

FÁBRICA
CENTRO CIÊNCIA VIVA
aveiro



fis

universidade de aveiro
departamento de física



WORKSHOP DE HOLOGRAFIA

MANUAL DE APOIO

ÍNDICE

1. O que é a Holografia?	3
2. História da Holografia	4
3. Teoria da holografia (introdução)	8
3.1 Princípio da holografia	8
3.2 Suporte holográfico	10
3.3 Material fotossensível	10
3.4 Frequência espacial	11
3.5 Rede holográfica de difração	12
3.6 Banho prévio de sensibilização	13
3.7 Preparação das soluções de revelação	13
3.8 Processamento químico do holograma	14
3.9 Secagem	15
4. Como fazer um holograma	15
4.1 Material ótico	15
4.2 Equipamento	16
4.3 Câmara escura	16
4.4 Vibrações e estabilidade	16
4.5 Registo	17
5. Tipos de hologramas (reflexão e transmissão)	18
6. Sistemas Holográficos	19
6.1 Sistema Holográfico Elementar	19
6.2 Sistema Holográfico Portátil	21
6.3 Sistema Holográfico Avançado	22
Autores	23



1. O que é a Holografia?

Para a maioria das pessoas os hologramas são dispositivos desconhecidos, tecnologicamente complicados que mostram imagens a três dimensões. No entanto, os hologramas estão presentes no nosso dia a dia com variados formatos e em diferentes aplicações. Mesmo sem saber, todos nós já observámos ou utilizámos hologramas pelo menos numa situação do quotidiano. Exemplos onde se pode contactar com holografia são: imagens de brindes, elementos decorativos, imagens publicitárias, papel de embrulho e embalagens, elementos de segurança nas notas e em variados produtos, leitores de códigos de barras, exposições em museus, entre outros.

A holografia é uma técnica de registo de imagens a 3 dimensões. A visualização a 3D é efetuada sem recorrência a dispositivos de visão intermédios (óculos, filtros, janelas), por isso é considerada a tecnologia auto estereoscópica por excelência. Na verdade, a holografia é mais do que uma técnica de registo de imagens, num contexto mais lato a holografia é uma técnica de registo de informação. A teoria da holografia inclui-se no campo da Física e está relacionada com o ramo da ótica. Durante o processo de produção de um holograma existem duas fases bem distintas: o registo do holograma baseado no fenómeno de interferência entre ondas luminosas e a reconstrução da imagem holográfica baseada na difração de ondas luminosas.

Neste manual, apresenta-se em detalhe a teoria da holografia e as várias técnicas holográficas com importantes aplicações no dia a dia. Expõem-se ferramentas e procedimentos para produzir vários tipos de hologramas, desde hologramas coloridos mais complexos a hologramas simples de fácil registo em casa ou numa escola.



2. História da holografia

A palavra Holografia deriva de duas palavras gregas: holos que significa todo e grafia que significa registo ou escrita. Assim holografia significa registo do todo, ou seja, a holografia é uma técnica na qual durante o registo não há perda de informação. Comparando com a palavra fotografia (que também deriva de duas palavras gregas: foto que significa luz e grafia que significa registo ou escrita, ou seja registo da luz) verificamos que ambas são técnicas de registo. É fácil perceber que na fotografia existe perda de informação, ou seja, a imagem registada numa fotografia não possui as características do objeto (3D). No caso da holografia a imagem holográfica registada/reconstruída é “gémea” fiel do objeto (3D), ou seja, não há perda de informação - registo do todo.

A Holografia foi descoberta e desenvolvida pelo cientista húngaro Dennis Gabor em 1947, quando tentava melhorar a resolução da microscopia eletrónica. Tendo em conta o facto de nesta época, a fonte de luz com alguma coerência ser a lâmpada de arco de mercúrio, os resultados foram condicionados. Como a coerência da luz utilizada era limitada, não foi possível produzir hologramas com profundidade, impedindo a obtenção de resultados tridimensionais. No entanto esta primeira abordagem foi de grande importância para os futuros investigadores, que após a descoberta do laser, em 1960 - fonte que emite luz coerente monocromática e bastante intensa - já possuíam a luz ideal para registo de hologramas tridimensionais.

O primeiro laser a funcionar foi construído pelo físico Theodore Maiman, em 1960, o Laser (laser de rubi). Estava assim aberta a porta para o desenvolvimento de variados tipos de lasers e uma nova fonte de luz, com características especiais, ficou à disposição da investigação científica e da holografia em



particular. O laser de rubi de Maiman era um laser pulsado que, ao contrário do laser contínuo, normalmente utilizado em Holografia (laser de He-Ne), emite um pulso de luz com grande energia que dura apenas algumas frações de segundo. Anos mais tarde a utilização de lasers pulsados na holografia permitiu a produção de hologramas de seres vivos, e originou uma nova técnica holográfica, a Holografia Pulsada.

