104

**Universidade de Aveiro** Departamento de Comunicação e Arte, 2000

185608

UNIVERSIDADE DE AVEIRO
SERVIÇOS DE DOCUMENTAÇÃO

**Rosa Maria Pinho de Oliveira**

# Pintar com Luz
# Holografia e Criação Artística

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Doutor no ramo de Design, realizada sob orientação científica dos Professor Doutor João de Lemos Pinto, do Departamento de Física da Universidade de Aveiro, Professor Escultor Joaquim Manuel Machado, da Faculdade de Belas Artes da Universidade do Porto e Professor Doutor Luís Miguel Bernardo, do Departamento de Física da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

Este trabalho foi parcialmente suportado pela acção do PRODEP 3/94, medida 5.2 e pelo Programa ERASMUS, de 96.

UA-SD
232386

**o júri**

presidente:

Prof. Doutor Helmuth Robert Malonek
professor catedrático da Universidade de Aveiro.

vogais:

Prof. Doutor João de Lemos Pinto
professor catedrático da Universidade de Aveiro.

Prof. Doutor Luís Miguel Bernardo
professor associado da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

Prof. Doutor António Quadros Ferreira
professor auxiliar com agregação da Faculdade de Belas Artes da Universidade do Porto.

Prof. Doutor Joaquim Manuel Gonçalves Fernandes Machado
professor auxiliar da Faculdade de Belas Artes da Universidade do Porto.

Prof. Doutora Maria de Fátima Teixeira Pombo
professora auxiliar da Universidade de Aveiro.

Prof. Doutor Vasco Afonso da Silva Branco
professor auxiliar da Universidade de Aveiro.

Prof. Doutor António Fimia Gil
professor catedrático da Universidade Miguel Hernandez de Elche (Alicante).

**agradecimentos**

Num trabalho desta natureza nunca estamos sós, ainda que a solidão e a angústia nos assaltem e por vezes naveguemos num mar de incertezas. No contexto de pesquisa e de ensaio em que decorreu este projecto amplamente compartilhado, gostaria de agradecer o importante contributo que outras pessoas e instituições deram para a sua construção.

Começo por agradecer aos Prof. Doutor João de Lemos Pinto, do Departamento de Física da Universidade de Aveiro, Prof. Escultor Joaquim Machado, da Faculdade de Belas Artes da Universidade do Porto e Prof. Doutor Luís Miguel Bernardo, da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, responsáveis pela orientação científica e estética desta dissertação, que com a sua sabedoria e amizade me questionaram, desafiaram e apoiaram. As palavras serão sempre insuficientes para exprimir o meu sentimento de gratidão e de reconhecimento pelo modo como este projecto se construiu.

Ao *CETO* (Centro de Ciências e Tecnologias Ópticas), pela possibilidade de utilizar os seus laboratórios e equipamentos, sem os quais não me seria possível realizar este trabalho, e também aos seus funcionários, especialmente ao Sr. Fernandes, pelas fotografias que fez dos hologramas e que ilustram esta dissertação.

Ao Departamento Interuniversitário de Optica, da Universidade de Alicante, Espanha, liderado pelo Prof. António Fimia, cujo grupo de trabalho me acolheu, integrou e facilitou a tarefa de investigação que aí realizei, no âmbito do Programa Erasmus.

Aos Departamentos de Comunicação e Arte e de Física, da Universidade de Aveiro, cuja cooperação permitiu o avanço do meu projecto.

À minha família, que muitas vezes se ocupou de tarefas que me competiam, para que me pudesse dedicar a este trabalho. Um agradecimento especial à minha irmã Idalinda, sempre disponível para me ajudar na tradução de alguns documentos e pela leitura construtiva que fez desta dissertação.

Aos meus amigos e companheiros de trabalho, em especial à Isabel Azevedo, que comigo tem percorrido alguns caminhos da Holografia Criativa, pelo incentivo que me deram.

A todos os que contribuíram de alguma forma para a construção deste projecto, Muito Obrigada.

**resumo**

Este trabalho, na área da Holografia aplicada às Artes Plásticas, foi motivado pelo desejo de usar e explorar novas tecnologias e novos materiais como suporte e meio de expressão, principalmente enquanto objecto de pesquisa de novas concepções visuais e plásticas, de novos vocabulários expressivos.

Sistematizado de maneira a obter como resultado final uma abordagem criativa da holografia, tornou também necessário dominar a técnica holográfica e de controle da cor em hologramas de reflexão de luz branca.

A cor faz parte do vocabulário visual e, por isso, a sua utilização numa composição plástica reveste-se de grande importância, quer pelas qualidades de uma cor em si, quer pela maneira como interage com as outras cores vizinhas. Por isso, tornou-se também indispensável investigar os procedimentos a usar na manipulação da emulsão antes de a expor, a fim de obter as diferentes cores em hologramas de reflexão, não por obra do acaso, mas sim de uma maneira consciente.

O trabalho foi, portanto, desenvolvido em três vertentes:

a) **vertente física, óptica**, em que se experimentaram diferentes tipos de geometrias, com vista à obtenção de diferentes tipos de hologramas— hologramas de transmissão e de reflexão, de primeira e segunda etapas— com lasers de He-Ne;

b) **vertente química**, em que se procedeu a experiências em material fotossensível de halogeneto de prata, placas e filme, e à manipulação da emulsão antes de expor, com vista à selecção dos procedimentos mais adequados à obtenção dos hologramas de reflexão multicoloridos, tendo-se procedido também a experiências com diferentes processamentos químicos;

c) **vertente plástica**, em que se realizaram trabalhos no âmbito da Holografia Criativa.

Deste estudo resultaram os hologramas apresentados no âmbito desta tese, a que chamei genericamente "Holopinturas", agrupados em séries: "Paisagens de Luz", "Faces" e "Hologeometrias", realizados com base numa abordagem expressiva pessoal.

Neles, a luz é a matéria prima, o elemento fundamental. Luz aprisionada, imaterial, mutável, capaz de produzir uma paleta de cores espectrais autênticas, quando o holograma é iluminado no ângulo apropriado. As imagens registadas são policromáticas e as cores foram seleccionadas previamente, pelo pré-inchamento da emulsão. Os hologramas apresentados foram registados com uma ou mais exposições, conforme o exigido para a obtenção das diferentes cores.

**abstract**

This study, which is within the area of Holography applied to Plastic Arts, has been motivated by the desire to use and exploit new technologies and new materials as support and medium of expression, mainly as an object of research of new visual and plastic conceptions and new sorts of expressive vocabulary.

It has been systematised in such a way as to obtain an aesthetic approach to holography as a final result, and so it requires the manipulation of the techniques of holography and colour control in reflection white light holograms.

Colour is part of the visual vocabulary; as a consequence, its use in a plastic composition is extremely important, not only because of the colour qualities themselves, but also because of the way a certain colour interacts with the other surrounding colours. It has been indispensable to study the procedures necessary when manipulating the emulsion before the exposure, in order to obtain the various colours in reflection holograms, not in a haphazard way, but in a conscious one.

This work has therefore been developed in three aspects:

a) **the physical, optical aspect**, in which different kinds of set-up were experimented, in order to obtain different types of holograms: transmission holograms and master and transfer reflection holograms with He--Ne lasers;

b) **the chemical aspect**, in which experiments with silver-halide photosensitive material, plates and film, were made and the emulsion was manipulated before the exposure in order to select the procedures which seemed more adequate for the achievement of multicoloured reflection holograms; experiments with different sorts of chemical processing were also made;

c) **the visual aspect**, whose main goal was to produce pieces in the scope of Creative Holography.

The results of this study are the holograms which have been presented in this Ph.D. Thesis and which I have generically named "Holopaintings". These holograms were grouped in series: "Landscapes of Light", "Faces" and "Hologeometries" and produced on a basis of a personal expressive approach.

The raw material, the fundamental element of these pieces is Light. Captured immaterial mutable light, able to produce a palette of authentic spectral colours when the hologram is illuminated in the appropriate angle. The images recorded are polychromatic and the colours were selected previsiously by means of the emulsion preswelling. The holograms were recorded during one exposure or even more, according to what was required for the achievement of different colours.

**resume**

Cette étude dans le domaine de l'Holographie appliqué aux Arts Plastiques a été motivée par le désir d'essayer et explorer des nouvelles technologies et des nouveaux matériaux comme objet de recherche de nouveaux concepts visuels et plastiques et de nouveaux vocables expressifs.

Le résultat prétendu étant une approche esthétique de l'holographie, il a été nécessaire de maîtriser les techniques holographiques et de contrôle de la couleur en hologrammes de réflexion de lumière blanche. La couleur faisant partie du vocabulaire visuel, son utilisation dans une composition plastique est d'importance majeure, soit par ses propres qualités esthétiques soit par la manière comme elle influence les autres couleurs. Il a été pour cela aussi indispensable de connaître les méthodes de pré manipulation de l'émulsion avant l'exposition, pour que les différentes couleurs obtenues en hologrammes de réflexion ne soient pas le fruit du hasard, mais consciemment recherchées.

L'étude a été donc développée en trois différentes branches:

a) **physique/ optique**, où plusieurs géometries, avec lasers de He-Ne, on été essayées en vue d'obtenir différents types d'hologrammes—de transmission et de réflexion en première et deuxième étapes;

b) **chimique**, où ont eu lieu des expériences avec du matériel photosensible d'halogénures d'argent, plaques et filme; où la pré manipulation de l'émulsion avant exposition en vue de sélectionner les méthodes adéquates à l'obtention d'hologrammes multicolorés a été effectuée; où divers procédés chimiques de développement ont été experimentés;

c) **plastique**, où les travaux on été focalisés sur le plan de l'holographie créative.

Cette étude a abouti aux hologrammes présentés dans le contexte de cette thèse, réunis en trois séries- "Paysages de Lumière", "Faces" et "Hologéometries" et appelés globalement "Holopeintures", réalisés sur la base d'une approche d'expression personnelle.

La lumière y est la matière première et l'élément fondamental. Lumière capturée, immatérielle, mutable, capable de reproduire une palette de couleurs spectrales authentiques, quand l'hologramme est illuminé dans l'angle approprié. Les images ont été enregistrées en polychromie et couleurs présélectionnées par le pré-gonflage de l'émulsion. Les hologrammes ont été enregistrés par une ou plusieurs expositions, selon besoin dans l'obtention des différentes couleurs.

**ÍNDICE** pág. i

**INTRODUÇÃO** 1

**CAPÍTULO I** 13

**1—LINGUAGEM PLÁSTICA** 13

1.1-PRÁTICAS DE REPRESENTAÇÃO 13

1.2- TECNOLOGIA E TÉCNICA 16

1.3- PERCEPÇÃO VISUAL 18

1.3.1- Factores de Ordem Fisiológica 19

1.3.1.1- Paralaxe Monocular 19

1.3.1.2- Paralaxe Binocular 19

1.3.1.3- Convergência Ocular 21

1.3.1.4- Acomodação do Cristalino 21

1.3.2- Factores de Ordem Psicológica 21

1.3.2.1- Perspectiva Linear ou Cónica 25

1.3.2.2-Visão Estereoscópica 29

1.3.2.3- HOLOGRAFIA 3D 30

1.4- PERCEPÇÃO DO ESPAÇO NA ARTE 31

1.5- PERCEPÇÃO E REPRESENTAÇÃO GRÁFICA 33

1.6- REPRESENTAÇÃO E COMUNICAÇÃO VISUAL 35

1.7- O ACTO DE CRIAÇÃO 36

1.8- A LEITURA DA IMAGEM 37

**CAPÍTULO II** 40

**2—HOLOGRAFIA CRIATIVA** 40

2.1- NA BUSCA DE CAMINHOS ESTÉTICOS EM NOVAS TECNOLOGIAS 40

2.2- UTILIZAÇÃO DO LASER NA ARTE 41

2.3- A ARTE E AS NOVAS TECNOLOGIAS 42

2.4- ARTE E CIÊNCIA 47

2.5- A HOLOGRAFIA CRIATIVA 50

2.6- A RELEVÂNCIA DA HOLOGRAFIA CRIATIVA 51

2.7- ABORDAGENS ESTÉTICAS DA HOLOGRAFIA 54

2.8- QUALIDADES INERENTES À IMAGEM HOLOGRÁFICA 55

2.8.1- A Imagem Holográfica 55

2.8.2- O Espaço Holográfico 56

2.8.3- A Imaterialidade da Imagem Holográfica 59

2.8.4- A Cor na Holografia 61

**CAPÍTULO III** 63

**3— TEORIA DA COR** 63

3.1- A COR 63

3.2- A VISÃO DAS CORES 64

3.3- ASPECTOS FISIOLÓGICOS DA VISÃO DAS CORES (O Olho e o Cérebro) 66

3.3.1- O Olho 67

3.3.2- A Percepção Cromática 71

3.4- ASPECTOS FÍSICOS DA COR (Luz-Cor) 75

3.4.1- Considerações sobre a Natureza da Luz 75

3.4.2- Luz e Cor 79

3.4.3- Luz Coerente e Incoerente 81
3.4.4- Sínteses Aditiva, Subtractiva e Partitiva da Cor 82
3.5- ASPECTOS QUÍMICOS DA COR (Cor-Pigmento) 85
3.6- SISTEMATIZAÇÃO DA COR 86
3.6.1- Perspectiva Histórica 86
3.6.2- Modelos Actualmente Seguidos 98
3.7-INTERACÇÃO DA COR 106
3.7.1-Harmonia da Cor 106
3.7.2- Efeitos Psico-Fisiológicos da Cor 108

**CAPÍTULO IV** 115

**4—ASPECTOS TÉCNICOS DA OBTENÇÃO DA COR EM HOLOGRAFIA** 115

4.1- LASERS 115
4.2- CONDIÇÕES DE REGISTO 119
4.3- TIPOS DE HOLOGRAMA 120
4.3.1-Hologramas de Transmissão 122
4.3.1.1- A Cor nos Hologramas de Transmissão (Hologramas Matrizes) 122
4.3.1.2- Hologramas de Segunda Etapa ( Transfers) 125
4.3.1.3- Hologramas de Arco-Íris 130
4.3.1.4- Hologramas Acromáticos 131
4.3.1.5- Hologramas Estampados (Embossed) 132
4.4- HOLOGRAMAS DE REFLEXÃO 134
4.4.1- Hologramas de Denisyuk 135
4.4.2- A Cor nos Hologramas de Reflexão 136
4.4.2.1- Hologramas Monocromáticos 137
4.4.2.2- Hologramas de Cor Real (True Color) 138

4.4.2.3- Hologramas de Reflexão Multicoloridos 140
4.5- MATERIAIS DE REGISTO 142
4.5.1- Emulsões AGFA-GEVAERT 146
4.5.1.1- Processamento Químico para Agfa 8E 75 HD 148
4.5.1.1.1- Reveladores 150
4.5.1.1.2- Fixador 154
4.5.1.1.3- Branqueadores 156
4.5.2- EMULSÕES SLAVICH 164
4.5.2.1- Características do Material SLAVICH 167
4.5.2.1.1- Emulsões PFG-03M 168
4.5.2.1.2- Processamento Químico das Emulsões PFG-03M 170
4.5.2.1.3- Emulsões PFG-01 172
4.5.2.1.4- Processamento Químico das Emulsões PFG-01 174
4.5.2.2- Escolha dos Materiais: Placas ou Filme? 178
4.6-SUBSTÂNCIAS USADAS PARA ALTERAR A ESPESSURA DA EMULSÃO 181

**CAPÍTULO V** 183
**5—TRABALHO PRÁTICO** 183
5.1-MONTAGEM USADA NO REGISTO DOS HOLOGRAMAS 183
5.2- MANIPULAÇÃO DA ESPESSURA DA EMULSÃO 188
5.2.1- Eficiência de Difracção 193
5.2.2- Tempo de Exposição 201
5.2.3- Temperatura dos Banhos 203
5.3- CONDIÇÕES DE ILUMINAÇÃO DOS HOLOGRAMAS 204
5.4- RESULTADOS— PINTAR COM LUZ 206
5.4.1- As *Holopinturas* 208

5.4.1.1- Série “*Paisagens de Luz”* 208
5.4.1.2- Série “*Faces”* 213
5.4.1.3- Série “*Hologeometrias”* 220

**CAPITULO VI** 225
6.1- CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS DE FUTURO 225
6.2- EVENTOS REALIZADOS NO ÂMBITO DESTE TRABALHO 229
6.2.1- PUBLICAÇÕES 229
6.2.2- EXPOSIÇÕES 229
6.2.3- CD ROM 230
6.2.4- OUTRAS ACÇÕES 230
6.3- BIBLIOGRAFIA 231

# INTRODUÇÃO

*"O pintor pensa em formas e cores; o objecto é a poética."*
Braque

Os gregos diziam que *maravilhar-se* era o primeiro passo no caminho da sabedoria e que, quando deixamos de nos maravilhar, estamos em perigo de parar de saber. Será que tudo o que diz respeito à arte e à criatividade é inteiramente subjectivo, ou haverá padrões objectivos nesta matéria? Terá o objecto artístico características especiais, ou pode ser algo comum, com que convivemos dia a dia? A criatividade será um domínio de apenas alguns, os inspirados, ou uma construção laboriosa, estruturada num esforço continuado? A história do gosto é a história de vários actos de escolha entre alternativas dadas, de preferências assumidas.

Sentidos, vontade, sentimento, imaginação, inconsciente, intuição, que pertencem à esfera do não cognitivo, tornam-se operações mentais e físicas do acto de criação, aliando-se à acção, à experimentação e à realização.

Malraux diz que "a arte nasce da arte, não da natureza". E Nicholas Schoffer entende que dentro do novo espírito artístico, o papel do artista não é já o de criar a obra, mas de criar a criação: cria também o método tecnológico da sua criação.

Através dos tempos, o artista desempenhou diferentes papéis para cumprir as mesmas tarefas, apesar de aparentemente diferentes. Esses papéis foram distintos em diferentes períodos da história, em diferentes conceitos civilizacionais, em diferentes contextos sociais. A tarefa foi sempre a mesma: a *comunicação expressiva*.

O artista foi mágico e intermediário entre os homens e os deuses, ao pintar nas cavernas; foi artesão e criador de objectos de uso quotidiano; foi decorador, contador de estórias e ilustrador ao serviço da Igreja ou dos Estados, ao longo de vários séculos, em diferentes Civilizações. Na Renascença foi artista, mas também cientista e inventor; mais recentemente, liberto das exigências da representação, descobriu, ou redescobriu o significado puramente simbólico da forma e da cor. Mais recentemente ainda, elevou à categoria de objecto de arte coisas tão simples como um urinol ou uma roda de bicicleta, ou sublinhou a importância de coisas tão desprezíveis como os desperdícios de uma sociedade cada vez mais insaciável de coisas novas.

Hoje, num mundo em constante mutação pelos avanços da Ciência e da Técnica, o artista procura também apropriar-se das novas tecnologias, para assim investigar novas formas do imaginário, novos modos de se exprimir.

Pode-se dizer que a arte que é "tecnológica" conta com momentos em que utilizará utensílios que, embora não sejam normais para a arte, não são totalmente desconhecidos do público, pois estão ligados à produção ou à comunicação. A utilização desses instrumentos vai ser organizada pouco a pouco, mas incontestavelmente, em obras de arte, ou práticas artísticas, dos seguintes tipos:

— Estruturas tridimensionais dotadas de mecanismos funcionais (escultura mecanomórfica, escultura cibernética, escultura cinética);

— Dispositivos estéticos que recorrem às máquinas de produção de texto ou de imagem (arte que recorre à reprodução mecânica, arte da fotocópia, arte do vídeo, arte do cinema experimental);

— Criação de imagens por meio de paletas gráficas electrónicas (arte infográfica);

— Composições artificiais obtidas de maneira programática (arte fractal, arte virtual);

— Colocação de enunciados em circulação, através de redes, do tipo da televisão em directo ou da Internet (arte por telecópia, estética da comunicação).

Adquirida a função do suporte técnico, passa-se à discussão sobre o valor estético e de conteúdo da obra; do seu procedimento relevante, em virtude duma vontade de intervenção que só a criação pode oferecer. Ou tratar-se-á apenas da continuação da pintura e escultura com outros "media"? Evocação de imagens renovadoras, ou apenas truques obtidos por novos aparelhos? Entre limites extremos, que vão do material ao imaterial, os critérios de arte tecnológica, ou arte máquina, não podem existir sem evoluir.

Do ponto de vista do artista que integra na sua obra o elemento tecnológico, o uso da tecnologia pela arte, revela-se delicado, estando bem entendido que a arte não é apenas a tecnologia e que também inversamente, a tecnologia não é, por si só, arte. Na ocorrência, uma constante se impõe: a qualificação tem que ser muito reflectida e atender quer à forma, quer ao conceito, quer à intenção, porque a criatividade mistura as pistas.

No que diz respeito à Arte Electrónica, as matérias utilizadas são o ar, o som, a luz e, embora se utilizem máquinas para a sua realização que, por práticas múltiplas, desenham uma limitação do visível, colocam-nos perante uma nova opção material.

Incluem-se nesta designação várias tecnologias como o Video Arte, Arte por Computador, (que abrange a Realidade Virtual, Ambientes Virtuais e Arte Cibernética), a Luz Laser e a Holografia Criativa. Destas áreas, a que me interessa particularmente é a Holografia Criativa. Desde há algum tempo que tem sido objecto do meu estudo e faz parte da minha proposta estética, realizada no âmbito desta dissertação.

Desde os anos 60, que a Holografia captou a atenção de vários artistas, no sentido da sua utilização como uma nova tecnologia expressiva. Assim, a realização de trabalhos de expressão visual e estética tem acompanhado a evolução técnica e científica da holografia. Apesar das dificuldades técnicas e de acessibilidade laboratorial, os artistas, acompanhados

dos cientistas, têm mantido o interesse na utilização desta tecnologia, pois permite uma abordagem diversificada da linguagem plástica. Quer se trate de uma experiência pontual, quer se trate de um trabalho continuado, muitos artistas têm elegido a holografia como o seu meio de expressão e de investigação, havendo trabalhos verdadeiramente significativos em termos conceptuais e impossíveis de realizar noutras técnicas de expressão.

Não é possível ignorar uma certa confusão existente acerca da qualidade estética das peças a que se atribui o nome de Holografia de Exibição (Display Holography). Esta designação tão abrangente engloba, não só peças de verdadeira Holografia Criativa, mas também peças comerciais, ou hologramas de pequenos objectos sem qualquer qualidade estética ou visual.

Esta confusão tem sido bastante prejudicial para a holografia criativa. Porém, cada vez mais, os hológrafos com preocupações estéticas e de verdadeira criação e inovação, desejam uma separação dos conceitos e insistem em lutar por um reconhecimento do seu trabalho.

Torna-se também necessário tomar em conta a relação entre os factores estéticos e técnicos inerentes ao uso de tecnologias sem tradição no meio artístico. Mesmo no que diz respeito às tecnologias aceites como meios de expressão artística, em cada área, de diferentes maneiras, em diferentes contextos, e com diferentes propósitos, cada pessoa encontrará o seu caminho estético, claramente definido. Estes propósitos estéticos podem variar largamente entre os artistas ou grupos de artistas que, embora usem uma mesma tecnologia específica, a exploram distintamente, procurando produzir trabalhos que visual e intelectualmente sejam considerados as suas propostas individualizadas, evidenciadoras da sua maneira de ver o mundo.

Vários caminhos podem ser tomados ou retomados, dado que a relação estreita entre a arte e a técnica conta já com algumas décadas. Segundo Popper[1], um dos principais objectivos dos artistas ao usarem técnicas electrónicas sofisticadas, é a tentativa de implicar o espectador no processo criativo e, em particular, quando se passa de um simples convite à participação, apelar ao envolvimento interactivo elaborado. Passa-se assim, de uma participação a uma interacção.

Quando se faz referência à holografia, é inevitável falar da complexa relação entre Arte e Técnica, entre Arte e Ciência. O recurso à ciência fundamenta, em princípio, a inclinação para um procedimento racional, que poderá levar à saída da criação artística do perímetro incerto da imaginação livre e submetê-la às leis que regem o paradigma racional: leis de organização, do concreto, do preciso [2]. Esta questão é continuamente abordada por vários autores, e creio que o continuará a ser por muito tempo. A evolução da holografia mostra que essa união tem sido frutuosa para ambas as partes.

Partindo de bases científicas, a holografia foi inicialmente usada pelos artistas de uma maneira essencialmente tecnológica, visando a representação hiperrealista e tridimensional de objectos, mas tem vindo, de um modo progressivo, a libertar-se desses condicionalismos iniciais e a utilizar uma linguagem plástica autónoma.

Claro que a holografia, como meio de expressão plástica, tem passado por várias dificuldades de afirmação. Neste processo, mais ou menos complexo inicialmente, dado que era um processo de representação inteiramente novo, qualquer que fosse o objecto registado num holograma, adquiria uma aparência de novidade, que se sobrepunha a qualquer juízo de valor estético. Apesar da grande evolução que a holografia criativa sofreu ao longo destas

[1] POPPER, Frank, *Art of Electronic Age*, Thames and Hudson, 1997, p.8.
[2] ARDENNE, Paul, *Art L'Âge Contemporain, Une histoire des arts plastiques à la fin du XX^e siècle*, Éditions du Regard, Paris, 1997, pp. 218-246.

décadas em que foi utilizada, continua a haver um preconceito resultante desses primeiros tempos, em que havia uma colagem da técnica à sua apresentação como objecto artístico.

Um dos principais factores de análise da holografia centra-se no estudo da imagem holográfica. É, efectivamente, um meio que supõe um novo sistema de representação, cujas imagens apresentam o maior grau de iconocidade conhecido até agora, superando a pintura, a fotografia, o cinema ou a televisão, no que se refere à realidade do mundo que nos rodeia.

O termo "iconocidade" é aqui usado com o significado que lhe atribui Abraham Moles, para determinar o grau de referencialidade de uma imagem, como sendo o grau de coincidência ou semelhança entre um signo e o que esse signo representa. O conceito de iconocidade refere-se também ao facto de que uma imagem é a *imagem* de um objecto real, sendo o grau de *abstracção* uma magnitude autónoma ou inversa ao grau de iconocidade. Concretizando, quanto mais abstracto é um signo com respeito ao objecto a que se refere, menos icónico ele é.

A característica da holografia que se impõe num primeiro momento é, sem dúvida, a sua capacidade de registar imagens tridimensionais tão reais como o próprio objecto. No entanto, numa abordagem um pouco mais profunda, verificamos que se abrem novas perspectivas de investigação para os hológrafos interessados em explorar as particularidades ópticas, cinéticas e imateriais deste meio de expressão.

Uma das mais importantes fontes de arte tecnológica é o uso da luz e do movimento, como elementos criativos, sendo desde o princípio do século interpretados de uma maneira nova. A luz entrou na cena da arte como um agente activo (com Moholy-Nagy, por exemplo), e pode-se dizer que, sendo uma das coisas que mais têm fascinado quer os artistas, quer os cientistas ao longo dos séculos, apenas na nossa época se geraram experiências artísticas que tratam só do jogo da luz de uma maneira "descorporizada". E sendo uma tecnologia fotónica, a Holografia é imaterial, pois que o holograma é apenas luz.

A luz foi reconhecida desde a Antiguidade como a primeira força. As primeiras civilizações adoraram o Sol e a Lua, celebrando-os como divindades dispensadoras do poder positivo e fecundo da luz e da vida, ou do poder negativo e frio da morte. Ora, sem luz não há cor. E a cor é um elemento fundamental do meu trabalho.

A cor holográfica é especialmente interessante. A holografia supõe uma inovação do emprego da cor nas artes visuais, porque se trabalha com luz-cor, e não com cores-pigmento, características das técnicas expressivas tradicionais. A holografia permite utilizar cores espectrais autênticas, susceptíveis de variação contínua e capazes de produzir uma paleta enorme, ao mesmo tempo que, em determinadas circunstâncias, permite também um emprego mais naturalista da cor.

Como um holograma é um registo de luz, qualquer objecto aí registado é uma ilusão da matéria. Em termos de realização formal, a obra desmaterializada, que pode mudar e dissolver-se, permite uma invasão do espaço do observador, forçando-o a uma leitura dinâmica. Por forma desmaterializada pode entender-se um movimento contínuo ou descontínuo, que muda com os sucessivos pontos de vista.

Há vários tipos de holograma e assim, as cores que eles apresentam são também subordinadas à natureza do holograma. Há hologramas monocromáticos e multicoloridos; hologramas que se reconstituem com luz laser e hologramas que se reconstituem com luz branca; hologramas que se vêem à transmissão (iluminados por detrás da placa holográfica) e outros à reflexão (iluminados pela frente da placa holográfica).

Inicialmente os hologramas de transmissão eram reconstituídos com o mesmo laser com que foram registados. Isso fazia com que fosse muito difícil a sua exposição ao público. Posteriormente, foram descobertos os hologramas de transmissão de arco-íris, obtidos pela dispersão da luz passando através de uma fenda e reconstituídos com luz branca. Esta

descoberta abriu novos horizontes à holografia, proporcionando a sua apresentação a um público diversificado, e a realização de exposições em galerias de Arte e Museus.

Porém, os hologramas de transmissão de luz branca têm uma mudança de cor espectral, e que domina qualquer uso da cor que o artista queira fazer no holograma. Como excepção a esta regra, podemos referenciar os hologramas acromáticos, (WLT), registados num ângulo acromático, rigorosamente estudado, técnica esta que não foi utilizada neste estudo.

Os hologramas multicoloridos produzem as suas cores por difracção. No caso dos hologramas de reflexão, também reconstituídos com uma fonte de luz branca, a cor é basicamente idêntica ao comprimento de onda do laser com que foi registado, ou condicionada pelo tipo de processamento usado. Neste caso, a escolha da cor tem de ser feita dentro dos limites permitidos pelos reveladores e branqueadores empregues.

Na sua maioria, os hologramas de reflexão multicoloridos são obtidos por técnicas de *pseudocor*, que envolvem o pré inchamento da emulsão antes de a expor e, por vezes, a mudança do ângulo de referência para um registo correcto de diferentes cores. Em certos casos, exige-se também que se realizem primeiro hologramas matrizes de transmissão, um por cada cor seleccionada, cujas imagens servirão, posteriormente, como objecto no registo em hologramas de segunda etapa. Esta técnica consome muito tempo e é usualmente utilizada apenas em holografia criativa.

Outro problema a considerar é o registo das áreas correspondentes às diferentes cores. Por causa das leis da óptica, as imagens em diferentes cores — vermelho, verde e azul (RGB)—, serão reconstruídas a distâncias diferentes no holograma, sendo então necessário alterar a geometria de registo para se obter um registo correcto. Para isso, é preciso variar a distância e o ângulo de incidência do feixe de referência. Para se obterem cores não espectrais, como o magenta, o procedimento a seguir é o registo dos hologramas por sucessivas

exposições, depois de banhar a emulsão em diferentes soluções de Triethanolamina, também referenciada de maneira abreviada (TEA). Assim, os diferentes grupos de franjas de cor serão vistas pelo observador sobrepostos, aparentando a cor pretendida.

Neste trabalho, realizado em emulsões sensíveis à radiação do vermelho, foram utilizadas técnicas de controle da cor através da manipulação da espessura da emulsão, antes de a expor à luz laser. Foram utilizadas as seguintes substâncias: Água, Ureia e Triethanolamina. Enquanto que a Água actua apenas no aumento da eficiência (brilho) do holograma, sem alterar significativamente o comprimento de onda inicial, a solução de Triethanolamina, em diferentes proporções, actua na emulsão, permitindo a obtenção de todos os comprimentos de onda espectrais, que variam com o grau de concentração da solução.

Embora seja possível também, pelo método da tricomia, obter a cor real de um objecto, desde que se use um laser para cada comprimento de onda registado e emulsões pancromáticas para o seu registo, o método usado para este trabalho foi o da obtenção de cores não reais, as *pseudocores*, que permite criar imagens policromáticas, de cores vibrantes e plenas de brilho. As imagens registadas podem variar continuamente de cor, em sintonia com o movimento do espectador ou com a variação do ângulo de iluminação.

Este trabalho foi desenvolvido em três vertentes:

1- a vertente óptica, em que se experimentaram diferentes tipos de geometrias, com vista à obtenção de diferentes tipos de hologramas;
2- a vertente química, em que se procedeu ao estudo de diferentes processamentos químicos, e à manipulação da emulsão antes de expor, com vista à selecção dos procedimentos mais adequados à obtenção dos hologramas de reflexão multicoloridos;
3- a vertente plástica, em que se procurou realizar trabalhos no âmbito da Holografia Criativa, em que a cor desempenha um papel fundamental. Nos

> hologramas tentou-se preservar a expressividade do gesto e da mancha, em oposição a uma certa rigidez, imposta pelas exigências próprias da tecnologia.

A metodologia seguida foi a experimental, num processo de aproximações sucessivas e de descoberta em relação às diferentes fases e às suas implicações mútuas. O recurso a esta metodologia de trabalho permitiu a observação, a elaboração de novas hipóteses, o ajuste de estratégias até à solução final.

A necessidade de experimentar, a prossecução da investigação a partir de pequenos sucessos e grandes falhas, a constante persistência na procura da solução adequada, a questionação e inquietação constantes, a necessidade de seguir o instinto, por vezes numa direcção oposta à da lógica, levaram à realização deste trabalho.

Assim, no *CAPÍTULO I*, subordinado ao tema LINGUAGEM PLÁSTICA, abordam-se questões que se encontram sempre subjacentes a qualquer trabalho que elabore, e estão relacionadas com a minha formação em Pintura. Neste capítulo são tratados os seguintes assuntos: PRÁTICAS DE REPRESENTAÇÃO; TECNOLOGIA E TÉCNICA; PERCEPÇÃO VISUAL; PERCEPÇÃO DO ESPAÇO NA ARTE; PERCEPÇÃO E REPRESENTAÇÃO GRÁFICA; REPRESENTAÇÃO E COMUNICAÇÃO VISUAL; O ACTO DE CRIAÇÃO; A LEITURA DA IMAGEM.

No *CAPÍTULO II*, o tema é a HOLOGRAFIA CRIATIVA, uma abordagem a diferentes maneiras de sentir e produzir hologramas criativos. Esta análise assenta também no pressuposto de que a Holografia é uma nova tecnologia, pretendendo-se também analisá-la na sua aplicação como meio expressivo. Os assuntos abordados são: BUSCA DE CAMINHOS ESTÉTICOS EM NOVAS TECNOLOGIAS; UTILIZAÇÃO DO LASER NA ARTE; A ARTE E AS NOVAS TECNOLOGIAS; ARTE E CIÊNCIA; A HOLOGRAFIA CRIATIVA;

A RELEVÂNCIA DA HOLOGRAFIA CRIATIVA; ABORDAGENS ESTÉTICAS DA HOLOGRAFIA; QUALIDADES INERENTES À IMAGEM HOLOGRÁFICA.

No *CAPÍTULO III*, o tema é a TEORIA DA COR. A importância deste tema no meu trabalho é justificada pela necessidade de conhecer o máximo de elementos possíveis, que me permitam compreender e controlar a Cor na minha investigação. Neste estudo, baseado numa tecnologia que usa a luz-cor e não a cor-pigmento, este último aspecto da Teoria da Cor é apenas referido e não abordado extensivamente. São estudados os seguintes pontos: A COR; A VISÃO DAS CORES; ASPECTOS FISIOLÓGICOS DA VISÃO DAS CORES (O Olho e o Cérebro); ASPECTOS FÍSICOS DA COR (Luz-Cor); ASPECTOS QUÍMICOS DA COR (Cor-Pigmento), - apenas referidos; SISTEMATIZAÇÃO DA COR - numa abordagem histórica e de uso actual; INTERACÇÃO DA COR.

O *CAPÍTULO IV* é sobre os ASPECTOS TÉCNICOS DA OBTENÇÃO DA COR EM HOLOGRAFIA. Aqui pretendo fazer uma abordagem das várias maneiras de obter a cor em holografia, sem deixar de me deter nas condições necessárias e indispensáveis para o seu registo. Os tópicos abordados são os seguintes: LASERS; CONDIÇÕES DE REGISTO; TIPOS DE HOLOGRAMA; HOLOGRAMAS DE TRANSMISSÃO; HOLOGRAMAS DE REFLEXÃO; MATERIAIS DE REGISTO; PROCESSAMENTO QUÍMICO; SUBSTÂNCIAS USADAS PARA ALTERAR A ESPESSURA DA EMULSÃO.

O *CAPÍTULO V* é, na sua totalidade, sobre o TRABALHO PRÁTICO realizado. Aqui se descreve e analisa em pormenor a obtenção dos Hologramas definitivos multicoloridos, desde a MONTAGEM USADA NO REGISTO DOS HOLOGRAMAS DEFINITIVOS, à técnica usada para a MANIPULAÇÃO DA ESPESSURA DA EMULSÃO, bem como às CONDIÇÕES DE ILUMINAÇÃO DOS HOLOGRAMAS. Em RESULTADOS-PINTAR COM LUZ, é feita a descrição do conceito subjacente à realização dos hologramas criativos:

as *Holopinturas*. Estes foram realizados em séries, tendo como base três temas: *Paisagens de Luz, Faces* e *Hologeometrias*.

Finalmente, no *CAPITULO VI*, estão agrupadas as CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS PARA O FUTURO, as PUBLICAÇÕES e ainda OUTROS EVENTOS REALIZADOS NO ÂMBITO DO TRABALHO e a BIBLIOGRAFIA.

# CAPÍTULO I

# 1.LINGUAGEM PLÁSTICA

*"A arte é uma mentira que nos ajuda a compreender a verdade".*
Picasso

## 1. 1 PRÁTICAS DE REPRESENTAÇÃO

A necessidade de utilizar a linguagem plástica para se exprimir é uma característica do ser humano. Ele usa-a desde que consegue manipular materiais riscadores, num processo de dialéctica constante entre as imagens mentais construídas e a sua transformação em sinais gráficos simbólicos, num equilíbrio entre o conhecimento do mundo que o rodeia e a sua representação visual. E essa necessidade é patente em todas as civilizações, e através dos tempos.

As práticas de representação não são fruto de uma necessidade gratuita. Tendo em conta os vários processos de registo e as diversas técnicas, há uma capacidade de ordenar criticamente e de estabelecer modificações da realidade: seja de cor, seja de forma, seja de referentes.

Todo o objecto de arte é um objecto de civilização e de cultura. Nas suas variantes técnicas, o discurso implícito nesse objecto é testemunho de um modo particular de estar no mundo, de certos meios utilizados para construir a vida e a visão dela, dos processos sociais e culturais que são suporte de um itinerário colectivo. Olhando o passado e o presente, poderemos dizer que os artistas são agentes de civilização e de cultura, necessitando de aptidões claras, em termos científicos, técnicos e culturais, para intervir inter e pluridisciplinarmente.

