

# Física Experimental IV

Ondas em meios lineares e não lineares

## GUIA DE TRABALHO VI

HOLOGRAFIA: REALIZAÇÃO DUM  
HOLOGRAMA DE REFLEXÃO

Paula Bordalo  
Helder Crespo  
Sérgio Ramos

Novembro 1998



# 1. Objectivo do Trabalho

O laboratório de Física Experimental IV dispõe de uma mesa óptica "Newport" de grande qualidade, equipada com um sistema pneumático de isolamento de vibrações, onde se podem realizar diversas montagens holográficas a partir de componentes ópticos discretos adequados.

Neste trabalho será realizado um holograma de reflexão (visível com luz branca) de um objecto tridimensional à escolha. A montagem dispõe de um filtro espacial adaptado, capaz de gerar um feixe de referência com um perfil de intensidade gaussiano. É necessário efectuar pequenos ajustes na montagem para cada objecto particular, por forma a manter a igualdade de percursos ópticos exigida pelo comprimento de coerência do laser de 10 mW, e também para que se tenha no plano do holograma uma relação de intensidades correcta para os feixes de referência e do objecto. Para tal, faz-se uso de um pequeno luxímetro, devidamente calibrado por forma a obter a iluminância directamente em  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ . A exposição é feita em placa holográfica com um poder resolutivo superior a 20 nm (*HRT BB-640*), sendo posteriormente revelada por um processo especial, recentemente desenvolvido (N. Phillips, H. Bjelkhagen, 1997).

A experiência permite também identificar os parâmetros mais importantes para a realização de um holograma, nomeadamente o comprimento de coerência do laser, precisão dos alinhamentos e estabilidade mecânica dos componentes ópticos. Estes dados serão muito úteis na experiência seguinte onde se efectuarão medidas de elevada precisão por interferometria holográfica.