Em 1962, Emmett Leith e Juris Upatnieks da Universidade de Michigan, sem terem conhecimento do trabalho de D. Gabor, reinventam a holografia, utilizando um Laser de Ruby e uma configuração experimental que ficou conhecida como “off-axis”. O resultado foi o primeiro registo de um objeto 3D. Este tipo de hologramas ficou conhecido como Hologramas de Transmissão e consegue reconstruir imagens tridimensionais bem definidas e com grande profundidade, tendo como desvantagem o facto de só poderem ser visualizados com luz laser.

Neste mesmo ano de 1962, o físico russo Yuri Denisyuk, inspirado nos trabalhos de Gabriel Lippmann, apercebe-se que o fenómeno de interferência podia ser utilizado para registo de imagens tridimensionais. Esta ideia permitiu a Denisyuk produzir pela primeira vez hologramas visualizados com luz branca. Este tipo de hologramas ficou conhecido como Hologramas de Reflexão e utilizava uma configuração experimental com interferência por retro-iluminação.

Em 1965, Robert Powell e Karl Stetson publicam o primeiro artigo sobre Interferometria Holográfica. Esta nova técnica permite detetar micro deformações mecânicas, térmicas e acústicas em objetos. Estas pequenas alterações no objeto são detetadas pelo registo de dois padrões de interferência obtidos por duas exposições holográficas, uma primeira exposição do objeto sem interação e uma segunda exposição do objeto sujeito a uma tensão/torção mecânica, oscilação acústica ou transferência



térmica. Esta técnica é muito utilizada no controlo de qualidade de vários materiais e sistemas através de testes não destrutivos.

Uma grande inovação, no campo da holografia, acontece em 1968 quando o físico norte americano Stephen Benton, investigador nos laboratórios da Polaroid em Boston, ao desenvolver sistemas de projeção holográfica (projeto HoloVideo), descobre a Holografia de Transmissão por Luz Branca, que ficou conhecida como Holografia Arco-Íris. Este tipo de hologramas pode ser visualizado com luz branca e reconstrói uma imagem tridimensional colorida apresentando o espetro da luz branca (arco-íris). Devido ao aspeto colorido e à profundidade das imagens holográficas, esta técnica foi bem acolhida pela comunidade artística, que a adaptou ao seu trabalho, contribuindo para uma grande divulgação da holografia. A invenção de Benton teve um grande significado pois possibilitou que os hologramas de transmissão se pudessem visualizar com luz comum (conforme os hologramas de reflexão) e permitiu o desenvolvimento da técnica de estampagem de hologramas (Embossed Holography) para a produção em massa. Estes hologramas, que podem ser produzidos em grandes quantidades, são hoje em dia usados, por exemplo, como selos de segurança nas notas e cartões de crédito.

Em 1969, o físico alemão Adolff Lohmann publica um artigo onde apresenta os primeiros resultados de hologramas construídos por um computador e descobre assim o que hoje é conhecido por Hologramas Gerados por Computador. Nesta técnica o processo de registo para obtenção do padrão de interferência é simulado por um computador, através da realização de vários cálculos para a construção de um padrão binário (constituído por zeros e uns). Este padrão é impresso e reduzido ópticamente para posterior leitura a laser e conseqüente reconstrução da imagem. Atualmente, com a existência de impressoras a laser, o padrão pode ser imprimido diretamente para leitura.



O aparecimento de moduladores espaciais de luz permite eliminar o processo da impressão, ou seja, o padrão gerado é enviado, em tempo real pelo computador, para o modulador que está a ser lido por luz laser. Assim a imagem é reconstruída em tempo real. Recentes técnicas computacionais consistem em fazer não só a simulação do registo holográfico, mas também da reconstrução holográfica. Atualmente é possível fazer o registo digital dos padrões holográficos, utilizando como suporte um detetor CCD de alta resolução que envia a informação do padrão de interferência para um computador, para posterior reconstrução computacional da imagem holográfica - esta técnica é conhecida por Holografia Digital.

Em 1971 é atribuído o Prémio Nobel da Física a Dennis Gabor pela sua invenção da Holografia em 1947.