Os restos de uma civilização, permanecendo como sinais vivos das tecnologias praticadas e dos modos de expressão experimentados, permitem que se descubram vozes, pensamentos, ideias, projectos, escolhas, que dão significado às opções feitas e que demonstram o que é mais importante no homem: a sua percepção do mundo, os modos de ver que lhe conferem caracterizações decisivas, a vontade de ultrapassar a morte e o esquecimento, e de prolongar para o futuro as suas diferenças culturais e as suas capacidades.

Isso torna-se patente na série de imagens que se seguem, com origens muito diversas quer no tempo, quer na área geográfica (fig. 1 a 8).

Fig. 1- **Cabeça de ídolo**. 5º, 4º milénios a.C. Museu de Bucareste.

Fig. 2- **Vaso em forma de Cabeça de Touro**, 1700-1600 a.C., Museu de Heráclion.

Fig. 3- **Cabeça de Nefertiti**, séc. XIV a.C. Museu Egípcio, Berlim.

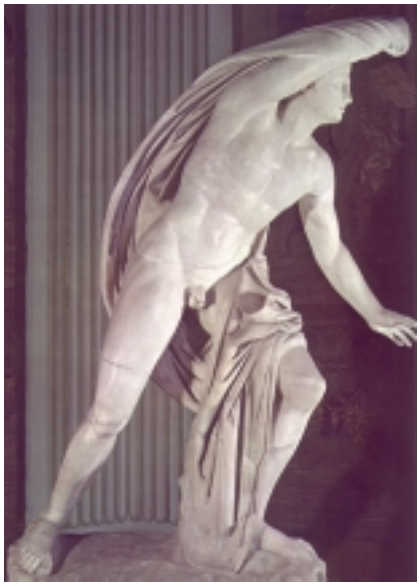


Fig. 4- **Nióbida cobrindo-se com a Clâmide**, período Clássico grego tardio, c. 500 a. C., Galeria dos Uffizi.

Fig. 5- **Vaso Protocoríntio**, c. 750 a. C., Museu de Corinto.

Fig. 6-Aguarela chinesa do período **Chou**, séc. XVII, Biblioteca Nacional, Paris.

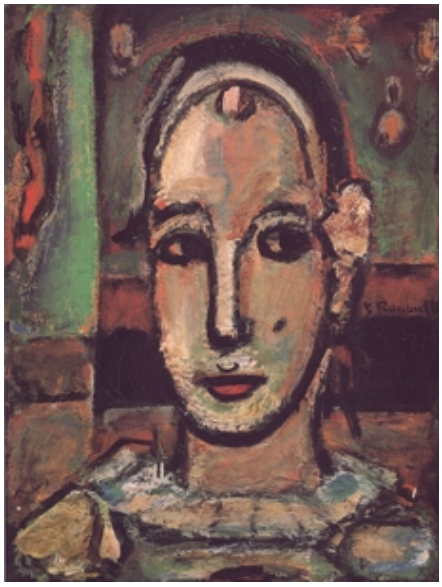


Fig. 7-Roualt, **Palhaço**, 1948.

Fig. 8- Picasso, **Marie-Thérèse**, 1932.

Hoje, cada vez com maior incidência, o artista, qualquer que seja a sua área, assume funções tão diversas como a de criador, de professor, de interventor no ambiente, de estudioso e conservador de patrimónios diversos, de catalisador cultural.

Essa verificação antevê campos de aplicação pluri e interdisciplinar, onde sobressaem, no nosso dia a dia, as imagens de comunicação visual e os valores de expressão artística, que correspondem aos elementos estruturais da linguagem plástica: a caracterização cromática do espaço, formas e linhas de diversos tipos, um sem número de texturas naturais e artificiais, a modelação lumínica dos objectos e lugares, as instalações de vários “media” combinados, os espaços ilusórios.

## 1.2 TECNOLOGIA E TÉCNICA

Não só pelo largo espectro dos meios de intervenção que foi absorvendo, mas também pelas respostas que passou a ter que fornecer, hoje é, portanto, necessário que o artista adquira

um elevado nível de formação técnica, científica, tecnológica e cultural. Essa questão prende-se também com o desenvolvimento tecnológico verificado no nosso século e com a profunda redefinição que tem sido feita quanto ao conceito de artista, em particular no âmbito da sua formação, das suas escolhas de ruptura ou de processos integrados, bem como dos campos experimentais diversos, conducentes à pluralidade da criação artística. Trata-se, sem dúvida, de uma reflexão que é preciso desenvolver, visto que tem implicações sobre a investigação e a formulação no campo das artes.

Em sentido restrito, a *tecnologia* estuda a natureza específica dos meios operativos enquanto tal, desde os instrumentos às características dos materiais formadores. Ora esta realidade não deve confundir-se com técnica: a *técnica*, com efeito, entra decisivamente no modo particular de *fazer*; é já resolução plástica ou junção fecunda de certos instrumentos, suportes e materiais. Sobretudo, nunca se deverá deixar de ter em conta a problemática da visão interior e da linguagem plástica, na sua estrutura e no seu projecto de discurso.

Memória, testemunho e expressão, dão-nos a consciência da importância do discurso artístico e da sua transformação no interior das sociedades humanas.

A arte faz-se na diferença assumida e qualquer pedagogia em torno dela nunca deverá excluir novos campos de expressão: métodos, materiais, instrumentos, conceitos. Só isso permitirá o encontro de uma linha realmente fecunda e plural para a criatividade artística.

São as necessidades de comunicação que geram e solicitam os meios tecnológicos e técnicos que podem ser colocados ao serviço do acto criativo, enquanto mediação entre um ser criativo e outros seres. Assim, a expressão gráfica, plástica, nas suas variações tecnológicas e técnicas, veicula toda uma experiência adquirida e transmitida.

Se analisarmos algumas tecnologias bem conhecidas de linguagem plástica - pintura, desenho, escultura, etc. - veremos que, de entre o vocabulário usado, se destacam certas associações de linhas, cores, planos, volumes, valores, texturas, e ainda outros elementos importantes no processo comunicativo, como sinais, signos, símbolos e acentuações específicas, que definem a estrutura da linguagem plástica e a técnica diferenciada de cada um dos criadores.

Pelas várias relações dos elementos plásticos em jogos controlados, podemos aproximar-nos das emoções e ideias sobre o mundo envolvente e da nossa experiência concreta ou subjectiva desse mesmo mundo.

A diferença entre ‘representação no plano’ e ‘representação no espaço a três dimensões’ parece fundamental para se compreender, não apenas a realidade expressiva dos meios utilizados, mas também a mecânica da percepção visual que conduz à leitura de cada forma, de cada conjunto de formas, dos seus modos de ser e parecer, do que nelas é concreto e ilusório, das “mentiras” da realização plástica. Tudo isto é destinado a sugerir uma concepção de realidade.

Várias estratégias têm sido utilizadas ao longo dos tempos para representar espaços tridimensionais numa superfície plana. Para alguns autores, ‘representação’ significa conhecimento propriamente dito e pressupõe a existência de símbolos; para outros, é um modelo do mundo, não necessitando de ter um símbolo como referente.

## 1. 3 PERCEPÇÃO VISUAL

A percepção é uma construção mental. Embora resulte da nossa experiência sensorial do mundo, a informação que obtemos é muito diferente da realidade do mesmo mundo percebida por outros seres, através dos seus órgãos sensoriais. Sabemos que as abelhas e as serpentes respondem a frequências lumínicas que nos passam despercebidas; os morcegos percebem os obstáculos por um sistema de sonar; os peixes respondem a frequências sonoras inaudíveis para os humanos, etc. Apesar do nosso conhecimento cada vez mais vasto e pormenorizado desse mundo, as nossas percepções assentam, em grande parte, no processamento da informação que recebemos a partir da percepção visual.

Mas como se organiza o nosso conhecimento de uma determinada forma, se a sua percepção pode ser agora uma e logo a seguir outra diferente, dependendo da luz, do ângulo de visão, da distância? Como chegamos à conclusão de que duas coisas estão juntas ou separadas, longe ou perto? Como podemos ver um mundo a três dimensões?

Para que haja a percepção da forma, seja bi ou tridimensional, há a necessidade de se atender a vários factores, quer de ordem fisiológica, quer de ordem psicológica.

### 1.3.1 FACTORES DE ORDEM FISIOLÓGICA

#### 1.3.1.1 PARALAXE MONOCULAR

A *paralaxe monocular*, resultante da observação de um objecto segundo diferentes ângulos de vista quando o olho se desloca, permite a dedução da terceira dimensão desse objecto. Mas como o nosso sistema visual é binocular temos, ao mesmo tempo, a recepção de duas imagens ligeiramente diferentes, que permitem detectar as dimensões transversais e longitudinais dos objectos, dando uma sensação mais realista do objecto.

Esta capacidade parece não ser inata, mas sim resultante de uma aprendizagem. Quando, por qualquer razão, se perde a visão de um dos olhos, perde-se a noção de espaço tridimensional em que nos movemos, e há a necessidade de reaprender a interpretar as relações espaciais.

#### 1.3.1.2 PARALAXE BINOCULAR

Os dois olhos, situados a cerca de 6 cm de distância um do outro, em termos ópticos são compostos por uma lente que produz sobre a retina uma imagem bidimensional e um pouco diferente do mesmo objecto. A recepção de imagens diferentes, bidimensionais, em cada olho, chama-se *paralaxe binocular*, ou *disparidade retiniana*.

A informação do campo visual do lado esquerdo vai para o lado direito da retina em ambos os olhos e vice versa, devido ao cruzamento dos nervos ópticos (quiasma óptico). Neste

cruzamento, parte das fibras do nervo óptico do olho esquerdo dirigem-se para o hemisfério direito do cérebro, mantendo-se o resto sem cruzar, acontecendo o inverso com o olho direito. Desta maneira, cada hemisfério tem informação da outra metade do campo visual, mas cada hemisfério recebe informação simultânea de ambos os olhos.

Estas fibras excitam determinadas células nervosas binoculares do córtex visual que são responsáveis pela fusão das imagens provenientes de cada olho sendo, por seu turno, instrumentos para a percepção da profundidade resultante da disparidade retiniana.

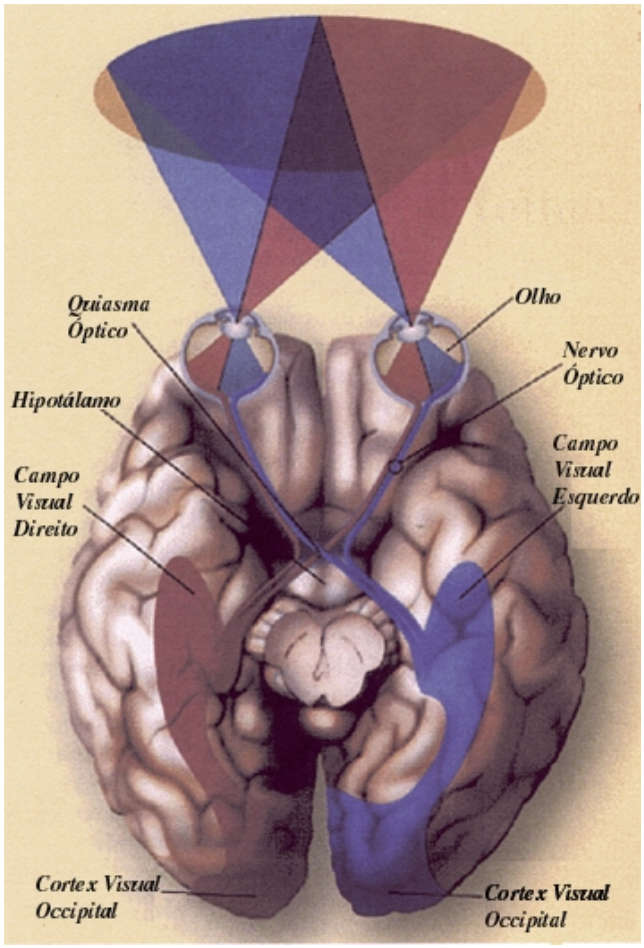



Fig.9- Sistema visual binocular (estereoscópico).

#### 1.3.1.3 CONVERGÊNCIA OCULAR

Apesar de as imagens de cada um dos olhos serem diferentes, os olhos convergem sempre para o mesmo ponto que está a ser observado. A *convergência ocular* é definida como a convergência dos eixos ópticos dos dois olhos no ponto que está a ser observado. Para a focagem num ponto mais distante do objecto é necessário um ângulo de convergência menor, verificando-se, por isso, uma maior relaxação dos músculos responsáveis por esse movimento. Esta informação é interpretada pelo cérebro como correspondendo à observação de um ponto mais afastado[3].

#### 1.3.1.4 ACOMODAÇÃO DO CRISTALINO

A *acomodação* é a capacidade que permite ao cristalino, a lente do olho, encontrar o melhor ponto de focagem de um objecto mais ou menos afastado fornecendo, assim, ao cérebro, informações úteis quanto à distância e ao tamanho do que está a ser observado.

### 1.3.2 FACTORES DE ORDEM PSICOLÓGICA

Há vários elementos que sugerem a tridimensionalidade e que se devem a factores psicológicos. Os mais importantes estão exemplificados nas figuras 10 a 15. São a *grandeza relativa* (fig. 10), - quanto mais longe está a figura, mais pequena parece-, ou o caso dos dardos de Muller-Lyer (fig. 11), em que, embora os segmentos de recta sejam do mesmo

[3]Veja-se sobre este assunto, Bernardo, Luís Miguel, *Visão Tridimensional (3D), Fotografia e Holografia*, Documento policopiado, Centro de Física da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, 1991, assim como as referências aí citadas.

comprimento, parecem de dimensões diferentes, devido à orientação dos topos; a *interposição* (fig. 12), - se um de dois objectos situados na mesma linha de visão oculta parte do outro, isso sugere que o que é totalmente visível está mais perto do que o outro-; a *luz e sombra*, (fig. 13) - uma distribuição correcta de luz e sombra sugere volume-; a *textura*, - que pode alterar a percepção da forma do objecto-; a *relação forma-fundo* (fig. 14). De uma maneira geral temos a tendência para vermos sempre o contorno da forma como pertencente à figura e nunca ao fundo. Mesmo quando as figuras são ambíguas e podemos ver mais do que uma forma, ao identificar uma, a outra recua imediatamente e é lida como fundo, o mesmo acontecendo com a primeira, que retrocede à medida que a segunda se destaca e é lida como forma; o *movimento aparente*, (fig. 15) padrões repetitivos que o cérebro não consegue interpretar, etc.

Fig. 10- *Grandeza Relativa*. O nº 5, cada vez mais pequeno, sugere afastamento. A noção de profundidade é também acentuada pelas linhas que convergem para o centro.

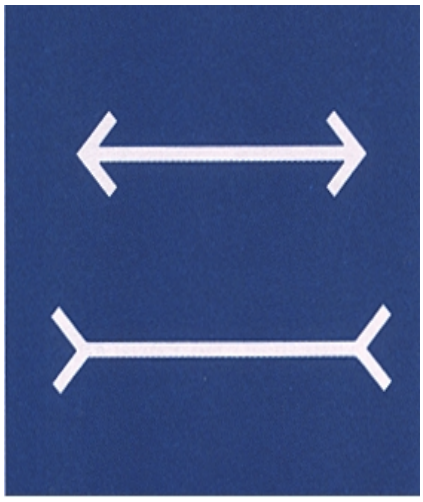


Fig. 11- *Dardos de Muller-Lyer*. Embora sejam iguais, o segmento de recta superior parece menor do que o inferior, devido à orientação dos topos.

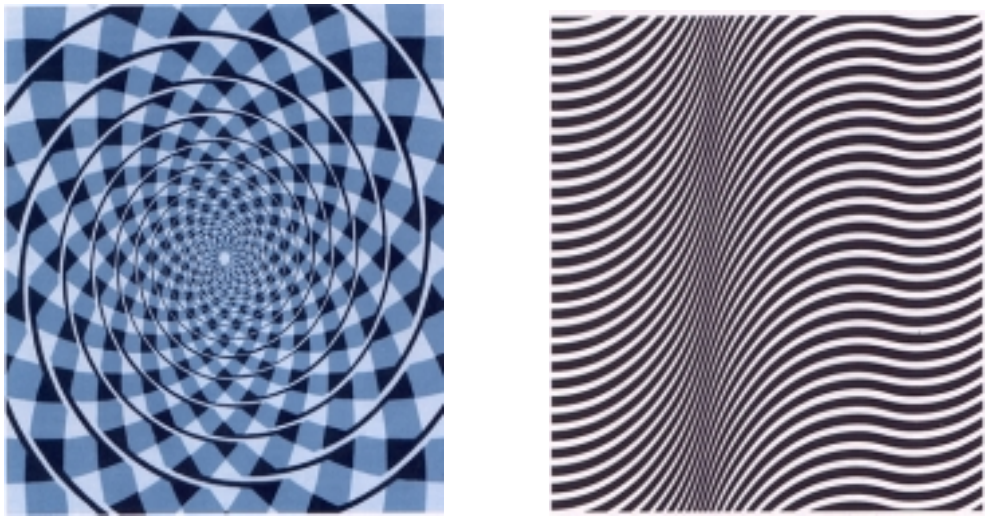
Fig.12- *Interposição*. Apesar das figuras serem do mesmo tamanho, as que se sobrepõem às outras parecem estar mais próximas.

Fig. 13- *Luz e sombra*. Uma distribuição correcta de luz e sombra sugere volume.

a)

b)

Fig. 14- *Relação Forma-fundo*. De uma maneira geral temos a tendência para vermos sempre o contorno da forma como pertencente à figura e nunca ao fundo. Assim, na fig. a) vemos alternadamente dois perfis ou um vaso; enquanto na fig. b) vemos alternadamente uma mulher jovem ou idosa.



a) b)

Fig. 15- *Ilusão de movimento aparente.* a) Falsa espiral de Fraser. É constituída por segmentos de curva concêntricos, o que dá a ilusão de uma espiral, com um movimento rotativo para o centro. b) O padrão da imagem não permite que o cérebro o interprete correctamente, dando a ilusão de constante movimento.

Todos estes elementos que interferem na interpretação da forma e do espaço têm sido largamente explorados na arte. Se numa representação não se encontrarem presentes alguns destes elementos, ou não estiverem representados conforme a experiência do observador, a sua interpretação como cena tridimensional será difícil, ou mesmo impossível[4].

[4]Vejam-se a este respeito os estudos de vários autores, nomeadamente os de A. Ames (sobre a perspectiva, em que usa deformações no espaço, que induzem o observador em erro) e de J.J. Gibson (sobre a textura e a distância relativa dos objectos).

### 1.3.2.1 PERSPECTIVA LINEAR OU CÓNICA

Outro elemento fundamental na representação e compreensão da tridimensionalidade é a *perspectiva linear ou cónica*. Tão importante, que deu origem a vários tratados e até a instrumentos concebidos para o seu correcto traçado (fig 18).

Durante séculos, os artistas de diferentes culturas tentaram representar sobre uma superfície bidimensional a ilusão da terceira dimensão. Recorreram para isso a várias formas de representação, sujeita a determinadas convenções. Por exemplo, na pintura Egípcia e nos relevos Assírios, a representação da perspectiva era feita recorrendo a faixas horizontais. Convencionalmente, quanto mais acima estão representados as pessoas e os objectos, mais longe se pretende que estejam. Outras culturas, como a Indiana e a Chinesa, têm outras representações da terceira dimensão, em que as linhas, em vez de convergirem na direcção da linha do horizonte, divergem, ou estão baseadas nas relações de claro escuro: quanto maior, mais escuro e mais abaixo, estiver localizado o objecto na composição, mais próximo está do observador.

Na Arte Ocidental, a procura da representação da tridimensionalidade foi um processo que passou por várias tentativas, de que as mais importantes são, sem dúvida, as perspectivas axonométricas, (Dimetria e Perspectiva Cavaleira), largamente utilizadas na Arte Italiana durante os séculos XIII e XIV e também pelos grandes Mestres Flamengos, ainda durante o séc. XV. Este modo de representação ainda hoje é utilizado para casos específicos, sobretudo de representação técnica de objectos.

Só no século XV, durante a Renascença Italiana, é que a representação da terceira dimensão, tal como é percebida pelos nossos olhos, começou a ser usada. Foi Leonardo da Vinci (1452—1519), quem primeiro expôs claramente as leis e os princípios da Perspectiva Linear, tendo-a descrito do seguinte modo: "A perspectiva não é mais do que a visão de um plano colocado por trás de uma folha de vidro lisa e transparente, sobre a superfície da qual todos os objectos se aproximam do centro do olho em pirâmides, e essas pirâmides são

intersectadas sobre a folha de vidro"[5]. Este método tornou-se vulgarmente utilizado pelos artistas para desenhar em perspectiva (fig. 16).

Ao analisarmos as composições de Leonardo, podemos encontrar o rigoroso traçado da perspectiva que usou para os construir (fig. 17). Este artista considerou a perspectiva do desenho como uma parte da Geometria, mas compreendeu que a visão da tridimensionalidade está também relacionada com outros efeitos além da geometria. Outros factores, como as sombras ou os efeitos da distância, são elementos indispensáveis para evitar a ambiguidade da própria perspectiva, ou para a acentuar, como no caso de Escher (fig. 19), ajudando a compreender a representação e orientação dos objectos.

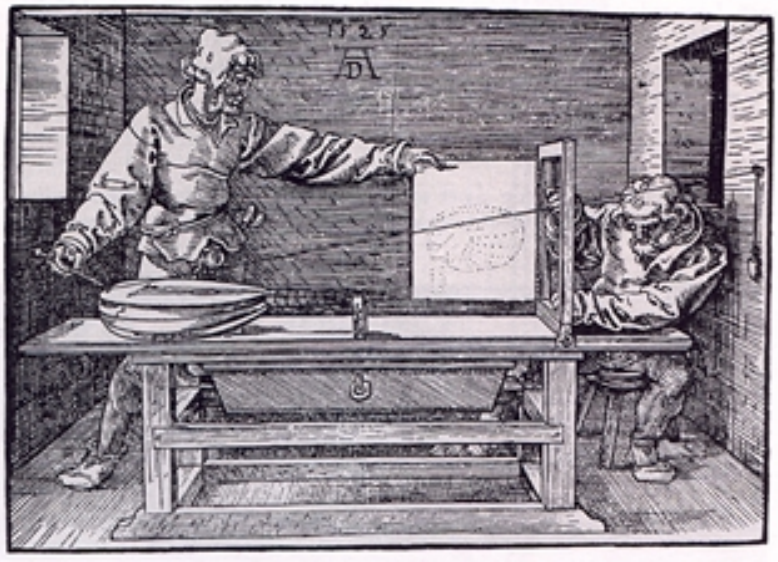


Fig. 16- Exemplificação do método para traçar uma perspectiva correcta. Dürer, Nuremberga, 1525.

[5]Livro de Notas de Leonardo da Vinci, in *A Psicologia da Visão (O Olho e o Cérebro)*, Gregory, R, p. 168.

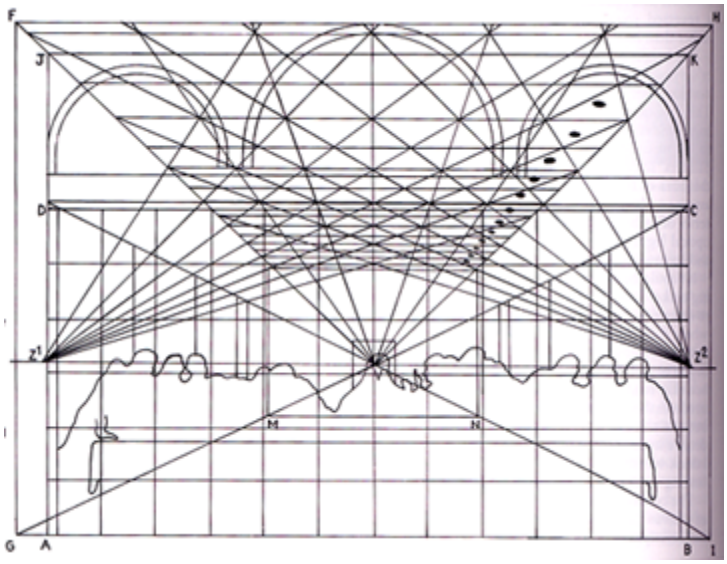



Fig. 17- Análise da perspectiva utilizada por Leonardo na *Última Ceia*.

A importância da perspectiva rigorosa como meio de representar a terceira dimensão tornou-se tão grande, que se criaram instrumentos complicados específicos para o seu traçado (fig. 18).

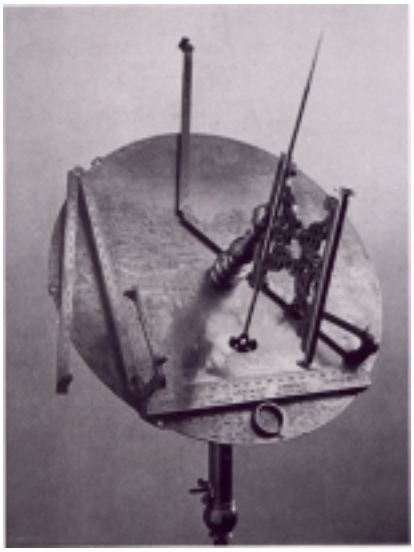
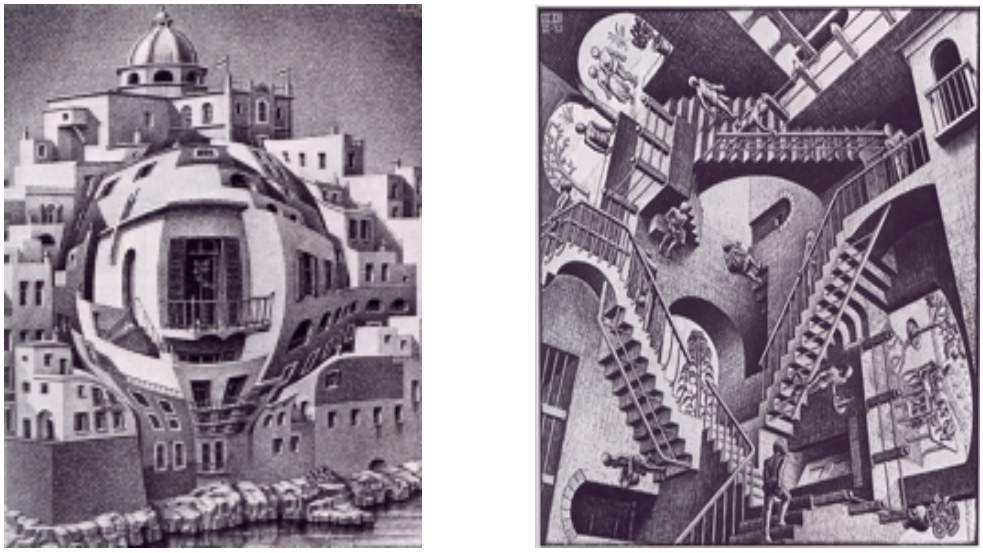


Fig. 18- Baldassari Lanci, *Instrumento Universal* para sondagem e perspectiva, 1557, Museo di Storia della Scienza, Florença



a) b)

Fig. 19- M. C. Escher; a) *Balcão*, 1945, perspectiva com deformação do centro. b) *A Relatividade*, perspectiva impossível, 1953.

Para que se possa representar uma figura sem ambiguidade, é necessário que se identifique o objecto como ele é na realidade, qual a sua forma, e como está colocado no espaço.

Quando se faz uso da perspectiva, representa-se a imagem do que se vê tal como se forma na retina. O mesmo acontece com a fotografia, que é obtida por um conjunto de lentes que funcionam de uma maneira semelhante à do olho humano. Como já foi dito atrás, o sentido da dimensão, ou paralaxe, ocorre no cérebro quando as vistas de duas diferentes perspectivas do mesmo objecto são combinadas - uma de cada olho. Quando vemos uma fotografia ou um filme, mesmo que usemos ambos os olhos, apenas vemos um ponto de vista, perdendo-se a informação de todos os outros pontos de vista. Ambos os olhos vêem como se estivessem localizados no mesmo ponto, e a fotografia (ou fotograma) aparece plana, a não ser que se use um sistema apropriado para visão estereoscópica.

### 1.3.2.2 VISÃO ESTEREOSCÓPICA

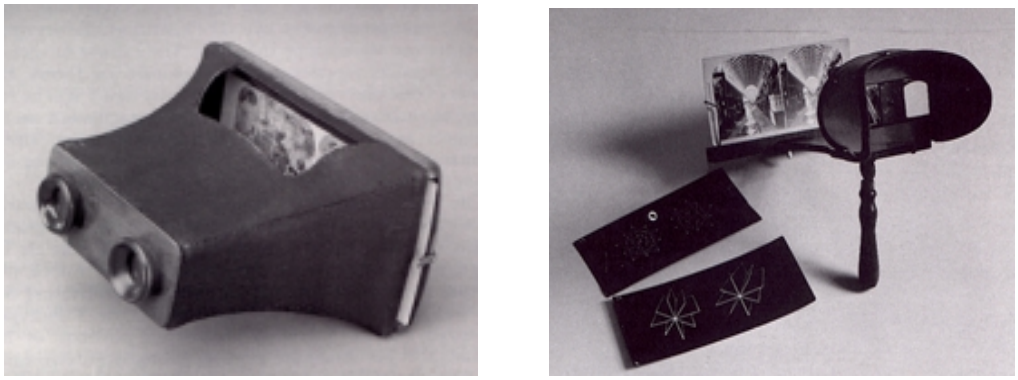
Baseadas no princípio da paralaxe binocular, já atrás descrito, foram desenvolvidas várias técnicas visando solucionar o problema da percepção tridimensional, a partir de representações bidimensionais. A estereoscopia, ou estereografia, procura solucionar o problema, adicionando mais um ponto de vista.

Para isso são usadas duas imagens fotográficas correspondentes às imagens que cada um dos olhos captaria do objecto e, portanto, de diferentes ângulos de visão. Quando os olhos, esquerdo e direito, vêem cada um a imagem do respectivo ponto de vista, o cérebro funde-as dando-nos a sensação tridimensional do objecto original.

Para se ter a certeza de que a imagem correcta é vista pelo olho certo, recorre-se a várias técnicas. As imagens podem estar espacialmente separadas, como nos estereoscópios (fig. 20), ou espacialmente sobrepostas, necessitando porém de ser distinguíveis por cada um dos olhos em separado.

Neste caso recorre-se à atribuição de uma cor distinta para cada uma, - em geral usa--se o azul e o vermelho-, ou ainda polarizações diferentes - para um olho polarização vertical e para o outro horizontal. Para que a visão seja possível terão que ser usados óculos especiais, com os respectivos filtros coloridos ou analisadores.

Há ainda outros métodos, como seja a estereografia de paralaxe, em que duas fotografias são sobrepostas em tiras estreitas e alternadamente entrelaçadas, colocando-se sobre elas uma rede de tiras sucessivamente claras e escuras, a uma distância que permita que uma tira seja vista por um olho e a vizinha por outro. Mais recentemente, para se obter estereogramas, usa-se uma rede lenticular (de Ronchi), cujas lentes cilíndricas têm as dimensões das tiras.



a) b)

Fig. 20- Estereoscópios. a) Concebido por Sir David Brewster; b) concebido por Holmes-Bates.

A fotografia integral consiste no registo fotográfico de uma cena usando um grande número de lentes coplanares, que estão integradas numa folha de lentes esféricas - lens sheets-, ou cilíndricas - lenticular sheets. Neste sistema, cada lente origina uma imagem fotográfica, registada num filme colocado no plano da imagem, correspondendo a um dado ângulo de visão. Iluminando com luz difusa o filme impresso com uma imagem positiva e mantendo a mesma posição relativa entre o filme e a folha de lentes obter-se-á, no espaço anteriormente ocupado pelo objecto, uma imagem real, pseudoscópica desse objecto[6].

#### 1.3.2.3 HOLOGRAFIA 3D

De todos os sistemas de representação da terceira dimensão conhecidos, apenas a Holografia proporciona uma paralaxe idêntica à do objecto original, sem necessidade de recorrer a nenhum outro instrumento auxiliar de interpretação, como acontece com a estereoscopia. Num holograma é registada toda a informação do objecto contida, quer na amplitude, quer na fase da luz. Assim, quando vemos reconstituída a imagem desse objecto,

[6]BERNARDO, Luís Miguel, *Visão Tridimensional (3D), Fotografia e Holografia*, Documento policopiado.

ela apresenta todas as qualidades inerentes ao próprio objecto. É exactamente como se o objecto estivesse presente, e não o seu registo.

É possível também, recorrendo ao registo de sequências de hologramas, produzir hologramas estereográficos, que reproduzem cenas em movimento - pessoas a andar ou a rodar a cabeça ou ainda objectos que se deslocam. Este procedimento é bastante complexo, por exigir um grande número de hologramas registados correctamente num mesmo suporte.

Os hologramas tridimensionais são tão fiéis ao objecto real, que se usam para registar e documentar objectos de arte de grande valor que interessa divulgar, mas que se danificariam fora do ambiente controlado de um museu - ícones russos, peças de arte fenícias em ouro, etc.. No holograma, o objecto é tão real, que parece estar dentro de uma caixa, à vista de todos.

Neste tipo de hologramas tridimensionais - de Denisyuk, por exemplo-, como o seu registo é tão rigoroso e fiel ao original, torna-se muito difícil "transcender" o objecto escolhido para holografar e usá-lo de maneira expressiva. Em termos de concepção, o papel do artista limita-se à selecção do objecto e a holografá-lo, podendo fazer hologramas idênticos indefinidamente.

## 1.4 PERCEPÇÃO DO ESPAÇO NA ARTE

Ora qualquer obra expressiva reflecte o pensamento, a percepção e os sentimentos do seu autor.

Ao ver, escolhemos no espaço que nos rodeia os sinais ópticos que nos permitem construir as imagens perceptuais. A selecção dos sinais ópticos existentes no meio envolvente permite-nos, posteriormente, proceder à construção de imagens perceptuais; é uma forma básica de compreensão.

Para Rudolph Arnheim[7], a percepção não está desligada do pensamento: uma e outro completam-se nas suas funções; todo o conhecimento que adquirimos sobre o ambiente que nos envolve, nos chega através dos sentidos.

A percepção do espaço varia desde o nascimento até cerca dos doze anos de idade, onde estabiliza. Assim, as relações espaciais começam por ser unicamente topológicas, com referências localizadas primeiro no próprio corpo, para depois, pouco a pouco, se tornarem numa construção de um sistema de referências exteriores, verificadas pelo desenvolvimento mental e de motricidade, e apropriação de um espaço representativo.

Primeiro há uma apropriação da superfície, depois da terceira dimensão, evidenciada pela representação de uma linha de horizonte, que divide em dois o campo visual. Posteriormente há ainda dificuldade em representar os objectos existentes nesse espaço, de maneira a que correspondam à imagem na retina. Para colmatar essa dificuldade, surgem então as fases em que se recorre a métodos de representação simbólica, como a perspectiva afectiva, o rebatimento, e a transparência.

São etapas do desenvolvimento gráfico, que resultam da experiência de percepção que cada indivíduo vai adquirindo do meio em que se movimenta e do conhecimento de como é a realidade. A percepção é uma actividade estruturante do pensamento, que integra organizações temporais e espaciais, e que está dependente da interpretação e expressão individuais. As sensações, e toda a informação recebida e construída, dependem sempre do espaço físico em que o homem está e da forma como ele o sente e o entende.

A percepção do espaço é activa, gerada através da interrelação dos objectos e influenciada por factores culturais e pessoais.

Além de permitir a cada um conhecer o mundo em que se movimenta, a percepção do espaço condiciona a selecção da informação e reflecte-se na sua capacidade de representação.

[7]ARNHEIM, Rudolph, *Arte e Percepção Visual, Uma Psicologia da Visão Criadora*, 3ª Edição, Nova Versão, Livraria Pioneira Editora, São Paulo, 1986.

## 1. 5 PERCEPÇÃO E REPRESENTAÇÃO GRÁFICA

A representação mental é dinâmica, constrói-se e renova-se a partir da percepção e depende das experiências pessoais, contextuais e temporais.

A necessidade de utilizar a linguagem gráfica para se exprimir é uma característica do ser humano. Ele usa-a desde que consegue manipular materiais riscadores, num processo de dialéctica constante entre as imagens mentais construídas e a sua transformação em sinais gráficos simbólicos, num equilíbrio entre o conhecimento do mundo que o rodeia e a sua representação visual.

Nas suas representações gráficas, a Humanidade transmite conhecimentos e sentimentos e escolhe, pensando e desenhando, o modo de manipular linhas e formas.

A percepção espacial ocorre apenas na presença de coisas perceptíveis e é gerada através da interrelação dos objectos. A sua mútua influência e a sua colocação, uns em relação aos outros, é que determina o espaço entre eles. Os objectos têm dimensões e formas específicas e estão localizados num determinado campo visual, numa determinada relação, num determinado tempo; se o observador ou os objectos se moverem, então algumas dessas relações também se alteram, modificando a sua percepção. Por isso, o espaço e a sua percepção estão em estreita correspondência.

Para Arnheim, o espaço não tem existência concreta física nem perceptiva. Este autor realça a importância do contexto na forma como um observador concebe a estrutura de uma organização espacial: a importância da luz, das distâncias entre os objectos e do seu tamanho relativo, do ponto de vista e da distância do observador, da sua formação, das suas intenções e objectivos, da sua forma de ver as coisas.

A importância da luz na percepção do espaço é também realçada por Gibson. A luz reflectida nas superfícies é a luz através da qual as coisas são vistas. A luz ambiental conduz a informação que pode ser observada simplesmente olhando à volta.

O espaço é, então, percepcionado de diferentes formas, segundo o contexto. Por outro lado, o modo como cada um o percepciona, depende das suas características individuais. Além

disso, a selecção e memorização da informação fornecida pelo ambiente envolvente dependem, também, da intensidade da emoção experimentada.

Usamos a visão para explorar o mundo, mas encontramos o sentido e o significado do que vemos, através da "visão interior" que usamos para nos explorarmos a nós próprios. Com essa visão analisamos as experiências, codificamos as sensações, elaboramos conceitos, determinamos objectivos. Sem ela, a nossa experiência não seria coerente, e as memórias seriam desconexas e sem sentido.

