amplitude das ondas h diminui exponencialmente com a distância s medida a partir do vibrador:

$$h = h_0 e^{-\delta s} \quad (3)$$

onde h_0 é a amplitude da onda na posição do vibrador e δ é a constante de amortecimento.

Experimentalmente, a amplitude h_0 pode ser relacionada com a tensão (V_{rms}) entre os terminais do vibrador da seguinte forma:

$$h_0 \propto (V_{rms})^{0,4} \quad (4)$$

A constante de amortecimento pode ser relacionada com a viscosidade do líquido:

$$\delta = \frac{8}{3} \frac{\pi \eta f}{\sigma} \quad (5)$$

onde η é a viscosidade do líquido.

1. Colocar o vibrador na posição 8,0 cm da sua escala.
2. Ajustar a frequência para 100 Hz.
3. Usando a craveira digital, ajustar o sensor de luz de modo a que o máximo de primeira ordem incida na abertura do centro do sensor de luz.
4. Ajustar a amplitude do gerador de ondas sinusoidais (V_{rms}) de modo a que a leitura no medidor de intensidade luminosa seja 100 na escala de sensibilidade A. Tomar nota do valor de V_{rms} correspondente.
5. Afastar o vibrador do sensor em passos de 0,5 cm e ajustar V_{rms} de modo a manter a leitura igual a 100 no medidor de intensidade luminosa. Tomar nota dos valores correspondentes de V_{rms} .

Tarefas	Descrição	Pontos
E1	Escrever as medidas efetuadas na Tabela E1.	1,9
E2	Fazer um gráfico (identificar com a etiqueta E1) que permita determinar a constante de amortecimento δ a partir do seu declive.	1,0
E3	Calcular a viscosidade η da água fornecida.	0,3

Parte A : Determinação dos parâmetros geométricos de uma mola

Tarefas	Descrição	Pontos																																	
A1	Número de folhas para desenhar padrões associadas com a Parte A: ____ identificadas com a(s) etiqueta(s): P ____																																		
A2	<p>Tabela A1: Observações do padrão P ____</p> <table> <tr> <th>Observ. N°</th><th></th><th></th></tr> <tr><td>1</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>5</td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td></tr> </table>	Observ. N°			1			2			3			4			5																		
Observ. N°																																			
1																																			
2																																			
3																																			
4																																			
5																																			
A3	<p>Gráfico A1 para a determinação de a_1: _____ em função de _____</p> <p>Declive do gráfico A1=</p> <p>Cálculo de a_1:</p> <p>$a_1 =$</p>																																		

Tabela A2: Observações do padrão P _____

Observ. Nº		
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		

Pontos

A4

A5

Gráfico A2 para a determinação de d_1 : _____ em função de _____

Declive do gráfico A2 =

Cálculo de d_1 :

$d_1 =$

A6

$\alpha_1 =$

A7	Expressão de P em função de d_1 e de α_1 : $P =$	
A8	Expressão de R em função de P e de α_1 : $R =$	
Total		

Parte B: Determinação dos parâmetros geométricos de uma dupla hélice

Tarefas	Descrição	Pontos																																										
B1	Número de folhas para desenhar padrões associadas com a Parte B: ____ identificadas com a(s) etiqueta(s): P ____																																											
B2	<p style="text-align: center;">Tabela B1: Observações do padrão P ____</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>Observ. Nº</th><th></th><th></th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>5</td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>	Observ. Nº			1			2			3			4			5																											
Observ. Nº																																												
1																																												
2																																												
3																																												
4																																												
5																																												

B4

B5

Gráfico B2 para a determinação de s : _____ em função de _____

Declive do gráfico B2 =

Cálculo de s :

 $s =$

B6

Tabela B3: Observações do padrão P _____

Observ. Nº		
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		

[illegible]

Difração em ondas de tensão superficial na água

Parte C: Medição do ângulo θ entre o feixe laser e a superfície da água

[C1]

Tabela C1

Observ. Nº		
1		
2		
3		
4		
5		
6		

Pontos

[C2]

Gráfico C1 para determinação de θ : _____ em função de _____

$\theta =$ _____

Parte D: Determinação da tensão superficial do líquido

[D1]:

$l_1 =$	$l_2 =$	$L =$
---------	---------	-------

[D2]:

Tabela D1

Observ. Nº					
1					
2					
3					
4					
5					
6					

[D3]:

Pontos

Gráfico para a determinação de q : _____ em função de _____

Tabela D2

Observ. Nº		
1		
2		
3		
4		
5		
6		

Declive = _____

$q =$ _____

Equação 2:

Pontos

Determinação da tensão superficial:

[D4]:

Gráfico para a determinação de σ : _____ em função de _____

Tabela D3

Observ. Nº		
1		
2		
3		
4		
5		
6		

Declive = _____

Pontos

Tensão Superficial:

$\sigma =$ _____

Parte E: Determinação da constante de amortecimento δ e da viscosidade da água η

[E1]: Frequência do sinal = _____ Hz

Tabela E1

Observ. Nº				
1				
2				
3				
4				
5				
6				

[E2]:

Gráfico para a determinação de δ : _____ em função de _____

δ = _____

Pontos

[E3]:

Determinação da viscosidade η :

$$\eta = \underline{\hspace{2cm}}$$

Pontos