No ano seguinte, 1972, Loyd Cross, funda em Chicago um Museu de holografia e desenvolve uma nova técnica combinando a holografia e o cinema para produzir imagens tridimensionais com movimento - holografia estereoscópica. Mais tarde fundou a Multiplex Company, e utilizando esta nova técnica, produziu centenas de imagens holográficas que ficaram conhecidas por hologramas multiplex.

No mesmo ano de 1972, Tung Jeong começou a sua odisseia de Simpósios anuais sobre holografia, que seriam o início de variadas iniciativas e trabalhos cujo objetivo era a divulgação da holografia entre artistas, cientistas, empresários, professores e alunos de escolas. Começa aqui a grande divulgação da holografia, visto que estes seminários eram especialmente dedicados a pessoas sem formação em Física.

Nos anos 80 Hans Bjelkagen expõem trabalhos de holografia pulsada e Holografia a Cores Reais. Bjelkagen publicou vários



artigos sobre holografia, sendo atualmente um dos peritos em materiais holográficos, processamento de hologramas e holografia a cores.

Atualmente existe uma grande investigação em diversos temas na área da holografia.

3. Teoria da holografia (introdução)

3.1. Princípio da holografia

A holografia consiste na utilização do fenómeno interferência como mecanismo para codificar e guardar informação. Uma frente de ondas luminosas coerentes possui informação acerca do objeto de onde está a ser difundida. Esta informação está associada à amplitude e à fase da onda. Com a holografia consegue-se guardar toda a informação contida numa frente de ondas coerentes, ou seja, consegue-se guardar a amplitude e também a fase da onda. Para tal, utiliza-se uma fonte coerente de fundo como referência que vai interferir com a frente de ondas objeto. Conforme mostra a Fig. 1, o suporte holográfico recebe dois feixes de luz coerente: um feixe proveniente do objeto a ser holografado, f_o , e um feixe de referência proveniente diretamente do laser, f_r .

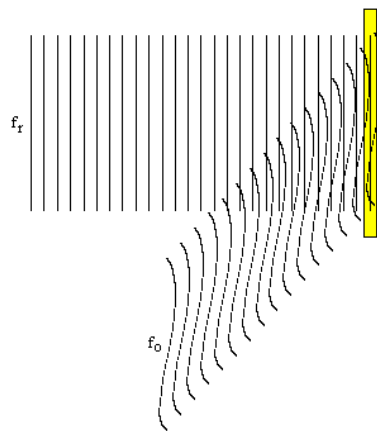


Fig. 1: Formação do padrão de interferência no suporte holográfico.



O que fica sensibilizado no suporte holográfico são franjas de interferência. As franjas são o resultado de uma diferença de espessura na emulsão causada pela exposição ou não à luz, devido à interferência. A configuração das franjas e a proximidade delas (frequência espacial) deve-se à forma e posição do objeto em relação ao suporte holográfico, e conseqüentemente, ao ângulo entre o feixe referência e o feixe objeto.

Como não há perda de informação, na reconstrução da imagem vai-se obter novamente toda a onda objeto (amplitude e fase) tal como ela era. Assim o objeto aparece como se ali estivesse, ou seja, aparece a 3D e na perspectiva em que se encontrava.

Verifica-se pois que cada ponto do holograma possui toda a informação do objeto e que todo o holograma possui informação de um só ponto do objeto. Tal facto pode facilmente demonstrar-se, tapando parte de um holograma que ao ser observado revela na mesma toda a imagem do objeto.

Na visualização do holograma, as franjas gravadas vão funcionar como uma rede de difração. Ocorre uma difração de ordem zero e duas de primeira ordem, formando-se assim duas imagens: uma imagem real e outra imagem virtual. As imagens são tridimensionais porque são formadas pela interceção de ondas vindas de diferentes direções (Fig. 2).