Matisse explica da seguinte maneira, como se interioriza a visão: "Um homem tem uma só visão que vê e regista tudo; é como uma máquina fotográfica espantosa que tira fotografias muito rápidas, exactas e o homem diz: desta vez conheço a realidade das coisas; fica descansado por algum tempo. A seguir, sobrepondo-se pouco a pouco à primeira imagem, a outra visão faz a sua aparição invisível, com uma imagem completamente diferente. O homem deixa de ver claramente e dá-se uma luta renhida entre as duas visões em que a segunda leva a melhor; comanda a situação e continua o seu trabalho sozinha elaborando a sua própria imagem de acordo com as leis da visão interior. Esta visão é a que está dentro da cabeça"[8].

A representação mental de paisagens e objectos, a construção de esquemas estão, então, ligadas às diferentes formas como sentimos e compreendemos o que "vemos". A percepção está ligada à compreensão.

Na opinião de Arnheim, necessitamos de ter conceitos representativos para construir uma imagem de qualquer tipo; os conceitos representativos proporcionam o equivalente, num determinado meio, aos conceitos visuais que se querem representar.

A representação gráfica é construída numa interrelação constante com a representação mental e está relacionada com os media utilizados, com o domínio dos materiais e técnicas e ainda com a capacidade pessoal de perceber e usar o espaço gráfico.

Pode ter-se a representação mental de um objecto e não se ser capaz de o representar através de materiais plásticos ou numa superfície bidimensional. Contudo, o inverso não é

[8] MATISSE, Henri, in MONTEIRO, Isabel C. T., *A Representação do Espaço Tridimensional nos Desenhos de Casas Feitos por Crianças e Jovens dos 8 aos 18 Anos de Idade*, Dissertação para Doutoramento, Universidade Técnica de Lisboa, vol.1, 1991, p.15.

verdadeiro; se um indivíduo representar gráfica ou plasticamente um objecto, tem necessariamente uma representação mental do objecto em causa, que pode ir modificando ao desenhar, pintar ou esculpir.

## 1. 6 REPRESENTAÇÃO E COMUNICAÇÃO VISUAL

A representação tem também uma função comunicativa. Ao desenhar ou pintar, ao exprimir-se gráfica ou plasticamente em qualquer técnica visual, cada um transmite a sua interpretação pessoal do que "viu", o que não corresponde necessariamente a uma representação exacta da imagem real.

Ao representar graficamente o que construímos mentalmente e pretendemos transmitir, estamos simultaneamente a trabalhar a informação recebida que, por si só, foi seleccionada já de uma maneira pessoal, e a reprocessá-la de uma forma ainda mais pessoal, ao escolher o modo de manipular linhas, formas, volumes, cores. Podemos, portanto, assim, transmitir o nosso conhecimento e igualmente os nossos sentimentos, as nossas sensações pessoais.

Contudo, há outros factores, além dos já citados, que influem no resultado de uma representação gráfica. A transformação da impressão visual num desenho, numa pintura, ou noutra forma plástica, está também dependente do meio escolhido e do modo como cada um o utiliza; depende, ainda, da capacidade pessoal de perceber e utilizar o espaço gráfico.

É o resultado das diferentes formas de ver, perceber, sentir e exprimir, que distingue as obras expressivas.

Como diz Gyorgy Kepes, "a característica fundamental de toda a expressão artística, é a transformação de uma impressão visual numa forma coerente, completa e viva. A organização das cores, linhas e formas, corresponde às sensações, pensamentos e sentimentos que se vão desenvolvendo e transformando durante o processo criador"[9].

[9] KEPES, Gyorgy, *Éducation de la Vision*, Ed. La Connaissance, Bruxelas, 1966.

Todos os elementos são, portanto, importantes na construção de uma obra: o desenho, a cor, os valores, a composição; é necessário que se conjuguem numa organização formal que seja a expressão de um equilíbrio e que estruture o campo visual de maneira *comunicativa com o espectador*.

## 1.7 O ACTO DE CRIAÇÃO

Criar é exprimir o que se tem em si. Todo o esforço autêntico de criação é interior. O mundo exterior é assimilado, até que se tenha tornado parte do autor e possa, através do desenho, da forma, da cor, ser projectado, como sua própria criação. Assim, a obra é um longo trabalho de elaboração. Utiliza-se tudo o que é passível de alimentar a visão interior, quer directamente, quer por analogia, até encontrar de entre uma infinidade de elementos, os mais representativos, despojando-se do inútil e seleccionando apenas o essencial, que dará vida à ideia.

Todos esses elementos vocabulares da linguagem plástica—cores, linhas, formas, volumes, claro-escuro— são forças que definem ritmos, que equilibram, que estruturam as suas relações recíprocas e onde assenta a construção da obra. Toda a selecção feita, não é resultado do acaso, mas sim de uma série de pesquisas, de tentativas; na obra final aparecem apenas as necessárias para, na sua relação dentro da composição, dar a impressão pretendida.

É fundamental que se crie com sinceridade, procurando não ceder a modas ou a facilitismos, que apenas farão com que se passe de uma influência para outra, esquecendo-se de adquirir as características particulares do trabalho que correspondem à personalidade do seu autor.

Criar implica muito esforço, muito trabalho e persistência. É errado pensar que o poder de criar vem apenas de um dom inato. “Em matéria de arte, o criador autêntico não é apenas um ser dotado, é alguém que soube ordenar, tendo em vista o seu fim, todo um feixe de

actividades de que a obra de arte é o resultado. Ver é já uma operação criadora que exige um esforço"[10].

## 1.8 A LEITURA DA IMAGEM

Quando se representam imagens realistas por meios de representação tradicionais, como a pintura, há uma série de factores psicológicos e fisiológicos, que contribuem para a sua interpretação como tal. Várias são as teorias que tentam explicar a leitura que fazemos das imagens.

Segundo Nelson Goodman, esta leitura depende de um hábito adquirido, que exige invenção. "O realismo é relativo, vem determinado pelo sistema de representação normal de uma dada cultura ou uma dada pessoa, num dado momento. A representação realista não depende da imitação, da ilusão, ou da informação, mas sim de uma inculcação. Quase qualquer quadro pode representar qualquer coisa; isto é, dado um quadro e um objecto, costuma dar-se um sistema de representação, um plano de correlação em que o quadro representa o objecto. Se a representação é questão de selecção, e a exactidão, questão de informação, o realismo é questão de hábito"[11].

Pode-se, por isso, dizer que o grau de realismo das imagens pictóricas não se apresenta como uma relação constante, mas sim é relativa às variações que se podem estabelecer entre o sistema de representação empregue e o sistema normativo existente nesse momento.

Porém, quando estamos perante uma representação realista, num suporte bidimensional, é perfeitamente assumido hoje em dia, que se trata de uma forma de convenção. Ao observarmos essa representação sabemos, graças aos nossos detectores fisiológicos da profundidade, um par de olhos, cuja mobilidade permite a convergência ou

[10] MATISSE, Henri, *Escritos e Reflexões Sobre Arte*, Editora Ulisseia, 1972, p. 328.
[11] GOODMAN, Nelson, *Los Lenguajes del Arte. Aproximación a la teoría de los símbolos*, Seix Barral, Barcelona, 1976, pp. 52 a 54.

disparidade, e um cérebro, capaz de interpretar as informações recebidas, que estamos perante uma superfície plana.

Mas quando estamos perante um trabalho em que a combinação de elementos como cores, formas, linhas, texturas, gradação de luzes e sombras, se encontram agrupados, pretendendo ser uma representação realista, dispara como que um mecanismo de percepção psicológica, que se sobrepõe a esse conhecimento anterior de bidimensionalidade, e nos faz perceber como tridimensional o que tem apenas duas dimensões.

Perante uma representação deste tipo, estamos plenamente conscientes de que o que vemos é uma representação plana. Quando observamos essa representação, uma parte da informação é-nos dada pelo que vemos e a outra, pela nossa experiência anterior, que complementa a sua compreensão.

A informação visual pode ter também uma forma definida, mesmo que seja mediante um significado associado em forma de símbolos, ou mediante uma experiência partilhada em torno de uma mesma cultura. A nossa compreensão de uma cultura depende do estudo do seu mundo através daquilo que os seus membros construíram e das ferramentas, artefactos e obras de arte que criaram. Na opinião de Dondis, o significado depende também da resposta do espectador. Este também modifica e interpreta através dos seus próprios critérios subjectivos.

Como nos diz Pierre Francastel, a arte, como todas as linguagens, é uma maneira de registar certas lições da experiência; não ao ponto de fazer da arte a tradução fragmentária dum determinado real, mas sendo ao mesmo tempo objecto e sistema, produto e não reflexo. Trabalhando no domínio das realidades do imaginário, o artista não traduz, inventa. Pelo que a arte se distingue das outras representações simbólicas só porque, apesar de toda a análise, mantém consideravelmente a unidade e coerência das vivências.

Esta ideia é reforçada por K. Kosik, que diz que toda a obra artística possui duas características inseparáveis: é a expressão da realidade, mas é também constitutiva de uma realidade, que não existe anteriormente à obra, nem ao lado dela, mas precisamente e apenas na própria obra.

Já Lévi-Strauss, considera a arte como o diálogo do artista com a contingência; uma contingência exterior e anterior ao acto criador. O artista apreende-a de fora: uma atitude, uma expressão, uma luz, uma situação, de que ele capta a relação sensível e inteligível com a

estrutura do objecto e que ele incorpora na sua obra. Mas também é possível que a contingência se manifeste, a título intrínseco, no decurso da execução.

E outros autores, como Goodman, defendem que a visão é um elemento verdadeiramente criador da realidade e está longe de ser um registo passivo dos factos, na arte ou no dia a dia. E as ficções não podem distinguir-se dos factos na base do argumento de que umas são fabricadas e outros são descobertos, uma vez que os factos são construídos tanto quanto as ficções, e estas podem ser informativas sobre o mundo, tanto quanto os factos[12].

Voltando a Francastel, segundo ele, a meta da arte figurativa não é fazer um duplicado do real apreendido na sua totalidade, mas sim fixar valores espacio-temporais, selectivos, que correspondem à memória comum de um certo grupo e à capacidade de intervenção desse grupo sobre a ordem física e sobre a ordem humana que o rodeiam. Isto é, a arte não é explicada pela sociedade: é ela que explica, em parte, as verdadeiras molas da sociedade.

E Hauser acrescenta que, o estar consciente de que o homem leva uma existência essencialmente social empurra a arte para o fulcro do pensamento científico, tornando-se na ciência central, que se encarregou, no sistema cultural, da função integradora, que até aí tinha sido do domínio da teologia e da filosofia. Mais ainda, cada forma de comunicação e entendimento tem de decompor aquilo que na experiência forma uma unidade individual e indiferenciada; tem de a decompor nos seus elementos e dar-lhes rótulos especiais.

[12] GOODMAN, Nelson, *Modos de Fazer Mundos*, Asa, Porto, 1995, p. 21.

# CAPÍTULO II

# 2.HOLOGRAFIA CRIATIVA

*"O processo criativo é, em certo sentido, um processo secreto".*
Henry Moore

## 2.1 NA BUSCA DE CAMINHOS ESTÉTICOS EM NOVAS TECNOLOGIAS

Torna-se necessário, antes de mais, tomar em conta a relação entre os factores estéticos e técnicos, inerentes ao uso de tecnologias sem tradição na linguagem plástica.

Uma vez que não há ainda caminhos traçados, como nas tecnologias tradicionais, em cada área, de diferentes maneiras, em diferentes contextos, e com diferentes propósitos, cada pessoa encontrará um caminho estético individual, claramente definido.

Estes propósitos estéticos podem variar largamente entre os artistas ou grupos de artistas que, embora usem uma mesma tecnologia específica, a exploram distintamente quer nos meios, quer nos resultados, procurando produzir trabalhos que, visual e intelectualmente, sejam o reflexo das suas preocupações, da sua linha individual de pesquisa, da sua própria técnica.

Apesar de tudo, dado que a relação estreita entre a arte e a técnica conta já com algumas décadas, vários caminhos podem ser tomados ou retomados, embora com as cautelas necessárias a evitar que se cometam erros de apreciação.

Segundo Frank Popper[13], um dos principais objectivos dos artistas ao usarem tecnologias electrónicas sofisticadas, é a tentativa de implicar o espectador no processo criativo e, em particular, quando se passa de um simples convite à participação, para um apelo ao envolvimento interactivo elaborado. Passa-se, assim, de uma "participação" a uma "interacção".

## 2.2 UTILIZAÇÃO DO LASER NA ARTE

Sem a descoberta do Laser, seria quase impossível fazer Holografia Criativa.

Quando os lasers foram descobertos, em 1960, e dado o tipo específico da sua luz, com um único comprimento de onda, começaram quase logo a ser usados por artistas em projectos de diferentes naturezas.

Assim, segundo Frank Popper, podemos dividir esses projectos artísticos com lasers, sobretudo em três tipos:

> —Produções experimentais criadoras de espectáculos visuais, utilizando lasers de cores diferentes, e em ambientes exteriores. Eram produções de grandes dimensões urbanas, englobando grandes áreas de uma cidade, - pontes, ligações por linhas de luz de vários edifícios históricos de uma cidade situados em pontos distantes, apontando para o céu, etc.-, sobretudo de noite e com o auxílio de espelhos e fumos artificiais, a fim da luz laser ser vista. Normalmente, grandes empresas estavam associadas a estas manifestações artísticas, que implicavam grandes despesas. Os artistas mais significativos destas manifestações são Rockne Krebs, Dani Karavan e Horst Baumann.

[13] POPPER, Frank, op. cit., p.8.

—Instalações ou outras produções de espectáculos, em que apareciam várias expressões combinadas, - visuais, teatrais e musicais-. Foram realizadas por artistas como Iannis Xenakis, Paul Earls, Otto Piene, Joel Stein.

—No campo especial da holografia é exigido um trabalho prévio, num laboratório equipado para esta tecnologia. Embora Bruce Nauman e Salvador Dali se tenham interessado por ela, não se pode considerar que tenham sido pioneiros na holografia, dado que não se adaptaram às suas potencialidades; antes buscaram uma outra maneira de fazerem o trabalho a que já estavam habituados com o recurso aos meios tradicionais de expressão da pintura e escultura. Os artistas considerados pioneiros são: Margaret Benyon, Harriet Casdin-Silver, Anait (recentemente falecida) e Carl Fredrik Reutersward.

Além dos pioneiros, há um grupo de outros artistas muito significativos que, paulatinamente, vão encontrando o seu caminho criativo na área da holografia.

Em Portugal é bastante nebulosa a informação sobre a investigação neste sector. Não há informação rigorosa, publicada ou não, sobre as pessoas que trabalham ou trabalharam em holografia criativa. E o grupo que actualmente trabalha nesta área é muito reduzido. Embora a formação de base de todos os elementos seja a pintura, as investigações realizadas por cada um são substancialmente diferentes. Há uma estreita relação com os cientistas, que se tem revelado indispensável. Cada elemento do grupo tem diferentes abordagens da holografia. Isso é fruto, não só de um conhecimento resultante da prática que se vai adquirindo, como de diferentes interesses na exploração do próprio meio. À medida que nos familiarizamos com a tecnologia e com as suas potencialidades e limitações técnicas, assim procuramos explorar diferentes vias, para encontrar uma expressão própria e individualizada, uma nova linguagem plástica.

## 2.3 A ARTE E AS NOVAS TECNOLOGIAS

Nos vários campos das artes, temos assistido a um interesse crescente e continuado pelas novas tecnologias, que captam a atenção da elite cultural, muitas vezes antes de alcançarem o interesse do público.

Popper diz que a arte tecnológica, apesar de ser uma forma de arte relativamente nova, pode ser reconhecida como um fenómeno cujas origens são traçáveis até à antiguidade pela sua continuidade e coerência, bem como pelo seu valor estético, sociológico e cultural. No entanto, reconhece que é apenas desde a Revolução Industrial que os seus efeitos na vida diária e a aproximação entre a arte, o artesanato e a tecnologia foram reconhecidos, e que se pode falar de uma "arte tecnológica" como, formalmente, estando nas origens das nossas formas de arte contemporânea.

Pode-se perguntar se a uma nova técnica corresponderá uma nova vanguarda. Nas vanguardas, "competiria ao artista criar um novo objecto artístico e criar um novo público. Ora o objecto novo exige, como se sabe, operações de descontextualização e de recontextualização, a que dificilmente acedem os públicos exteriores aos mundos da *contracultura*"[14].

Para tentar contornar esta dificuldade, o novo artista contava com alguns recursos, como acções de choque para estimular o público através de formas não convencionais e, por vezes, deliberadamente paródicas; acontecimentos visando o envolvimento do público, como acontecia com os *happenings* e as *performances*, nos anos 60/70; a utilização de espaços não consagrados especificamente a manifestações artísticas e culturais como o teatro de rua. A pretendida colaboração dos públicos era, regra geral, superficial ou limitada aos entendidos.

Assistimos, também, ao emergir de novos intermediários culturais entre os artistas e o público. Esses intermediários são os profissionais do sector mediático e das indústrias culturais. Os recursos da indústria da cultura, dentro de uma concepção de um direito que se pretende cada vez mais alargado, permitem "ultrapassar os limites de uma difusão apoiada em

[14] SANTOS, Maria de Lurdes Lima dos, in MONTEIRO, Paulo Filipe, op. cit., p. 114.

comunidades culturais muito específicas e entrar em redes relativamente alargadas e mesmo nos grandes *media*"[15].

Lyotard, propõe que se aproveitem todas as tecnologias, mas sugere que se faça uma reflexão sobre o próprio material, perguntando: "Será que a invenção de novos materiais e a utilização de novas técnicas poderão bastar para relançar continuamente o trabalho das vanguardas"[16]?

Este autor distingue dois tipos de tecnologias: as *performativas* e as *inventivas*. As primeiras ligam-se à eficácia da técnica em si mesma, e nisso são a continuidade da técnica à maneira antiga. Já as inventivas têm uma afinidade especial com a arte, como se arte e tecnologia tivessem convergido, mas agora de modo explícito e inter-analisável.

Porém, para além de qualquer discurso e distinção, está a dificuldade em manter algum critério que nos oriente na avaliação da situação das artes contemporâneas e da sua relação com o que não é arte, quando já não é possível manter o conceito tradicional de arte.

A propósito do uso da tecnologia pelos artistas, Adorno diz que a técnica artística não é nenhuma adaptação cómoda a uma época, que a si mesma se etiqueta de técnica com fervor infantil, como se as forças produtivas decidissem imediatamente sobre a sua estrutura, e não tanto as relações de produção, que mantêm aquelas sob o seu jugo. "Onde a tecnologia estética, como não raro aconteceu nos modernos movimentos após a Segunda Guerra, visa a cientificação da arte enquanto tal, em vez de inovações técnicas, a arte extravia-se"[17].

A tecnificação da arte é então provocada tanto pelo sujeito, pela consciência desiludida e pela desconfiança, como pelo objecto, isto é, pela maneira como as obras se devem obrigatoriamente organizar. Organização que se tornou problemática com o declínio dos processos técnicos tradicionais, que vigoraram até à época actual.

Adorno considera que este procedimento não é único; ao longo dos tempos, há outros momentos que evidenciaram "revoluções técnicas" da produção artística. No entanto, nesses momentos, a expressão está amalgamada com a técnica, com a sua ausência ou com aquilo que ela ainda não conseguiu realizar. Nas obras arcaicas, parece haver tanta técnica, e não

[15] MONTEIRO, Paulo Filipe, op. cit. p.114.
[16] LYOTARD, Jean-François, *La Condition Pos-moderne: rapport sur le savoir*, Minuit, Paris, 1979.
[17] ADORNO, Theodor W., *Teoria Estética*, Arte & Comunicação, Edições 70, 1988.

mais, quanta a que lhe é necessária para a realização da coisa. É porém necessário reconhecer que, neste século a atitude perante a técnica se alterou.

"A técnica pode tornar-se adversária da arte na medida em que esta representa, em graus flutuantes, o não factível oprimido. Contudo, mesmo na factabilidade, não se esgota a tecnificação da arte, como desejaria a trivialidade do conservadorismo cultural. A tecnificação, braço prolongado do sujeito dominador da natureza, aliena as obras de arte da sua linguagem imediata. A arte moderna enfática exime-se ao domínio da representação da alma e transita para uma expressão do que nenhuma linguagem pode significar"[18].

E remata, afirmando que a obra de arte, totalmente objectivada, se torna simples *factum*, suprimindo-se assim como arte. Deste modo, a alternativa será: ou sair da arte, ou transformar o seu conceito.

Ora o século XX assistiu à profunda alteração dos conceitos de Arte, de Belo, de Harmonia.

Neste século foram já elaboradas tantas propostas diferentes de conceptualidade da arte, a maioria das quais efémeras que, estabilidade e perenidade da obra, profundidade e autenticidade da experiência de produção e de consumo, são certamente características que deveremos deixar de esperar sempre da experiência estética. A Inovação, a Criatividade, a Originalidade, o Imprevisto, o Efémero, o Conceptualismo, são valores que têm adquirido uma grande importância.

Esta reconceptualização do que é arte leva a que os procedimentos relativos à procura do que é novo, se intensifiquem. A necessidade de tomar riscos actualiza-se na ideia do experimental que, simultaneamente, transfere da ciência para a arte a utilização consciente dos materiais.

Adorno adianta: "A violência do Novo, para o qual se adoptou o nome de processo experimental, não deve imputar-se ao pensamento subjectivo ou à natureza psicológica do artista. Onde nem as formas nem os conteúdos determinam este ímpeto, os artistas produtivos são objectivamente compelidos à experimentação. No entanto, o conceito de experimentação modificou-se em si, e de maneira exemplar para as categorias do Moderno. Originalmente, ele

[18] ADORNO, Theodor W., op. cit., p. 76.

significava apenas que a vontade consciente de si mesma experimentava processos técnicos desconhecidos ou não sancionados"[19].

O gesto experimental, termo que designa os procedimentos artísticos para os quais o *novo* é obrigatório, manteve-se, mas há que reconhecer o facto de que o sujeito artístico pratica métodos cujos resultados concretos não pode prever.

Ora, na arte, os meios e os fins não devem separar-se. Mas também é verdade que, antes de se dominarem os meios, há na experimentação de uma nova tecnologia uma grande dose de imprevisto. Há necessidade de construir a cada passo soluções para os problemas surgidos, e causados pela não existência de um domínio do utilizador sobre ela.

A técnica impõe também a sua vontade e, por vezes, o artista é surpreendido pelas suas próprias obras. Assim, subjectivamente, o sujeito tomou consciência da perda de poder, que lhe adveio da tecnologia por ele desenvolvida e libertada. Mas, por mais paradoxal que pareça, será que, na realidade, continuaria a ser possível a existência de uma arte que não experimentasse? Que não desafiasse o estabelecido e conhecido?

Em suma, a contradição, ainda segundo Adorno, seria resolvida pelo facto de o lugar em que o espírito artístico se eleva acima do simples existente ser o da ideia, que não capitula perante o simples *estar-aí* dos materiais e dos procedimentos técnicos.

Porém, é possível, usando uma nova tecnologia, manter de alguma maneira, a subjectividade comunicativa. Isso depende da tecnologia usada, do domínio que se tem dela, do seu uso e também da intencionalidade da obra. Não é a tecnologia que faz a obra, embora, dependendo do tipo de abordagem feita, possa condicionar o seu modo de expressão e ser um veículo de maior ou menor interactividade, de maior ou menor comunicação.

As tecnologias contemporâneas, que têm tido um particular interesse para os artistas, são muito diversas e vão desde os instrumentos eléctricos e electrónicos, até aos que envolvem uma actividade de rede global. Isto implica uma actividade criativa num contexto que tem incluído um público diversificado e cada vez maior, situado não só no local de exibição tradicional, mas também em locais remotos, até aqui inacessíveis.

[19] ADORNO, Theodor W., op. cit., p. 36.

Estas novas tecnologias pressupõem também uma participação do observador. Essa participação, no entanto, para Popper é já de uma natureza diversa da que é habitual.

"Uma distinção preliminar pode ser feita entre os termos 'participação' e 'interacção'. No contexto artístico, participação significava nos anos 60, e continua a significar, um envolvimento quer a um nível contemplativo (intelectual) quer ao nível de comportamento. O termo 'interacção' tem uma história mais recente nesta área e refere-se a um envolvimento ainda mais abrangente. Aqui o artista tenta estimular a 'interacção' em duas vias entre o seu trabalho e o espectador, um processo que se torna possível apenas através do uso de novos meios e instrumentos que criam ao usuário/espectador situações que são respondidas pelo próprio trabalho artístico. O termo 'participação', no contexto da arte contemporânea, refere-se a uma relação entre o espectador e uma obra de arte aberta, já existente, em que o termo 'interacção' implica um jogo de duas vias entre um sistema individual e uma inteligência artificial"[20].

## 2.4 ARTE E CIÊNCIA

Quando se faz referência à holografia, é inevitável falar-se da complexa relação entre Arte e Técnica, entre Arte e Ciência. Esta questão é continuamente abordada por vários autores e creio que continuará a sê-lo por muito tempo. A evolução da holografia é exemplo dessa abordagem e mostra perfeitamente que esse diálogo tem sido frutuoso.

Quando se fala do intercâmbio entre a Ciência e a Arte, há que reflectir sobre o significado dessa relação.

Todo o pensamento fecundo ignora as linhas divisórias entre o estético e o científico, diz Rudolph Arnheim. E acrescenta: "A actividade artística é uma forma de raciocínio, na qual perceber e pensar estão indivisamente interligados. Uma pessoa que pinta, escreve, compõe, dança, pensa com os seus sentidos. Esta união da percepção e do pensamento acaba por não

[20] POPPER, Frank, op. cit., p. 8.

ser apenas uma especialidade das artes"[21]. E Matisse também considera que o papel do artista, como o do homem de ciência, se baseia na captação das verdades correntes que muitas vezes lhe foram repetidas, mas que para ele adquirirão uma novidade, e que fará suas no dia em que tiver compreendido o seu significado profundo.

Arte e Ciência podem, assim, não estar tão longe uma da outra quanto se poderá pensar e como é costume afirmar-se. Vários autores sublinham a necessidade de combinar a lógica com a estética no interior das próprias ciências. Como refere Monteiro, para o pensamento criativo, a importância do domínio em que a arte e a ciência se fundem, foi realçada pelos grandes filósofos/ cientistas do séc. XX: Bohr, Einstein e Poincaré. Porque na sua investigação as fronteiras entre as várias disciplinas muitas vezes se dissolvem, e nem procedem dedutivamente, pela lógica, nem indutivamente, pelo uso exclusivo de dados empíricos, mas pelo pensamento visual e pela estética[22].

Não se pode, porém, dizer que essas actividades não se distinguem umas das outras. No interior da própria ciência encontramos muitos elementos comuns às outras actividades, como a emoção, a linguagem e a pragmática. O que distingue cada uma delas é a combinação que faz desses elementos, mas seria impossível definir o tipo de combinação de cada actividade, porque este não é unívoco nem estável.

Hauser explica essas diferenças de uma maneira muito interessante: "O que a ciência sabe pode comunicá-lo, enquanto o artista não pode dizer sempre, e quase nunca na totalidade, o que experimentou e o que sabe à sua maneira. A concepção científica do mundo não é mais fiel à realidade do que a artística e, em princípio, a arte não se afasta mais da realidade do que a ciência. A arte e a ciência estão intimamente ligadas, na medida em que ambas são mimese, reprodução da realidade"[23].

E, explicitando mais, diz que a arte modifica, estiliza e idealiza livremente a realidade nas categorias próprias, espontâneas e criadoras, como lho impõe a mais exacta das ciências; ambas ficam ligadas aos dados objectivos, aos factos determinantes da praxis da vida.

[21] ARNHEIM, Rudolph, *Visual Thinking*, University of California Press, Los Angeles, London, 1969.
[22] MONTEIRO, Paulo Filipe, op. cit., p. 89.
[23] HAUSER, Arnold, op. cit., pp. 34 a 42.

Neste sentido, a arte é tão realista como a ciência. Nasce, no entanto, com os princípios do saber e da suposição, das necessidades da vida, encontrando-se com a ciência no mesmo caminho sem fim da interpretação e orientação da existência humana.

Se a arte e a ciência partilham tantas características resulta, então, que se devem procurar outros critérios para definir a especificidade de cada uma delas.

Goodman dá alguns contributos para clarificar a incongruência existente na concepção tradicional que opõe arte e ciência: "Dicotomias vagas e obscuras, mas profundamente enraizadas, são superadas: não mais de um lado a beleza, a intuição e a emoção e, do outro, a verdade, a racionalidade e o saber. Porque nenhuma destas propriedades é privilégio da arte nem da ciência e todas são insuficientes para distinguir uma da outra. A tarefa comum de ambas é a construção de mundos através de sistemas de símbolos e o valor de qualquer delas depende da correcção das construções realizadas. O que não significa de forma alguma que arte e ciência sejam idênticas. Isto tornou-se sobretudo evidente com a tentativa de compreender a arte contemporânea mais recente. Apesar de tudo, os impressionistas, expressionistas e cubistas, e mesmo os abstraccionistas geométricos, podiam ainda ser olhados à luz dos critérios da tradição. Mas outro tanto não acontece com os *ready-made*, os *happenings*, ou a arte conceptual, que se não conformam com qualquer reajustamento desses critérios. Tal como acontece com a física quântica, estas formas de arte exigem categorias novas para a sua compreensão. A diferença relevante entre a arte e a ciência deve ser procurada nos processos simbólicos utilizados. Estas diferenças são consequência dos diferentes interesses da ciência e da arte. A ambiguidade e a referência múltipla e complexa, que seriam defeitos científicos, podem ser qualidades estéticas"[24].

[24] GOODMAN, Nelson, *in* MONTEIRO, Paulo Filipe, op. cit., p. 91.

## 2.5 A HOLOGRAFIA CRIATIVA

Desde o final dos anos 60 que a holografia captou a atenção de vários artistas, como uma nova forma de expressão.

Assim, a sua utilização expressiva tem acompanhado a evolução técnica e científica desta tecnologia. Apesar das dificuldades técnicas e de acessibilidade laboratorial, os artistas têm mantido o interesse na utilização da holografia enquanto procedimento propiciador de diversas abordagens na linguagem plástica. Quer se trate de uma experiência pontual, ou de um trabalho continuado, um número considerável de artistas tem elegido a holografia como meio de expressão e de investigação.

A qualidade estética e visual das peças nem sempre é acautelada, exibindo-se no mesmo espaço hologramas com diferentes interesses e propósitos. Mas cada vez mais, os hológrafos com preocupações estéticas e criativas, desejam uma separação dos conceitos e insistem em lutar por um reconhecimento do seu trabalho procurando, ao mesmo tempo, não ceder a eventuais facilidades apelativas da tecnologia.

David Dewar define esses conceitos desta maneira: "Ao definir *criativa*, não reclamo que a holografia criativa seja necessariamente *artisticamente boa*; criativa refere-se a uma certa abordagem na realização de hologramas de exibição, não tendo o produto uma consequência automática do mérito artístico do holograma. Claro que é possível que um holograma criativo seja menos apelativo visualmente do que um holograma que eu considero não criativo"[25].

[25] DEWAR, David, *A Journey towards Creative Holography*, in Leonardo, Vol. 22, No. 3/4, 1989, pp. 327-329.

Há já alguns textos críticos publicados sobre os problemas estéticos colocados ao uso da holografia como linguagem artística e às suas potencialidades criativas. Também alguns artistas têm superado a sua usual relutância em escrever e têm feito uma reflexão sobre a holografia e a sua experiência pessoal, quer em termos estéticos, quer técnicos, em artigos publicados em revistas de grande reputação, como a *Leonardo*, bem como em muitos catálogos de exposições.

Ao longo destes últimos anos foi publicado um Index, *The Creative Holography Index*, e várias revistas da especialidade, como a *Holosphere*, *Holographics International*, etc., foram surgindo e desaparecendo. Museus especializados, Galerias e Colecções dedicadas à holografia têm também surgido e desaparecido, ao sabor dos altos e baixos do interesse comercial ou do público. Há ainda a possibilidade de visitar vários *sites* na Internet[26] sobre a Holografia Criativa, bem como as páginas pessoais de alguns artistas que trabalham esta linguagem plástica; regularmente também se realizam alguns eventos especialmente dedicados a este tema, - Exposições, Congressos, Seminários, Feiras, etc.-, onde é possível participar.

Em diversos livros de estética foram já inseridos capítulos tratando esta matéria, e igualmente se encontram publicadas algumas teses de doutoramento sobre o assunto, com abordagens diferentes em cada uma, que são, evidentemente, fruto da experiência dos autores com a holografia.

## 2.6 A RELEVÂNCIA DA HOLOGRAFIA CRIATIVA

Razutis[27] considera que a relevância da holografia, tal como das outras formas de arte, reside no seu potencial efeito de mudança social e política. Ele divide em três partes o desenvolvimento da holografia artística: primeiro, no início dos anos 70, eram trabalhos miméticos, avaliados apenas em termos formais e técnicos; a seguir, no final dos anos 70,

[26]Um dos *sites* sobre Holografia Criativa é *Search The Light*, cujo endereço é: www.holo.com/pepper/search.html
[27] RAZUTIS, Al, *Avant-Garde for Holography by Way of Nemesis*, in Wavefront, Fall 1986, pp. 23-26.

surge uma holografia "híbrida" que, de várias maneiras, explorou a relação da holografia com outros media; mais recentemente, ele nota que foram desenvolvidas as "imagens de luz", baseadas nas tradições da composição abstracta e cujos objectos são apenas as franjas de interferência das frentes de onda de luz.

Este autor, pintor e hológrafo americano considera que a holografia proporciona aos artistas um tipo peculiar de percepção, uma nova maneira de entender a "maleabilidade do espaço, os princípios de o inverter ou de o fazer coexistir com outros espaços, e a plasticidade e dimensionalidade da luz"[28]. Deste modo, devido ao seu trabalho experimental em holografia, este hológrafo vê os fenómenos naturais diferentemente; e, por sua vez, esta mudança perceptual e conceptual é manifestada no seu trabalho. Assim, na holografia, a percepção torna-se uma propriedade muito especial e codificada, através da qual e pela qual, devemos ler a intencionalidade do trabalho.

Muita gente ainda considera que a holografia é uma espécie de fotografia, pelo que, vários autores têm tentado desfazer essa confusão. Comecemos por Fisher, que diz que a tendência para pensar que a holografia é uma espécie de fotografia é um erro, e é a causa do observador deixar passar despercebido o facto de que a holografia apresenta um tipo de código novo nas artes visuais, pelo qual ela produz o que em anteriores sistemas de representação se conseguia com bastante menos convicção e força e bastantes mais dificuldades teóricas.

Fisher caracteriza da seguinte maneira a diferença entre fotografia e holografia: "O uso do filme emulsionado, câmaras escuras e coisas como essas, podem sugerir alguma semelhança entre fotografia e holografia. A analogia pode ser muito enganadora. Embora ambas as tecnologias usem filmes ou placas com emulsões sensíveis à luz, os hologramas não são, de maneira alguma fotografias. Na fotografia, há uma imagem sobre o filme. Não há imagem do objecto num filme holográfico, que mostra no máximo, apenas algumas linhas muito finas"[29].

Fisher diz também que, se não tem dúvidas quanto a um holograma poder servir como um objecto estético, ou mesmo como um trabalho de arte, está porém inseguro acerca de como o holograma deve ser *abordado* enquanto objecto estético.

[28] RAZUTIS, Al, *Art and Holography*, in Wavefront, October 1985, pp. 23-25.
[29] FISHER, John, op. cit., p. 304.

Ele explica: “Nas artes visuais há normalmente um artefacto: uma tela, um papel, uma pedra, algum material, algum suporte sensorial de signos perceptuais que são imagens, não necessariamente representacionais, mas referentes, mesmo que auto-referentes. Mas os hologramas não encaixam nesta designação, porque o artefacto holográfico é um conjunto de signos codificados que, enquanto material, são perceptualmente irreconhecíveis, a menos que sejam providenciadas condições de reconstrução mais ou menos específicas”[30].

Roland Barthes apontou para a fotografia a existência de códigos estéticos específicos. Para este autor, o paradoxo fotográfico reside no facto de, em cada imagem fotográfica, haver duas mensagens coexistentes. A primeira mensagem é de *denotação*, alterando o objecto da fotografia na forma, mas não no seu significante ou valor; a denotação não exige código para transmitir a mensagem. A segunda mensagem, nascida com a fotografia, é de *conotação*, e requer que o observador tenha conhecimento de certos códigos visuais e culturais.

Peter Zec observa que o mesmo também acontece com a holografia. Para Zec[31], há também um paradoxo holográfico, mas diferente do fotográfico. Não se refere ao significado do holograma, adoptando a designação de holograma como “luz pura e espaço”. Ele considera que o paradoxo holográfico reside na apreensão errada do que se vê quando se olha um holograma sob as condições normais de exibição de uma imagem ou pintura tradicional. Este erro faz com que o observador deixe passar em claro a diferença crucial entre o holograma propriamente dito e a reconstrução holográfica.

Este paradoxo é perpetuado quando os hologramas são apresentados de maneira tradicional, emoldurados e pendurados numa parede, porque isto sugere, erroneamente, que os hologramas têm qualidades em comum com pinturas ou outras imagens usuais. E na verdade não têm nada em comum, quer sob o ponto de vista da leitura da imagem, quer das limitações próprias da tecnologia, quer ainda pela usual pequena dimensão dos hologramas, comparativamente com outro tipo de trabalhos tradicionais.

Zec não questiona qual é a relevância do holograma para ‘o seu tempo’; para ele, essa relevância existe e reside nas qualidades estéticas únicas da imagem holográfica que, presumivelmente, permanecerão constantes sem olhar ao contexto temporal.

[30] FISHER, John, op. cit. p. 308.
[31] ZEC, Peter, *The Aesthetic Message of Holography*, in Leonardo, Vol. 22, No. 3/4, 1989, pp.425-430.

## 2.7 ABORDAGENS ESTÉTICAS DA HOLOGRAFIA

A evolução que o uso da holografia, como meio de expressão da linguagem plástica, tem sofrido desde o seu início é tão diversificada quanto os interesses que congrega em torno de si, e tem passado por várias dificuldades de afirmação. Quer se investigue no sentido de conseguir a cor real dos objectos, ou de fazer hologramas de dimensões próximas dos tamanhos usados na pintura tradicional; quer se façam retratos de pessoas ou animais, ou se utilizem apenas redes de difracção; qualquer que seja o interesse, todas essas experiências levam ao desenvolvimento das capacidades expressivas da holografia.

Segundo Posy Jackson Smith[32], os artistas trabalham com a holografia por uma razão: porque a Holografia lhes dá um forte sentido de desafio pessoal, propicia-lhes um ambiente natural, especialmente para os que querem estabelecer as suas próprias regras, mover-se num território inexplorado. "As pessoas que fazem holografia, quer o admitam quer não, gostam da ideia de que estão envolvidas em algo de novo, excitante, especial, desconhecido e um pouco misterioso. Todos os hológrafos florescem na excitação da descoberta"[33].

