

Holografia:

um projecto para o ensino secundário

Maria Cecília Silva

Faculdade de Ciências e Tecnologia, UNL

ceciliasilva@netcabo.pt

Fazer hologramas pode ser um processo simples. Neste artigo descrevemos um sistema para produzir diferentes tipos de hologramas utilizando o seguinte material básico: um laser hélio-néon, uma mesa de trabalho, uma lente esférica, chapas holográficas e soluções químicas para revelação. Estes materiais foram adquiridos por uma quantia inferior a 500€ e testados no ensino secundário [1].

Concluimos ser viável a realização de hologramas de feixe único com qualidade, apesar da simplicidade de meios.

Introdução

O aparecimento no mercado de produtos como as populares “pulseiras do equilíbrio” com hologramas suscita a vontade de desmistificar as propriedades curativas que dizem irradiar. Esta actividade permitiu explorar fenómenos de reflexão, refacção, absorção, difracção e interferências, a partir da produção de hologramas de reflexão de feixe único.

A holografia compreende dois actos: o registo e a observação. Para compreender o registo de um holograma é necessário introduzir o conceito de interferência: sobrepondo dois feixes de luz coerente, estes interagem produzindo um conjunto de franjas de interferência que é registado numa emulsão holográfica. O holograma obtido é “o registo fotográfico de uma secção plana do volume de interferências” [2]. A difracção tem um papel fundamental na observação já que é o conjunto de franjas de interferência na emulsão, depois de revelada, que difractará o feixe de luz que o atravessar.

O processo mais simples de obter um holograma de reflexão é pelo método de feixe único, proposto inicialmente por Denisyuk [3]. O feixe laser é expandido, atravessando a chapa holográfica até atingir o objecto (Figura 1). Parte da luz do feixe será reflectida pelo objecto novamente para a chapa.

Seguidamente, a chapa que contém a emulsão é revelada. Os microcristais contidos na emulsão enegrecem durante a revelação e tornam-se translúcidos, por acção do branqueador. Porém, os micro-

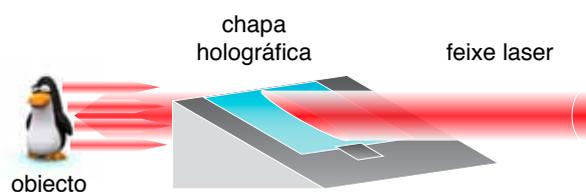


Fig. 1 - Registo de um holograma de reflexão de feixe único

cristais afectados pela luz apresentam índices de refacção diferentes. O holograma de fase obtido resulta da passagem da luz pelas diversas zonas com índices de refacção diferentes, não sendo necessário iluminá-lo com luz monocromática. O próprio holograma actua como filtro interferencial decompondo os vários comprimentos de onda da luz branca e seleccionando o comprimento de onda que obedece à condição de Bragg. Para visualizar o holograma é necessária uma fonte de luz, como por exemplo o Sol, ou outra pequena fonte de luz branca potente, situada por cima e detrás do observador, como indicado na Figura 2.

O registo de hologramas obedece a condições próprias: a mesa de trabalho deve absorver as vibrações e ser montada numa câmara escura e, quando não em uso, os componentes ópticos deverão estar protegidos de poeiras e humidade. Considerar também a importância das regras de segurança, como a obrigatoriedade do uso de luvas e a manipulação correcta da fonte laser. Como a intensidade luminosa de um laser é suficientemente elevada Fig. para causar danos à visão, montou-se a mesa de trabalho num plano inferior à altura média da cintura dos alunos (60 cm do solo) para diminuir o risco de eflexões indesejadas. As soluções químicas foram preparadas na hotte do laboratório de química e durante a revelação a ventoinha existente na câmara escura anexa ao laboratório de Física esteve sempre ligada.