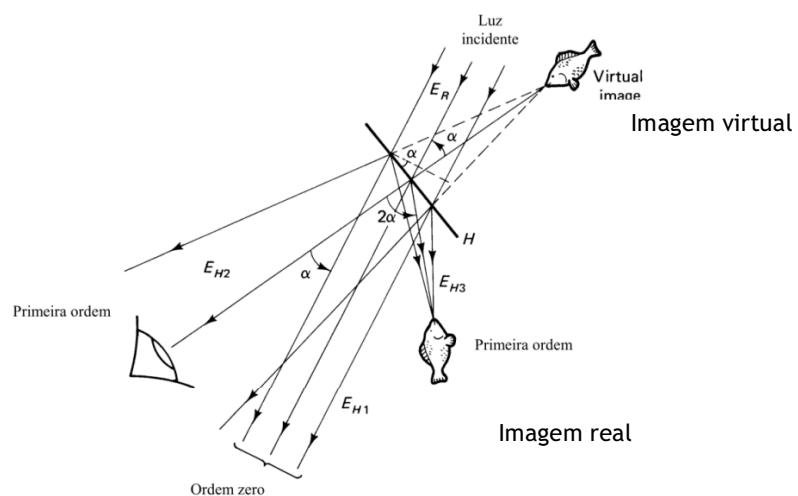
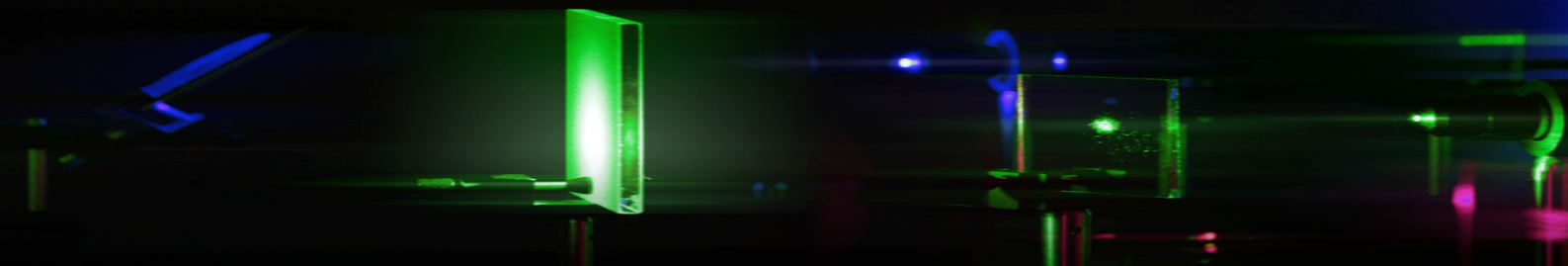


Fig. 2: Comportamento do suporte holográfico como rede de difração.



De referir que a qualidade da imagem é função do tamanho da placa e da frequência espacial das franjas. O tipo de soluções utilizado durante a revelação assim como o tipo de processamento químico também têm influência no resultado e eficiência do holograma.

3.2. Suporte holográfico

O problema essencial em holografia é a necessidade de preservar a informação da fase. É necessário um material com sensibilidade para a luz utilizada - emulsão.

Esta emulsão, normalmente constituída por gel dicromatado (DCG) ou halogenetos de prata (AgX), encontra-se sobre uma base sólida - substrato. Este material onde se faz o registo do holograma chama-se suporte holográfico (Fig. 3).



Fig. 3: Esquema da vista lateral ampliada de um filme/placa holográfico/a.

3.3. Material fotossensível

Existem vários compostos químicos e vários materiais sensíveis à luz. Todos eles se dividem nas duas seguintes categorias: materiais de halogenetos de prata (AgX) e materiais não de prata. Dos materiais não de prata temos, entre outros: gel dicromatado (DCG), fotopolímeros, fotorresistentes, termoplásticos, cristais ferroelétricos. Os mais usados são os materiais de halogenetos de prata e o gel dicromatado.

3.4. Frequência espacial

Durante o registo de um holograma, se o comprimento de onda do laser utilizado for λ , então a separação d entre as franjas do padrão de interferência é obtida a partir da equação de Bragg:

$$d = \frac{\lambda}{\sin \theta_r + \sin \theta_o}$$

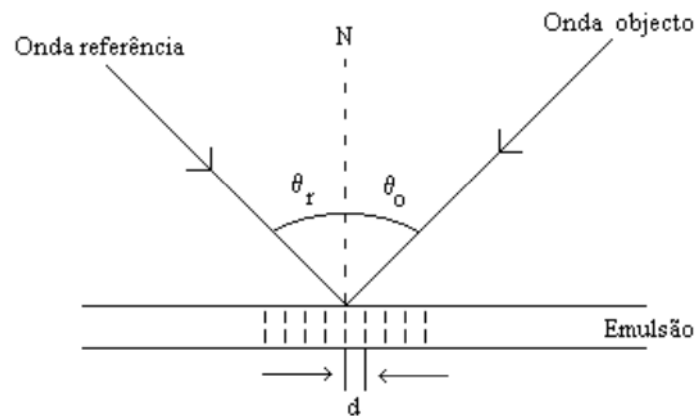


Fig. 4: Representação dos ângulos dos feixes incidentes com a normal ao filme/placa holográfico(a).