Sendo a holografia um processo tecnicamente complexo e difícil de executar pelos artistas sem formação científica, no início, quando a holografia era um meio de representação inteiramente novo, qualquer que fosse o objecto registado num holograma, adquiria uma aparência de novidade, que se sobrepunha a qualquer juízo de valor estético.

Apesar da grande evolução que a holografia criativa tem sofrido ao longo destas décadas em que foi utilizada, ainda hoje continua a existir um certo preconceito resultante desses primeiros tempos, em que havia uma espécie de colagem da tecnologia à sua apresentação como proposta de arte.

Ora, tal como qualquer outro meio, — seja video, fotografia, pintura a óleo, etc. —, a holografia não é, por si só, arte. Cada tecnologia tem um determinado potencial, que permite

[32] Rosemary (Posy) Jackson Smith foi a última Curadora do Museu de Holografia de New York e Directora da Shearwater Foundation, que se dedica a incentivar a investigação da Holografia Artística.
[33] SMITH, Posy Jackson, *Between the Lines*, in Leonardo, Vol. 22, No. 3/4, pp. 291-294, 1989.

uma expressão artística, dependendo da pessoa que a usa, e da maneira como o faz, imprimindo-lhe cada um a sua técnica pessoal.

No entanto, é verdade que a holografia, em alguns aspectos, é substancialmente diferente dos outros *media*. As suas qualidades únicas permitem que se estabeleça uma relação interactiva entre o observador e a obra. Imagens que se projectam no espaço levam a que alguns observadores tentem tocá-las, tal é o grau de semelhança que apresentam com a realidade.

Muitas vezes é necessário ver o holograma de vários ângulos, para se conseguir ver a imagem ou imagens, na sua totalidade. Além de que se podem seleccionar diferentes pontos de vista para a mesma imagem.

## 2.8 QUALIDADES INERENTES À IMAGEM HOLOGRÁFICA

### 2.8.1 A IMAGEM HOLOGRÁFICA

Um dos principais factores de análise da holografia centra-se no estudo da imagem holográfica. É, efectivamente, um meio que supõe um novo sistema de representação, cujas imagens apresentam o maior grau de iconicidade conhecido até agora, superando a pintura, a fotografia, o cinema, a televisão, numa referência à realidade do mundo que nos rodeia, segundo o significado que lhe atribui Abraham Moles para determinar o grau de referencialidade de uma imagem[34].

O realismo de uma representação, que com os suportes tradicionais era apenas conseguido por meio da ilusão, passou a ser realidade com a técnica holográfica. Apesar do suporte holográfico ser também bidimensional, como ali é registada toda a informação do objecto contida na luz, a imagem holográfica de um objecto é tal como se o próprio objecto

[34] MOLES, Abraham, *La Comunicación y los Mass Media*, Mensajero, Bilbao, 1975, p. 337.

estivesse lá. Ao ser iluminado correctamente, o holograma lança no espaço ondas de luz em tudo idênticas às que seriam produzidas pela luz proveniente do próprio objecto.

São de tal forma idênticas, que a nossa percepção não necessita de ser activada no sentido de traduzir o objecto como real, porque a informação contida nas ondas de luz que emite, existe fisicamente. Por isso, o efeito tridimensional é intrínseco à imagem holográfica, e consequência da maneira como foi registado o holograma, provocando uma percepção exactamente como se do objecto real se tratasse. "Partindo de que só vemos imagens, e comparando as imagens tradicionais com as holográficas, se no primeiro caso a imagem se parece com o objecto, no segundo a imagem é idêntica ao objecto. Se o problema do realismo nas primeiras é uma questão de ilusão, no caso das segundas o seu realismo é literalmente real. O engano passou da imitação à substituição"[35].

### 2.8.2 O ESPAÇO HOLOGRÁFICO

As qualidades inerentes ao holograma, em que o espectador tem uma experiência visual como se da realidade se tratasse, definem novos tipos de espaço holográfico, onde o que se procura é uma nova dilatação do espaço, o movimento, a ilusão, na qual a colaboração do receptor é fundamental.

Andrew Pepper diz que o holograma funciona como uma janela com memória. "Olhar para um holograma é como olhar através duma janela, onde o objecto registado se revela como se se tratasse de uma imagem sólida"[36].

E diz também que como a holografia se desenvolveu e as novas técnicas permitem um maior controle na maneira como a imagem registada pode ser manipulada, também o conceito de espaço holográfico se desenvolveu. As imagens holográficas podem ser vistas como se estivessem fisicamente presentes, restritas apenas aos limites impostos pelo seu registo.

---

[35]TORRALBA, Nieves, *Holografia Creativa Española 1983-1993*, Colección PARAARTE, Instituto de Cultura "Juan Gil-Albert", Diputación Provincial de Alicante, 1996, p. 67.

[36] PEPPER, Andrew, *Holographic Space: A Generalised Graphic Definition*, in Leonardo, Vol. 22, No. 3/4, pp. 295-298, 1989.

A holografia é, por isso, diferente dos outros meios usados previamente para dar a ilusão de três dimensões. Presentemente, este espaço holográfico é espantosamente expressivo, como indicado pelo trabalho de artistas mais interessados em explorar as suas potencialidades e qualidades, do que em repetir efeitos obtidos em outras tecnologias.

Para falarmos de espaço holográfico, é necessário analisar o tipo de técnica em que foi registado o holograma. De acordo com ela, assim poderemos obter um tipo específico de espaço holográfico.

À primeira vista, olhar para um holograma é como ver um objecto através duma janela, de maneira que a sugestão do espaço pode ser interpretada como se da realidade se tratasse. O objecto é registado e, subsequentemente, reconstituído no holograma, sendo percebido como se se tratasse de uma imagem sólida, existente por detrás da placa holográfica. As imagens holográficas podem ser vistas como se o objecto estivesse fisicamente presente, restritas apenas aos limites impostos pelo tipo de registo utilizado.

A técnica holográfica tem-se desenvolvido ao longo do tempo em que tem vindo a ser utilizada. Há já um conhecimento e um controle maior das suas potencialidades como meio artístico, bem como da maneira como pode ser manipulada.

Esse conhecimento tem também vindo a alterar e a desenvolver a noção de espaço holográfico. Com o registo de hologramas de segunda etapa a partir de "masters", esse conceito de espaço ainda mais se altera. Assim, um objecto pode ser colocado de maneira a que parte dele seja reconstituída atrás do plano do holograma, sobre o plano do holograma ou à frente do plano do holograma.

A multidimensionalidade do espaço e do tempo, bem como o aparente conflito entre a presença e a ausência da imagem no holograma, são algumas das peculiaridades que existem apenas na técnica holográfica.

Razutis acha que a holografia oferece aos artistas um tipo peculiar de percepção, uma nova maneira de entender a "maleabilidade do espaço, princípios de o inverter ou de o fazer coexistir com outros espaços, na plasticidade e dimensionalidade da luz"[37].

[37] RAZUTIS, Al, *Art and Holography*, in Wavefront, October 1985, pp. 23-25.

Assim, o hológrafo vê os fenómenos naturais diferentemente, devido ao seu trabalho experimental em holografia, sendo esta transformação perceptual/conceptual, manifestada no trabalho criativo. "A percepção, dentro do holograma, torna-se uma propriedade muito especial e codificada, através da qual e pela qual, devemos ler a intencionalidade do trabalho"[38].

Zec diz a este respeito que, pela holografia, a distância usual entre observador e espaço da imagem é abolida. O observador é então confrontado ao mesmo tempo com a dificuldade de situar a diferença entre este espaço holográfico único e o espaço ocupado pela escultura e outros objectos numa abordagem artística mais tradicional. E acrescenta: "O espaço holográfico é absurdo nas suas inversões e distorções. (…) O espaço, como foi formalmente e absolutamente definido em termos de acima e abaixo, frente e trás, torna-se absurdo; com a holografia é necessário abandonar os métodos normais de percepção e libertar o espaço das nossas usuais maneiras de ver"[39].

Efectivamente, em holografia é possível manipular o espaço, alterando a maneira como estamos acostumados a percepcioná-lo e, por efeito da pseudoscopia, criar situações espaciais impossíveis e passíveis de desorientar o observador. Por este efeito, é possível que a imagem volumétrica convexa passe a ser côncava, e formas mais próximas pareçam mais pequenas do que outras situadas mais longe.

Se em condições de visão normal uma imagem apresenta um relevo convexo, em condições de pseudoscopia, essa imagem será vista com o mesmo relevo, mas côncavo. Para isso é necessário que o holograma seja rodado para uma posição invertida. A inversão do espaço também será conseguida se dois objectos forem usados como modelo, um em frente do outro. O que na realidade estiver mais próximo, na imagem aparecerá mais longe.

Eduardo Kac, diz a propósito: "A imagem volumétrica em holografia, ao contrário dos estereogramas, tem a qualidade de se reverter em todas as dimensões: as três do espaço e também a do tempo. Já não há distinção entre esquerda e direita, cima e baixo, superfícies curvas positivas e negativas, ou entre aumento e diminuição temporal. Mas em vez de viajar

[38] RAZUTIS, Al, op. cit., p. 24.
[39] ZEC, Peter, op. cit., p. 9.

através de um espelho, para dentro dele, a imagem viaja de outra maneira: desenha a imagem de dentro de um espelho para fora, para o nosso espaço. As imagens pseudoscópicas e ortoscópicas são simétricas em relação ao tempo; a percepção tem lugar no tempo, mesmo que seja um tempo revertido"[40].

Apesar do efeito pseudoscópico ser desorientador, torna-se compreensível após algum tempo de habituação. Os efeitos pseudoscópicos podem desarticular a noção de espaço aprendida com a experiência de vida, alterando as constantes habituais na percepção e, através deles, mudar dramaticamente a referencialidade de um trabalho, especialmente no caso da holografia de objectos. E porque já não pode construir o espaço holográfico conforme a sua experiência usual e "convencional", relativamente mensurável e sem ambiguidades, a própria relação do observador com a imagem holográfica também se pode ressentir da sua ambiguidade.

Numa composição abstracta, a pseudoscopia pode fazer com que as formas de luz se alterem e se sobreponham, criando no observador uma experiência intrigante e difícil de resolver visualmente. O efeito e a posição da luz são compreensíveis, mas não tem que existir coincidência entre a imagem holográfica e o plano que a contém.

### 2.8.3 A IMATERIALIDADE DA IMAGEM HOLOGRÁFICA

Uma parte da arte do séc. XX provém do que se entende por ela através duma aproximação essencialmente conceptual, um contacto diferente com os materiais. Estes são cada vez mais numerosos e diversificados e há que compreender as suas possibilidades de exploração e a sua riqueza potencial.

Os Suprematistas insistiam que do material ao imaterial não há mais do que um passo. E se Malevitch começou por trabalhar com o que faz a materialidade: cor, matéria, peso,

[40] KAC, Eduardo, in MALINE, Sarah R., *Art Holography 1968-1993: A Theatre of the Absurd*, Ph. D. Dissertation, Presented to The University of Texas at Austin, May 1995, pp. 203.

volume, quando fez *Quadrado Branco*, já era uma concepção imaterial que o conduzia, onde o mundo objectivo perde o significado: atende-se a uma dimensão do invisível.

Com as novas tecnologias, a artificialização e desmaterialização crescentes do material plástico reforçam uma tendência a uma forma de conceptualização e de racionalização de uma parte da produção artística. Entre os componentes do imaterial encontramos os materiais transparentes, - o vidro, a luz-, igualmente os que resultam da velocidade e do movimento, fazendo explodir as formas e diluindo os materiais num processo de metamorfose incessante - a energia cinética, o video-, o que resulta do espírito e do pensamento, - a linguagem, o conceito-, o necessário ao funcionamento da obra virtual - os computadores-, etc.

O imaterial representa como que uma diluição do que constitui uma existência física: forma, matéria, volume, suporte. A matéria será visível apenas por transparência, como um holograma ou uma imagem virtual. Colocando-se em primeiro plano os valores ópticos, fica diluída a importância dos valores tácteis. Ao ajudar a matéria a despojar-se das suas texturas e dos seus valores matéricos, chegamos à invisibilidade que se adivinha na transparência da luz.

Enquanto as imagens pictóricas dos objectos representados através de técnicas tradicionais se situam num espaço definido - o do suporte -, determinado, constante e condicionante, no holograma a imagem pode destacar-se e flutuar no vazio, quer à frente, quer atrás do plano do holograma. Ao ser revelada pela luz incidente de maneira apropriada, a imagem holográfica continua desmaterializada, pois que não é mais do que pura luz. Sob esta luz reencontramos a transparência, o vidro, o ar, o espaço, a leveza e a atmosfera.

A imagem holográfica revela-se no tempo e no espaço à medida que o espectador se desloca. Aparece e desaparece, devido a um movimento virtual, que permite variar a sua leitura em função dos movimentos do espectador. Num holograma interessam menos as propriedades estáveis da matéria do que as suas mutações, que permitem o enriquecimento da experiência visual.

Também os contornos do objecto se diluem e, ao atenuar a presença física do quadro, diminui o seu peso visual. Há então um desaparecimento do suporte, do substrato material. Como num espaço aberto, entende-se o holograma para além dos limites do seu contorno. É um estado dinâmico, que alarga o espaço da imagem até ao infinito.

Quando a luz desaparece, a imagem não é mais do que uma abstracção, um éter; é o efémero, o invisível, o ausente, o nada, o zero da forma, a sua completa desaparição física. E assim permanecerá até voltar a ser iluminada e todo o processo recomeçar.

### 2.8.4 A COR NA HOLOGRAFIA

Como diz Matisse, a cor, talvez mais ainda do que o desenho, é uma libertação. A libertação é o alargamento das convenções, o afastamento dos meios antigos.

O sentimento da importância da cor faz com que se possa organizar o trabalho plástico em função dela. Para chegar a uma tradução directa e pura da emoção, das sensações experimentadas, é necessário que se chegue a um equilíbrio e a um ritmo expressivo obtido só com as cores, de alcançar maior estabilidade na composição, apenas com a utilização da luz.

No trabalho com a cor em holografia, trata-se de valorizar as diferenças de tom, de construir atmosferas. Em pintura, as cores têm mais força se forem utilizadas no estado puro, quando o seu brilho e a sua pureza não são alterados ou diminuídos por misturas pigmentárias que lhe roubam parte das suas qualidades. É evidente que as cores não saturadas têm também uma grande importância na pintura, quer se trate de pintura com pigmentos, quer de pintura com luz.

Quando se utilizam os pigmentos, pela *Síntese Subtractiva* da cor, as cores podem ser multiplicadas, transformadas por gradações tonais, quer pela mistura entre elas, quer pela adição do branco e do preto.

Quando se utilizam luzes, a mistura entre elas, pela *Síntese Aditiva* da cor, possibilita a obtenção de cores não espectrais, como o magenta e outros tons de rosa, bem como a obtenção do branco. O preto é a ausência total de luz.

Assim, quando falamos da utilização de luz-cor, como no caso dos hologramas, a alteração do brilho da cor por si só é suficiente para alterar a expressão cromática das várias superfícies.

É necessário também aprender a conviver com a ausência de valores matéricos normalmente associados à cor, estabelecendo em toda a superfície do holograma, relações de luz-cor no seu mais alto grau de pureza e de brilho, modulando e animando toda a composição com transparências e velaturas.

Pelo uso de filtros, podemos obter tons mais escuros, por exemplo o carmim. Quando a luz passa através de um filtro, que a retém em parte, como há uma menor eficiência nessa zona do holograma, mesmo sendo do mesmo comprimento de onda, é lida como sendo mais escura do que na zona onde a luz incidiu na sua totalidade.

Isto é o resultado de uma ilusão de óptica, uma vez que a cor é interpretada como mais escura devido à menor intensidade do seu brilho, quando na realidade, se a medirmos num espectrofotómetro, o seu comprimento de onda é igual ao do outro vermelho obtido com mais luz.

Acertada a difícil proporção das várias cores puras numa composição, torna-se fundamental que as diversas partes componentes sejam utilizadas de maneira a que o todo fique equilibrado e, apesar da transparência e da imaterialidade, que haja uma estrutura bem expressa no holograma.

A manipulação das cores em holografia não é, porém, tarefa fácil; muitos factores externos à vontade do hológrafo podem interferir com o resultado final, impedindo e frustrando a sua obtenção. Factores como uma ligeira diferença no grau da humidade ambiente, da temperatura ou do tempo de exposição, bem como um diferente lote da emulsão, poderão resultar numa significativa alteração da cor final obtida.

# CAPÍTULO III

# 3.TEORIA DA COR

*"As cores só têm poder e eloquência se forem utilizadas no estado puro, quando o seu brilho e a sua pureza não são alterados, diminuídos…"*

Matisse

## 3.1 A COR

Um dos assuntos mais importantes tratados neste trabalho é o estudo e controlo da Cor em Holografia. Por isso, e porque a Cor é também um dos mais importantes elementos do vocabulário visual, tornou-se fundamental estudá-la previamente nos seus diversos aspectos.

A Cor é, na opinião de alguns autores, uma das maneiras como a natureza procedeu à diferenciação das espécies animais e vegetais, bem como à sua sobrevivência sendo, no entanto, a visão das cores um recurso que nem todas as espécies animais têm.

Para a maioria das pessoas, o mundo é a cores. De facto, o reconhecimento que fazemos pela visão implica, por esta ordem, a identificação da forma, do movimento e finalmente da cor. "As capacidades humanas permitem diferenciar $10^7$ cores, identificar 20 a 40 cores, e uma rápida identificação de 5 fontes e 6 superfícies coloridas. Com a cor, a

visibilidade aumenta, a acessibilidade na procura visual tem uma melhoria de contraste, o tempo de procura diminui para 1/3 (para a forma a redução é de 1/2), com independência do número de distractores presentes na cena. O aumento de precisão é da ordem de 176%. A memorização aumenta, e a identificação e sinalização são mais eficazes pela via da cor. A cor provoca a indução de respostas biológicas (cromoterapias)"[41].

A cor é também uma maneira de modificar a própria aparência ou o ambiente. Essa variação é uma personalização do indivíduo, em função de estímulos interiores, criados pela saturação ou pelo gosto de mudar, ou ainda por estímulos exteriores, como por exemplo a moda. A cor é utilizada para comunicar, para exprimir, para passar despercebido (camuflagem), para gerar ilusões ópticas, para criar ambientes. A cor afecta a actividade humana, ao nível psicológico e fisiológico, com reflexos na actividade cerebral e do sistema nervoso, influenciando o estado emocional, a percepção que se tem de volume, de peso, temperatura, odores e sabores, tendo também responsabilidade na preferência dos produtos que escolhemos.

## 3.2 A VISÃO DAS CORES

Mas quantas cores existem? E quantas podemos ver? "A variedade das cores é tal, que é certo, passarmos uma vida inteira, sem ter experimentado todas as sensações possíveis, das cores possíveis, dos contrastes possíveis entre cores, e dos efeitos possíveis induzidos pelas cores"[42]. Embora a cor esteja ao alcance de quase todos, a definição de cor depende das exigências que a sugerem, - científicas, estéticas, ou outras- e do grau de conhecimento que preside à definição.

[41]SOARES, O. D. D., *A Gestão da Cor (pelo Homo Color)*, in Colorimetria Aplicada e Industrial, CETO- Centro de Ciências e Tecnologias Ópticas, Porto, 1993, p. 23.
[42]SOARES, O. D. D, op. cit., p. 24.

É a partir da reunião de todas as mensagens dos órgãos sensoriais nos centros da memória, que a mente obtém não só a informação necessária para desempenhar as suas funções práticas, mas também a alimentação do pensamento e da fantasia, graças a conexões e a nós às vezes tão estreitos, que por vezes, uma sensação visual produz um estímulo objectivo e evoca outra de origem sensorial. É esta faculdade de interacção sensorial e conceptual da vida, que os artistas usam nas suas produções.

A percepção e o uso das cores são parte integrante destes dois códigos. O seu uso não pode, portanto, ser casual. Os múltiplos aspectos sob os quais se deve considerar a cor estão inter-relacionados e devem ter-se em conta em qualquer obra de natureza plástica.

Somos capazes de distinguir milhões de cores. Mas, na realidade, parece que o nosso sistema sensorial se satura rapidamente e recorda-as apenas por 2 ou 3 minutos e num conjunto de apenas cerca de 60 cores.

Num estudo em que a Cor é um elemento importante, teremos em conta vários aspectos: *Aspectos Fisiológicos da Cor* (Olho e Cérebro), *Aspectos Físicos da Cor* (Luz-Cor) e *Aspectos Químicos da Cor* (Cor-Pigmento). Embora todos eles tenham idêntica importância na percepção e interpretação das várias radiações a que chamamos cores, este estudo focaliza-se mais nos aspectos da Luz-cor, por, em Holografia, não se usarem pigmentos.

## 3.3 ASPECTOS FISIOLÓGICOS DA VISÃO DAS CORES (O Olho e o Cérebro)

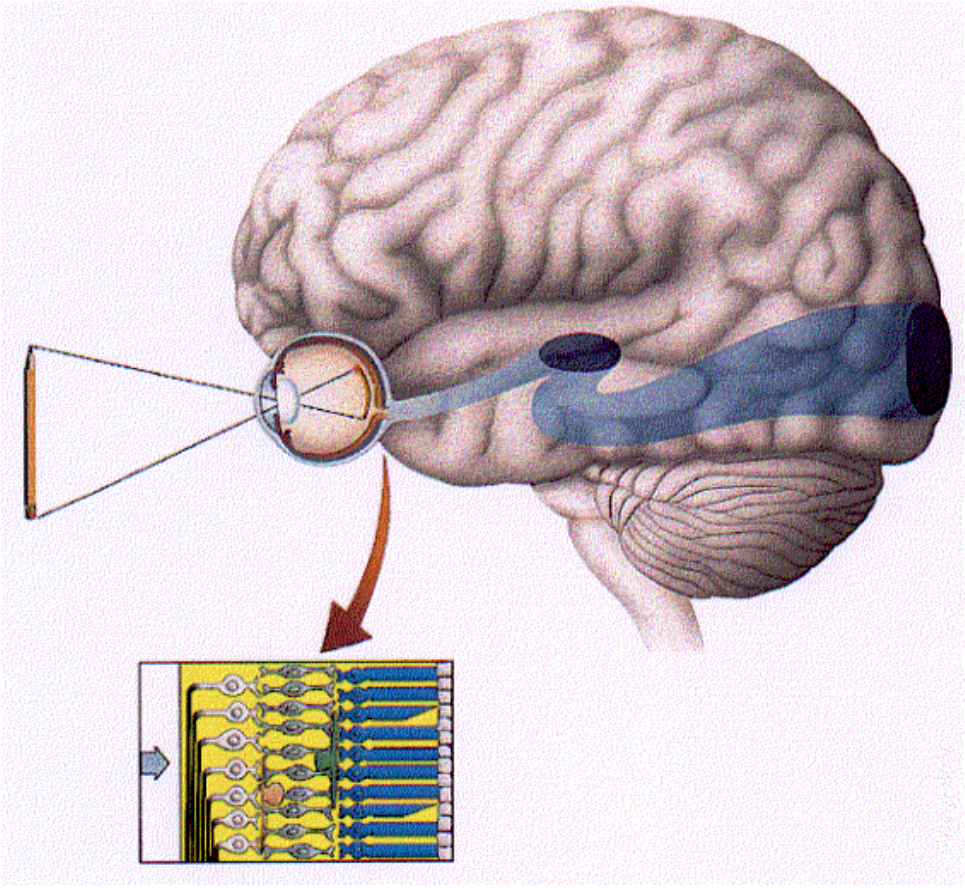


Fig. 21- Esquema da visão humana: a luz reflectida por um objecto entra no olho, atravessando a sua lente (cristalino), projectando a imagem invertida do objecto sobre a retina, situada na parte de trás do olho. Aqui, nas células chamadas cones e bastonetes (ampliadas na fig.), são produzidos sinais, que são conduzidos ao cérebro pelos nervos ópticos.

### 3.3.1 O OLHO

É muitas vezes difícil esclarecer se um efeito visual deve ser incluído na fisiologia, na psicologia, ou na física.

Na Natureza há muitos tipos de olhos. Os olhos mais simples e mais primitivos apenas reagem à luz e às variações de intensidade luminosa. A percepção da forma e da cor só é possível em olhos mais complicados, capazes de formarem imagens, associados a cérebros suficientemente desenvolvidos para interpretarem os sinais neurológicos enviados pelas imagens formadas nas retinas.

A nossa capacidade de ver manifesta-se em situações muito diversas, tanto em situações de pouca luminosidade, de noite, como num dia extremamente luminoso, embora de maneira diferente e com diferentes graus de acuidade. Pela visão somos capazes de distinguir o brilho, a cor, a transparência, a textura, a estrutura, o movimento, a forma, a profundidade e muitas outras características de um objecto ou cena.

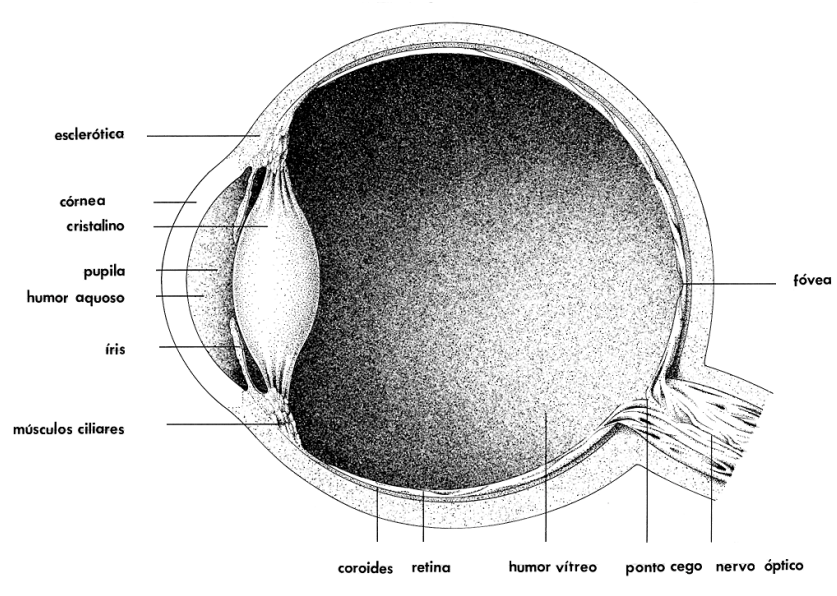



Fig. 22- Esquema do Olho Humano e seus componentes.

Cada parte do olho apresenta uma estrutura extremamente especializada. A sua perfeição como instrumento óptico dá a medida da importância da visão na evolução da espécie humana. O olho é constituído por uma membrana externa, chamada esclerótica, espessa e resistente, branca e opaca, e que na sua parte anterior se transforma noutra, transparente, chamada córnea, por onde penetram os raios luminosos. A córnea não é irrigada por sangue, sendo as substâncias nutritivas do olho transportadas pelo humor aquoso.

A íris é um anel muscular, cuja abertura central é a pupila, que parece negra, por causa do fundo escuro do olho, e através da qual a luz passa para o cristalino, situado imediatamente atrás. A íris é pigmentada, podendo apresentar várias cores, - cores dos olhos das pessoas-, e funciona para o cristalino como um diafragma. Contrai-se, reduzindo ou aumentando o diâmetro da pupila quando a luz é intensa ou escassa, ou ainda quando os olhos focam objectos próximos.

O cristalino é transparente e tem a forma de uma lente biconvexa. Está colocado verticalmente e separa o humor aquoso do humor vítreo. A membrana elástica que contém o cristalino está ligada aos músculos ciliares.

A sua capacidade de acomodação, fazendo com que a convexidade da sua lente varie segundo as contracções dos músculos ciliares, permite que seja modificada a distância focal e assim seja possível ao olho formar sempre imagens nítidas sobre a retina, qualquer que seja a distância dos objectos observados. Para a visão próxima o músculo ciliar contrai-se, permitindo que o cristalino adopte uma forma mais convexa. Com o passar dos anos, este poder de acomodação vai-se perdendo e aumenta a dificuldade de focar as imagens.

O humor vítreo é um líquido gelatinoso contido numa delgadíssima membrana amarelada e unida pelos músculos ciliares, que ocupa o espaço situado atrás do cristalino.

A retina é composta por uma delgada camada de células nervosas interligadas, que recobre o interior da cavidade ocular. Formam-na vários tipos de células, tais como células ganglionares, células bipolares e, as mais importantes para este estudo, que são os cones e os bastonetes, assim chamados por causa da sua forma. São as células sensoriais visuais e contêm pigmentos fotossensíveis.

A retina tem sido descrita como uma excrecência do cérebro. É uma parte especializada da superfície do cérebro que se diferenciou e tornou sensível à luz. Parte do trabalho de selecção dos dados para a percepção faz-se no olho que é, assim, uma parte integrante do cérebro.

A finura do pormenor das nossas sensações visuais depende do número e da distribuição dos receptores retinianos sensíveis à luz, contendo a retina humana normal, cerca de 120 milhões de bastonetes e 6 milhões de cones (fig. 23).

No entanto, estas células não estão regularmente distribuídas na superfície da retina. Os cones estão muito mais concentrados numa área pequena chamada fóvea que, por sua vez, não tem bastonetes. A densidade dos cones decresce sensivelmente com o aumento da distância da fóvea, ao passo que os bastonetes têm maior densidade a cerca de 20º da fóvea.

Fig. 23- Receptores retinianos sensíveis à Luz: Cones e Bastonetes.

Os cones funcionam em condições de boa luminosidade e dão a visão das cores, enquanto que os bastonetes funcionam em condições de fraca luminosidade, e só dão a visão de tons de cinzento. A visão diurna, com boa luminosidade, em que são usados os cones, diz-se *fotópica*, e a que usa os bastonetes, em condições precárias de luz, chama-se visão *escotópica*. As duas curvas espectrais são semelhantes, mas os seus máximos encontram-se em diferentes comprimentos de onda. Este deslocamento chama-se *deslocamento de Purkinje* (fig. 24).

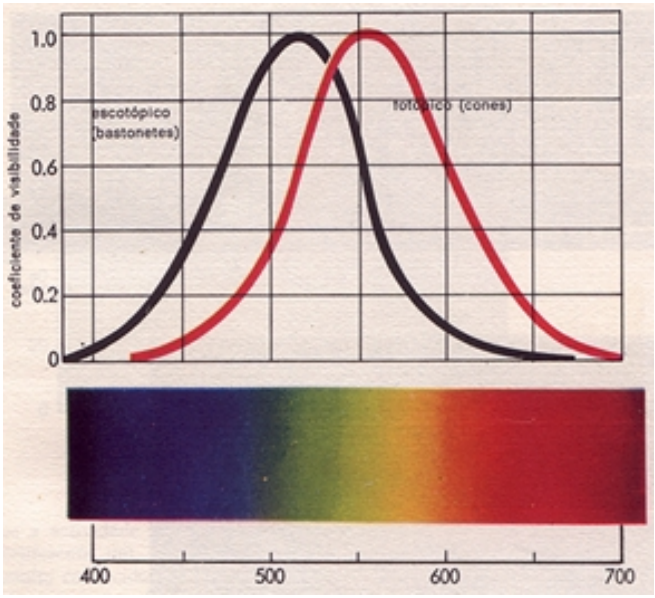



Fig. 24- Variação da sensibilidade do olho aos vários comprimentos de onda, para a visão com boa luminosidade (fotópica) e com baixa luminosidade (escotópica). Estas curvas diferem ligeiramente de pessoa para pessoa.

Na retina, em direcção do nariz, existe ainda um ponto, onde estão ausentes quer os cones quer os bastonetes, chamado ponto cego, para onde convergem as fibras nervosas e onde tem início o nervo óptico.

### 3.3.2 A PERCEPÇÃO CROMÁTICA

A percepção das cores é um fenómeno complexo, baseado em realidades físicas, como a estrutura da retina do olho e o tratamento da informação pelo cérebro, mas também igualmente, num aspecto subjectivo, a sensação final que emerge no consciente. Por isso, é necessária a compreensão destes processos quando se pretende criar uma sensação de cor.

Uma das leis mais importantes da visão cromática é que é possível criar todos os cambiantes do espectro por mistura, em proporções adequadas, de três luzes de diferentes comprimentos de onda, devidamente escolhidas. O problema essencial para o olho consiste em obter uma reacção neurónica diferente para cada um deles.

Dez milhões é o número de cores diferentes que podemos distinguir, de acordo com os estudos de Judd e Wyszeck[43]. Se, para cada cor separável existisse um receptor, haveria uma infinidade de espécies de receptores, cada um sensível a cada comprimento de onda possível.

Foi Thomas Young (1773-1829) quem, em 1807, pela primeira vez apresentou a teoria, mais tarde retomada por Herman Helmholtz (1821-94), de que a cor é uma sensação. Partindo do facto de que há três cores primárias, procurou a explicação desta realidade não na natureza da luz, mas sim, na constituição do olho.

A visão das cores é devida à existência de três diferentes espécies de cones na retina humana, com diferentes sensibilidades cromáticas (fig. 25). Cada uma delas responde a uma gama diferente de comprimentos de onda. Uma espécie de cones é sensível sobretudo a ondas luminosas da região azul, outra à região verde e a terceira à região amarela.

Duas teorias da visão das cores têm competido pela aceitação universal. São as teorias de Young-Helmholtz, e de Hering. Recentes dados neurológicos sugerem que ambas são válidas, mas para partes diferentes do sistema visual.

[43]HUNT, R. W. G, *Measuring Color*, in Applied Science and Industrial Technology, Ellis Horwood Limited Publishers, Chichester, 1989, p.17.

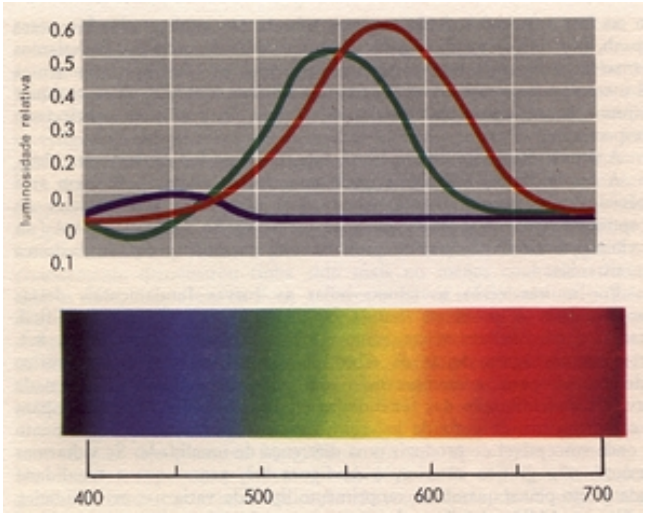



Fig. 25-Curvas da reacção do olho às cores primárias, segundo W. D. Wright. Estão representadas as curvas de absorção dos três pigmentos sensíveis às cores.

Nas suas experiências, Young utilizou luzes, não pigmentos, e demonstrou que é possível reproduzir todas as tonalidades espectrais, desde que sejam utilizados os adequados comprimentos de onda. Pôde também reproduzir o branco, pela adição de todas as cores. Estas experiências, desenvolvidas posteriormente por Herman Helmholtz, consideram como cores primárias o vermelho, o azul-violeta e o verde, e deram origem à chamada *Teoria Aditiva da Cor*.

A teoria de Young-Helmholtz pode enunciar-se assim: Existem três espécies de receptores – cones- sensíveis à cor. Estas três espécies reagem, respectivamente, ao vermelho, ao verde e ao azul, e todas as outras cores resultam da mistura dos sinais destes três grupos.

No entanto, esta teoria não foi aceite por outros investigadores, destacando-se Hering, que enunciou a teoria de que haveria três pares opostos de mecanismos visuais: amarelo-azul, vermelho-verde e branco-preto, sendo cada mecanismo capaz de dois modos de reacção incompatíveis um com o outro; um chamado *anabólico* - fase construtiva-, outro chamado *catabólico* - fase destrutiva. Isto é: por exemplo, um mecanismo amarelo-azul, quando estimulado, pode reagir só à maneira do amarelo ou do azul, não podendo reagir simultaneamente das duas maneiras. Esta seria a explicação para a existência das imagens

negativas - quando o olho é estimulado pela cor amarela, por exemplo, e lhe é retirado esse estímulo, forma-se uma imagem azul remanescente-, assim como dos contrastes simultâneos.

Apesar de todas as novas propostas e teses sustentadas por vários investigadores, a teoria tricromática de Young-Helmholtz mantém-se válida até hoje, no que respeita à parte receptora do sistema visual (cones e bastonetes), excepto no que respeita à zona vermelha proposta por Young, agora substituída por uma zona amarela, proposta por MacNichol em 1964. Se tomarmos em consideração a anatomia e fisiologia dos seus órgãos centrais - tálamo e córtex-, a teoria de Hering para explicar a percepção de quatro cores primárias, mantém-se válida também. A teoria mais actual agrupa ambas e considera a percepção visual em dois estádios diferentes, - zona receptora e zona cerebral.

É raro que o olho veja luzes espectralmente homogéneas. Quase todos os objectos reflectem muitos comprimentos de onda. O olho, porém, integra-os e vê-os apenas como uma cor. "Se o olho analisasse a luz, não veríamos a luz branca: veríamos simultaneamente todos os cambiantes espectrais"[44].

Como o olho é integrador, as luzes de vários comprimentos de onda podem ser projectadas simultaneamente na superfície da retina e misturadas de modo a formar cores diferentes.