## 2. Procedimento Experimental

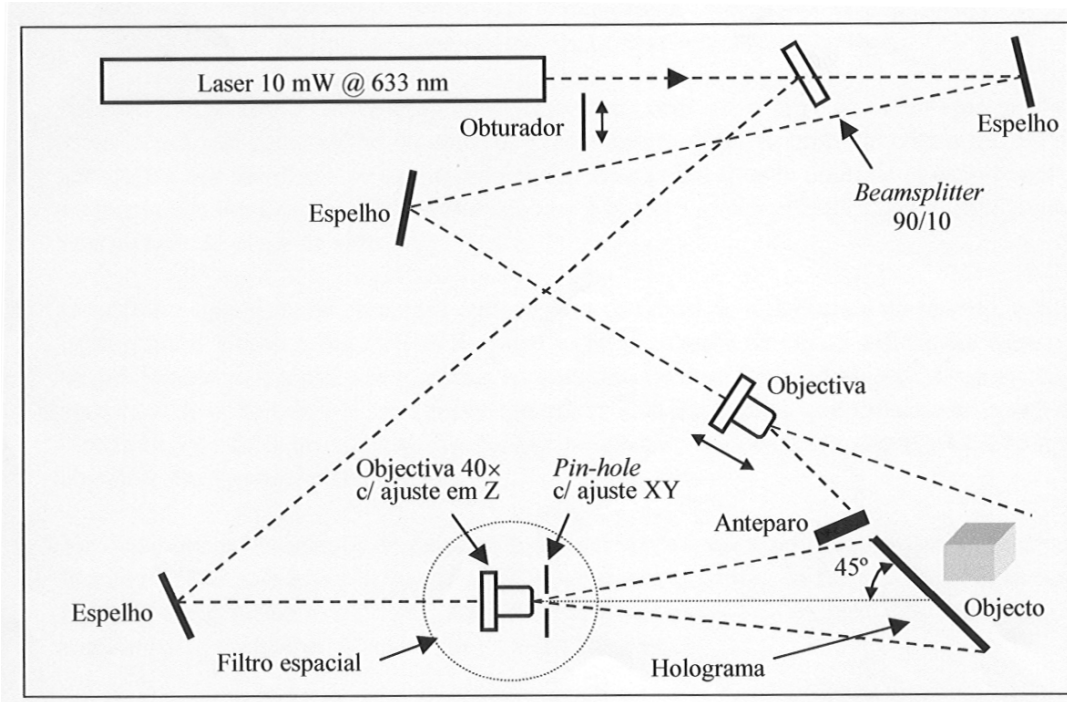


Figure 2.1: Esquema da montagem

### 2.1 Material Utilizado

- Mesa óptica perfurada, apoiada em sistema de isolamento de vibrações pneumático
- Componentes ópticos fixáveis com molas especiais (usar uma chave adequada para fixar e remover), com ajustes de inclinação XY independentes
- Laser He-Ne de 13 mW polarizado: polarização p, i.e., segundo o plano de incidência
- *Beamsplitter* 90/10: reflecte cerca de 8% da luz incidente; transmite o restante
- *Pin-hole* do filtro espacial: diâmetro de 15  $\mu\text{m}$
- Placa Holográfica *HRT BB-640*:
  - Resolução: aprox. 20 nm
  - Dimensões: 4 x 5 polegadas
  - Energia de exposição para  $d = 2.5^{(1)}$ :  $\sim 700 \mu\text{J}/\text{cm}^2$

<sup>(1)</sup> $d$ =densidade óptica ( $d=1/\log T$ , com  $T$ =transmissão).  
Exemplo:  $T = 1\% \Rightarrow d = 2$ .

## 2.2 Alinhamento:

### NOTAS IMPORTANTES:

- ▷ Ao montar as lentes e espelhos nos suportes **não os aperte demais**
- ▷ **Nunca** Ponha os dedos nas superfícies ópticas: lentes e espelhos
- ▷ Pede-se aos alunos que tragam um objecto à escolha para holografar. O objecto deve ser o mais sólido e brilhante possível (mas não demasiado reflector ou espelhado). As suas dimensões não podem exceder o volume de um cubo com  $8 \times 8 \times 8 \text{cm}^3$ .

\* \* \* \* \*

- Ligue o laser, por forma a que este atinja o equilíbrio térmico, o que pode demorar cerca de 30 minutos. Entretanto, passe ao ponto seguinte.
- Remova o *pin-hole* do filtro espacial, caso este se encontre montado (basta desenroscar). Verifique a existência de uma placa de vidro simples montada no suporte do holograma. Sempre que necessário, coloque um papel sobre a placa de vidro, por forma a poder verificar a qualidade da iluminação da placa pelo feixe de referência.
- Posicione o objecto na montagem, por forma a que este apareça centrado na região da placa holográfica quando se olha perpendicularmente à mesma. A distância do objecto à placa holográfica deve ser a menor possível, dentro das limitações da iluminação. O objecto deve ser rigidamente fixo à mesa, ou simplesmente apoiado se possuir uma base adequada.
- Remova a objectiva de iluminação do objecto. Faça com que o feixe de iluminação incida aproximadamente no ponto médio do objecto, e recoloque a objectiva centrada com o feixe. Pode fazer ajustes nos parafusos de inclinação angular do espelho situado antes da objectiva, por forma a otimizar a iluminação. Não se esqueça que o objecto será registado exactamente como o vemos através da placa de vidro.
- Confirme a igualdade de percursos ópticos para os feixes de referência e do objecto, a partir do *beamsplitter* (não se esqueça de incluir a distância entre o ponto médio do objecto e a placa holográfica no percurso total do feixe do objecto). Uma diferença de percursos da ordem de 1-2 cm é perfeitamente satisfatória para o comprimento de coerência característico do laser de 13 mW. Corrija, se necessário, deslocando o espelho situado antes da objectiva de iluminação do objecto.
- Verifique que a iluminação da placa pelo feixe de referência é uniforme, independentemente do inevitável ruído causado por imperfeições e poeiras na objectiva do filtro espacial (isto será corrigido posteriormente quando se introduzir novamente o *pin-hole* no filtro. Se necessário, ajuste angularmente o espelho situado antes do filtro espacial.

## 2.3 Medição da intensidade luminosa

- Com o luxímetro, meça as intensidades médias do feixe de referência e do feixe difundido pelo objecto, no plano da placa de vidro. Encoste o sensor paralelamente ao vidro e bloqueie alternadamente um dos feixes para medir o outro, com o auxílio do cartão obturador. Não se esqueça que os feixes são medidos em lados opostos da placa de vidro. Use a escala mais sensível do luxímetro, mas sem saturar o aparelho.
- A relação de intensidades referência:objecto terá que ser 2:1 ( $\pm 10\%$ ). Todas as correcções devem ser feitas unicamente através da translação da objectiva de iluminação, por forma a manter os percursos ópticos constantes. Anote os valores medidos.
- Coloque o *pin-hole* no filtro espacial e alinhe o mesmo com a objectiva. Um bom alinhamento permite obter um feixe de referência completamente limpo, uniforme e circular, sem quaisquer anéis de difracção espúrios; a intensidade do feixe de referência deverá manter-se constante. Confirme novamente as intensidades.
- Posicione correctamente o anteparo por forma a que nenhuma luz residual proveniente do feixe do objecto chegue directamente à placa.