Como a frequência espacial, f_s , é o inverso da distância entre as franjas:

$$f_s = \frac{1}{d} \Rightarrow f_s = \frac{\sin \theta_r + \sin \theta_o}{\lambda}$$

Outra forma de calcular a frequência espacial, f_s , é pela seguinte expressão:

$$f_s = 2 \sin \left(\frac{\alpha}{2} \right) \quad \text{onde: } \alpha$$

representa o ângulo entre o feixe referênciã e o feixe objeto.



3.5. Rede holográfica de difração

Se registarmos o padrão de interferência entre duas frentes de ondas planas, obtemos um holograma elementar, constituído por riscas planas equidistantes, distanciadas da ordem de meio comprimento de onda (Fig. 5). Isto significa que para gravarmos uma rede holográfica de difração necessitamos que o feixe objeto seja igual ao feixe referência. Tal situação pode-se facilmente obter utilizando um espelho como objeto (Fig. 6).

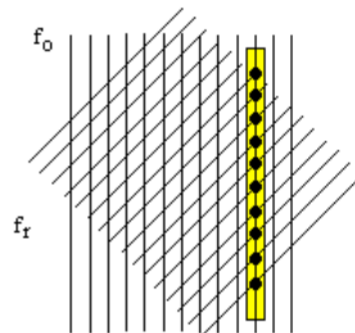


Fig. 5: Formação do padrão de interferência entre duas frentes de ondas planas - holograma elementar.

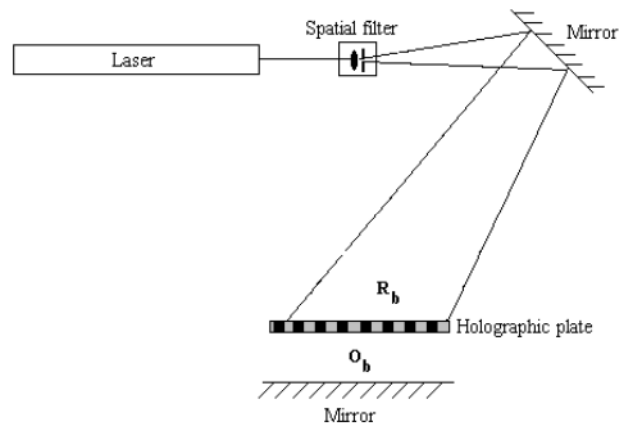


Fig. 6: Diagrama experimental para gravação de redes holográficas de difração por reflexão.

3.6. Banho prévio de sensibilização (BB-640 Colour Holographic)

Banho prévio

Antes de se efetuar o registo (exposição ao LASER), as placas necessitam de um banho prévio em água destilada para sensibilizar a emulsão. Caso se pretendam construir hologramas multi-coloridos este banho prévio será numa solução de TEA (Trietalolamina) de concentração conhecida. O banho prévio deve ser feito na câmara escura, com a luz de apoio verde, e tendo o cuidado de colocar a superfície da placa que contém a emulsão voltada para cima. As placas devem permanecer no banho durante 20 minutos. Após este tempo, devem ser retiradas e colocadas a secar durante 24h num local isolado de qualquer luz e colocadas na vertical.

Só após este procedimento se poderá efetuar o registo holográfico (exposição ao LASER).

3.7. Preparação das soluções de revelação

Na preparação das soluções química do revelador e do branqueador para as placas Colour Holographic BB 640, deve-se seguir a ordem de dissolução e quantidades indicadas a seguir:

Revelador: CW-C2

Parte A:

Metol	2.00 g
Ácido ascórbico	12.50 g
Água destilada	até 500 mL

Tabela 1: Composição química do revelador CW-C2 (Parte A) para as placas Colour Holographic BB 640.



Parte B:

Carbonato de sódio	35.00 g
Hidróxido de sódio	7.50 g
Água destilada	até 500 mL

Tabela 2: Composição química do revelador CW-C2 (Parte B) para as placas Colour Holographic BB 640.

Branqueador:

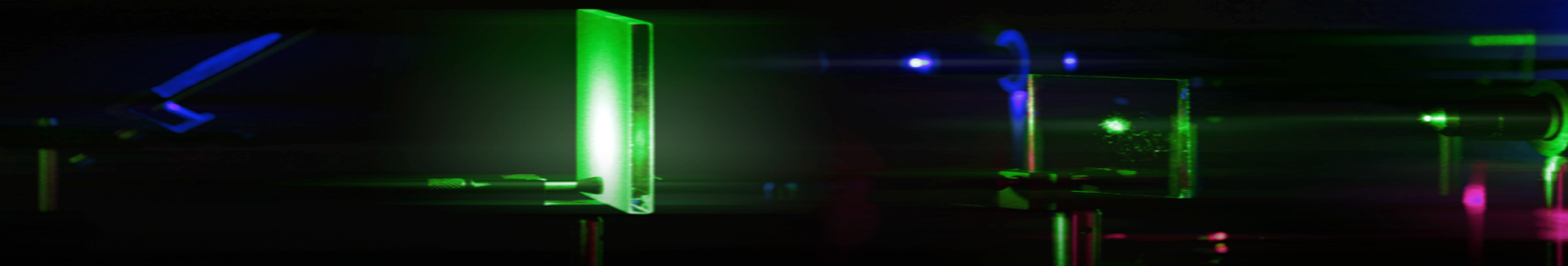
Sulfato de cobre, penta-hidratado	35.0 g
Brometo de potássio	100.0 g
Bissulfato de sódio, mono-hidratado	5.0 g
Água destilada	1000 ml

Tabela 3: Composição química do branqueador para as placas Colour Holographic BB 640.

3.8. Processamento químico do holograma

Após o registo do holograma será necessário realizar o processamento químico do holograma (revelação e branqueamento). Este processamento químico consiste numa sequência de banhos em soluções químicas, os quais são apresentados a seguir.

No início do processamento químico é necessário preparar o revelador. Para tal deve-se juntar quantidades iguais do “Revelador solução A” e do “Revelador solução B” numa tina de revelação. Posteriormente, colocar o branqueador e água (banhos de paragem) nas respetivas tinas de revelação.



Finalmente realizar o seguinte procedimento de revelação:

1º - Revelador (CW-C2)	4 mins
2º - Água Destilada	3 mins
3º - Branqueador	até clarear
4º - Água Destilada	3 mins
5º - Água Corrente	3 mins

3.9. Secagem

Após o processamento químico a placa holográfica é colocada a secar na vertical, protegida de ambientes com humidade ou pó (por exemplo no interior de um exsiccador). Outra possibilidade será secá-la de forma mais rápida utilizando um soprador de ar frio ou secador com ar frio (não se deve utilizar secador de ar quente pois poderá danificar a emulsão).

Após a secagem, o holograma estará pronto para ser visualizado.

4. Como fazer um holograma

4.1. Material ótico

O material necessário para holografia é o comum utilizado em ótica: íris, lente/objetiva de microscópio (filtro espacial), espelho, divisor de feixe, cartão preto (ou obturador eletrónico), os respetivos suportes e um suporte para a placa holográfica.

- A lente/objetiva é normalmente utilizada para expandir o feixe laser ou, em alternativa, sempre que possível deve-se utilizar



um filtro espacial, este além de expandir o feixe, também o limpa.

- A íris permite selecionar uma determinada zona do feixe expandido e controlar a área que se quer expor.

- A utilização de espelhos permite projetar sistemas compactos e com uma maior versatilidade. Apresentando contudo, desvantagens do ponto de vista económico e de alinhamento.

- O divisor de feixes serve, quando necessário, para dividir o feixe de modo a se obter um feixe referência e um feixe objeto.

- Um obturador elétrico ou manual permite controlar os tempos de exposição.

4.2. Equipamento

O equipamento necessário para holografia é bastante simples. Basta uma mesa anti-vibrações (caixa de areia ou uma mesa ótica) e um laser (He-Ne com potência superior ou igual a 5 mW).

4.3. Câmara escura

Todo o sistema holográfico deve ser montado numa câmara escura. Como a emulsão é sensível à radiação da luz laser utilizada (633nm), a gravação e revelação do holograma devem ser feitas na presença de luz de outro comprimento de onda (exemplo lâmpada verde) ou na ausência de luz.

4.4. Vibrações e estabilidade

Como um holograma não é mais do que a gravação do padrão de interferência entre dois feixes, é necessário que o sistema, durante a exposição, esteja completamente imóvel e isento de vibrações. Se tal condição não existir, é possível verificar que o padrão desaparece imediatamente e nada se consegue gravar,



ficando o filme sem registo de informação. Se, por algum motivo, ocorrer algum movimento num dos feixes, o outro tem que sofrer um movimento igual e simultâneo de modo que a velocidade relativa dos feixes seja zero.

Como a distância entre franjas é de ordem nanométrica, deve-se utilizar um equipamento anti-vibrações. O sistema pode parecer imóvel e isento de vibrações, mas na realidade, podem existir pequenas oscilações (da ordem referida), que não são de fácil perceção e que impossibilitam o registo. Logo, deve-se testar o sistema holográfico montando um interferómetro para medir o seu estado vibracional.