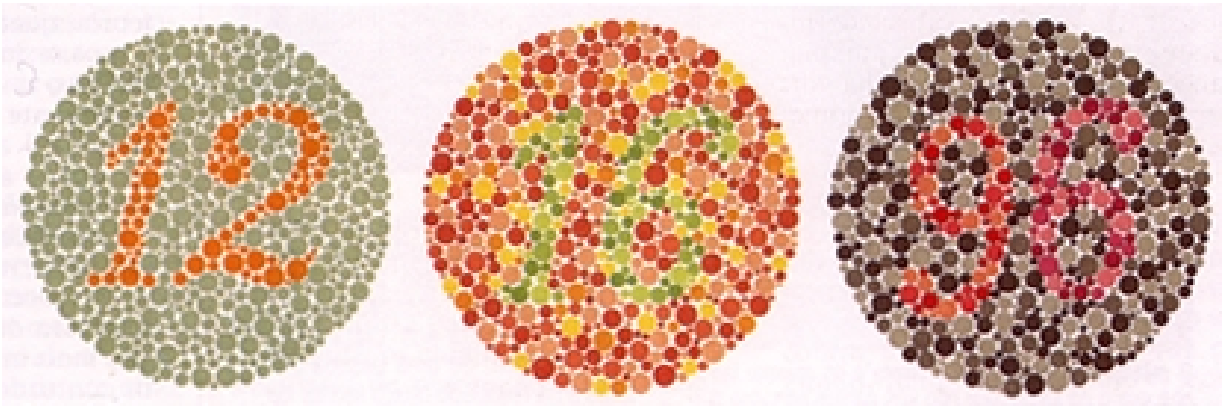
Parece ser certo que o processo gerador da visão tem a sua origem nas substâncias contidas nos cones e nos bastonetes, os quais, estimulados pela luz incidente, sofrem um determinado número de reacções químicas que os transformam. Cada reacção produz estímulos eléctricos nas fibras nervosas que, nos centros visuais do cérebro, se convertem em sensações de luz e cor. A capacidade de distinguir todas as variações de cor não se deve somente aos processos fisiológicos que se produzem nas diferentes partes do olho, mas está também subordinada a uma série de processos neurológicos, que se desenvolvem ao nível do córtex cerebral.

Isto significa que vemos apenas quando o cérebro recebe os impulsos da retina, dependendo a percepção visual, tanto do olho, como do cérebro.

O córtex cerebral leva a cabo a identificação das imagens na zona da retina - forma, contorno, tamanho, distância, orientação, cor, etc.-, perdendo-se a capacidade de ver, caso o

nervo óptico seja seccionado, - mesmo que o resto do olho não tenha sofrido outros danos-, ou quando as células corticais sejam completamente destruídas.

Há porém outros tipos de anomalias da visão que podem ser de origem genética, impeditivas de uma normal percepção da cor (fig. 26). Vulgarmente chamados *daltonismo*, "os defeitos, são habitualmente classificados de: *tricromatopsia anómala*, *discromatopsia* e *monocromatopsia* ou acromatopsia total"[45].



a) b) c)

Fig. 26- Alguns tipos de testes para detectar anomalias da visão das cores: a) com visão normal ou não, a pessoa vê o nº 12; b) com cegueira ao vermelho-verde, não se distingue o nº 16; c) as pessoas com outras anomalias de visão cromática, vêm o nº 9 ou o 6, mas não 96.

[44]KENDLER, Howard, *Introdução à Psicologia*, Ed. Fundação Calouste Gulbenkian, 1980, p. 173.
[45]BERNARDO, Luís Miguel, *Um Olhar sobre a Luz*, Departamento de Física, Faculdade de Ciências, Universidade do Porto, 1995, p.VII.17.

## 3.4 ASPECTOS FÍSICOS DA COR (LUZ-COR)

### 3.4.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE A NATUREZA DA LUZ

Sem Luz, não haveria cor. Dentro das radiações luminosas, somos capazes de ver um certo tipo de luz, chamada *luz visível*, que apresenta um espectro de cores que vai do vermelho, passando pelo laranja, amarelo, verde e azul até ao violeta, apesar de haver regiões do espectro luminoso a que os nossos olhos são completamente insensíveis chamando-se, por isso, *luz invisível*, como no caso dos raios ultravioletas e dos infravermelhos. Mesmo dentro do espectro visível, a sensibilidade do nosso olho não é a mesma para todos os comprimentos de onda; é mais sensível ao amarelo e ao verde, sendo o violeta a cor a que é menos sensível.

Através da história, muita gente tem tentado descrever a natureza e o comportamento da luz; primeiro os filósofos, depois os cientistas. Platão pensou que a luz era emitida pelos olhos e que a visão era devida não à entrada da luz, mas antes, "a partículas projectadas dos olhos, aspergindo os objectos que nos rodeiam"[46]. Euclides também concordou com isto, dizendo: "De que outra maneira podemos explicar que não possamos ver uma agulha que tenha caído no chão até a termos encontrado e os nossos olhos tenham caído sobre ela?"[47]. Porém Epicuro, que morreu no ano 270 a. C., sugeriu que a luz tinha origem em fontes exteriores que emitiam raios que, por sua vez, eram reflectidos pelos objectos e que, penetrando de seguida nos olhos, causavam a sensação de visão. Esta hipótese apenas foi aceite a partir do séc. X, por acção do matemático e físico árabe Alhazen.

Outros documentos sobre a natureza e comportamento da luz e da óptica podem ser encontrados ao longo da história, como por exemplo no livro *Questões Naturais*, onde Séneca fala em “luz colorida proveniente de ângulos salientes de vidros, iluminados com luz do Sol, o

[46]GREGORY, R.L., *A Psicologia da Visão (O Olho e o Cérebro),* col. Biblioteca Universitária Inova, p.15.
[47] UNTERSEHER, F.; Hansen, J.; Schesinger, B., *The Holography Handbook*, Ross Books, 1982, p.302.

que sugere, se não o conhecimento, pelo menos a observação das propriedades dispersivas dos prismas."[48]

Os modernos conceitos de luz têm sido formados a partir de investigações sistemáticas, baseadas em métodos científicos, desde o séc. XVII, realizadas por cientistas como os pioneiros Christopher Huygens (1629-95) e Isaac Newton (1642-1727). As suas descobertas, conduziram-nos a duas teorias rivais acerca da natureza da Luz. Newton sustentava que a luz seria constituída por um fluxo de partículas, enquanto Huygens dizia que seria devida a impulsos, do que ele considerava como pequenas esferas elásticas em contacto umas com as outras, viajando através de um meio fundamental, o *éter*, e propagando-se em todas as direcções como uma onda. As primeiras teorias sobre a natureza ondulatória da luz consideravam que a onda luminosa era, tal como a do som, uma onda longitudinal.

Thomas Young (1773-1829), em 1817, propôs que a onda deveria ser transversal. Fresnel (1788-1827) desenvolveu esta teoria, mas só em meados do séc. XIX, a teoria da onda de luz transversal ficou perfeitamente esclarecida pelas teorias de Maxwell (1831-1879). Ele demonstrou quanta energia podia ser propagada através do espaço, na forma de campos eléctricos e magnéticos. A luz é apenas uma forma dessa energia electromagnética, representando uma secção muito pequena do espectro electromagnético. Todas as formas de energia electromagnética se propagam viajando à mesma velocidade de 300 000 Km/s no vazio [49].

Das ondas electromagnéticas, fazem parte também as ondas de rádio, de radar, microondas, raios infravermelhos e ultravioletas, os raios X, os raios gama, os raios cósmicos e os sinais T.V.

A natureza da luz permaneceu um enigma até que Max Plank (1858-1947), em 1900, propôs a teoria de que há uma dualidade onda-partícula; assim, as ondas electromagnéticas

[48]BERNARDO, Luís Miguel, op. cit., pp. I.6 e I.7.

[49]Uma questão crucial nas fases iniciais da controvérsia sobre a natureza da luz, era saber se a luz se propagava a uma velocidade finita ou instantaneamente. A resposta foi dada por um astrónomo dinamarquês, Roemer (1644-1710). Os seus estudos sobre a irregularidade dos eclipses dos quatro satélites de Júpiter, levaram-no a concluir que isso se devia ao tempo que a luz proveniente dos satélites de Júpiter levava a atingi-lo, aumentando o tempo quando a distância aumentava, em virtude da velocidade finita da luz. A partir daqui, calculando a distância da Terra ao Sol, (embora ligeiramente errada), calculou a velocidade da luz em 278 000 Km /s. Os conhecimentos modernos sobre o diâmetro da órbita terrestre permitiu que esta velocidade fosse corrigida para 300 000 Km/s, sendo considerada agora uma das constantes básicas do Universo.

irradiavam em pequenas esferas ou *quanta*, sendo a sua unidade ou *quantum*, chamada *fotão*[50]. Em 1905, Albert Einstein (1879-1955) retomou e reformulou a teoria corpuscular de Newton, dando uma explicação fisicamente satisfatória do efeito fotoeléctrico. A Mecânica Quântica, a grande teoria física deste século, veio dar um grande impulso à compreensão da natureza e fenomenologia da luz[51].

Esta Teoria Quântica da Energia permite à energia actuar quer como onda, quer como partícula, dependendo da situação em que é olhada. Isto é, sabe-se agora que a luz é constituída por corpúsculos e ondas.

A natureza quântica da luz teve consequências importantes na interpretação da visão das cores e levou a experiências que relacionaram a física da luz com a sua detecção pelo olho e o cérebro.

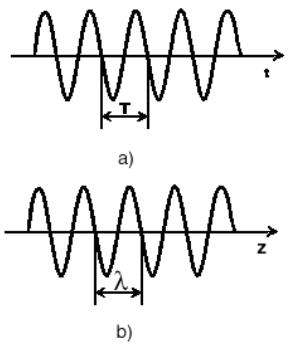



Fig. 27- Representação esquemática de uma onda sinusoidal: a) no tempo, para um ponto fixo no espaço; b) no espaço, para um dado instante.

Desta maneira, aquilo que em geral se chama Luz, é uma forma de energia, à qual o olho é sensível. Os fenómenos de propagação desta energia através do espaço e do tempo explicam-se mediante um modelo ondulatório (fig. 27), segundo o qual a luz se propaga de forma semelhante à das ondas produzidas por uma pedra na superfície da água.

Estas ondas são concêntricas e alargam-se desde o ponto em que a pedra embate na água, movendo-se com uma certa velocidade e sendo constante a distância entre as suas

[50] UNTERSEHER, F. et al, op. cit., 1982, p. 302.
[51] BERNARDO, Luís Miguel, op. cit., p. I.8.

cristas. Esta distância chama-se *comprimento de onda* e corresponde a um ciclo de oscilação completo. A *frequência*, ou número de oscilações por segundo, está relacionada com a velocidade de propagação da onda, ou seja mais rigorosamente, com a *velocidade da fase* e com o comprimento de onda. À altura máxima da crista em relação ao nível da água chama-se *amplitude*. Esta amplitude está por vezes acima do nível da água, sendo considerada positiva, e negativa, quando está abaixo deste nível - ponto zero[52]. A intensidade da onda é uma medida de quantidade de energia e é proporcional ao quadrado da amplitude. No caso das ondas luminosas corresponde ao brilho – intensidade- da luz.

Todos os tipos de ondas electromagnéticas viajam no espaço à mesma velocidade das ondas luminosas, mas para cada uma delas o comprimento de onda (um ciclo completo) é diferente. A gama de comprimentos de onda é extremamente variável, podendo ir de centenas de metros (ondas de rádio), até milésimos de milímetro (raios X).

Ainda que a sua invenção tenha tido lugar em 1960, os princípios teóricos da produção de luz em que se baseia o laser encontram-se na teoria quântica da luz, estabelecida no início do séc. XX.

Assim como no modelo ondulatório a luz se considera como um conjunto de ondas, no estudo do laser considera-se que ela é formada por uma corrente de partículas que se chamam fotões e se movem à velocidade de propagação da luz. Podemos, assim, dizer que ambos os modelos se complementam, podendo associar-se a cada fotão a sua onda correspondente. Um aspecto importante do modelo corpuscular, é que cada fotão transporta uma quantidade de energia que depende da cor da luz, quer dizer da frequência da onda associada, de acordo com a *Lei de Planck*[53].

[52] WENYON, Michael, *Understanding Holography*, Arco Publishing Company, N.Y., 1978.
[53]WENYON, Michael, op. cit., pp.30, 31.

### 3.4.2 LUZ E COR

A luz branca, proveniente do sol ou de uma lâmpada, é uma mistura de cores, cada uma com um comprimento de onda ligeiramente diferente, que viajam juntas através do espaço e na mesma direcção.

A relação entre a velocidade da luz e o seu comprimento de onda e frequência é explicada pela fórmula $c= \lambda\mu$, em que: c, é a velocidade da Luz; $\lambda$ , é o comprimento de onda; $\mu$ , é a frequência. O comprimento de onda da luz, ou de qualquer radiação electromagnética, é diferente em meios diversos. Por exemplo, o comprimento de onda da luz na água é de, sensivelmente, 0.75 do seu comprimento de onda no ar. No entanto, a frequência da luz na água e no ar é a mesma. A razão entre as velocidades de uma onda electromagnética no vazio e num determinado meio é, por definição, o índice de refracção absoluto *n* desse meio. Ou seja, $n= c/v$.

A luz branca é composta por um conjunto contínuo de ondas de diferentes frequências, que se podem separar por refracção. Como cada cor tem a mesma velocidade e diferente comprimento de onda, o número de vezes que cada uma passa num dado ponto por segundo é diferente. As que têm mais frequência são as mais curtas, alongando-se quando a frequência baixa. No espectro luminoso, os mais curtos comprimentos de onda e, consequentemente, mais altas frequências, são percebidos como azul ou violeta. O significado da expressão "luz branca" é, pois, o de muitas cores do espectro sem que nenhuma predomine.

Foi Isaac Newton quem, em 1666, descobriu que a luz branca é composta por todas as cores do espectro ao refractar, por meio de um prisma triangular, um raio de luz solar, decompondo-o e recombinando as cores assim obtidas em luz branca, por meio de outro prisma idêntico, mas em posição inversa[54].

Identificou assim uma série de cores diferentes, cada uma correspondendo a uma radiação diferente, que se alinhavam umas atrás das outras, tal como aparecem no fenómeno natural que é o Arco-Íris.

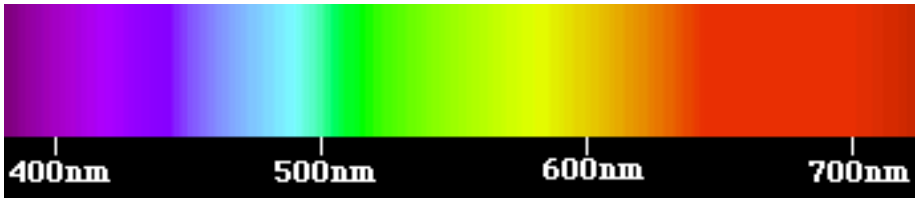



Fig. 28- Espectro das Cores de uma fonte de luz branca.

Newton também definiu as leis da refracção, tendo descoberto que a velocidade de propagação da luz é diferente quando atravessa diferentes meios. Quando uma onda viaja através de meios diferentes, a sua frequência é constante, variando a velocidade e o seu comprimento de onda, de maneira que seja satisfeita a fórmula que os relaciona. A velocidade da luz, que no ar é de 300 000Km/s, diminui quando se propaga noutros meios, como a água e o vidro. O quociente entre as velocidades ou os comprimentos da onda luminosa no ar e noutro meio, é o que se chama índice de refracção.

A vista humana é sensível a um intervalo de cores, do vermelho ao violeta, cujos comprimentos de onda no vazio, variam aproximadamente entre 700 nm e 400 nm. No entanto, diversos estudos apontam para a existência de uma certa variação neste intervalo de indivíduo para indivíduo.

Note-se que a cor não é uma propriedade exclusiva da luz, mas sim uma manifestação electroquímica que é percebida e interpretada pelo sistema sensorial que inclui o olho, o

[54]GRANDIS, Luigina de, *Teoría y Uso del Color*, Ed. Cátedra, 1985, p.12.

sistema neurológico e o cérebro. As respostas sensoriais são, pois, respostas subjectivas, fisiológicas e psicológicas, que variam, ainda que ligeiramente, de indivíduo para indivíduo. Isto é, na realidade, não deveríamos dizer "luz verde", mas sim, a "luz que vemos como verde".

### 3.4.3 LUZ COERENTE E INCOERENTE

O tipo de luz de que temos falado até aqui, proveniente do Sol ou gerada por fontes de luz como as dos vários tipos de lâmpadas de iluminação, contém mais do que um comprimento de onda e é emitida de forma não sincronizada pelos vários pontos da fonte. É por isso chamada *luz incoerente*. Quando a luz é monocromática, isto é, apresenta um único comprimento de onda, chama-se *luz temporalmente coerente* sendo, pois, constituída por fotões com uma única frequência temporal. Se, durante a emissão de luz, forem criadas condições que obriguem os átomos ou as moléculas que constituem a fonte a emitirem fotões de uma forma sincronizada, de modo que as ondas dos fotões com uma mesma energia e sucessivamente gerados se encontrem com a mesma fase, a luz diz-se *espacialmente coerente*.[55].

A luz coerente é fundamental para a realização da Holografia; de outro modo não seria possível fazer hologramas, pelo menos com a qualidade suficiente para serem interessantes visualmente. Há várias fontes que podem produzir luz parcialmente coerente, como é o caso das lâmpadas de sódio, mas as fontes conhecidas que asseguram a produção de luz com elevado grau de coerência são os *lasers*. Por isso, apenas depois da descoberta do laser foi possível desenvolver e divulgar a Holografia. Há vários tipos de laser, mas nem todos são apropriados para a Holografia, que é uma das suas muitas aplicações.

Os comprimentos de onda mais usados em Holografia de Imagem são: $\lambda$= 632.8 nm (vermelho), produzido por lasers com uma mistura de He-Ne (hélio e néon). Este comprimento de onda é o mais usual em lasers de He-Ne, embora possam apresentar outros; os produzidos por lasers de Ar (argon), cujo comprimento de onda pode ser $\lambda$= 488.0 nm

(azul) e λ= 514.5 nm (verde) e de Kr (crípton), cujo comprimento de onda mais forte é λ= 647.1 nm (vermelho). No caso dos lasers de argon e de crípton podem emitir simultaneamente em vários comprimentos de onda - regime multi-linha-, ou num único comprimento de onda - regime uni-linha. Este comprimento de onda é seleccionado por um prisma colocado dentro da cavidade constituída por espelhos recobertos com depósitos dieléctricos apropriados. Este prisma, por efeito da dispersão, retira do alinhamento da cavidade todos os comprimentos de onda, excepto aquele que se pretende amplificar[56].

No caso de hologramas de *cor real*, diferente do tipo de hologramas realizados e apresentados no âmbito desta tese, chamados de *pseudocor*, são utilizados os lasers de argon para produzir o verde e o azul, enquanto o laser de crípton é utilizado para produzir o vermelho. Neste caso, não se utiliza o laser de He-Ne porque alcança potências muito inferiores aos outros, o que não seria suficiente para registar imagens no tipo de emulsão requerido.

Em Holografia, para registar imagens em movimento, sobretudo para retratos, é o laser de rubi o mais usado. Este laser foi o primeiro a ser apresentado, em 1960. Produz luz de impulsos de alguns nanosegundos, que podem ser espaçados de alguns décimos de segundo. Por isso se chama laser pulsado; produz impulsos cujo comprimento de onda é λ= 694.3 nm (vermelho).

### 3.4.4 SÍNTESES ADITIVA, SUBTRACTIVA E PARTITIVA DA COR

Como já foi referido, Thomas Young demonstrou, no início do séc. XIX, que as cores visíveis podem ser produzidas pela sobreposição de três feixes de luz com frequências diferentes. Quando, por sobreposição, três destes feixes produzem luz branca, temos um conjunto de Cores Primárias - Sistema RGB. Podem existir vários conjuntos de cores primárias, desde que, pela sua mistura, se obtenha o branco. No entanto, uma vez que muitas

[55] BERNARDO, Luís Miguel, op. cit., pp. I. 25, I. 27.
[56] BERNARDO, Luís Miguel, op. cit., pp. VI.14 – VI.27.

cores podem ser geradas pela mistura de Vermelho, Verde e Azul, estas são as cores primárias espectrais utilizadas com maior frequência. São, aliás, as três cores primárias utilizadas nos écrans de televisão, monitores dos computadores e também na holografia. A partir da sua mistura podem-se obter todas as outras cores ou tonalidades.

Vermelho e Azul dão origem ao Magenta; Azul e Verde, originam o Ciano; e Vermelho e Verde, originam o Amarelo.

Esta é chamada a *Síntese Aditiva da Cor* (fig. 29 a). A percepção de algumas cores resultantes de mistura de cores espectrais, por exemplo a mistura do verde e do vermelho, é semelhante à de uma cor espectral, neste caso o amarelo. O amarelo que vemos pode, assim, ter duas origens: o amarelo espectral, ou o amarelo resultante da mistura do verde e do vermelho espectrais. Isto pode acontecer também com o ciano, mas não acontece com o magenta, que não aparece naturalmente no espectro. A sua percepção exige a mistura das cores que lhe dão origem, o vermelho e o azul.

No entanto, o pintor não trabalha com feixes de luz, mas sim com pigmentos. E como a maior parte das substâncias, as suas cores têm origem no fenómeno de absorção selectiva. Substâncias que separam os componentes da luz branca, absorvendo parte deles e, reflectindo os outros, tornam-se coloridas. A parte do espectro reflectida é a cor dessa substância.

Este mesmo processo é responsável pelas cores dos olhos, dos pássaros, das folhas das árvores - embora estas sofram alterações de cor no Outono, variando desde o amarelo ao vermelho, devido ao efeito dos carotenos-, da água enfim, da maior parte dos objectos da Natureza, e é resultante da absorção selectiva pelas moléculas dos pigmentos cromáticos.

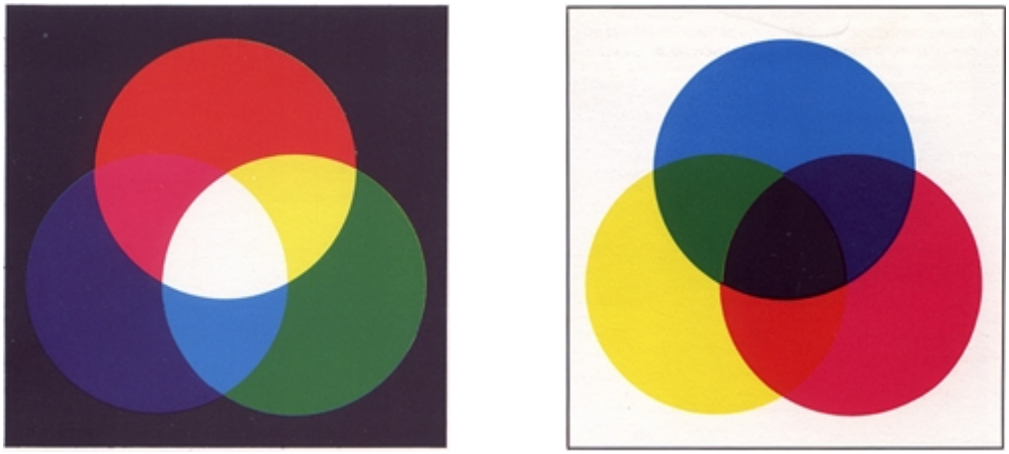
"Considere-se uma peça de vidro colorido com ressonância no azul, que absorve fortemente. Olhando através dele para uma fonte de luz branca composta de vermelho, verde e azul, o vidro absorve o azul e transmite o vermelho e o verde, isto é, o amarelo. O vidro parece pois, amarelo"[57]. Se olharmos para qualquer objecto de cor azul através de um filtro amarelo, este só deixa passar a componente amarela e absorve a azul, fazendo com que o objecto pareça negro.

Este processo designa-se por *Síntese Subtractiva da Cor* (fig. 29 b).

[57] GRANDIS, Luigina de, op. cit., p. 126.

Por este processo de absorção selectiva, todas as cores, incluindo o vermelho, o verde e o azul, podem ser produzidas, fazendo passar luz através de várias combinações de filtros Magenta, Ciano e Amarelo - Sistema CMY ou CMYK, conforme se considere ou não o preto.

Estas são as cores primárias indispensáveis para o pintor. Com elas, podem-se realizar misturas e assim obter todas as outras cores. São também as cores básicas dos corantes usados em fotografia e nas tintas de impressão. Teoricamente, se se misturarem todas as cores subtractivas primárias, quer seja pela mistura dos pigmentos, quer seja pela sobreposição de filtros, obtém-se o preto. Cada filtro elimina uma região do espectro e, em conjunto, absorvem-no totalmente, provocando a ausência de luz.



a) b)

Fig. 29- a) Síntese Aditiva da Cor; b) Síntese Subtractiva da Cor.

Nos vários meios de reprodução de imagens, a cor é distribuída em minúsculos pontos de cores primárias que recobrem a superfície e que se misturam opticamente, sendo percebidos como uma gradação de valores cromáticos e tonais da imagem. A razão deste fenómeno é a síntese que o nosso cérebro faz, já descrita por Chevreul e posta em prática pelos Impressionistas e Pós-Impressionistas, nomeadamente os Pontilhistas como Seurat e Signac. Esta é chamada *Síntese Partitiva da Cor* (fig. 30).

Fig. 30- Síntese Partitiva da Cor.

## 3.5 ASPECTOS QUÍMICOS DA COR (COR-PIGMENTO)

Além dos aspectos físicos da cor, que são os que nos interessam para este estudo, há os que se referem aos aspectos químicos da cor, isto é, à cor existente nos pigmentos. Quer seja nos objectos de produção artística, quer nas cores da nossa vida diária - na Natureza que nos rodeia, no que vestimos, no que comemos, nos objectos de uso quotidiano-, é com as qualidades inerentes ao uso, tipo e obtenção da cor em pigmentos, que estamos acostumados a lidar.

Porém, como já foi referido, em holografia usa-se a cor da luz e, por isso, neste trabalho, não tem cabimento abordar o estudo da cor-pigmento com mais profundidade.

## 3.6 SISTEMATIZAÇÃO DA COR

As tentativas de sistematizar a cor vêm desde a Antiguidade. Podemos considerar que há uma sistematização da cor *antes* e *depois* de Newton. Desde as tentativas de sistematização com base em considerações de ordem filosófica ou teosófica, passando pelas de ordem empírica, até chegar finalmente às de ordem científica, demonstradas e aceites actualmente, há um longo caminho percorrido. Há sistematizações que se centram apenas nos pigmentos, mas há outras que abordam já a natureza e variação da cor em associação com a luz. Algumas teorias tornam-se incompreensíveis e até risíveis, à luz do nosso conhecimento actual, mas fazem todas parte de um caminho de curiosidade e reflexão sobre o tema, evidenciando também a sua importância.

### 3.6.1 PERSPECTIVA HISTÓRICA

As primeiras fontes escritas que nos aparecem sobre a cor são gregas, e aparecem na poesia de Alcmeón de Crotona, de princípios do séc. V a. C., incidindo na antítese entre o branco e o negro, ou entre a luz e a escuridão [58]. No séc. V, esta antítese serviu de fundamento às teorias mais desenvolvidas de Empédocles e Demócrito.

Empédocles utilizava a analogia de mistura de pigmentos pelo pintor para ilustrar a harmonia existente entre os quatro elementos — terra, ar, fogo e água; segundo ele, o elemento ardente do olho é o que percebe o branco, e o elemento aquoso, o negro.

[58] GAGE, John, *Colour and Culture*, Thames and Hudson, British Library, 1993, pp. 11, 12.

Os comentaristas antigos destes autores, Aecio e Estobeo, afirmavam que seguiam um esquema pitagórico de cores "primárias", acrescentando ao branco e ao negro, o vermelho e o *ochron*[59], - um termo impreciso que se aplicava a toda uma série de tonalidades, desde o vermelho até ao verde, passando pelo amarelo. É bastante difícil entender este tipo de classificação das cores, bem como o tipo de misturas que propunham. Demócrito também fala de quatro cores "simples": o *branco*, relacionado com a suavidade, o *negro* com a aspereza, o *vermelho* com o calor e o *chlóron*, que se compõe do sólido e do vazio.

Estas teorias de Empédocles e Demócrito foram recolhidas e desenvolvidas por Platão e Aristóteles no séc. IV a. C. e, através deles, converteram-se no ponto de partida de todos os sistemas cromáticos até Newton.

O comentário mais extenso de Platão sobre este tema figura no seu poema sobre a criação no *Timeo*, onde explana o que ele considera uma "teoria racional das cores". O branco, diz ele, é o resultado da dilatação do raio que o olho envia no processo visual, e o negro da sua contracção. Um fogo e uma dilatação mais violentos do raio produzem o que chamamos "brilho" e um fogo intermédio produz a cor vermelho-sangue.

Platão não acreditava que se pudessem obter as proporções correctas das cores principais para obter as cores intermédias. Afirmava que, se alguém o tentasse fazer experimentalmente, era porque havia esquecido a diferença existente entre a natureza humana e a divina; seria absurdo que um homem tentasse explicar a lei da proporção de acordo com a qual se formam as diferentes cores ainda que a conhecesse, dado que não poderia fornecer uma razão precisa, nem sequer uma explicação tolerável ou provável da mesma. "Só Deus possui a sabedoria e o poder capazes de combinar múltiplas coisas numa e ao contrário, de converter a unidade em multiplicidade. Mas nenhum homem é nem será nunca capaz de levar a cabo nem uma nem outra operação"[60].

Aristóteles, pelo contrário, era um empírico. Ele também procurava os princípios que governam o real, mas pensava, ao contrário de Platão, que é seguindo os ensinamentos da

[59] Em português tem a designação de *ocre*, *oca* ou *ocra*; nome de origem fr. *ocre*, do latim *ochra*, do grego *okhrós*. É um tipo de óxido terroso, pulverulento, de diversas colorações, conforme os diferentos óxidos, de ferro, alumínio, antimónio, bismuto, manganésio, molibdénio, tungsténio, cobre, etc., que contém, e que serve para produzir pigmentos. Os mais usados na produção de pigmentos são o ocre amarelo, variedade terrosa de limonite e o ocre vermelho, variedade terrosa de hematite.

[60] GAGE, John, op. cit., p. 12.

experiência que podemos descobri-los. Por isso, criou uma teoria das cores muito mais ampla e diversificada, embora dispersa em escritos de temáticas muito diferentes. Foram os seus discípulos que reuniram os seus escritos e produziram o único estudo global da cor que nos chegou do mundo antigo.

No tratado *De sensu et sensibili*, Aristóteles considera que as cores intermédias resultam da combinação do claro e do escuro, que eram as cores principais. Identifica outras cinco cores intermédias puras: o carmesim, o violeta, o verde claro, o azul escuro ou cinzento - que considerava uma variedade de negro-, e o amarelo - que devia classificar-se com o branco, afirmando que as outras resultam da combinação do branco e do negro.

Já em *Meteorológica*, na sua descrição do arco-íris, parece considerar o vermelho, o verde e o púrpura como as únicas cores intermédias puras. Neste texto considera o vermelho mais próximo da luz e o violeta da obscuridade. Noutros textos, como *Problemata*, o verde aparece como cor intermédia central, entre a terra - o negro- e a água - o branco. Na sua obra global *Sobre as Cores*, apresenta o mesmo esquema com algumas variações, sendo as cores "primárias", neste caso, o branco - a cor do ar, da água e da terra- e o dourado - a cor do fogo-, convertendo-se o negro simplesmente na cor dos elementos de transformação.

Aristóteles também reconheceu a variação das cores conforme a quantidade e o tipo de luz que recebem. "Nós não vemos as cores na sua verdadeira pureza, porque todas estão misturadas; se não estiverem misturadas com outra cor, estão misturadas com raios de luz ou com sombras, de maneira que nos parecem diferentes de como são"[61].

Reconhece também que as coisas adquirem um aspecto diferente segundo se vejam à sombra ou à luz do sol, com uma iluminação intensa ou suave, segundo o ângulo de que se contemple e de acordo com outras variações. O que "contemplamos junto ao fogo ou à luz da lua ou graças aos raios que desprende uma lâmpada, resultam diferentes devido às suas respectivas iluminações; e também devido à mistura das cores entre si, já que quando a luz cai sobre outra cor, ao misturar-se com ela projecta por sua vez uma mistura de cores diferente"[62].

Em *Sobre as Cores*, Aristóteles insistia que o estudo da cor devia realizar-se "não misturando os pigmentos, como fazem os pintores", mas sim "comparando os raios que

[61] GAGE, John, op. cit., p. 12.
[62] GAGE, John, op. cit., p. 13.

reflectem, as cores conhecidas". No seu comentário sobre o arco-íris, Aristóteles insistia que as cores puras eram aquelas "que os pintores não podem fabricar".

O reconhecimento dos problemas de identificação das cores devido à variação da luz a que se viam, constituia uma evidência da incapacidade da vista humana para julgar a verdadeira natureza das coisas e contribuiu para o pensamento céptico a partir do séc. I d. C. aproximadamente, quando Filón de Alexandria citou um exemplo que iria encontrar eco na Idade Média: "Acaso não vistes nunca as cores do pescoço de uma pomba mudando em milhares de tonalidades distintas sob os raios do sol? Não parece magenta e azul intenso, e ao mesmo tempo arde e incendeia-se como as brasas, e adquire um tom amarelo ou avermelhado, e muitas outras tonalidades cujos nomes não é fácil recordar?"[63].

Durante a Idade Média, e até durante o Renascimento, sucederam-se as escalas de cor, algumas já com valores cromáticos. Porém, o que prevalecia eram as escalas com noções ambíguas, baseadas em conceitos tradicionais ou filosóficos.

Essas noções ambíguas sobre as cores contrastam com um relato, formulado com bastante clareza, na *História Natural* de Plínio, segundo a qual, alguns dos melhores pintores da época Clássica utilizavam deliberadamente uma paleta muito limitada: "Apeles, Aecio, Melantio e Nicómaco só utilizavam quatro cores: o branco de Milos, o amarelo ático, o vermelho de Sinope, no Mar Negro, e o negro conhecido como *atramentum* - uma espécie de verniz negro- nas suas obras imortais; eram artistas ilustres e cada uma das suas pinturas apenas poderia comparar-se com as riquezas de toda uma cidade"[64].

O relato de Plínio não só especifica quais eram as quatro cores usadas na antiguidade, mas também atribui o seu uso a renomados pintores. Destes, o mais famoso foi Apeles, cerca de 370 a. C., cuja reputação se manteve até ao séc. XVI. A escola de Hipócrates - que viveu pouco depois de Apeles- defendia que no homem se encontram quatro "humores", que se associam simbolicamente a cores: o sangue (vermelho), a fleuma (branca), a bilis amarela e a bilis negra que, adequadamente combinados, proporcionam um perfeito equilíbrio do organismo.

[63] GAGE, John, op. cit., p. 14.
[64] GAGE, John, op. cit., p. 29.

Num retrato imaginário de Apeles, da autoria de Nicoletto Rosex, em princípios do séc. XVI, o representado contempla uma placa onde aparecem umas figuras geométricas - a esfera, a pirâmide, o cubo, o octaedro. Seguindo a simbologia do quadro de Rosex, na arte Italiana das cidades do norte, a teoria das cores era a seguinte: Círculo- icosaedro- água- verde; Triângulo- pirâmide- fogo- vermelho; Quadrado- cubo- terra- amarelo; Octógono- octaedro- ar- azul. Esta teoria não era aceite por toda a gente. Para complicar a questão, havia na época outra corrente bastante diferente, que associava as cores às estações do ano, baseando-se em Antioco de Atenas. Assim seria: Primavera-vermelho; Verão-amarelo; Outono-negro; Inverno-branco.

Quando Alberti relaciona as cores com os elementos no seu tratado sobre a pintura, não considera o preto e o branco como cores básicas. Para ele, o vermelho corresponde ao fogo, o azul ao ar, o verde à água e a cor cinza, à terra. Já Leonardo da Vinci considera o preto e o branco como cores "simples", "porque os pintores não podem trabalhar sem elas". Além disso, identificava os elementos como o vermelho correspondente ao fogo, o azul ao ar, o verde à água e o amarelo à terra[65].

Nos quadros de Leonardo que nos chegaram, sobretudo na *Virgem dos Rochedos*, verifica-se que ele pôs em prática as suas teorias. A força do volume das pinturas de Leonardo vem de um sistema em que a sombra já não é criada por cores definidas e saturadas, mas sim por cores que são ensombradas progressivamente por velaturas. As cores mais saturadas aparecem nas áreas iluminadas pela luz mais forte. "A lei fundamental é que o ângulo de reflexão da luz deve ser igual ao da incidência da luz. Os efeitos são dependentes de uma série de factores: a intensidade relativa das fontes de luz originais; as distâncias que a luz percorre; os ângulos de impacto; a natureza das superfícies; os graus de interferência das fontes luminosas competindo. Todas estas causas devem ser analisadas com precisão matemática"[66].

[65] KEMP, Martin, *The Science of Art, Optical themes in western art from Brunelleschi to Seurat*, Yale University Press, New Haven and London, 1989, pp. 266 a 269.
[66] KEMP, Martin, op. cit., p. 267.

Apesar de Leonardo nunca ter sistematizado os seus estudos sobre a cor, os seus manuscritos mais tardios estão cheios de anotações que demonstram observações de grande sensibilidade para os efeitos de luz e cor. Ele estudou a passagem da luz através das folhas das árvores, notou os fugazes efeitos do amarelo-verde-azul-verde, que se misturam à distância para produzir uma mancha tremente de luz e cor; explica a diferença das cores pelo fenómeno que aumenta o azulamento da atmosfera com a distância. Estudou também as cores do fumo e da neblina a diferentes horas do dia, sob diferentes ângulos de iluminação e de diferentes pontos de vista. O seu livro demonstra que dedicou grande atenção à análise do fenómeno da mistura de luzes de cor, insistindo no estudo e análise do arco íris como fonte.

Fig.31- As cores da Urina, segundo Juan de Cuba, do livro *Hortus Sanitates*, séc. XV. Uma das primeiras escalas cromáticas em círculo.

A ordenação circular das cores, que é muito utilizada em vários estudos de sistematização da cor, parece ter origem numa escala medieval idealizada pelos médicos para diagnosticar doenças mediante o exame da urina. Numa escala destas, da autoria de Juan de

Cuba (fig. 31), as cores vão do branco ao negro, através de uma série de amarelos e vermelhos[67].

Rubens também escreveu os seus pensamentos sobre a maneira de organizar as cores, tendo colaborado com François d'Aguilon (ou Aguilonius). As noções de d'Aguilon sobre as cores são baseadas nas de Aristóteles.

Em 1613, em Antuérpia, ele publicou *Opticorum libri sex*, com a sua versão definitiva da escala de cores, baseada nas 'cinco espécies' de cores simples com 'três compostas'. O seu esquema, muito semelhante aos usados para exemplificar as escalas musicais, tem dois polos, onde se situam o branco e o preto, e entre eles colocou o amarelo, o vermelho e o azul, que por sua vez formam as três compostas: laranja, resultante do amarelo e vermelho; magenta, resultante do azul e vermelho; e verde, resultante do amarelo e azul.

Apesar de Aguilon insistir em que o seu esquema é sobre as "qualidades visíveis" da cor (luz), e não sobre as cores materiais dos pintores, as cores que compõem o seu sistema correspondem exactamente às cores-pigmento e não à luz-cor (fig. 32). Aguilon também enunciou alguns preceitos que parecem ter sido sugeridos por Rubens, que por sua vez também foi influenciado pelas teorias daquele:

*"A cor não deve ser 'atormentada'*: Não se devem misturar mais do que dois pigmentos na paleta. As cores devem ser aplicadas simples, directa e separadamente sobre a tela, permitindo que as misturas tenham lugar 'no olho'.