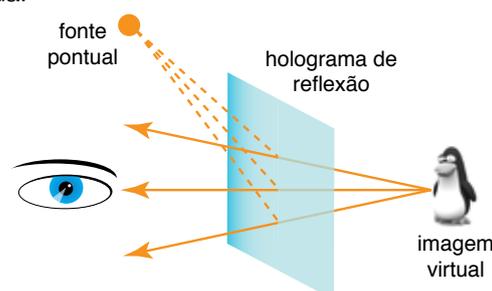


Fig. 2 - Observação de um holograma de reflexão de feixe único

A montagem experimental

O material necessário para a realização deste trabalho incluiu:

- laser e mesa isoladora
- bloqueador de feixe
- lente esférica e respectivo suporte
- diafragma
- suporte das chapas holográficas para reflexão
- chapa holográfica de dimensões 2"×2,5" ou película
- chapa branca de PVC para alinhamento do feixe
- chapa de vidro limpa
- soluções de revelação e branqueamento
- água destilada
- três tanques e respectivo suporte de chapas/filme
- luvas
- pinças
- luz de segurança
- relógio

O equipamento encontrava-se numa câmara escura dotada de uma luz de segurança. A mesa de trabalho tinha três componentes: um pedaço de carpete, uma câmara-de-ar e uma chapa de ferro plana de dimensões 70 cm × 70 cm × 0,6 mm [4], possibilitando o registo de hologramas até 10 cm × 12,5 cm. A Figura 3 apresenta o esquema dos seis elementos utilizados para a obtenção de hologramas de reflexão de feixe único.

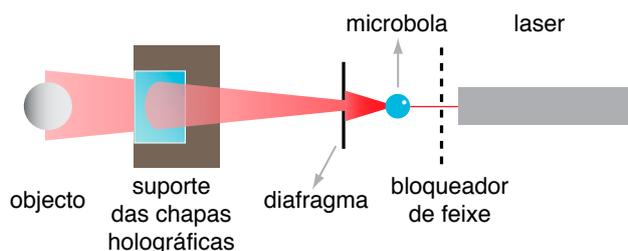


Fig. 3 - Esquema da montagem linear para o registo de hologramas de reflexão

A descrição do procedimento experimental começa pelo laser, pois a sua selecção condiciona as dimensões da mesa, bem como o tipo de hologramas. A escolha incidiu sobre um laser de gás hélio-néon, com uma potência entre 0,8 e 1 mW. Liga-se o laser cerca de 30 minutos antes de iniciar o trabalho.

O primeiro elemento após o laser é um bloqueador de feixe pintado com tinta negro-mate para evitar reflexões. Posiciona-se o bloqueador de feixe a 15 mm do laser e verifica-se se o bloqueador está bem centrado.

O elemento seguinte é a lente esférica, com o diâmetro de aproximado de 5 mm e cuja distância focal é de 2,8 mm (Coherent Optics, referência n.º 43-4761), montada num aro metálico com um diâmetro de 2 cm, suspensa por dois parafusos de PVC, para facilitar a limpeza e evitar marcas. Este aro situa-se na extremidade de uma haste metálica, sustentada por uma peça hexagonal, integrada num poste roscado a uma base magnética. O alinhamento do feixe obtém-se rodando os parafusos que se encontram na peça hexagonal. O equipamento óptico requer um cuidado extremo de limpeza porque qualquer impureza afecta a qualidade do holograma. Coloca-se a lente esférica a uma distância de 15 mm do bloqueador, alinhada com o feixe.

O diafragma situa-se a aproximadamente 30 mm da lente esférica. A presença do diafragma não é indispensável, mas melhora a apresentação final do holograma. Pode ser um diafragma velho de uma máquina fotográfica, ou, no nosso caso, uma lâmina larga de um X-ato, com um orifício de 5,3 mm de diâmetro, colada num íman com plasticina preta. Verifica-se se o feixe está limpo e alinhado, colocando uma placa branca de PVC de dimensões 2"×2,5", no suporte da chapa holográfica. Este procedimento permite visualizar se existem poeiras ou sujidades na lente esférica.

O último componente é o suporte das chapas, colocado a 180 mm de distância da lente esférica. Foi construído em PVC de tom negro despolido e com inclinação de 45°, porque quando se regista um holograma é mais cómodo ter um suporte inclinado do que levantar o laser e o suporte da lente simultaneamente segundo esse ângulo. Como o ângulo de incidência do feixe na emulsão é igual ao ângulo de incidência da luz sobre o holograma na reconstrução da imagem [5], se o feixe atingir o filme com uma incidência de 90°, a fonte de luz necessária à reconstrução teria de ficar mesmo em cima da cabeça observador, o que tornava a observação inexequivel.