4.5. Registo

Consoante se pretende gravar um holograma de reflexão ou de transmissão, assim a respetiva montagem experimental (ver tipos de hologramas no capítulo seguinte). A montagem que utilizar deve permitir que a placa holográfica receba os dois feixes de luz, ou seja, receba a luz proveniente do laser (feixe referência) e a luz proveniente do objeto (feixe objeto). Quando queremos registar um holograma de reflexão os dois feixes deverão chegar à placa holográfica de lados opostos e quando queremos fazer um holograma de transmissão os dois feixes deverão chegar à placa holográfica do mesmo lado. Para além de se analisar o nível de estabilidade do sistema e medir o comprimento ótico dos feixes, é necessário também medir o “ratio” entre os feixes assim como a potência que chega à placa.

Conhecendo a energia mínima (E) necessária para que a emulsão seja fotossensibilizada e a potencia da luz laser (P) que chega à placa, faz-se a estimativa do tempo de exposição necessário, através da expressão (Δt):

$$P = \frac{E}{\Delta t}$$



Posteriormente é necessário realizar alguns ensaios, de modo a otimizar o tempo de exposição determinado. Finalmente, faz-se o registo do holograma, com todo o sistema alinhado, expondo o filme/placa holográfico(a) durante o tempo que foi estimado. Durante a exposição tem que existir o máximo de silêncio e de estabilidade.

5. Tipos de hologramas

Existem várias técnicas de registo holográfico, baseadas em dois tipos de holografia:

- Holografia de transmissão
- Holografia de reflexão

Holograma de transmissão:

No registo de um holograma de transmissão (Fig. 7), o feixe objeto e o feixe referência juntam-se do mesmo lado do filme holográfico.

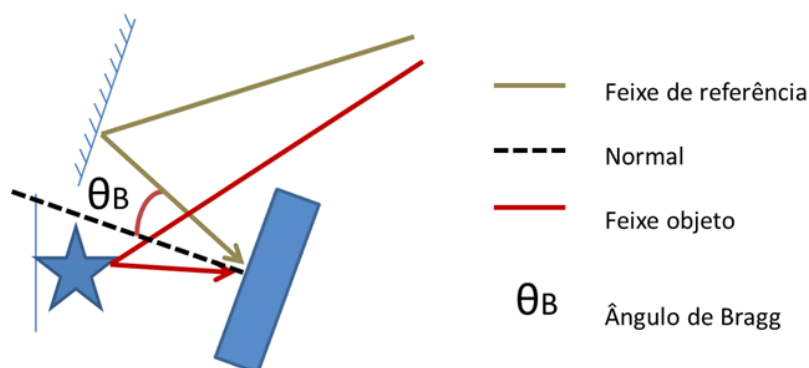


Fig.7: Diagrama para holograma de transmissão.

Holograma de reflexão:

No registo de um holograma de reflexão ou holograma Denisyuk (Fig. 8), o feixe objeto e o feixe referência juntam-se, vindo de lados opostos do filme holográfico.

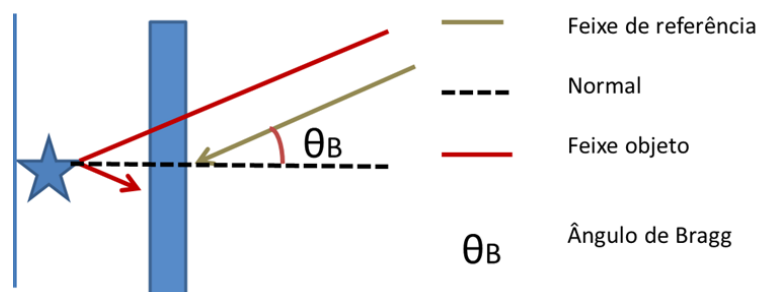


Fig. 8: Diagrama para holograma de reflexão.

6. Sistemas Holográficos

Existem diferentes tipos de sistemas holográficos, alguns até no mercado. No entanto, os que se comportam de forma mais estável são os que se apresentam abaixo.

6.1 Sistema Holográfico Elementar

O sistema holográfico elementar é baseado em caixa de areia e dedicado ao ensino de técnicas holográficas.

O sistema integra materiais de baixo custo e possui dimensões para produção de hologramas de formato pequeno.



Fig. 9: Caixa de areia com configuração para holografia de reflexão

Os materiais típicos utilizados neste sistema são os seguintes: caixa com areia (da praia), laser He-Ne (1mW), obturador manual, lente (ou objectiva de microscópio) espelho plano, divisor de feixes, pneumáticos e suportes (em PVC).