*As sombras devem ser mantidas translúcidas*: Velaturas neutras devem ser usadas de tal maneira que permitam às cores, locais e reflectidas, misturarem-se na sombra dentro de um 'meio diáfano'.

[67] GAGE, John, op. cit., p. 162.

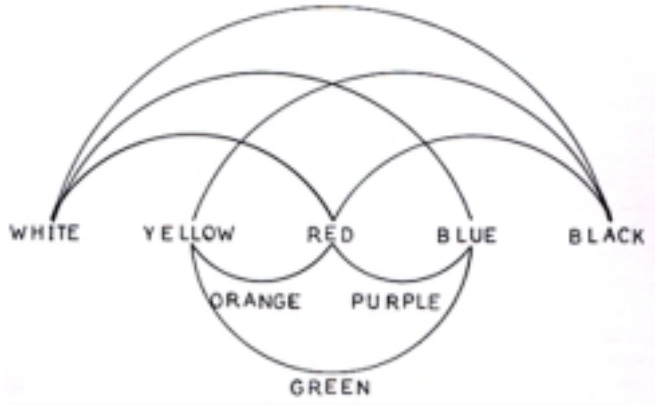



Fig. 32- Esquema de Aguilon. Cores “simples” e “compostas”. Do livro *Opticorum libri sex*, 1613.

*As luzes fortes devem ser opacas e puras*: Deve ser dado um forte ênfase ao branco opaco, misturando-se com cores brilhantes, para reflectir a luz directamente da superfície, em contraste com a transparência velada das sombras”[68].

Em 1646 Athanasius Kircher, um jesuíta, publicou em Roma um compêndio de Óptica, *Ars Magna lucis et umbrae*, onde está incluída a sua teoria sobre a cor, apresentando uma tabela de cores (fig. 33), bidimensional, cuja estrutura é baseada num conjunto de semi-círculos, claramente na sequência da teoria de Aguilon[69]. O seu diagrama da escala de cores simplifica o de Aguilon, mas também parte de pontos extremos onde se situam as cores branco e preto, e entre eles o amarelo, vermelho e azul, em conjunto com as três compostas, o laranja, magenta e verde. Além do esquema, apresenta uma tabela de correspondências, que é fruto do seu misticismo astrológico e religioso.

[68] KEMP, Martin, op. cit., p. 277.
[69] KEMP, Martin, op. cit., p. 280.

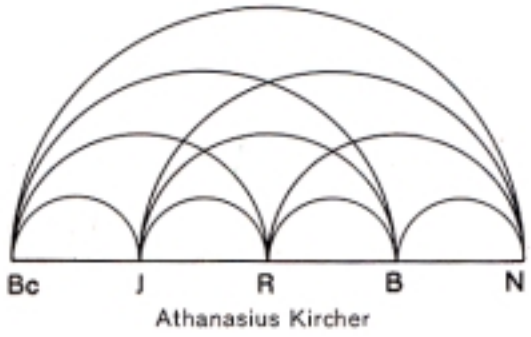



Fig. 33- Esquema de Athanasius Kircher, *Ars Magna lucis et umbrae*, 1646.

Em 1704 Newton publicou a sua obra *Óptica*, que veio alterar para sempre a teoria da cor. Baseada na decomposição da luz e não na mistura de pigmentos, é fundamental para a compreensão dos fenómenos visuais cromáticos.

A versão de Newton da escala circular cromática (fig.34) era a mais coerente porque mostrava as relações entre as tonalidades vizinhas e foi rapidamente assimilada pelos pintores. O que não significa que não tivessem alterado o número e o tipo de cores dos círculos, conforme o seu ponto de vista. O mais frequente, e que ainda hoje se utiliza, é o que reduz de sete para seis cores: três primárias e três secundárias. O que não significa que não tivessem alterado o número e o tipo de cores dos círculos, conforme o seu ponto de vista.

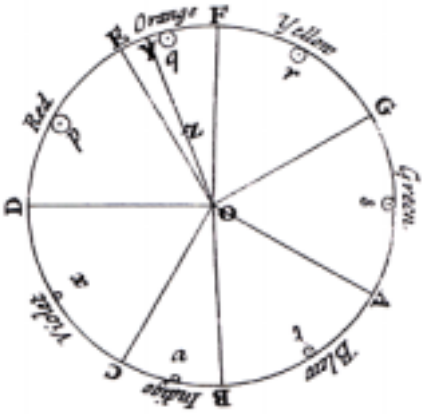



Fig. 34- Círculo Cromático de Newton, *Opticks*, 1704.

Já no séc. XVIII, Jakob Christof Le Bon, um artista alemão de origem francesa, provou que era possível, a partir de três cores, produzir todas as outras cores. Esta é a ideia principal da estampagem e impressão a cores, que se baseia na combinação de pranchas monocromáticas. As meias tintas em cor de Le Bon foram provavelmente as primeiras em que se aplicou esta ideia, e para a ilustrar distribuiu séries com as diferentes amostras cromáticas. Nelas, a maior parte da informação correspondia à estampa em azul, que se imprimia primeiro, seguindo-se o amarelo e o vermelho[70].

Também publicou um pequeno tratado, *Il Coloritto* ou *the Harmony of Colouring in Painting*, onde diz: "Pintando pode-se representar todos os objectos visíveis, com três cores, amarelo, vermelho e azul; todas as outras cores podem ser compostas destas três, que eu chamo primitivas"[71]. Dado que na altura não havia as tintas apropriadas para rentabilizar a estampagem a meias tintas e era necessário proceder à retocagem manual do trabalho, o seu sucesso foi pequeno.

Em 1745[72], Tobias Mayer propôs um triângulo equilátero, em cujos vértices se situavam as cores de base amarelo, vermelho e azul (fig.35), que posteriormente seria retomado por Lambert, num modelo tridimensional.

[70] GAGE, John, op. cit., p. 162.
[71] KEMP, Martin, op. cit., p. 280.
[72] Há algumas contradições quanto à data em que Mayer apresentou o seu esquema. Segundo Hickethier a data seria 1745, segundo Gage, em 1758.

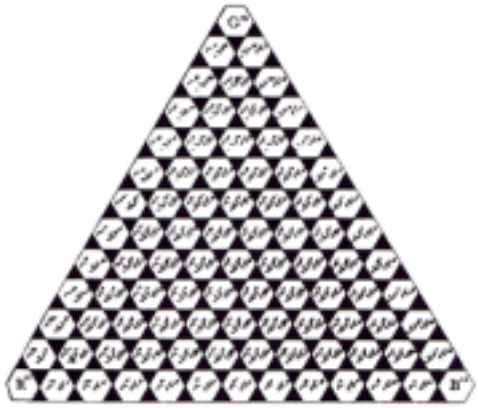


Fig. 35- Esquema de Tobias Mayer.

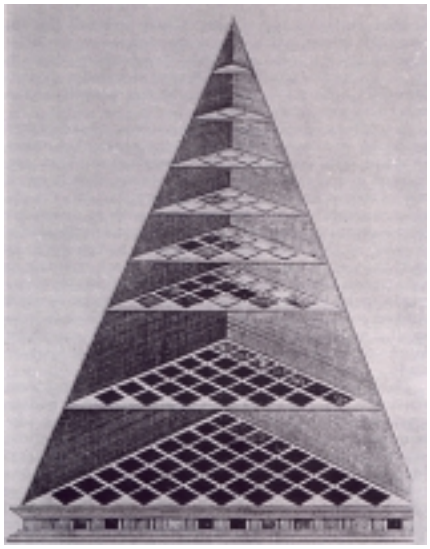


Fig. 36- Pirâmide de cores de Johann Heinrich Lambert, 1772.

Em 1772, Johann Heinrich Lambert apresentou a sua pirâmide de cores onde, pela primeira vez, a cor é estruturada em três dimensões (fig. 36).

Em 1810, Philippe Otto Runge, um pintor, apresentou o primeiro modelo que proporcionou uma visão clara do sistema (fig. 37). Este modelo tem a forma de uma esfera, e pode ser lido como o globo terrestre, dividido por meridianos e paralelos que, pelas suas

intersecções, delimitam os espaços onde se vão situar as várias tonalidades. O polo superior corresponde ao branco e o polo inferior, corresponde ao preto. Ao equador, corresponde um círculo de cores puras. Sobre a superfície do hemisfério superior, situam-se as cores que progressivamente vão clareando. No hemisfério inferior, situam-se as cores progressivamente mais escuras.

Runge organizou a sua esfera com todas as cores, baseada numa relação bem definida de três parâmetros; branco, preto e cor pura. A partir de Runge, todas as investigações sobre sistematização de cores têm assentado num critério básico: desenhar um modelo em que todas as distâncias, de cor a cor, sejam iguais, como entre as notas de uma escala musical.

A forma esférica será posteriormente retomada por Johannes Itten (1888- ?)[73], que diz ser a esfera uma forma elementar, simétrica em todas as suas partes, e a que melhor se adapta à representação das particularidades características e múltiplas do mundo das cores. Ela permite a lei das complementares, bem como as relações fundamentais de umas cores com as outras, e destas com o branco e o preto[74].

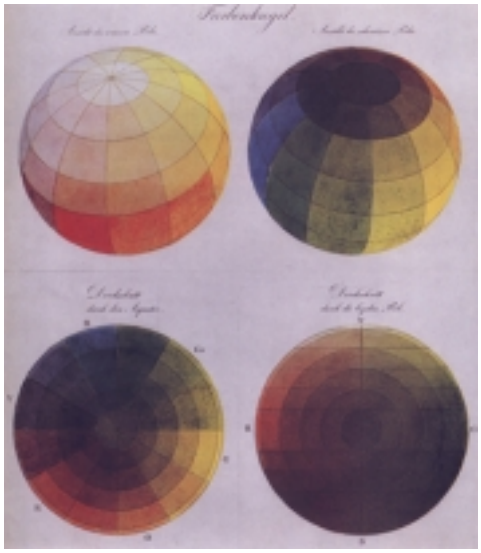


Fig. 37- Esfera de cores de Philippe Otto Runge, 1810.

[73] Não foi possível obter a data correcta do falecimento de Itten, sendo seguro que foi depois de1967, pois nesta data participou na publicação do livro *Éducation de la Vision*, Bibliotèque de Synthèses, sob direcção de Gyorgy Kepes.

[74] ITTEN, Johannes, *Art de la Couleur,* Dessain et Tolra, 2 ième Réimpression, 1990, p.114.

### 3.6.2 MODELOS ACTUALMENTE SEGUIDOS

Como vimos, muitos modelos de sistematização da cor foram propostos desde a Antiguidade. Alguns são ainda importantes para a sua compreensão e outros são completamente errados e fantasiosos. As grandes descobertas sobre as cores e a sua sistematização ocorreram no séc. XIX; porém, nos modelos que se seguem há importantes conhecimentos que são muito úteis para o estudo da cor. Uns mais importantes que outros; uns mais completos do que outros; uns mais interessantes para os artistas, outros para os cientistas; uns baseados nos nomes das cores, outros na sua numeração. A importância deste tema é tanto maior, quanto a consciência de que a cor numa composição plástica, seja ela trabalhada com pigmentos ou com luz-cor, não deve surgir ao acaso, mas antes conscientemente aplicada, ocupando um lugar determinado e uma função definida na composição.

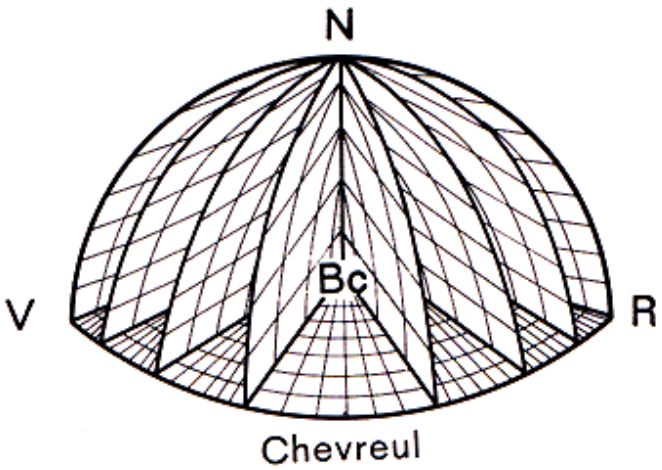



Fig. 38- Leque de Chevreul, 1861.

Dos modelos que são mais seguidos actualmente, são de destacar os seguintes: o *Leque de Chevreul* (fig. 38). No séc. XIX, o químico francês Michel Eugène Chevreul (1789-1889) desenvolveu uma nova ideia de harmonia da cor baseada na observação de como as harmonias da natureza e da ciência óptica são conseguidas através de contrastes brilhantes. Em 1839 Chevreul publicou o livro *Sobre a harmonia e contraste das cores*, onde enunciou as suas descobertas, sobretudo a que deu origem à "lei do contraste simultâneo". Ele percebeu que o brilho das cores não dependia somente da intensidade das tintas, mas que também as cores podiam perder ou ganhar intensidade quando colocadas ao lado de outras cores. Também definiu a cor complementar de uma dada tinta, como sendo a cor de uma porção de espectro que é absorvida. Por exemplo, o vermelho é a cor que mais absorve o verde. Na sua teoria, estes pares complementares são amarelo-azul violeta; azul ciano-laranja; vermelho-verde.

Em 1861, Chevreul apresentou como proposta, uma semi-esfera, organizada em leques que partem de um eixo central. As cores puras encontram-se a partir da base, tranformando-se em branco no centro. Na parte superior, as cores aproximam-se progressivamente do preto. As teorias de Chevreul, baseadas nas propriedades ópticas das cores puras, foram muito importantes para a pintura do final do séc. XIX. Ela influenciou de uma maneira determinante os pintores, que tentaram pô-las em prática, dando origem ao Impressionismo e sendo levadas ao extremo pelos *Pontilhistas* Signac e Seurat.

O *Sólido de Cores de Ostwald* (fig. 39), é outro dos esquemas mais conhecidos. Em 1915, Wilhelm Ostwald (1853-1932), imaginou um Sólido de Cores, composto por doze triângulos duplos, que por sua vez formam um cone duplo, unido pelas bases. Neste esquema, a ordem das cores é tal, que a parte superior do cone é ocupada pelo branco e a inferior pelo preto. Sobre a linha que une as bases, situam-se as cores puras. Neste esquema, a mistura de cada cor obedece à adição de uma determinada percentagem de branco ou preto e encontram-se indicadas por números e letras, em vez de nomes.

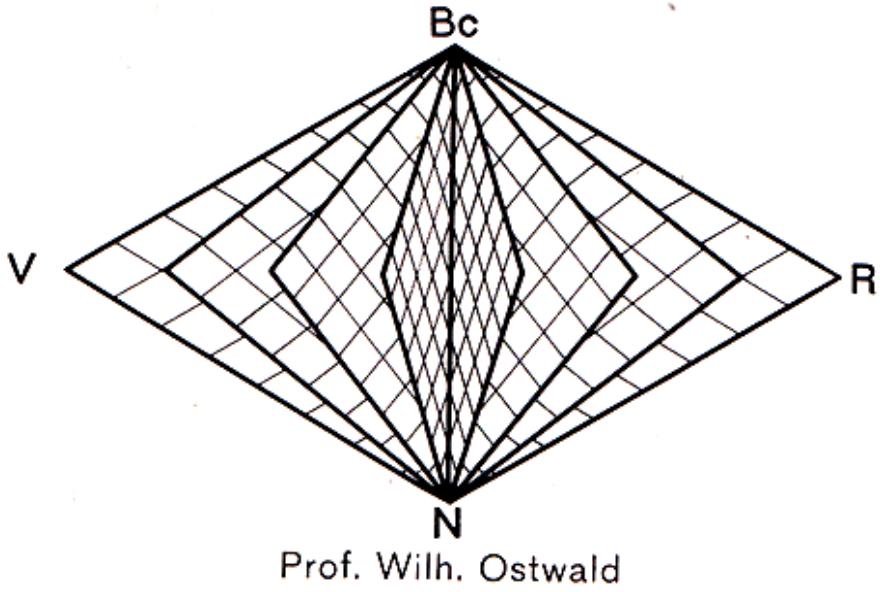
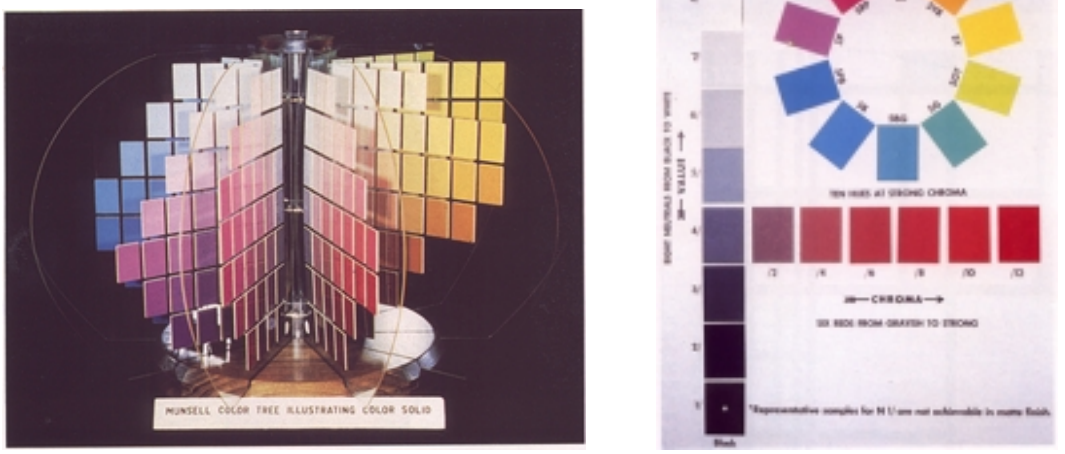



Fig. 39- Sólido de Cores de Wilhelm Ostwald, 1915.

Outro dos esquemas visuais mais largamente divulgados e aceites para a ordenação das cores é o da *Árvore de Cores* de Munsell (fig. 40).

Partindo do sistema de Runge, como estrutura geral, mas não se baseando na esfera, o pintor A. H. Munsell desenvolveu o seu esquema num sólido irregular, inspirado no tronco de uma árvore. O tronco é uma escala de cinzentos, do qual saem ramificações de tamanho variável, com cores de diferentes graus de saturação. Quanto mais perto do tronco, maior quantidade de cinzento existe, e quanto mais longe, mais pura se torna a cor. As ramificações estão organizadas de tal maneira, que as cores complementares estão diametralmente opostas umas às outras.

O sistema de ordenação das cores de Munsell, proposto em 1905, é considerado o mais completo. Para obter uma visualização das relações de cores de forma apropriada, ele ordenou as cores (chroma) segundo um sistema denominado HSV (Hue, Saturation, Value). Assim, Munsell definiu as cores segundo três parâmetros: a tinta (hue), ou tonalidade da cor; valor (value), ou grau de luminosidade da cor; e saturação (saturation), ou grau de pureza da cor. Estas *dimensões* da cor representam um importante avanço na concepção dos modelos cromáticos.




a) b)

Fig. 40- Esquema final da Árvore de Munsell; a) esquema tridimensional, b) tabela das dimensões da cor.

Analisando todas as cores do círculo cromático, Munsell demonstra que para cada chroma (hue-tinta), o ser humano discrimina dez valores de saturação (saturation-intensidade), assim como dez valores de brilho (value-tonalidade.

Para cada chroma é organizada uma página, na qual o eixo de saturação se encontra na horizontal e o correspondente ao brilho na vertical, mostrando assim a distribuição da cor ao longo das três dimensões de uma maneira uniforme, de modo que, a diferença entre dois tons adjacentes fosse sempre a mesma.

Em 1940, Alfred Hickethier propôs um sistema que é organizado num cubo, o *Cubo das Cores* (fig. 41). Neste cubo, as três cores de base: amarelo, magenta e ciano, são colocadas de tal maneira que cada uma delas, divididas em dez graus de intensidade, que ocupam totalmente uma face do cubo, obtendo assim 1000 cores diferentes. As três dimensões do cubo - altura, largura e profundidade-, permitem realizar as misturas possíveis entre as três cores primárias, assim como todas as variações na direcção do branco, do preto e dos cinzentos.

Fig. 41- Cubo das Cores de Hickethier, 1940. A cada cor é atribuido um número.

No Cubo das Cores, a cada cor primária é atribuído um número. Pela mistura das várias cores numeradas nas devidas proporções, encontramos todas as cores intermédias. As cores complementares encontram-se em vértices opostos do cubo.

Em 1960 Johannes Itten, pintor, teórico e antigo professor na Bauhaus de Weimar, publicou uma obra sobre a cor, chamada *Arte da Cor* (*Kunst der Farbe, Studienausgabe*), no original, onde agrupa o essencial do seu trabalho sobre a cor e que representa parte da sua experiência de pintor e professor sobre este assunto. Na sua teoria, Itten organiza a *Esfera das Cores* (fig. 42), baseando-se num modelo esférico, tal como Runge, mas presta também muita atenção às cores subjectivas.

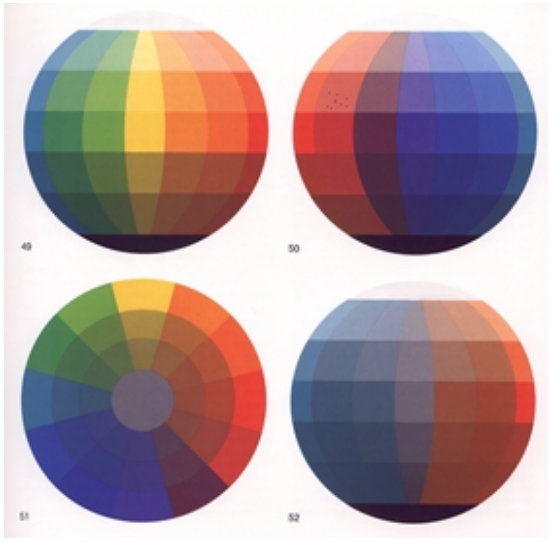


Fig. 42- Esfera de Itten, 1960.

Itten organiza a sua teoria, muito seguida até agora sobretudo por artistas, em sete contrastes, onde evidencia a importância da cor em si própria, mas também na sua interacção com outras. Os contrastes por ele propostos são: 1- Contraste da cor em si; 2- Contraste claro-escuro; 3- Contraste quente-frio; 4- Contraste das Complementares; 5- Contraste Simultâneo; 6- Contraste de qualidade; 7- Contraste de quantidade[75].

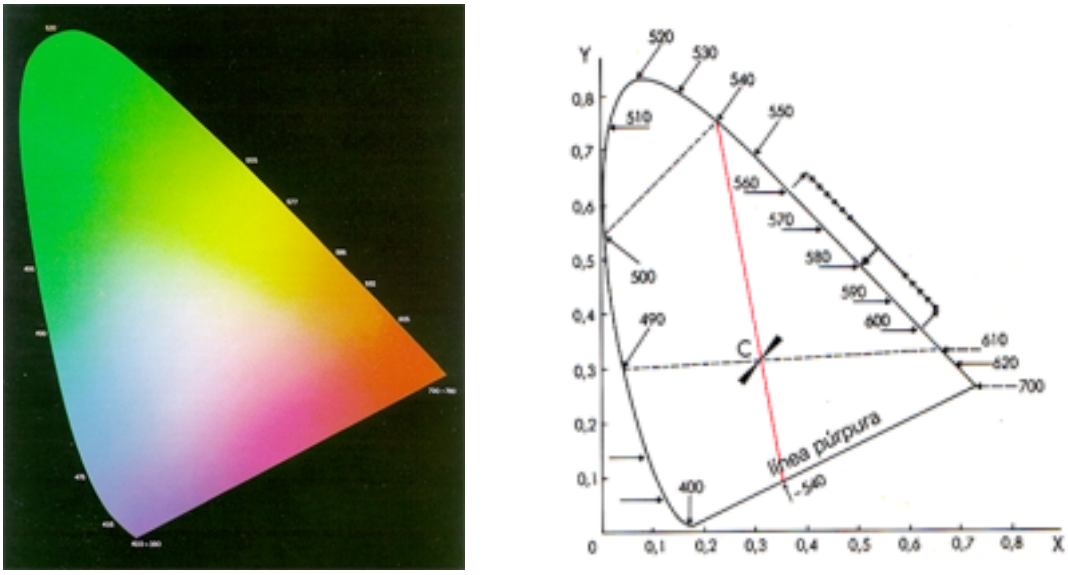
[75] ITTEN, Johannes, *Art de la Couleur*, Dessain et Tolra, 1973.

A importância da subjectividade da cor também é evidenciada por Josef Albers, que no seu livro *A Interacção da Cor*, diz: "Se dizemos *vermelho* (o nome de uma cor) e há cinquenta pessoas escutando-nos, é de esperar que haja cinquenta vermelhos nas suas mentes. E podemos estar certos de que todos esses vermelhos serão muito diferentes"[76].

Procurando fugir a essa subjectividade do efeito das cores, o *Diagrama CIE* (fig. 43) foi proposto pela Comission International d'Eclairage (CIE). É um diagrama plano, em forma de ferradura (triangular), baseado numa especificação numérica das cores, que permite que seja imediatamente evidente o comprimento de onda correspondente a uma determinada cor, mais ou menos saturada, e as suas relações com as outras. Este diagrama é sobretudo usado para fins científicos e medições industriais de cromaticidade, mas cada vez se torna mais consultado e conhecido universalmente.

Este sistema, baseado na *Teoria de Tristimulus*, define uma base comum para todos os métodos de medida das cores, independentemente de uma concepção individual da visão das cores, permitindo uma interligação entre vários métodos e instrumentos de medida das cores. É um código numérico, desenvolvido em dois eixos, X e Y, que dá uma definição de uma cor, sem ambiguidade, representando a sensação que determinada cor pode produzir, numa média de indivíduos. Apesar de tudo, e conscientes de que a percepção cromática é ligeiramente diferente de pessoa para pessoa, o código numérico é o do *observador padrão*, isto é, o resultado da média de muitos observadores individuais. A forma do diagrama tem sofrido alterações periodicamente, em função dos resultados obtidos.

[76] ALBERS, Josef, *La interacción del color*, Alianza Forma, décima reimpressión, Madrid, 1996.




a) b)

Fig. 43- Diagrama CIE. a) Diagrama com todos os comprimentos de onda; b) valor numérico da cor Magenta, que é negativo, por ser o inverso do valor da sua complementar.

Dentro da ferradura, encontram-se todas as cores espectrais possíveis e numa zona central, situa-se uma pequena área, denominada ponto C, que será a posição da luz branca. Este diagrama permite individualizar tanto a posição de cada cor, como as misturas de duas ou mais cores, dentro do espaço considerado. Ao longo da linha exterior do triângulo, dispõem-se as cores mais saturadas, correspondentes aos diferentes comprimentos de onda, sendo cada vez menos saturadas à medida que se afastam da linha de limite do diagrama em direcção ao centro. As misturas, em proporções diferentes, das três cores primárias, permitem evidenciar para cada tonalidade, o seu grau de pureza e de cromatismo, faltando-lhe, relativamente ao sistema de Munsell, o grau de luminosidade ou brilho[77],[78],[79],[80]. Posteriormente, MacAdam propôs um diagrama tridimensional em função da percentagem de reflectância de uma dada cor.

[77] GERSTNER, Karl, *Las Formas del Color*, Hermann Blume, 1988, pp. 12 - 18.
[78] HUNT, R.W.G., op. cit., pp. 74 - 104.
[79] CLULOW, F.W., *Colour-Its Principles and Their Applications*, Fountain Press, London, 1972, pp.72 - 142.
[80] HICKETHIER, Alfred, *Le Cube des Couleurs*, Dessain & Tolra, 1973, pp.15 - 17.

Os valores numéricos das cores não espectrais, como o magenta, situadas na linha recta do diagrama, como não podem ser medidas, são encontradas pela sua complementar, passando pelo ponto branco. Isto é, os seus valores são negativos.

## 3.4 INTERACÇÃO DA COR

Normalmente usamos as cores em conjuntos de mais do que uma. Como quase nunca usamos uma cor isolada, mas sim em conjunto com outras cores diferentes, ou relacionadas com outros tons da mesma cor, isso faz com que o valor da cor seja quase sempre relativo. Como vimos anteriormente, devido às diferenças de percepção da cor existentes de indivíduo para indivíduo, mesmo uma única cor isolada evoca numerosas leituras. A este propósito, Albers diz que: a cor é o mais relativo dos meios que a arte emprega[81].

Nas suas experiências, este autor, também pintor, verificou que, quando diferentes cores estão lado a lado, há cores que resistem à mudança, enquanto outras se alteram mais facilmente. Outras ainda, tanto recebem influência, como influenciam. Chegou mesmo à conclusão que uma mesma cor pode parecer ser duas ou até mais, dependendo de se encontrar aplicada num determinado campo visual, como fundo ou como forma.

### 3.4.1 HARMONIA DA COR

Harmonia significa equilíbrio, simetria de forças. Quando falamos de harmonia de cores, estamos implicitamente a pensar que o conjunto das cores contidas numa pintura deve resultar num efeito agradável para o observador.

[81] ALBERS, Josef, op. cit., p. 21.

No entanto, o efeito estético de uma série de cores reunidas num determinado conjunto não significa, obrigatoriamente, harmonia. Há outros elementos de estética importantes a considerar no resultado final de uma composição plástica. Nessas considerações estéticas entram também em linha de conta os contrastes, as formas e o espaço que a cor define, o claro- - escuro, a quantidade das cores empregues, o tamanho, a posição, a transparência e o brilho.

No entanto, sempre que falamos de harmonia de cores, estamos a julgar o efeito produzido por duas ou mais cores em conjunto. Os estudos realizados sobre o que as pessoas consideram harmonioso ou não harmonioso, levam a concluir que estes são conceitos muito subjectivos e variam de indivíduo para indivíduo, segundo vários parâmetros, que estão intimamente relacionados com o seu grau de educação estética, o meio sócio-económico de onde provém e o seu conceito pessoal de gosto.

O efeito psicológico, produzido por associação de ideias, por exemplo, também é muito importante, como sublinhou Kandinsky. Ele diz: "Existem cores que parecem ásperas e que ferem o olhar. Outras, pelo contrário, dão a impressão de serem polidas e aveludadas. Apetece acariciá-las (como por exemplo o azul ultramarino escuro, o verde crómio e o vermelho lacado). É esta sensação que estabelece a diferença, no tom das cores, entre os tons quentes e frios. Algumas cores, como o vermelho lacado, parecem doces e macias, outras, como o verde cobalto, o azul esverdeado (de óxido), são sempre secas e duras, mesmo quando saem dos tubos" [82].

É também de Kandinsky, a seguinte definição: "A nossa Harmonia é uma luta de sons, de equilíbrio perdido, de grandes questões. A composição que se apoia nesta harmonia é uma justaposição de formas coloridas e desenhadas que, enquanto tal, mantêm uma existência independente, procedendo da Necessidade Interior, e constituindo, na comunidade resultante, um todo, denominado quadro"[83].

Kandinsky considerava como um factor essencial da arte, a ligação entre a pintura e a música. Assim, ele relaciona-as em dois grupos principais: a composição simples, submetida a uma forma clara e simples, denominada *composição melódica*. E a composição complexa, na qual se combinam várias formas, que se submetem a uma principal, evidente ou velada, em

[82]KANDINSKY, Wassili, *Do Espiritual na Arte*, Publicações Dom Quixote, 1987, p. 59.
[83]KANDINSKY, Wassili, op. cit., p. 93.

que a base da composição recebe uma sonoridade particular. É denominada *composição sinfónica*. Entre estes dois grupos inserem-se diferentes formas de transição nas quais, necessariamente, se encontra o princípio melódico. Todo o processo de evolução lembra o da música, surgindo assim composições pictóricas rítmicas, onde se equilibram o sentimento de repouso, a repetição calma e a ordenação harmónica de todas as suas partes.

Além dessas considerações, devemos ter em conta a cor afectiva de cada indivíduo. Essa predisposição para a escolha afectiva de determinada cor inicia-se na infância, podendo alterar-se ao longo da vida. Mas sempre, cada um de nós terá uma cor preferida, independentemente da maior ou menor educação estética que tenhamos.

### 3.4.2 EFEITOS PSICO-FISIOLÓGIOS DA COR

Se nos debruçarmos sobre os processos psico-fisiológicos que conduzem à percepção das cores, podemos chegar a uma compreensão aproximada da interacção da cor. Hering demonstrou que o olho e o cérebro exigem o cinzento médio ou neutro, para poderem estar em equilíbrio. Itten, no seu trabalho sobre a teoria da cor, explorou estes mecanismos de reacção à interacção de duas ou mais cores, agrupando-os em sete contrastes.

Assim, se fixarmos um quadrado vermelho durante algum tempo, forma-se no nosso cérebro uma imagem residual verde. Podemos verificar que a mesma coisa acontece com todas as cores, e a imagem residual que nos aparece será sempre a complementar da cor fixada inicialmente. Isto é, para que haja equilíbrio, o nosso sistema visual exige, ou produz a cor complementar. A esta experiência, chama-se *Contraste Sucessivo*.

Outra experiência realizada consiste em colocar sobre cada cor pura, um quadrado de cor cinzenta clara, com o mesmo valor ou luminosidade. Verificou-se que o cinzento, sobre a cor pura, tem a tendência para adquirir a tonalidade da cor complementar dessa cor pura. A esta experiência, chama-se *Contraste Simultâneo* (fig. 44).

O *Contraste Sucessivo* e o *Contraste Simultâneo* demonstram que o sistema visual humano não fica satisfeito ou em equilíbrio sem que a lei das complementares esteja realizada.

Fisicamente, usando a luz, uma cor que se misture à sua complementar, resulta no branco. No entanto, usando pigmentos, essa mistura resulta num cinzento escuro, quase preto.

"Portanto, para o nosso aparelho sensitivo óptico, a harmonia significa um estado psico-físico de equilíbrio, onde a dissimilação e assimilação da substância visual são iguais. Um cinzento neutro consegue esse estado"[84].

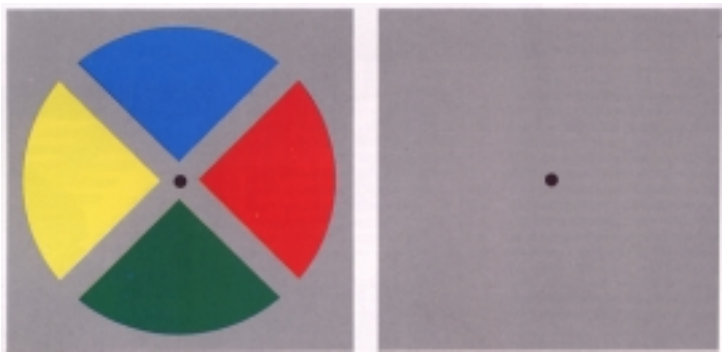


Fig. 44- Contraste Simultâneo.

Além destes contrastes, é importante referir o *Contraste Claro-Escuro* (fig. 45), pois que a variedade do grau de luminosidade de uma cor pode conduzir o pintor à realização de uma série de planos distintos no mesmo quadro. Assim, quanto mais saturada e luminosa for a cor, mais próxima do observador ela parece. Os planos coordenados pela gradação de claro--escuro de uma cor definem o grau de profundidade de uma pintura, permitindo uma noção de perspectiva mais ou menos acentuada. Uma composição em claro-escuro pode desenvolver-se a partir de uma única cor, mas com vários valores tonais.

[84] ITTEN, Johannes, op. cit., p. 21.

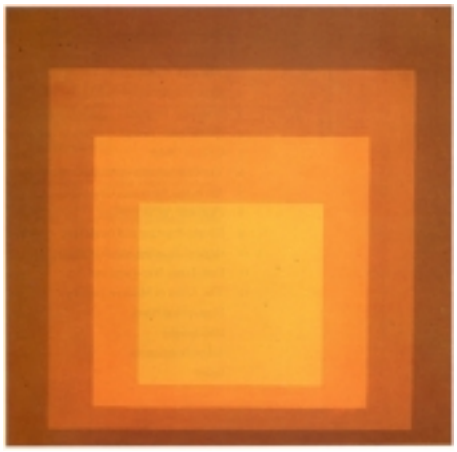


Fig. 45- Contraste Claro-Escuro.

O *Contraste Quente-Frio* (fig. 46) é também bastante importante na pintura. As cores quentes são as cores associadas ao sol e ao fogo: amarelo, laranja, vermelho. As cores frias são associadas à água, ao gelo, ao céu, e às árvores: azul, verde, violeta.

Pode parecer estranho que alguém tenha uma sensação de diferença de temperatura, a partir do efeito óptico das cores, mas algumas experiências demonstraram que o azul-esverdeado, considerada a cor mais fria, diminui a velocidade da circulação do sangue, enquanto o vermelho-alaranjado, considerada a cor mais quente, a aumenta. Pelo que, as cores quentes são consideradas excitantes e as cores frias calmantes. Este contraste tem particular importância na utilização da cor em espaços fechados. O contraste quente-frio reforça também a sugestão de proximidade ou de distância. É um meio de representação de efeitos de perspectiva e de relevo. Uma cor quente aproxima, enquanto uma cor fria remete o objecto ou o plano para trás.

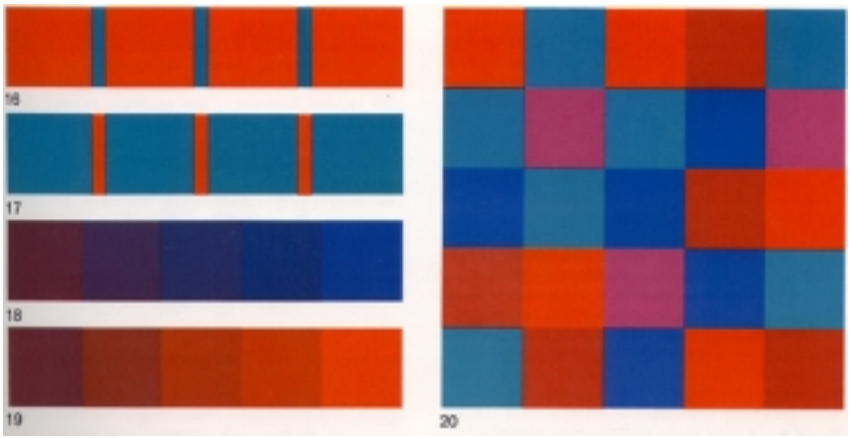



Fig. 46- Contraste Quente-Frio, segundo Itten.