## 2.4 Cálculo do tempo de exposição

- A densidade de potência óptica total é a soma das densidades dos dois feixes. Para converter Lux para  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ , utiliza-se o seguinte factor de conversão fotométrico:

$$1 \text{ Lux} \sim 0.6 \mu\text{W}/\text{cm}^2 \text{ (para } \lambda = 632.8 \text{ nm)}$$

- A exposição total (o valor final deve ser arredondado aos segundos) calcula-se a partir das características da emulsão *HRT BB-640*:

$$\text{Energia de exposição para } d = 2.5^{(1)} \sim 600 \mu\text{J}/\text{cm}^2$$

**MUITO IMPORTANTE:** A partir daqui, toda a experiência deve decorrer unicamente com a iluminação de segurança! (Use apenas a luz verde piloto de funcionamento da fonte de alimentacção do laser). Esta iluminação é suficiente para realizar o resto da experiência.

## 2.5 Colocação da placa holográfica

- Coloque o obturador à frente do laser. Cautelosamente, abra a caixa que contém as placas holográficas e retire uma placa, segurando-a com cuidado pelos lados do vidro (não toque nas faces da placa!). Feche a caixa imediatamente a seguir.

**MUITO IMPORTANTE:** Feche bem a caixa das placas holográficas (terá que ouvir dois "cliques" quando coloca a tampa).

- Identifique o lado da emulsão colocando no canto de um dos lados da placa um dedo húmido. O lado da emulsão corresponde ao pegajoso.
- Remova a placa de vidro do suporte e coloque a placa holográfica no mesmo, com o lado da emulsão voltado para o objecto.

## 2.6 Exposição

- Aguarde 5 minutos para permitir a estabilização térmica e mecânica da montagem. Entretanto, prepare o revelador: na tina de revelação (primeira do lado esquerdo), junte uma medida de 30 ml da solução A a uma medida igual da solução B. Na tina vermelha deite o *bleach* (apenas o suficiente para cobrir uniformemente a placa holográfica, tipicamente cerca de 100 ml).
- Exponha a placa, removendo o obturador de cartão preto durante o tempo de exposição calculado no ponto 9. Utilize o cronómetro.

**MUITO IMPORTANTE:** Não faça movimento bruscos e evite respirar ou falar para cima da mesa durante a exposição. Deve começar por elevar o cartão no ar durante cerca de 30 segundos, mas mantendo o feixe laser bloqueado, e só depois de fazer a exposição.

## 2.7 Revelação

Tal como a exposição, a revelação deverá ser efectuada por um dos elementos do grupo, com assistência dos outros para efeitos de contagem de tempo, etc.

**Importante:** Coloque uma luva de latex antes de manipular as soluções químicas.

- Remova a placa do suporte (não se esqueça do lado da emulsão!).
- Passe a placa por água (tina grande) e coloque-a na tina de revelação, **com a emulsão para cima**. Comece a contar o tempo. Revele durante 3.5 minutos, agitando ligeiramente a tina durante o processo. Não aproxime a tina com a placa a menos de 1 metro da luz de segurança! No final, a placa deve estar escura, mas deve continuar a ver-se a luz de segurança através da mesma.
- Lave a placa em água durante alguns segundos.
- Introduza a placa no *bleach* (emulsão para cima!). Após cerca de 1 minuto, acenda a luz normal. Mantenha a placa no *bleach* até ficar completamente clara, e depois durante mais 1 minuto. Não ultrapasse este tempo (duração total do *bleach*: 3-4 minutos).
- Lave a placa abundantemente em água (5 minutos mínimo).
- Coloque a placa sobre papel absorvente (emulsão para cima!). Com a lâmina de borracha, remova **cuidadosamente** e de uma só passagem a água superficial da emulsão.

- Seque a placa com o secador (carregando sempre no botão de frio!) durante cerca de 5 minutos. Mantenha o secador a cerca de 20 cm da emulsão.

## **2.8 Reconstrução do holograma – visualização**

Pode agora reconstruir a imagem. Utilize uma lâmpada incandescente ou a luz do sol, incidindo segundo o ângulo do feixe de referência original.