Recorrendo à utilização de uma caixa com areia, qualquer pessoa que se interesse pelo tema da holografia, pode experimentar sem grandes custos, e com resultados satisfatórios. Por exemplo, para servir de suporte, são usados simples tubos de PVC, cortados à medida, onde são colados os espelhos, o divisor de feixe, e a lente (que vai servir de expansor do feixe).

O mais dispendioso e mais difícil de encontrar é mesmo o laser. Apesar de tudo, não é necessário um muito potente, e por isso os custos excessivos podem ser controlados.

Este sistema permite trabalhar nas seguintes técnicas holográficas: holografia de reflexão (feixe simples e feixe duplo) e holografia de transmissão (feixe simples e feixe duplo). Permite ainda, de um modo simples, a montagem do Interferómetro de Michelson.



6.2 Sistema Holográfico Portátil

O sistema holográfico portátil é um sistema móvel dedicado ao ensino de técnicas halográficas baseadas em feixe único.

O sistema integra materiais de nível simples e possui dimensões para produção de hologramas de pequeno formato.

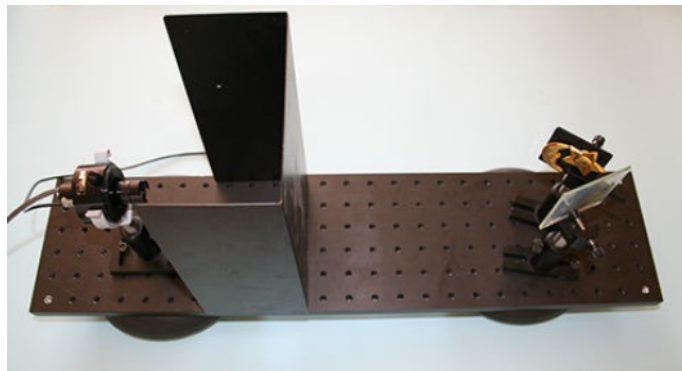


Fig. 10: Sistema Holográfico Portátil em configuração para hologramas de transmissão

Os materiais típicos utilizados neste sistema são os seguintes: base ótica, laser semiconductor (5mW ou 3mW; com lente incorporada), obturador manual, espelho plano, pneumáticos e suportes.

Este sistema permite trabalhar nas seguintes técnicas holográficas: holografia de reflexão de feixe simples, holografia pseudo cor e holografia de transmissão de feixe simples.



6.3 Sistema Holográfico Avançado

O sistema holográfico avançado é um sistema que pode ser dedicado à investigação e desenvolvimento ou ao ensino de técnicas holográficas.

O sistema integra materiais e equipamento de nível avançado e possui dimensões para produção de hologramas de formato médio (A6).

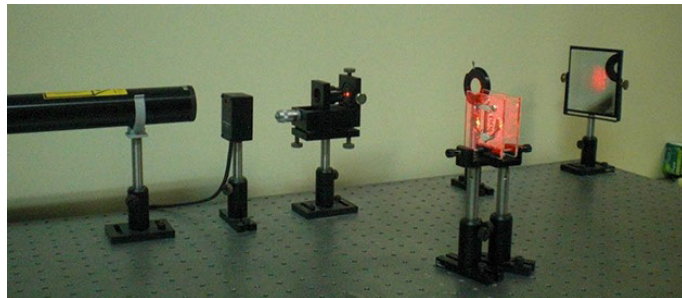


Fig. 11: Sistema Holográfico Avançado em configuração para hologramas de reflexão.

Os equipamentos e materiais típicos utilizados neste sistema são os seguintes: tampo ótica anti-vibrações, laser He-Ne (10mW ou superior), obturador eletrónico, divisor de feixes, filtro espacial (1 eixo micrométrico), espelhos planos, difusores, detetor, pneumáticos e suportes.

Este sistema permite trabalhar em diversas técnicas holográficas tais como: holografia de reflexão (feixe simples e feixe duplo), holografia de transmissão (feixe simples e feixe duplo), holografia pseudo-cor, interferometria holográfica, holografia multicanal, redes holográficas, holografia em linha e holografia pin-hole.



Manual de apoio

Autores

- Pedro Pombo (ppombo@ua.pt)

Departamento de Física - Universidade de Aveiro (DFUA)

Fábrica Centro Ciência Viva de Aveiro, diretor

Projeto Ciência Viva HoloRede, coordenador

- Emanuel Santos (emanuel@ua.pt)

Departamento Física - Universidade de Aveiro (Projeto HoloRede)