Por fim, fixa-se o objecto no suporte, invertido em relação à sua posição normal e o mais perto possível da chapa, com plasticina preta. Verifica-se a uniformidade da iluminação do objecto, colocando uma chapa de vidro limpa no suporte da chapa holográfica e, com as luzes apagadas, observa-se a imagem obtida no vidro por reflexão do objecto. A escolha de objectos incidiu sobre mecanismos de relógio, moedas, brincos e conchas, brancos ou metalizados e sem grandes reentrâncias, para uma iluminação mais uniforme. As distâncias referidas entre os vários componentes no montagem originam uma zona de incidência do feixe pequena, o que permite a diminuição do tempo de exposição (Figura 4).

Uma vez alinhado o feixe com o objecto, apagam-se todas as luzes, excepto a de segurança, e bloqueia-se o feixe (desprendendo o fio do bloqueador). Efectua-se uma pausa de dois minutos até os olhos se acomodarem. Ajusta-se o temporizador do relógio, com o tempo de exposição. Coloca-se a chapa holográfica no suporte, verificando se o lado da emulsão fica voltado para o objecto.



Fig. 4 - Montagem linear para o registo de hologramas de reflexão

Através da internet podem ser adquiridas emulsões com suporte de vidro ou filme de acetato [6]. Os factores que as diferenciam são essencialmente o preço, a resolução e a preparação para a exposição. Em qualquer dos casos, é necessária a utilização de luvas na sua manipulação, de forma a evitar cortes e/ou dedadas. As chapas utilizadas neste trabalho, tanto nos hologramas de reflexão como nos de transmissão, foram as BB640, fabricadas pela HRT, e escolheu-se a película PFG-01, da Slavich. As chapas BB640 eram conhecidas pela boa qualidade dos hologramas realizados, mas o seu preço não era atractivo. Para atenuar este factor, cada chapa foi cortada pela professora em quatro partes de dimensões 5x6,25 cm.

Quando se escolhe a película é necessário colá-la num vidro e, para tal, usamos os seguintes materiais: um quadrado de vidro opticamente plano, de dimensões ligeiramente superiores às do filme, líquido de limpeza de vidros, glicerina, um conta-gotas, papel absorvente e uma bola de praia. Limpa-se bem o vidro utilizando o papel absorvente e o limpa-vidros. Coloca-se o vidro sobre o papel. Ao centro colocam-se três gotas de glicerina. Fecha-se a luz branca e trabalhando apenas com a luz de segurança deposita-se a película sobre a glicerina, segurando-a pelas extremidades, de maneira a encurvá-la ainda mais. A parte convexa fica em contacto com a glicerina, e a parte côncava (onde está depositada a emulsão) apresenta-se voltada para cima. Deposita-se por cima outro papel absorvente e com a bola de praia inicia-se uma pressão a partir do centro do conjunto. Ao exercer pressão com a bola, a glicerina espalha-se uniformemente do centro para as extremidades, diminuindo a possibilidade do aparecimento de bolhas de ar. A glicerina excedente deve ser absorvida pelo papel, para evitar reflexões indesejáveis. Esta operação (Figura 5) deve ser treinada com luz branca, antes de ser realizada com a luz de segurança. A colagem considera-se boa, quando ao olharmos para um objecto através do vidro, a sua imagem não sofrer distorções.

Os dois factores que governam a formação da imagem latente numa emulsão são a intensidade do feixe de referência e do feixe objecto. Os tempos de exposição foram determinados por tentativa e erro. Para os objectos mencionados, obtivemos valores de tempos de exposição entre os 8 e os 20 segundos para as chapas BB-640, reveladas através do processo pirocromio. No caso da película PFG-01, os valores do tempo de exposição são duas a três vezes menores como, por exemplo, para o mecanismo de relógio revelado segundo o processo associado ao Rodinal, cujo valor situou-se nos dois segundos.

Para o registo de um holograma o procedimento é o seguinte: uma vez alinhado o feixe com o objecto, apagam-se todas as luzes excepto a de segurança e bloqueia-se o feixe. Após a acomodação ocular à escuridão, ajusta-se o tempo de exposição no relógio e coloca-se a chapa no suporte com o lado da emulsão voltada para o objecto. Inicia-se então o relógio e desbloqueia-se o feixe. Duran-

te a exposição deve-se evitar ao máximo qualquer movimento ou vibração e até a respiração deve ser contida. Terminada a exposição, bloqueia-se o feixe. Segue-se então o processo de revelação.