Pelo *Contraste de Quantidade* (fig. 47), podemos obter efeitos surpreendentes, pois que uma pequena quantidade de uma cor pode adquirir tanta ou mais importância do que outra em maior quantidade. Este equilíbrio depende muito do grau de luminosidade da cor. A cor mais luminosa é a amarela e a menos luminosa o violeta, numa proporção de três para um; o verde e o vermelho têm o mesmo grau de luminosidade, enquanto o laranja é duas vezes mais luminoso do que o azul.

Mas podemos modificar este equilíbrio luminoso, fazendo com que o valor expressivo de determinada cor se sobreponha ao de outra, intencionalmente. A quantidade da cor está dependente do sentimento artístico, do gosto individual e do valor expressivo que o artista quer imprimir ao seu trabalho.

Fig.47 –Contraste de quantidade, segundo Itten. É possível ver no canto superior esquerdo da fig. a quantidade de cor necessária para o equilíbrio entre as complementares. No canto superior direito, pode-se ver a relação de luminosidade entre as diferentes cores.

No *Contraste de Qualidade* (fig. 48), podemos utilizar a cor na sua maior luminosidade. Ele refere-se ao grau de saturação ou pureza das cores empregues. Num determinado trabalho, quanto mais saturada for uma cor, mais próxima do observador parece estar. Quanto mais misturada estiver, seja com branco, seja com preto, mais longe e menos vibrante parece.

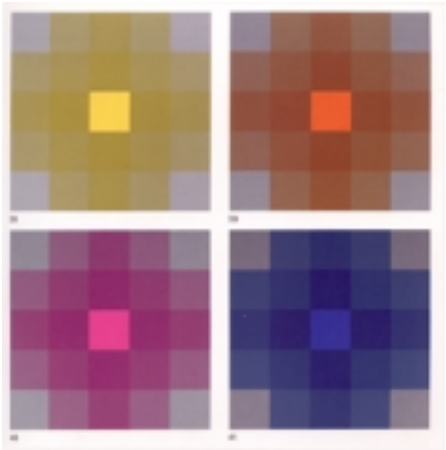


Fig. 48 – Contraste de Qualidade, segundo Itten.

O *Contraste da Cor em Si* (fig. 49) é utilizado sobretudo em trabalhos em que se pretende que a cor seja plana. Cada cor adquire um valor individual e concreto, embora possam interferir entre si.

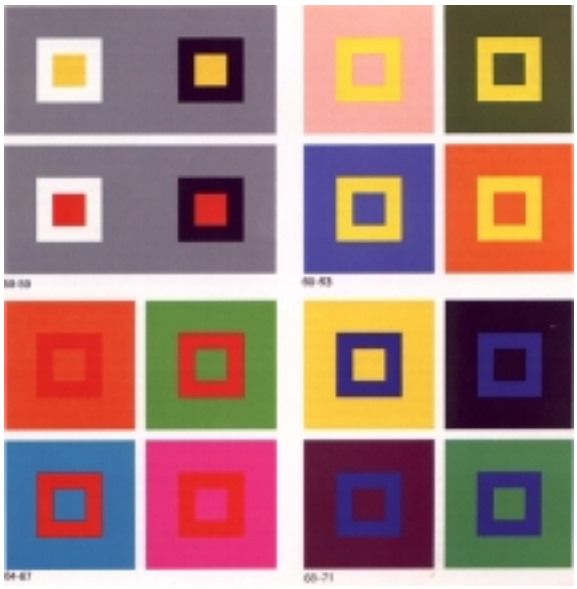


Fig. 49- Contraste da Cor em Si, segundo Itten.

Assim, uma cor quente pode arrefecer junto de uma cor fria e vice-versa. Podemos também observar que as cores mais escuras tendem a adquirir um peso psicológico dirigido à parte inferior de um quadro, o que obriga os olhos do espectador a seguir essa direcção. No contraste da Cor em si podemos também observar efeitos psicológicos devidos ao grau de luminosidade da cor. Assim, quanto mais luminosa for a cor, maior nos parece o espaço que ocupa na composição.

Além dos vários modelos usados para estudar sistematicamente a cor nas suas várias componentes e que têm influenciado os coloristas e outras pessoas interessadas no tema, devem ser também mencionados, ainda que brevemente, alguns movimentos que se basearam

na importância visual de novas relações estabelecidas entre as cores, entre as cores e as formas e entre as cores e os sons. Estão neste caso o *Neoplasticismo* de Piet Mondrian, com regras muito restritas de composição e utilização da cor, o movimento *De Stijl*, resultante de uma associação de artistas fundada por Mondrian e Van Doesberg, o *Abstraccionismo lírico*, iniciado por Kandinsky e o *empirismo* de Josef Albers, entre outros.

# CAPÍTULO IV

# 4. ASPECTOS TÉCNICOS DA OBTENÇÃO DA COR EM HOLOGRAFIA

*"Um dos mais importantes protagonistas da "*Gesamtkunstwerk*" (obra de arte total) é a luz. Literalmente todas as coisas dependem da luz. Acima de tudo, ela é responsável pela criação de uma atmosfera característica e intensa".*

Ilya Kabakov

## 4.1 LASERS

Sem a descoberta do Laser, não seria possível a realização da Holografia e, consequentemente, dos hologramas de imagem, mono ou multicromáticos. Apesar da holografia ter sido descoberta por Denis Gabor em 1947-48, o seu impacto foi relativamente modesto até à descoberta do laser, em 1960 e, principalmente, até 1964, quando Emmett Leith e Juris Hupatnieks mostraram pela primeira vez um holograma de um objecto tridimensional.

O laser, acrónimo de Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, é uma fonte de luz que apresenta um elevado grau de coerência, cujo valor depende do tipo de laser. "De uma forma geral os osciladores laser, ou simplesmente lasers, são constituídos por três partes funcionais: um *meio activo*, uma *cavidade ressonante* e uma *fonte de excitação*, embora, em cada laser, estas partes possam ser realizadas de diferentes formas. O meio activo é o meio amplificador da luz, isto é, um meio físico (sólido, líquido ou gasoso) que transforma a energia de excitação em luz. O meio activo é escolhido geralmente por oferecer uma largura espectral relativamente estreita (algumas dezenas de nm), isto é, por emitir luz com uma cor razoavelmente pura. A cavidade ressonante é um espaço limitado por duas superfícies reflectoras, que são, em muitos lasers, espelhos dieléctricos. Um dos espelhos destas cavidades

tem reflectividade próxima dos 100%, enquanto o outro tem uma reflectividade mais baixa da ordem dos 95%. É através deste espelho que sai para o exterior da cavidade a luz disponível para o utilizador"[85].

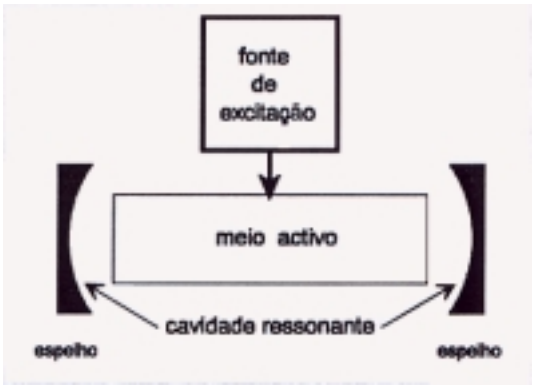



Fig.50 –Partes constitutivas de um laser: meio activo, cavidade ressonante e fonte de excitação.

A fonte de excitação é a fonte cuja energia é parcialmente transformada pelo meio activo em energia luminosa laser. A cavidade óptica ressonante é uma parte essencial de um laser, pois permite uma amplificação eficaz da luz laser pelo meio activo, obrigando os fotões a uma interacção prolongada com esse mesmo meio activo.

[85] BERNARDO, Luís Miguel, op. cit., pp. VI. 2, VI. 3, VI. 8, VI. 9,

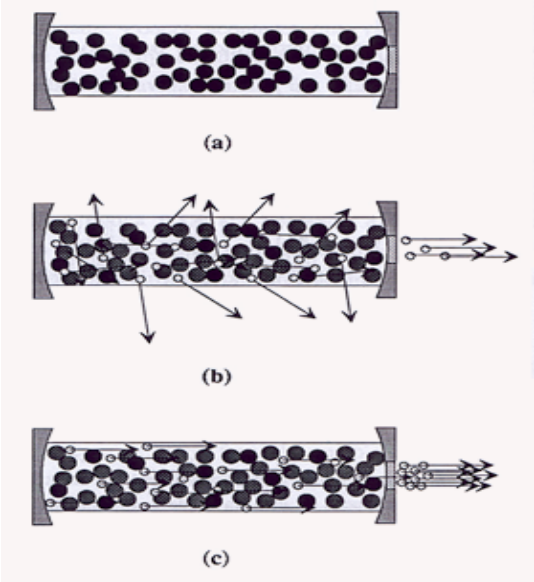



Fig.51 -Esquema de três fases do funcionamento da cavidade e meio activo de um laser; (a) meio no estado fundamental, não excitado; (b) meio excitado a emitir fotões (círculos mais pequenos) com várias energias e direcções; (c) condição de emissão estável; meio excitado a emitir, predominantemente, fotões gerados por emissão estimulada na direcção preferencial do eixo óptico e com a energia que é seleccionada pelo comprimento da cavidade.

Há lasers de vários tipos, adequados a diferentes aplicações e emitindo em diferentes comprimentos de onda.

Os comprimentos de onda mais usados em Holografia ou outros tipos de imagem são: λ= 632.8 nm (vermelho), produzido por lasers com uma mistura de He-Ne (hélio e néon). Este comprimento de onda é o mais usual em lasers de He-Ne, embora possam apresentar outros, como: λ= 640, 635, 629 nm (vermelho), λ= 612 e 604 nm (laranja), λ= 594 nm (amarelo,) λ= 543 nm (verde); produzidos por lasers de Ar (argon), cujo comprimento de onda pode ser λ= 488.0 nm (azul) e λ 514.5 nm (verde) e de (Kr) crípton, cujo comprimento de onda mais forte é λ= 647.1 nm (vermelho), mas que também podem ser, embora mais fracos: λ= 406.7, 413.1, 476.2, 482.5 nm (azul), λ= 520.8, 530.9 nm (verde), λ= 676.8 nm (vermelho), λ= 568.2 nm (amarelo) e ir também ao infravermelho. No caso dos lasers de argon e de crípton, podem emitir simultaneamente em vários comprimentos de onda (regime multi-linha), ou num único

comprimento de onda (regime uni-linha). Este comprimento de onda é seleccionado por um prisma colocado dentro da cavidade constituída por espelhos recobertos com depósitos dieléctricos apropriados. Este prisma, por efeito da dispersão, retira do alinhamento da cavidade todos os comprimentos de onda excepto aquele que se pretende amplificar[86].

No caso de hologramas de *cor real*, diferentes do tipo de hologramas realizados e apresentados no âmbito desta tese, chamados de *pseudocor*, são utilizados os lasers de argon para produzir o verde e o azul, enquanto o laser de crípton é utilizado para produzir o vermelho. Neste caso, não se utiliza o laser de He-Ne porque alcança potências muito inferiores aos outros, o que não seria suficiente para registar imagens no tipo de emulsão requerido.

Em Holografia, para registar imagens em movimento, sobretudo para retratos, é o laser de rubi o mais usado. Este laser foi o primeiro a ser apresentado em 1960. Produz luz de impulsos de alguns nanosegundos, que podem ser espaçados de alguns décimos de segundo. Por isso se chama laser pulsado. Produz impulsos cujo comprimento de onda é $\lambda$= 694.3 nm (vermelho).

Outro laser muito utilizado em algumas aplicações é o de Hélio-Cádmio (HeCd), que emite na radiação do azul-violeta $\lambda$= 442 nm. Este factor é muito útil quando se trabalha com materiais que tenham a máxima sensibilidade na radiação do azul, como a gelatina dicromatada. Actualmente, a sua principal aplicação, além das aplicações em impressoras, é na produção de matrizes[87] (masters) de discos CDs, CD-ROMs e de hologramas matrizes para a produção de hologramas estampados (embossed), usados em notas de banco, cartões de crédito, publicidade, etc.

[86] BERNARDO, Luís Miguel, op. cit., pp. VI.14 – VI.27.

[87] Em inglês *masters*. Embora a tradução em Português devesse ser *mestres* ou *originais*, resolvi usar o nome *matriz*, por já ser utilizado quando se fala de outras produções em série feitas a partir de um original, como por exemplo a gravura, em que o termo é aplicado, com este significado.

## 4.2 CONDIÇÕES DE REGISTO

Para além da *coerência da luz*, apenas obtida a partir dos lasers, para que se possa realizar um holograma com boa qualidade, é absolutamente necessário que sejam observadas outras condições, sem as quais o seu registo se torna impossível.

Entre essas condições estão: o *comprimento dos caminhos ópticos*, que também deve ser igual, podendo apenas ser aceites diferenças inferiores a 1 cm para algumas montagens; o *escurecimento total do laboratório*, que deve ser possível durante o registo do holograma, bem como a *estabilidade* de todos os componentes da montagem holográfica. Durante o registo, devem ser evitadas todas as vibrações, quer da mesa (que deve estar suspensa por um sistema hidráulico ou outro), quer dos componentes ópticos, quer do objecto holografado. Outras vibrações externas à montagem, mas que possam afectar o correcto registo do holograma, também devem ser evitadas, sempre que possível. Uma excepção a esta regra é a que diz respeito ao registo com laser pulsado, usado para fazer retratos de pessoas ou animais, por exemplo.

Além destas condições, há ainda a *qualidade e quantidade dos componentes ópticos* (espelhos, divisores de feixe, filtros espaciais, lâminas retardadoras, filtros, etc.), que têm influência no tipo de holograma que é possível realizar, bem como a *potência do laser*, uma vez que é necessário que chegue à placa holográfica a energia suficiente para se obter uma imagem com qualidade.

Os *materiais de registo* também têm muita importância. Há vários tipos de materiais de registo de hologramas, de que falarei adiante mais pormenorizadamente. São materiais fotossensíveis de alta resolução, apresentados normalmente na forma de uma emulsão sobre filme ou placa de vidro. São materiais sensíveis a diferentes comprimentos de onda e de vários tipos. Os mais usados são as emulsões de *halogenetos de prata* (silver-halide), a *gelatina dicromatada* e os *fotopolímeros*. As emulsões de halogenetos de prata e a gelatina dicromatada necessitam de um processamento químico de revelação, enquanto que os fotopolímeros são sujeitos a um processamento seco.

Também a direcção da *polarização* do laser pode ter importância na qualidade da imagem holográfica, sobretudo nos hologramas de reflexão, bem como a *relação entre as intensidades dos feixes objecto e de referência* e os *ângulos* que os feixes fazem com a placa holográfica.

## 4.3 TIPOS DE HOLOGRAMA

A holografia é um processo de registo da *amplitude* e *fase* da onda luminosa proveniente de um objecto. Ao registo dá-se o nome de *holograma*.

Quando o holograma é iluminado no ângulo apropriado, obtém-se a reconstrução completa da onda de luz com que foi feito o registo. No registo do holograma, além da onda de luz vinda do objecto, chamada onda *objecto*, é necessário utilizar também outra onda de luz, chamada de *referência*, que interfere com a onda objecto. Ambas as ondas têm que ser de luz coerente, exactamente com o mesmo comprimento de onda. A fim de termos a certeza de que isto acontece, usa-se um único laser, cujo feixe de luz é dividido em dois por um espelho semi-reflector, produzindo cada um dos feixes assim obtidos, as ondas de luz necessárias ao registo do holograma.

A interferência da luz vinda de um objecto com um feixe de luz de referência, dá origem a uma distribuição de intensidade da luz, constituída por franjas brilhantes e escuras, chamadas *franjas de interferência*. A intensidade das franjas e a separação entre elas (da ordem dos microns) contém, respectivamente, a informação da amplitude e da fase de ambas as ondas.[88]

Para que a imagem holográfica seja correctamente reconstituída, o feixe de leitura deve incidir sobre o holograma no mesmo ângulo do feixe de referência usado para o seu registo. Quando isso não acontece, a imagem holográfica apresenta aberrações.

[88] BERNARDO, Luís Miguel, op. cit. pp. VI.62-VI.74.

Há dois tipos importantes de holograma: os *hologramas planos*, cuja espessura é desprezível, e os *hologramas de volume*, em que a espessura desempenha um papel importante na leitura do holograma. Neste caso, a espessura do meio de registo é bastante maior do que o espaçamento mínimo das franjas de interferência.

Como já se disse, há vários tipos de materiais de registo de hologramas. Após a sensibilização, quando o material necessita de ser revelado quimicamente, as zonas brilhantes das franjas de interferência apresentam-se opacas e as zonas escuras transparentes. Após a revelação e fixação, o holograma registado na placa ou filme holográfico transforma-se num *holograma de amplitude*. Se o holograma sofrer um processo químico de branqueamento, transforma-se em *holograma de fase*. O branqueador pode ser usado após a fixação, ou em vez da fixação, resultando neste último caso uma diminuição do encolhimento da emulsão e um grande ganho na eficiência de difracção do holograma.

Uma das possíveis classificações dos hologramas é baseada na geometria de registo do holograma. Se durante o registo as ondas do objecto e de referência incidirem em lados diferentes da placa holográfica, os hologramas chamam-se de *reflexão*; no caso de as ondas do objecto e de referência iluminarem a placa holográfica do mesmo lado, os hologramas chamam-se de *transmissão.*

No caso dos hologramas de reflexão, estes podem ser de mais do que um feixe ou de um *único feixe*, também chamado *holograma de Denisyuk*, devido ao seu inventor, Yuri Denisyuk. No caso dos hologramas de Denisyuk, o feixe único funciona, na realidade, como feixe de referência e de objecto simultaneamente. Este tipo de holograma é o mais simples.

Os hologramas podem ser de uma única exposição ou de múltipla exposição, podendo também ser estereográficos. A *estereografia holográfica* baseia-se nos mesmos princípios da estereografia fotográfica. Isto é, um estereograma holográfico é formado por uma sequência de hologramas ligeiramente diferentes uns dos outros, correspondentes a vários ângulos de vista do objecto.

Ao registar um objecto em holografia, mantêm-se todas as suas características, sendo a sua reconstituição fiel à realidade, excepto na sua cor. Esta depende do tipo de holograma e de

outras características técnicas, tais como a manipulação da espessura da emulsão do material de registo.

### 4.3.1 HOLOGRAMAS DE TRANSMISSÃO

Para que um holograma seja de transmissão, é necessário que, na sua geometria de registo, o feixe de referência e o feixe objecto incidam no mesmo lado da placa holográfica.

Nestes hologramas, as franjas de interferência estão organizadas como as lâminas de uma persiana; os planos de interferência assim criados, são bissectores ao menor ângulo formado pelos feixes objecto e de referência[89]. Os hologramas de transmissão podem ser planos ou de volume e funcionam como janelas, através das quais observamos a imagem.

Há vários tipos de hologramas de transmissão. Os primeiros, inventados por Emmett Leith e Juris Uptanieks, são visíveis apenas com luz laser. Como é necessário um laser para iluminar cada holograma, tornava-se muito difícil realizar uma exposição de hologramas. Os hologramas de reconstituição com luz branca, os *hologramas de arco-íris*, descobertos por Benton, tornaram a exposição de hologramas um evento muito mais frequente, além de atraírem a atenção do público, por serem muito brilhantes e coloridos.

#### 4.3.1.1 A COR NOS HOLOGRAMAS DE TRANSMISSÃO (HOLOGRAMAS MATRIZES)

Ao registar um objecto em holografia, mantêm-se todas as suas características, sendo a sua reconstituição fiel à realidade. Porém, a imagem pode ser monocromática ou

[89] SAXBY, Graham, *Manual of Practical Holography*, Focal Press, 1991, pp. 14.

policromática, dependendo do tipo de holograma registado. Quando a cor apresentada não corresponde à cor real do objecto, chama-se *pseudocor*.

Inicialmente, os hologramas de transmissão eram reconstituídos com um laser, com o mesmo comprimento de onda com que tinham sido registados. Isso fazia com que fosse muito difícil a sua exposição ao público, dado que era requerido que houvesse sempre um laser do comprimento de onda apropriado, para reconstituir o holograma. Eram também monocromáticos, apresentando uma cor do mesmo comprimento de onda do laser com que tinham sido registados. Isto é, se tivessem sido registados com um laser de He-Ne, apresentariam a cor vermelha, se tivesse sido com um laser de Ar, a cor verde, etc. Quando Stephen Benton descobriu os hologramas de transmissão de arco-íris, reconstituídos com luz branca, deu um grande impulso à holografia, sobretudo à de exibição (Display Holography).

O tipo de hologramas de transmissão reconstituídos com laser ainda é usado actualmente, sobretudo para a realização de *hologramas matrizes* (H1), que depois são usados como objecto na realização de outros hologramas (H2), chamados *de segunda etapa* ou *de transferência*, que são cópias idênticas do holograma inicial.

É também possível realizar hologramas de arco-íris que funcionem como matrizes, se cumprirem os requisitos necessários ao registo do segundo holograma em boas condições.

Há várias considerações a ter em conta na realização de hologramas matrizes que serão de importância fundamental no registo do segundo holograma. A principal é relativa aos ângulos do feixes objecto e de referência. Os ângulos mais usados são 0° (à normal, 90° à placa)[90], para o feixe objecto, e entre 58° a 60° (à normal, 32° ou 30° à placa), para o feixe de referência. Este ângulo é escolhido por ser o mais próximo do ângulo de Brewster (56°), pelo que as reflexões internas podem ser minimizadas, bem como por ter outras vantagens nos cálculos necessários ao cumprimento da condição de Bragg[91], quando se procede à realização do holograma de segunda etapa, normalmente de reflexão.

[90]Em óptica, há a convenção de que o ângulo de incidência de um feixe deve ser medido em relação à "normal" de uma superfície. A normal é uma perpendicular à superfície, que pode ser plana ou curva. No entanto, os artistas muitas vezes marcam o ângulo que o feixe faz com a superfície da placa.
[91] SAXBY, Graham, *Manual of Practical Holography*, Focal Press, 1991, pp. 193-194.

É também absolutamente necessário que os hologramas matrizes tenham uma imagem muito brilhante, a fim de, na segunda etapa, funcionarem como objecto e produzirem uma réplica com boa eficiência. Deverá ter-se em conta ainda que o holograma de segunda etapa será sempre mais pequeno que o holograma matriz.

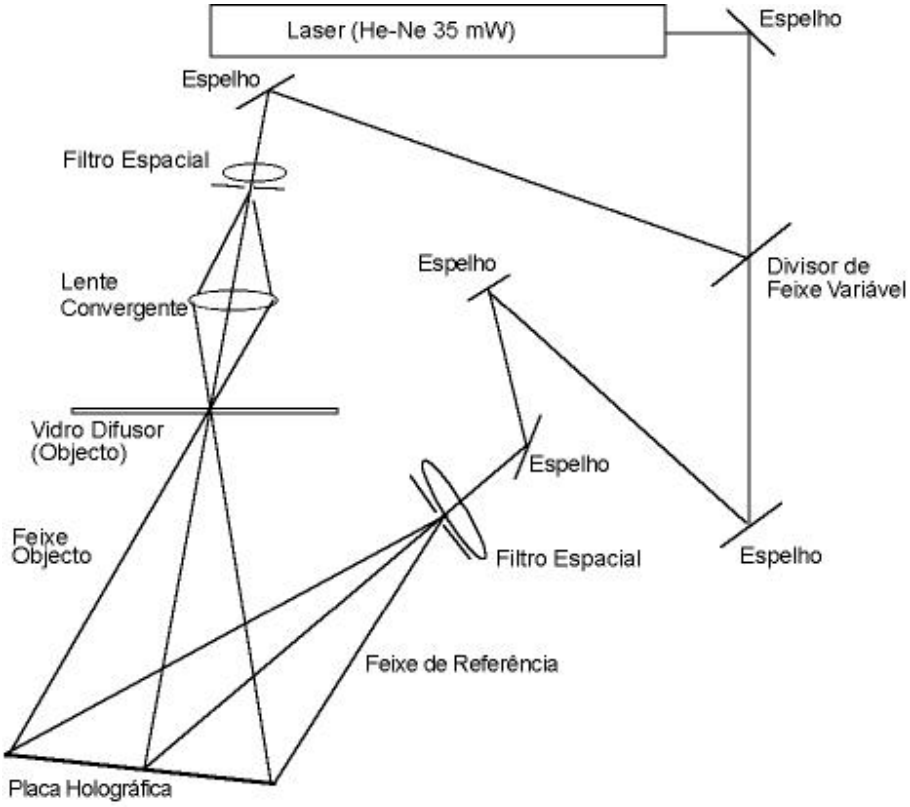



Fig.52– Geometria de registo de hologramas de transmissão de luz branca. Esta montagem foi usada para a realização de hologramas de Arco-íris e de Matrizes para hologramas de segunda etapa.

No caso da montagem realizada nas experiências feitas para este trabalho (fig. 52), a lente convergente sintetiza a fenda, focalizando toda a luz sobre o vidro difusor, que é o objecto. Este procedimento evita desperdícios de energia. Esta montagem foi usada, quer para a realização de hologramas de arco-íris, quer de matrizes para hologramas de segunda etapa.

### 4.3.1.2 HOLOGRAMAS DE SEGUNDA ETAPA (TRANSFER)

Para se fazer o segundo holograma (H2), tem de se iluminar o holograma matriz (H1) na direcção da onda da complexa conjugada da fonte de referência. Há que contar com o encolhimento da emulsão do holograma matriz durante a revelação, o que produz uma mudança do ângulo das franjas de interferência. Este encolhimento deve ser evitado ao máximo, usando-se um processamento químico realogenante, sem fixação.

Para se obter mais brilho num holograma de transferência, deve-se direccionar toda a luz através de uma fenda vertical no holograma matriz, que será na proporção inversa à área da fenda.

Os hologramas de segunda etapa podem ser de transmissão, ou de reflexão. Por razões de facilidade de exposição, normalmente é escolhida uma geometria de reflexão.

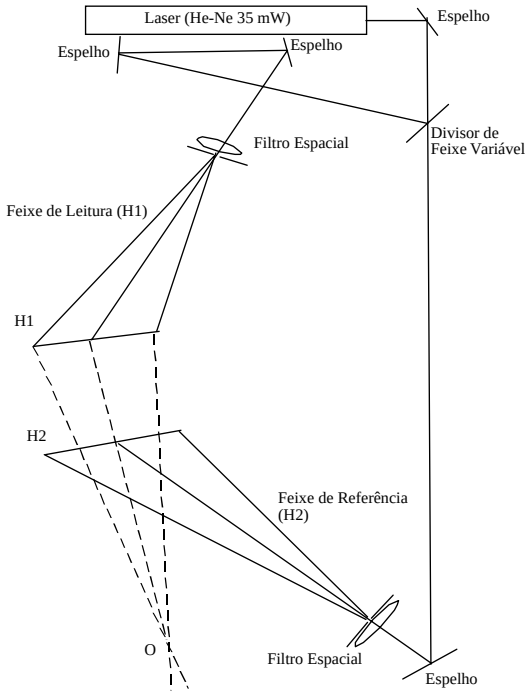



Fig. 53- Montagem usada para realizar os hologramas de segunda etapa (transfers).

Este tipo de procedimento permite a selecção do local do espaço onde se fará a reconstrução da imagem de (H2) com maior facilidade: atrás da placa holográfica, sobre o plano da placa, ou à frente da placa. Com esta técnica é também possível exagerar a perspectiva das imagens com volume. Por exemplo, a parte da imagem mais próxima do observador ficar ainda mais próxima e a parte mais longínqua, ser ainda mais afastada do que deveria ser, alargando a sensação de profundidade.

Há várias maneiras de fazer o holograma de transferência (H2): a) por contacto de ambas as placas holográficas, emulsão com emulsão; b) por contacto de ambas as placas holográficas com a emulsão da primeira, contra o vidro da segunda, o que exige que se tome em consideração a espessura do vidro da placa; c) com ambas as placas paralelas e a uma determinada distância uma da outra (fig. 53).

Para este trabalho foram realizados alguns hologramas experimentais deste tipo, usando as montagens das fig. 52 (matrizes) e 53 (segunda etapa), embora apenas com características monocromáticas e usando como objecto inicial uma rede de difracção.

Um método gráfico para a realização de hologramas de segunda etapa foi descoberto por Steve McGrew[92]. O seu método, muito seguido pelos artistas que trabalham em holografia, é baseado no método matemático de Benton. Embora equivalente a este, não é tão rigoroso e tem a vantagem de permitir desenhar imediatamente a montagem necessária para o registo do holograma. É válido para hologramas de transmissão e de reflexão.

[92] Este método é descrito pormenorizadamente por Graham Saxby no Apêndice 4 do seu livro *Practical Holography second edition*, pp. 493-505.

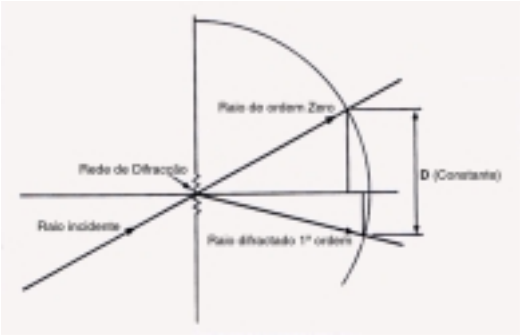



Fig. 54- Diagrama de Steve McGrew. Constante da soma das distâncias à normal dos raios de ordem zero e difractado de 1ª ordem de um raio de luz incidente numa rede de difracção.

Envolve uma série de passos, mas assenta basicamente em dois princípios: as propriedades cromáticas das redes de difracção e a existência em todas as geometrias holográficas, de um *ponto de charneira* (hinge point).

Quando qualquer raio é incidente numa rede de difracção e os raios da ordem zero e difractados da 1ª ordem são interceptados por um arco de círculo, a soma das distâncias à normal *D* é constante, embora o ângulo entre os raios não seja o mesmo (fig. 54). Para um círculo de determinado diâmetro, *D* depende apenas da periodicidade da rede de difracção e do comprimento de onda da luz difractada[93].

O segundo parâmetro em que se baseia o método gráfico de McGrew é o *ponto de charneira* (hinge point). Para o holograma de transmissão, o ponto de charneira é o ponto onde uma linha recta, que passa pela fonte de referência e pelo objecto, intersecta o plano do holograma. Para o holograma de reflexão, em vez da fonte de referência usa-se a sua imagem virtual (fig. 55).

[93] SAXBY, Graham, op. cit. p. 501.

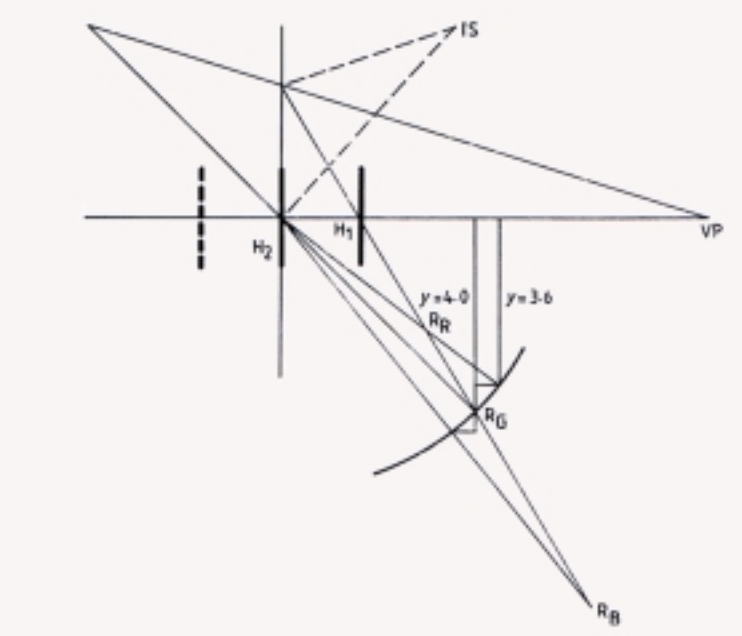



Fig. 55- Esquema de Steve McGrew para a realização de um holograma de transmissão de segunda etapa, com localização diferente da fonte de referência para cada cor registada: RR (Ref. Red), RG (Ref. Green); RB (Ref. Blue); y (distância); H1 (H. Matriz); H2 (H. 2ª etapa); VP (Ponto de vista do observador); IS (Fonte de leitura).

O registo das diferentes cores por este método implica também a mudança da localização da fonte de referência para cada cor registada, para que, na reconstituição, todas as cores estejam no mesmo plano. Por isso, é também necessário, para construir estes diagramas, saber o comprimento de onda das várias cores. Para isso, começamos por definir uma cor e a distância à normal a que está essa cor. A normal coincide com o eixo de visão do observador (o meio da placa). Se a cor considerada for o vermelho (633 nm) e estiver a uma distância $D$ = 60 cm e quisermos encontrar o ponto da fonte de referência do verde (540 nm), será: $D_1$ = 60 x 633/ 540 = 70,3 cm. E assim sucessivamente para as outras cores pretendidas. Todos os pontos das diferentes fontes de referência se localizam no mesmo eixo, *eixo de registo,* que encontra o plano de H2 no ponto de charneira (hinge point).

Margaret Benyon, que usa este sistema, alerta para alguns problemas surgidos, sobretudo na localização da fonte de referência do azul, mais afastada do que as outras,

podendo mesmo situar-se fora do espaço da mesa. Também alerta para o facto de este método provocar algumas distorções na imagem. Desta hológrafa é o esquema apresentado na fig. 56, para hologramas de segunda etapa multicoloridos.[94].

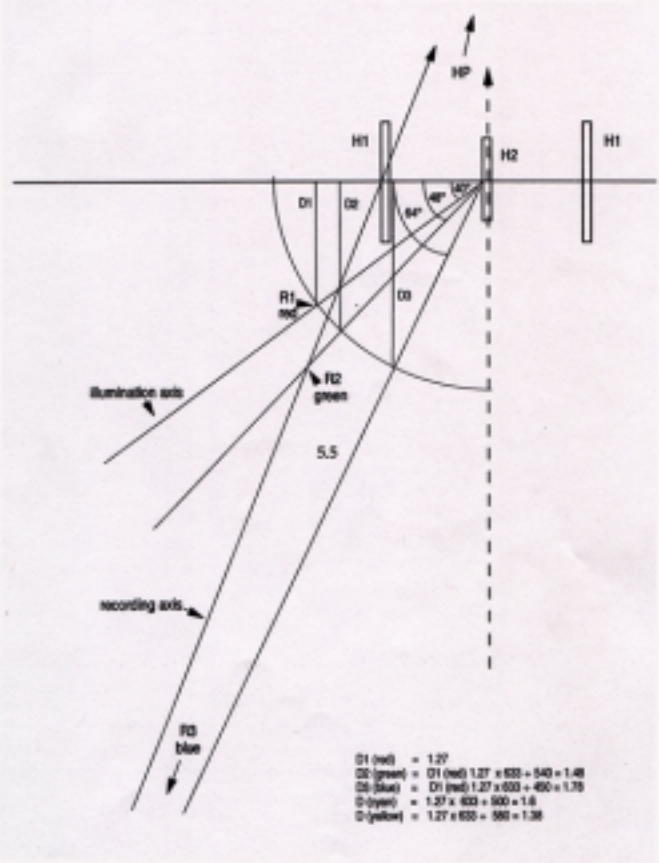



Fig. 56- Esquema de Margaret Benyon para registo de hologramas de diferentes cores, seguindo o método de Steve McGrew.

[94] BENYON, Margaret, *How is Holography Art?*, PhD. Thesis, Royal College of Art, London, 1994, pp. 102-108.

### 4.3.1.3 HOLOGRAMAS DE ARCO-ÍRIS

Os hologramas de transmissão de luz branca, também chamados *hologramas de arco-íris* ou de *Benton*, são hoje em dia os mais utilizados com fins criativos ou de exibição. São hologramas de transmissão que, na sua geometria de registo, têm colocada uma fenda por onde passa toda a luz do feixe objecto. Essa fenda pode ser sintetizada por meio de lentes que, ao mesmo tempo que fazem a dispersão da luz, também concentram a luz do feixe, impedindo desperdícios de energia.

Fazendo passar a luz do feixe objecto através de uma fenda com uma dimensão aproximada à da pupila do olho humano, obtém-se a dispersão da luz. Posteriormente, ao ser iluminado no mesmo ângulo do feixe referência, com uma fonte de luz branca, o holograma apresenta todas as radiações cromáticas do espectro, com grande brilho e qualidade cromática. Desde a sua descoberta, estes hologramas têm sido muito apreciados, tanto pelas suas cores (todo o espectro), como pela grande *eficiência de difracção*[95].

Os hologramas de transmissão de luz branca têm uma mudança de cor que é espectral, que domina sobre qualquer uso da cor que o artista queira fazer no holograma.

Este facto pode tornar-se um pouco frustrante para os artistas que consideram a cor um elemento vocabular essencial no seu trabalho. Neste caso, não podem controlar totalmente a sua localização na composição. É possível, no entanto, seleccionar qual a cor que aparecerá em primeiro lugar numa dada área do holograma, utilizando-se o ângulo segundo o qual a luz se dispersa. A sequência da aparição das outras cores será a das leis da óptica.

[95] A *eficiência de difracção* está relacionada com o brilho do holograma. Quanto maior eficiência apresenta, mais brilhante é o holograma.

### 4.3.1.4 HOLOGRAMAS ACROMÁTICOS

Como excepção a esta regra, podemos referenciar os *hologramas acromáticos* (WLT), registados num ângulo acromático, rigorosamente estudado, resultante da utilização da técnica chamada de Compensação da Dispersão. Esta técnica, também descoberta por Stephen Benton, no MIT, em 1977 e patenteada em 1985[96], não foi utilizada neste estudo. Para realizar hologramas acromáticos por este método, é necessário proceder a vários passos, bem como a complexos cálculos matemáticos.

Posteriormente, a técnica de Benton foi simplificada por outros autores, como Suzanne St. Cyr[97], podendo realizar-se hologramas acromáticos, quer de transmissão, quer de reflexão, em hologramas de segunda etapa.

O método de Steve McGrew também é válido para este tipo de hologramas.

É necessário fazer apenas um holograma de transmissão, que funciona como *matriz* (master), e realizar o segundo holograma por dupla exposição, uma para o vermelho e outra para a sua complementar, o ciano, ajustando os ângulos da fonte de referência, que devem situar-se sobre o plano acromático[98].