Revelação

A escolha de reveladores efectuou-se em função das recomendações dos fabricantes. Na revelação das chapas BB-640 utilizou-se o processo pirocromio (preparado no laboratório a partir de duas soluções [7]: uma contendo pirogalhol e outra alcalina) enquanto, no caso da película PFG-01, usaram-se dois reveladores comerciais fotográficos – o Rodinal e o Xtol.

O pirogalhol é o agente revelador recomendado pelo fabricante das chapas BB640, para hologramas de reflexão. É considerado um revelador cortante, devido à sua capacidade de endurecer a emulsão (tornando-a insolúvel e resistente a contracções) e criar simultaneamente uma camada superficial sobre a emulsão, a qual incrementa a densidade e a modelação, sem aumentar o grão [8]. Um dos reveladores sugeridos pelo fabricante da película PFG-01 é o SM-6, cuja composição, permitiu a substituição pelo Xtol [9]. Este revelador é considerado pouco tóxico e os hologramas obtidos neste processo apresentam uma cor verde devido à contracção da emulsão. Para obter hologramas de cor vermelha utilizou-se também o Rodinal, conjugado com o branqueador de rehalogenização. Antes de revelar as películas PFG-01 é necessário descolá-las do vidro e mergulhá-las num banho de água destilada, para retirar toda a glicerina que se encontra na face oposta da emulsão.

Uma revelação cuidada é o passo seguinte, e devido à toxicidade dos reveladores como o pirogalhol ou Rodinal, construíram-se três tanques de revelação com tampa em PVC e respectivo suporte acrílico para 2+2 (frente e verso do suporte) chapas ou películas (Figura 6).

A chapa ou película é colocada no suporte com a face sensível para fora e depois introduzida no tanque de revelação. O tempo de revelação recomendado varia entre dois a quatro minutos a uma temperatura de 20 °C. É aconselhável praticar uma agitação cruzada nos primeiros dez segundos, e efectuar agitações curtas de cinco em cinco segundos, em cada intervalo de trinta segundos.

Durante o processo de revelação podemos avaliar a evolução da densidade até ao grau pretendido, retirando por



Fig. 5 - Técnica de colagem com uma bola de praia

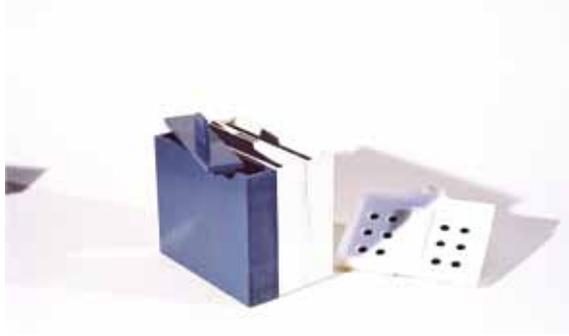


Fig. 6 - Tanques de revelação

momentos o suporte transparente com o holograma e comparando-o com um já realizado. Se a emulsão não atinge essa densidade ao fim de quatro minutos é porque houve subexposição, mas deve-se continuar o processo até ao branqueamento pois, mesmo assim, pode estar registado um holograma. Inversamente, se a emulsão ficar negra após 30 a 60 segundos de revelação, significa que houve sobreexposição e nesse caso, retira-se imediatamente do revelador. Quando atinge a densidade ideal, a revelação é interrompida, passando a chapa ou película por um banho de paragem, com água destilada, para retirar a maior parte do revelador.

Depois deste banho, coloca-se o holograma no tanque do branqueador, agitando, até branqueamento completo. Utiliza-se a mesma solução branqueadora no processo pirocromio e no Xtol [9] ou, usa-se em alternativa a R-9 [10]. No processo de branqueamento associado ao Rodinal, utilizou-se a fórmula de Blyth, que provoca um enegrecimento da emulsão ao longo do tempo. Por essa razão, é necessário um banho com uma solução designada vulgarmente por *anti-printout*, para lhe retirar quaisquer vestígios que possam existir na emulsão resultante da sensibilização, evitando o enegrecimento causado pela luz ambiente. Na última fase deste processo, retira-se a chapa ou filme do suporte, e coloca-se numa cuvette com água corrente durante cinco minutos. Adiciona-se à água algumas gotas de detergente para a louça como agente molhante, para evitar manchas na superfície após a secagem.

Após a lavagem final, procede-se à secagem através da passagem do holograma, por banhos alcoólicos. Nos hologramas de reflexão realizados com as chapas BB-640, utilizou-se etanol e água destilada. O procedimento consiste em mergulhar a chapa durante um minuto, em cada um de três banhos de etanol a 50%, 80% e 100% respectivamente. Nos hologramas registados com a película PFG-01, a película é mergulhada sucessivamente em dois banhos de propanol a 50% e 100% respectivamente, durante aproximadamente dois minutos em cada tina.

Para os hologramas de reflexão, visíveis com luz branca, existe ainda a fase de protecção da emulsão para prevenir riscos. Esta fase consiste na pintura da superfície que contém a emulsão com tinta para retoque de pintura automóvel preto-brilhante.

Esta montagem permitiu também o registo de hologramas de transmissão com configuração linear, tipo Gabor. Os componentes da montagem são os mesmos, excepto o objecto.

O objecto é um diapositivo de alto contraste, colocado na primeira ranhura do suporte das chapas, encontrando-se a chapa de vidro na ranhura posterior. Nem sempre obtemos um bom holograma (Figura 7).

Se, independentemente do ângulo de orientação, não for possível observar manchas do tipo arco-íris, entre as causas possíveis temos: mau isolamento da mesa de trabalho em



Fig. 7 - Holograma de uma pedra porosa

relação a vibrações; correntes de ar; estabilização incompleta do laser ou uma revelação incorrecta. Outra das anomalias que surgem frequentemente é a pouca nitidez na imagem do holograma. Podem ser várias as causas do sucedido, sendo as mais comuns: o objecto não foi colocado suficientemente próximo da chapa holográfica; tempos de exposição incorrectos que originam sub e sobre-exposição; entradas de luz na sala ou uma luz de segurança incorrecta, ou um objecto demasiado reflector. Por último, a imagem pode ter uma grande nitidez, mas apresentar imperfeições, tais como anéis, manchas irregulares ou bandas, que evidenciam a existência de poeiras na lente esférica.

Conclusões

A holografia pode ser um meio para promover o ensino da óptica, e este trabalho permitiu uma exploração pedagógica centrada nas atitudes, em que os conhecimentos e as capacidades foram adquiridos ao longo da sua execução. Por outro lado, os alunos foram confrontados com a utilização de instrumentos e equipamentos que exigem cuidados especiais de manutenção e segurança, pelo que o ideal será trabalhar com pequenos grupos de três ou quatro elementos.

Em relação a uma possível avaliação quantitativa final esta foi preterida a favor da valorização do interesse pela ciência em geral, através do contributo do trabalho experimental.

A arte de produzir hologramas para registar a tridimensionalidade de um objecto é um processo que não reside apenas na qualidade/preço dos meios, mas também no empenho da vontade.

- 1 M. C. Silva, "Elaboração de um sistema simples para a obtenção de hologramas", dissertação de mestrado, FCUL, Lisboa (2002).
- 2 J. M. Rebordão, "Holografia: Física e Aplicações", Colóquio/Ciências Revista de Cultura Científica 4, 22, Fundação Calouste Gulbenkian Lisboa (1989).
- 3 J. Hansen, B. Schlesinger e F. Underseher, "Holography Handbook", Ross Books, Berkeley (1987).
- 4 J. Iovine, "Holography for Photographers", p.17, Focal Press, USA (1997).
- 5 G. Saxby, "Practical Holography", p. 168, Prentice Hall International, 2ª ed., UK (1994).
- 6 http://www.holokits.com/hologram_film_bb-640.htm
http://www.holokits.com/hologram_film_pfg-01.htm
- 7 S. G. Anchell, "The Darkroom Cookbook", p.73, Focal Press, Boston (1994).
- 8 S. G. Anchell e B. Troop, "The Film Developing Cook book", p. 49, Focal Press, Boston (1994).
- 9 P. Glafkides e P. Montel, "Cours de Chimie Photographique", p. 183, Pierre Zech Éditeur, 5ª ed., Paris (1992).
- 10 P. M. Pascual, "El libro de la Holografia", p. 315, Alianza