[96] BENTON, S. A., *Method and apparatus for making achromatic holograms*, US Patent No 4498729, 1985.
[97] St. CYR, Suzanne, *A holographer's worksheet for the Benton math'*, in Holosphere, Vol. 12, 1984, pp. 4-16.
[98] SAXBY, Graham, *Manual of Practical Holography*, Focal Press, Butterworth-Heinemann Ldt, 1991, p.153.

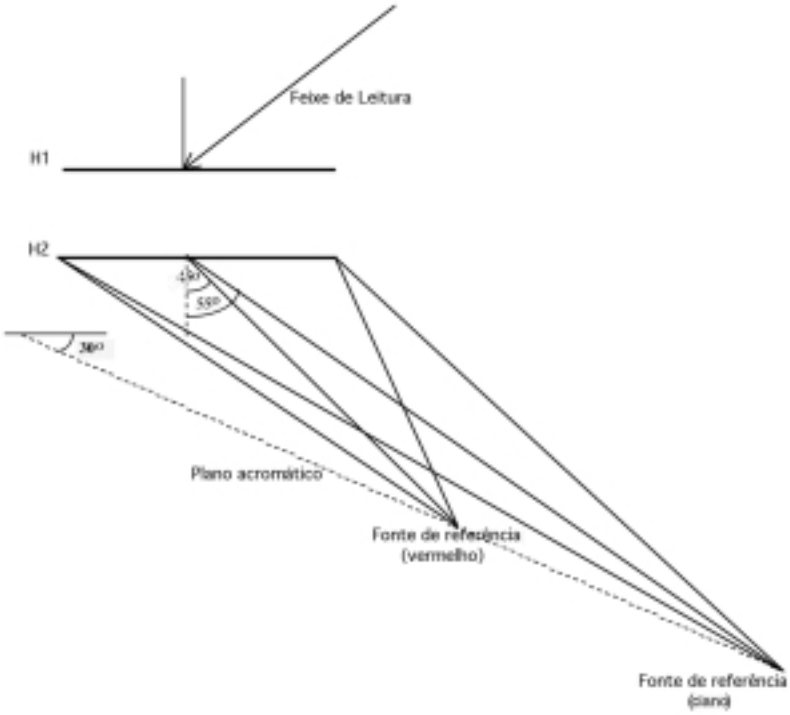



Fig.57- Esquema da realização de um holograma de reflexão acromático de segunda etapa.

Em hologramas de reflexão, o desvio espectral associado à dispersão da luz não acontece, mas a gama das cores obtidas é normalmente pobre, a não ser que a emulsão seja manipulada e hipersensibilizada previamente. Mantém-se, porém, a diferença de ângulo de reconstituição das várias cores.

### 4.3.1.5 HOLOGRAMAS ESTAMPADOS (EMBOSSED)

Talvez os hologramas mais comuns sejam os *hologramas estampados* (embossed holograms). Estes hologramas são muito coloridos e podem ser encontrados como elementos decorativos em brinquedos ou livros e em publicidade, bem como em cartões de crédito, notas

de banco, selos de correio, selo de garantia de originalidade em vários artigos, cartas de condução, etc., com o objectivo de dificultar a sua contrafacção.

Embora sejam vistos à reflexão, os hologramas estampados são hologramas de transmissão de luz branca, do tipo arco-íris. Apresentam apenas paralaxe horizontal e a sua cor é variável em torno de um eixo horizontal.

Os hologramas estampados são feitos a partir de um molde metálico (cunho), que imprime o holograma sobre um material plástico recoberto com uma camada metálica, em geral de alumínio. O molde, por sua vez, é obtido a partir do *holograma matriz*, original, feito registando a figura de interferência numa placa com uma fina camada de resina fotossensível. Durante a revelação da placa, as zonas da resina que receberam luz dissolvem-se mais facilmente, ou mais dificilmente, conforme o tipo de resina utilizado, do que as que não receberam luz. A placa, depois de revelada, torna-se num holograma de fase, visto que as franjas de interferência aparecem codificadas em relevo. Este holograma de relevo é recoberto por uma fina camada metálica, obtida por vaporização e condensação de um metal, sobre a qual é feita a electrodeposição de níquel. Obtém-se desta forma o molde matriz, a partir do qual se podem fazer outros moldes. Com os moldes assim obtidos, são feitos os hologramas estampados, por prensagem de finas folhas de plástico, que recebem do molde a superfície em relevo nele impressa, tornando-se assim a reprodução do holograma original. Estas folhas estampadas são, finalmente, recobertas de uma camada metálica, e preparadas de modo a serem coladas no suporte a que se destinam.

Embora sejam iluminados frontalmente, estes hologramas finais são, de facto, hologramas planos, de transmissão. A camada reflectora, colocada na parte posterior do holograma, funciona como espelho, pelo que o holograma é iluminado pela imagem virtual da fonte de iluminação.[99,100].

[99] BERNARDO, Luís Miguel, op. cit., p. VI.68.
[100] SAXBY, Graham, *Practical Holography*, second edition, Prentice Hall, UK, 1994, pp. 344-362.

## 4.4. HOLOGRAMAS DE REFLEXÃO

Os *hologramas de reflexão* são hologramas de volume, em cujo registo as ondas objecto e de referência incidem em lados opostos da placa holográfica. Em vez de franjas de interferência, ficam registadas secções de planos de interferência, semelhantes às páginas de um livro, com direcção oblíqua à placa holográfica. Os planos de interferência são bissectores ao maior ângulo formado pelos feixes objecto e de referência[101].

A holografia de reflexão, pela primeira vez descrita por Denisyuk, é uma técnica para fazer hologramas visíveis com luz branca, e foi inspirada pelo trabalho de fotografia de Lippmann, que envolve a impressão da emulsão fotográfica por ondas luminosas, incidindo de ambos os lados da placa fotográfica.

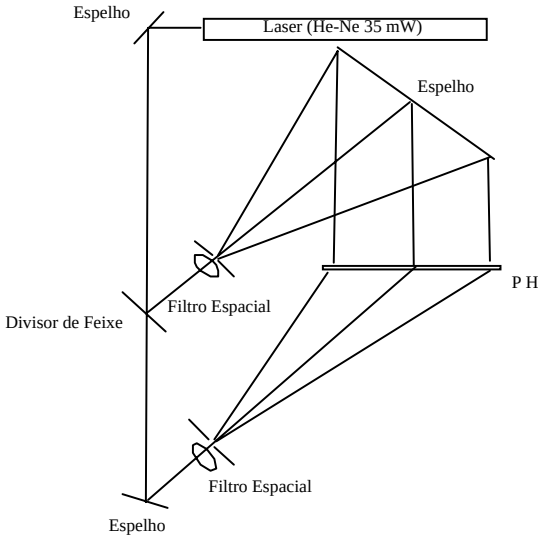



Fig.58- Esquema da geometria de registo de um holograma de reflexão fora de eixo (off-axis).

[101] SAXBY, Graham, *Manual of Practical Holography*, Focal Press, Butterworth-Heinemann Ldt, 1991, p. 15.

### 4.4.1 HOLOGRAMAS DE DENISYUK

Há um tipo particular de hologramas de reflexão que foi inventado por Yuri Denisyuk e, por isso, recebeu o seu nome. A sua geometria é muito simples: usa-se apenas um feixe de referência que, atravessando a placa holográfica, incide no objecto, sendo a sua luz reflectida novamente para a placa. Esta luz reflectida, ao interferir com a onda de referência na placa holográfica, funciona na prática como feixe objecto, produzindo as franjas de interferência necessárias para o registo do holograma.

Originalmente concebido para o registo holográfico de peças de arte russas, como por exemplo *ícones*, esta geometria apenas suporta o registo de objectos com pouco volume. Caso contrário, há uma distorção da imagem. Continuam a ser utilizados em casos específicos, sobretudo na iniciação à holografia nas escolas[102], e como registo de peças de arte de pequeno volume, que necessitam de ser expostas em diferentes locais, como divulgação, tornando-se muito difícil a exposição dos objectos originais.

A experiência realizada neste tipo de holograma no âmbito desta tese, decorreu na Universidade de Alicante[103] e deveu-se exactamente à necessidade de realizar um tipo de trabalho deste género. Nesta montagem, (fig. 59), a placa foi colocada paralela à mesa holográfica, aproveitando a força da gravidade para dar mais estabilidade durante o registo, incidindo a luz num ângulo de 45°. O objecto a holografar, com pouco volume, foi colocado sob a placa.

[102] *Holografia em rede de escolas*, projecto no âmbito do programa Ciência Viva, Departamento de Física, Universidade de Aveiro.
[103] Departamento Interuniversitário de Optica, Universidade de Alicante, Espanha, Programa Erasmus, 1996.

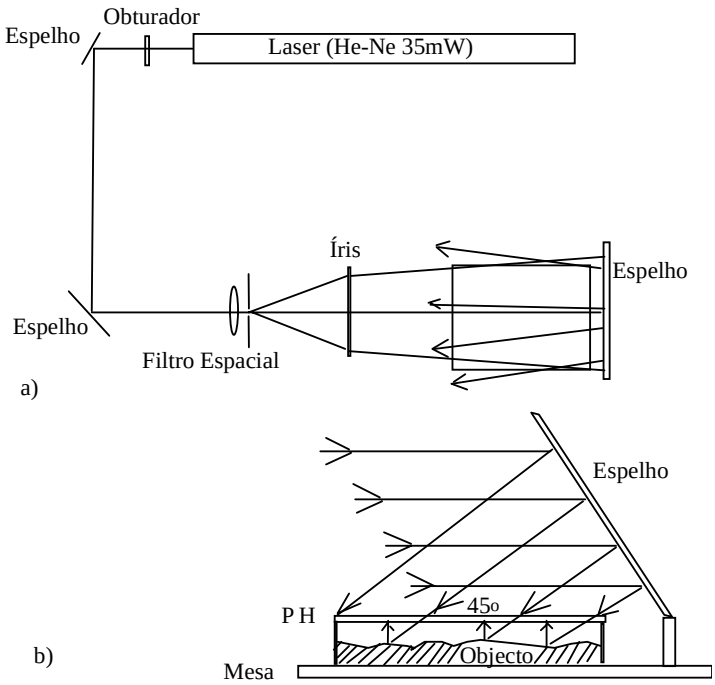



Fig. 59- Montagem usada para a realização de hologramas de Denisyuk em Alicante. Em a) vemos a montagem completa e em b) vemos o pormenor da colocação do objecto, sob a placa holográfica, com a luz a incidir vinda de cima, a 45°.

### 4.4.2 A COR NOS HOLOGRAMAS DE REFLEXÃO

Os hologramas de reflexão são reconstituídos com uma fonte de luz branca. O comprimento de onda de reconstrução de um holograma deste tipo é basicamente idêntico ao comprimento de onda do laser com que foi registado. Na operação de registo holográfico, as ondas de luz produzem planos de interferência, que funcionam como reflectores dentro da emulsão. A cor de um holograma de reflexão depende da distância entre os planos de interferência no interior da emulsão. Se a emulsão incha, a distância entre os planos altera-se e a imagem será reconstruída num comprimento de onda diferente do usado para o seu registo.

#### 4.4.2.1 HOLOGRAMAS MONOCROMÁTICOS

Em hologramas de reflexão, o desvio espectral típico dos hologramas de transmissão não acontece, mas a gama das cores obtidas é normalmente pobre. A cor é única, em todo o holograma e, caso apareçam no holograma desvios para outros comprimentos de onda, significa que, por alguma razão, não se está cumprindo a condição de Bragg.

A técnica para criar diferentes cores num holograma de reflexão é baseada no facto da cor ser obtida pela reflexão da luz nos planos de interferência existentes dentro da emulsão. A distância entre os planos de interferência é produzida durante o registo do holograma e depende do comprimento de onda do laser usado.

No entanto, a distância entre os planos de interferência pode ser alterada de várias formas, sendo o processamento químico um deles. Mesmo usando apenas um laser para o registo, podemos obter hologramas de cores diferentes, dentro de uma certa margem. Isto é, a cor pode ser modificada durante o processamento químico. Neste caso, a escolha da cor tem de ser feita previamente, dentro dos limites permitidos pelos reveladores e branqueadores empregues. Esses limites situam-se na escolha prévia de radiações entre o vermelho, laranja, verde, verde amarelado e amarelo dourado, sendo sempre monocromáticos.

A cor mais favorecedora para os hologramas de reflexão monocromáticos é o amarelo dourado, por estar mais perto da máxima visibilidade do olho humano. No entanto, o amarelo ocupa uma parte muito estreita do espectro (10 nm), e assim, desvios de cor para o verde e o vermelho são inevitáveis, particularmente se o holograma é exibido em locais com condições de humidade não controladas. Neste caso, a espessura da emulsão pode sofrer alterações relativamente ao previsto, modificando, por consequência a cor do holograma.

É possível, também, a obtenção de hologramas de reflexão multicoloridos, pela manipulação da espessura da emulsão da placa holográfica antes de a expor à luz laser. Por este método procede-se à manipulação da espessura da emulsão antes do registo, inchando (preswelling) a emulsão com determinados produtos. O padrão dos planos de interferência será registado enquanto a emulsão está inchada. Depois do processamento químico, ocorre um

encolhimento (shrinkage) que, na recontrução, cria cores de comprimentos de onda inferiores ao usado para o registo. Isto significa que, por exemplo, se um holograma é registado com um laser de comprimento de onda vermelho, numa emulsão que tenha sido pré inchada, depois de processada, poderá ser visto em laranja, amarelo, verde, azul ou violeta, dependendo do grau de pré inchamento a que a emulsão foi submetida.[104,105]. Esta técnica consome muito tempo, e é usualmente apenas utilizada em hologramas criativos.

#### 4.4.2.2 HOLOGRAMAS DE COR REAL (TRUE COLOR)

É também possível, pelo método da *tricomia*, e usando um laser para cada comprimento de onda registado, obter a cor real de um objecto. É o método chamado *true color holography*, que se torna muito difícil, pela necessidade de ter três lasers com o comprimento de onda adequado (sistema RGB), correctamente alinhados na montagem holográfica.

O registo pode ser feito em placas sensíveis apenas a cada um dos comprimentos de onda, registando-se cada cor em sua placa e agrupando-se posteriormente os hologramas assim obtidos numa *sandwich*. Mais recentemente, o aparecimento de emulsões *pancromáticas*, sensíveis a vários comprimentos de onda, permite que as diferentes cores sejam registadas na mesma placa holográfica.

Há várias investigações com vista à obtenção de hologramas registados em cor real. Estes estudos baseiam-se sobretudo no facto de, em qualquer tipo de processo reprodutivo de cores, se usar um número limitado de cores primárias, mas nunca menos de três. Há também a necessidade de atender à gama de cores percebidas a partir de um estímulo visual, bem como à diferença do efeito que uma fonte de luz de registo tem sobre a cor de um objecto, comparativamente à sua aparência sob uma luz branca normal. O problema de escolher as

[104] ROSS, Gary and Watson, John, *Single stage white-light colour holograms on Agfa 8E 75 HD*, Holographics International '92, Proc. SPIE, vol. 1732, 1992.
[105] CVETKOVICH, Thomas J., *Techniques for the replication of multicolor holograms*, Applications on Holography, Proc. SPIE, vol. 523, 1985.

cores de laser o mais próximas possível das cores primárias, é resolvido pela comparação com o diagrama CIE[106].

Apesar de concordarem com o ajustamento das cores em relação ao diagrama CIE, os comprimentos de onda considerados como primários não são coincidentes. Para Hubel e Ward[107], a escolha para o verde e o azul recai, respectivamente, em 458 nm e 528 nm, enquanto que para o vermelho é 647 nm. A sua opinião baseia-se em que o triângulo formado por estes comprimentos de onda compreende uma maior gama de cores, uma vez que há a necessidade de compensação da insaturação da cor que ocorre quando o holograma é reconstituído com uma fonte de luz branca.

Já para Kubota os comprimentos de onda óptimos são 466 nm, 541 nm e 607 nm, enquanto que, para Peercy e Hesselink, referidos por Bjelkhagen e Jeong, são 437 nm, 547 nm e 665 nm[108].

Porém, Bazargan encontra como comprimentos de onda ideais 450 nm, 540 nm e 610 nm[109], uma vez que esta combinação de radiações tem a mais alta eficiência luminosa de qualquer fonte de luz branca. Isto significa que, usando um grupo de lasers destas ou próximo destas regiões espectrais, se pode não só obter uma qualidade cromática extremamente boa, mas também produzir uma imagem mais brilhante do que com outra combinação de comprimentos de onda. Outra razão para usar estes e não outros, é uma melhor qualidade da radiação amarela do espectro que, como já foi referido, ocupa apenas 10 nm e tem tendência para fugir para o verde ou para o vermelho.

A cor em holografia de reflexão não é fácil de manter, recorrendo-se muitas vezes ao uso de controladores da humidade ambiente. Porém, qualquer pequena variação da humidade ambiente ou das condições de exposição, pode resultar em alterações bastante apreciáveis na cor do holograma. Também a repetição da cor se torna difícil, pois basta uma pequena

[106]SMITH, Steven L., *Application of the Tri-Color theory of Additive Color mixing to the Full Color Reflection Hologram*, Applications of Holography, Proc. SPIE vol. 523, 1985.
[107] HUBEL, Paul M., e Ward, A. A., *Color reflection holography*, Practical Holography III, Proc. SPIE vol. 1051, 1989.
[108] BJELKHAGEN, H. I. e Jeong, Tung H., *Experimental study of wavelength selections on color holography*, Practical Holography IX, Proc. SPIE vol. 2406.
[109] BAZARGAN, K., *Design of a one-step full color holographic recording system*, Practical Holography III, Proc. SPIE vol. 1051, 1989.

diferença da temperatura do laboratório no momento do registo ou dos banhos, aquando da revelação, para que a diferença seja notória.

#### 4.4.2.3 HOLOGRAMAS DE REFLEXÃO MULTICOLORIDOS

A maioria da holografia criativa multicor em hologramas de reflexão, é obtida por técnicas de *pseudocor*, que envolvem o *pré inchamento* (preswelling) da emulsão antes de a expor e, por vezes, a mudança do ângulo de referência para o registo de diferentes cores. Nalguns casos, exige também que se realizem primeiro hologramas matrizes de transmissão, um por cada cor seleccionada, que depois serão registados em geometrias de reflexão. O padrão dos planos de interferência será registado enquanto a emulsão está inchada. Durante o processamento químico, ocorre um encolhimento (shrinkage) que será tanto maior, quanto mais inchada tiver sido a emulsão antes do registo. Na recontrução, aparecem as cores correspondentes a comprimentos de onda inferiores ao usado para o registo. Esta técnica consome muito tempo e é, usualmente, utilizada apenas em hologramas criativos.

Outro problema a considerar, é o registo das áreas correspondentes às diferentes cores. Se se mascararem diferentes áreas de um único objecto, a fim de se obter uma reconstrução multicor, é necessário lembrar que o registo correcto não é automático. Por causa das leis da óptica, as imagens em diferentes cores - vermelho, verde e azul, (RGB)-, serão reconstruídas a distâncias diferentes no holograma, sendo então necessário alterar a geometria de registo para se obter um registo correcto. Para isso, é necessário variar a distância e o ângulo de incidência do feixe de referência.

Este tipo de imagens é normalmente obtida em hologramas de 2ª etapa e, por vezes, é necessário também que primeiro se realizem hologramas matrizes de transmissão, um por cada cor seleccionada, que depois serão registados em geometrias de reflexão.

Como já vimos anteriormente, o comprimento de onda ($\lambda$) em nanómetros (nm), para as várias cores do espectro visível, é aproximadamente como se segue:

| Cor | λ(nm) | λ(nm) |
|---|---|---|
| Vermelho | 700 | 620 |
| Laranja | 620 | 580 |
| Amarelo | 580 | 570 |
| Verde- amarelado | 570 | 510 |
| Verde | 510 | 487 |
| Azul | 487 | 430 |
| Violeta | 430 | 400 |

Há várias substâncias que se podem utilizar para pré inchar a emulsão: água, *Ureia*, *Triethanolamina* (TEA), *D-Sorbitol*, *álcool*, etc.

A ideia de pré inchar a emulsão com Triethanolamina é atribuída a Jeff Blyth[110]. Este método tem sido utilizado com as alterações e adaptações resultantes da experiência de cada utilizador.

No início dos anos 80, John Kaufman usou a técnica de pseudocor nos seus hologramas de rochas. O aumento do brilho dos hologramas pré inchados com TEA significou um grande impulso na holografia criativa e alguns artistas tentaram uma nova expressividade dos hologramas de reflexão através da cor. Nos seus trabalhos, Kaufman utiliza os banhos de TEA, começando pela concentração mais elevada, que vai sucessivamente diminuindo[111]. Este procedimento está em directo contraste com o usado para este trabalho; na experiência realizada no âmbito desta tese, começou-se com a emulsão seca, trabalhando-a sucessivamente com concentrações cada vez mais elevadas de TEA, tendo-se obtido resultados muito satisfatórios.

Além de poderem ser multicoloridos, os hologramas de reflexão em que se faz a manipulação da espessura da emulsão apresentam uma eficiência muito maior. Isso deve-se basicamente a dois factores: a) a hipersensibilização da emulsão pela TEA, permitindo o uso de lasers de potência relativamente baixa com bons resultados e b) a melhor qualidade e maior

[110] BLYTH, J.,*"Pseudoscopic" moldmaking handy trick for Denisyuk holographers*, in Holosphere 8, nº 11, May, 1979.
[111] *John Kaufman Discusses his Methods for Pseudocolour reflection Holograms*, in Real Image, Newsletter of the RPS Holography Group, no 4, Summer 1987.

eficiência de difracção dos hologramas pré inchados, que parece ser explicada pela criação de mais planos de franjas dentro da emulsão. Sendo o número de planos registados definido pelo λ, ângulo dos feixes e espessura da emulsão, se a espessura da emulsão é maior, mais planos ficam registados.

## 4.5 MATERIAIS DE REGISTO

Outro factor muito importante na realização de hologramas, é o tipo de material de registo. Há materiais de vários tipos, podendo referenciar-se como os mais importantes: a) a *gelatina dicromatada,* b) os *fotopolímeros* e c) as *emulsões fotográficas de alta resolução*.

A *gelatina dicromatada (DCG***)** é um material sensível às radiações do verde e do azul necessitando, para o registo de hologramas, de lasers bastante potentes.

Apesar de ser conhecida há bastante tempo, foi a partir do estudo de Kubota e Ose publicado na revista Optics Letters, descrevendo uma técnica experimental para o registo de hologramas de Lippmann em 1979, que o seu uso foi mais generalizado, sobretudo na produção de Elementos Ópticos Holográficos (HOE), dada a sua alta eficiência de difracção associada a baixo ruído. Em holografia de imagem, é usada sobretudo em pequenos objectos.

A gelatina dicromatada é quase insensível à radiação do vermelho. Jeff Blyth publicou uma contribuição sobre a maneira de aumentar a sensibilidade da gelatina ao vermelho, pela adição de um novo composto chamado tetramethylguanidine (TMG), em conjunto com o azul de metileno[112]. Com uma fórmula incorporando este composto é possível, segundo o autor, realizar hologramas de reflexão do tipo Denisyuk, com laser de He-Ne, com grande brilho. Baseado nesta investigação, Blyth publicou outro artigo onde dá a receita para que os hológrafos produzam o seu próprio material de registo e obtenham hologramas de reflexão

[112]BLYTH, Jeff, *DCG Recording with Red Light: Discovery of a new Electron Donor Syst*em, Practical Holography IV, Proc. SPIE vol. 1212, 1990.

mais brilhantes. Este procedimento também permite que se emulsionem superfícies de vidro curvas, dando alguns conselhos sobre a maneira de manipular a gelatina[113].

São materiais com boa eficiência de difracção, mas muito instáveis e sensíveis a qualquer pequena variação de humidade, alterando rapidamente a cor registada devendo, por isso, ser selados imediatamente depois de processados, a fim de evitar essa alteração.

Os *fotopolímeros* comercializados são materiais sensíveis ao verde e ao azul, embora tenham sido divulgadas informações, em várias conferências, sobre a existência a breve trecho de fotopolímeros pancromáticos. Os mais conhecidos são produzidos pela Du Pont Omnidex.

Este tipo de material de registo é constituído por várias partes: um *monómero* fotopolimerizável, um sistema *fotoiniciador*, que inicia o processo de polimerização quando exposto à luz, um *polímero* que é o "binder", sensibilizadores para diferentes comprimentos de onda etc.

Os actuais fotopolímeros, apresentados em filme, têm a característica de não necessitarem de ser processados quimicamente. O seu processamento é termal, fazendo-se a seco e consistindo em submeter o holograma a uma temperatura elevada (cerca de 100°C durante 20-60 minutos), e depois arrefecendo-o à temperatura ambiente. São materiais com grande estabilidade e eficiência de difracção, adequados à realização de hologramas de transmissão e de reflexão. Podem ser usados para realizar hologramas matrizes e de 2ª etapa de alta eficiência de difracção. Os hologramas registados em fotopolímeros, depois de completo o seu processamento, são insensíveis às variações de humidade e temperatura[114,115.]

As emulsões fotográficas são os materiais mais utilizados em holografia. Há emulsões sensíveis à radiação do vermelho, às radiações do verde e do azul e emulsões pancromáticas, sensíveis a todos os tipos de radiação. São apresentadas sobre placas de vidro e sobre filme, com diferentes dimensões. As emulsões fotográficas usadas em holografia são emulsões de grão muito fino, muito semelhantes às emulsões fotográficas para registo a preto e branco[116].

---

[113]BLYTH, Jeff, *Red Sensitive DCG: a Recipe*, Holographics International, nº 7, Winter, 1989.
[114]JEONG, T. H., and Wesley, E., *True Color Holography on Du Pont Photopolymer Material*, Holosphere, vol. 16, nº4, Fall, 1989.
[115]WEBER, A. M., et al., *Hologram recording in Du Pont's new photopolymer materials*, Practical Holography IV, Proc. SPIE vol. 1212, 1990.
[116] BJELKHAGEN, H. I., *Silver-halide Recording Materials for Holography and Their Processing*, Springer Series in Optical Sciences, Spring-Verlag, 1993, pp.33-52.

O constituinte principal das emulsões fotográficas é o nitrato de prata, emulsionado numa gelatina. Esta emulsão é depois misturada com os diversos outros constituintes, como o brometo de potássio, que faz precipitar o nitrato de prata e produz os sais de prata em pequenos grãos. Adicionam-se os diversos sensibilizadores necessários, e é aplicada numa base de vidro ou de filme.

Durante muito tempo, as emulsões comerciais mais usadas em holografia de imagem foram as produzidas pela Agfa-Gevaert, sob a designação de (Holotest) 8E 75 HD, sensíveis à radiação do vermelho e (Holotest) 8E 56 HD, sensíveis às radiações do verde e do azul. Desde que estes materiais foram introduzidos no mercado, ocuparam um lugar de destaque, impondo-se a outras marcas já existentes, como a Kodak e a Ilford.

As emulsões fotográficas de halogenetos de prata (silver-halide), sobretudo as de grão muito fino, podem ser processadas como a gelatina dicromatada, dando origem a um "novo" tipo de material, chamado *Silver-halide Sensitized Gelatin* (SHSG)[117], sendo também possível utilizar para o mesmo efeito, a emulsão Agfa 8E 75 HD[118],[119].

É assim um processo híbrido, que combina a baixa energia requerida para o registo em emulsões fotográficas, com a alta eficiência de difracção e baixo ruído da gelatina dicromatada. Os hologramas são registados numa emulsão fotográfica, que depois é processada para obter um produto final com as propriedades de um holograma registado em gelatina dicromatada.

O processamento da SHSG envolve a completa eliminação dos sais de prata da emulsão fotográfica e a criação de uma imagem latente na camada de gelatina, que consiste na diferença de dureza entre as regiões que foram expostas à luz e as que não foram[120]. Neste processamento, os sais de prata da emulsão holográfica revelados são convertidos, através da

[117]BJELKHAGEN, H. I., op. cit., pp. 252-262.
[118] FIMIA, A. et al., *Silver-halide sensitized gelatin as a holographic storage medium*, in Laser Technologies in Industry, ed. by O. D. D. Soares, S. P. Almeida, Proc. SPIE 952, 1988, pp. 288-291.
[119]FIMIA, A. et al, *Silver-halide sensitized holograms and their applications*, Holographic Optics II: Principles and Applications, ed. by C. M. Morris, Proc. SPIE 1136, 1989, pp. 53-57.
[120]HARIHARAN, P., *Silver halide sensitized gelatin holograms: mechanism of hologram formation*, Applied Optics, vol. 25, nº 13, 1 July, 1986.

fixação, branqueamento, lavagem e desidratação em sucessivos banhos de álcool isopropílico, num holograma de fase, com o índice de modulação da gelatina[121,122,123].

Com o fim da produção das placas Agfa, vimo-nos na necessidade de recorrer a novos materiais, sendo as placas usualmente chamadas Slavich, de produção russa, as que têm vindo a ser mais utilizadas. Com diferentes nomes, começaram a ser comercializadas também através de empresas de países como a Áustria, Estados Unidos, ou a Lituânia.

Há outras empresas, como a alemã HRT Holographic Recording Technologies GmbH, a produzir emulsões com características ditas similares às Agfa, no entanto com grão muito pequeno, o que significa menos sensibilidade à luz. Nos testes realizados não obtivemos a mais pequena difracção. Assim, constatamos que as experiências feitas não foram suficientes, havendo necessidade de repetir os testes.

O nosso estudo centrou-se, portanto, nas emulsões Slavich e nas diferenças e semelhanças com os materiais Agfa. Da Agfa, testámos apenas a emulsão 8E 75 HD em placas e filme, e da Slavich testámos a emulsão PFG-03 M, em placas, e a PFG-01 em placas e filme. Infelizmente, verificámos que algumas das informações fornecidas nas especificações técnicas dos fabricantes e comerciantes do material Slavich não correspondem ao esperado.

O controlo de qualidade das emulsões também não é muito apurado. Há placas com defeitos (riscos, bolhas de ar e outras imperfeições), que podem arruinar um holograma, bem como diferenças na sensibilidade da emulsão dos diferentes lotes, que acabam por falsear os resultados, ao não reagir da forma esperada.

---

[121] FIMIA, A. et al., *Silver halide (sensitized) gelatin in Agfa-Gevaert plates: the optimized procedure*, Journal of Modern Optics, vol. 38, nº 10, 1991.
[122] FIMIA, A. et al., *Optimized spatial frequency response in silver halide sensitized gelatin*, Applied Optics, vol. 31, nº 23, 10 August, 1992.
[123] FIMIA, A. et al., *Influence of R-10 bleaching on latent image formation in silver halide-sensitized gelatin*, Applied Optics, vol. 31, nº 17, 10 June, 1992.

### 4.5.1 EMULSÕES AGFA-GEVAERT

As emulsões mais divulgadas e mais utilizadas em holografia de imagem têm sido as emulsões da Agfa, que recentemente terminou a sua comercialização. São, por isso, as mais estudadas e referenciadas, sendo as suas especificações técnicas bem conhecidas dos utilizadores. A sua máxima sensibilidade é a 100 μJ/ $cm^2$, o que permite obter boas imagens com lasers de baixa potência. Outras marcas, com emulsões idênticas, como a Kodak e a Ilford, também já tinham deixado de produzir este tipo de emulsões holográficas. Com base nas especificações técnicas fornecidas pelos produtores da Agfa, foi elaborado o Quadro I, sendo também possível verificar as curvas de densidade, de amplitude de transmissão e de sensibilidade destes materiais, nas (fig. 60, 61 e 62)[124].

**QUADRO I**

| **Agfa (Holotest) 8E 75 HD** | **Agfa (Holotest) 8E 56 HD** |
|---|---|
| Halogeneto de prata sobre placas de vidro e filme | Halogeneto de prata sobre placas de vidro e filme |
| Sensibilidade Espectral: Vermelho (<750 nm) | Sensibilidade Espectral: Verde (<560 nm) |
| Sensibilidade a 633 nm: (μ J/ cm2) 100 | Sensibilidade a 514 nm: (μ J/ cm2) 100 |
| Tamanho do grão: 35/ 44 nm | Tamanho do grão: 35/ 44 nm |
| Poder de resolução: 5 000 linhas/ mm | Poder de resolução: 5 000 linhas/ mm |

[124] Información Técnica, Agfa Gevaert, s/ data.

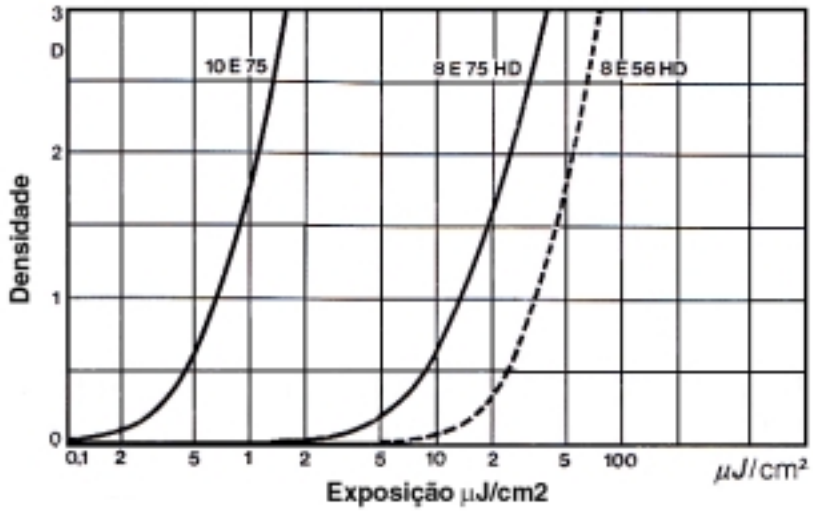



Fig. 60- Curvas de densidade dos materiais Agfa, segundo especificações técnicas fornecidas pelos fabricantes.

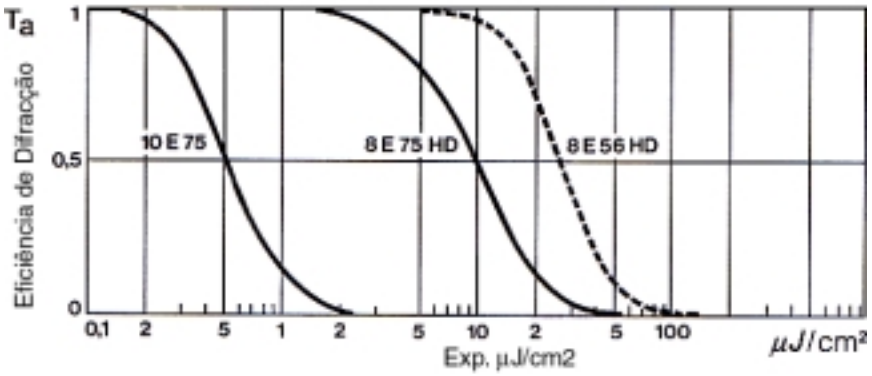
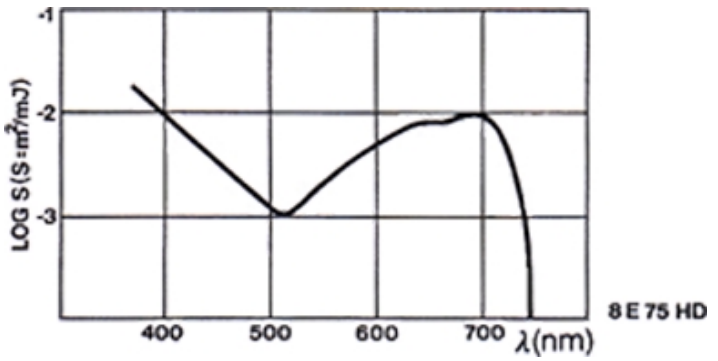
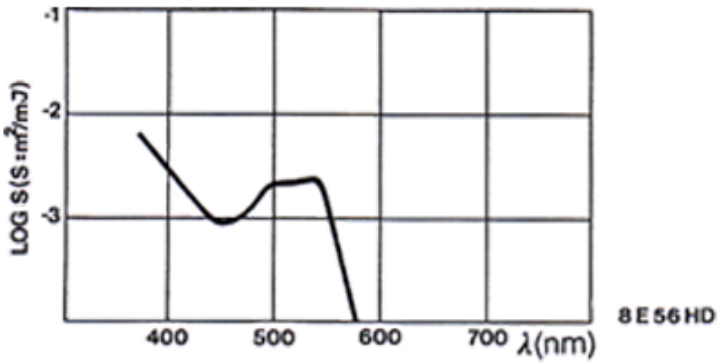



Fig. 61- Curvas de amplitude de transmissão ($T_a$) em função do logaritmo de exposição dos materiais Agfa, segundo especificações técnicas fornecidas pelos fabricantes.




a)




b)

Fig. 62- Curvas de sensibilidade ao comprimento de onda dos materiais Agfa, segundo especificações técnicas fornecidas pelos fabricantes: a) sensibilidade ao vermelho; b) sensibilidade ao verde e azul.

#### 4.5.1.1 PROCESSAMENTO QUÍMICO PARA AGFA 8E 75 HD

As emulsões fotográficas usadas em holografia são emulsões de grão muito fino, muito semelhantes às emulsões fotográficas para registo a preto e branco[125].

A Agfa produziu as suas próprias fórmulas para o processamento dos seus materiais, a maioria das quais com bons resultados. No entanto, outros investigadores conseguiram

[125] BJELKHAGEN, H. I., *Silver-halide Recording Materials for Holography and Their Processing*, Springer Series in Optical Sciences, Spring-Verlag, 1993, pp.33-52.

encontrar outras fórmulas capazes de optimizar os resultados; muito estudadas, quase se pode dizer que cada hológrafo tem a sua receita preferida.

Quando a emulsão de halogeneto de prata é exposta, a luz activa a prata da emulsão e, posteriormente, o revelador transforma o brometo de prata em prata metálica. Nos processos normais de revelação de fotografia, depois de revelar procede-se a um banho de fixação. O fixador remove qualquer traço dos compostos sensíveis à luz, impedindo que a revelação continue e tornando a imagem inalterável pela acção da luz. Porém, em holografia, é preferível não usar os fixadores, que escurecem a imagem, absorvendo muita luz na reconstituição e diminuindo a eficiência de difracção.

No estudo realizado na Universidade de Alicante[126],[127], com vista a escolher os processamentos adequados à obtenção dos melhores resultados, no que diz respeito a eficiência de difracção e comprimento de onda em hologramas de reflexão, tivemos a oportunidade de testar diferentes *reveladores* e *branqueadores*, bem como usar procedimentos de processamento, muito úteis à consecução destes objectivos.

Há reveladores que são especialmente estudados para hologramas de reflexão e outros para hologramas de transmissão. Há, no entanto, reveladores que são igualmente bons para ambos os tipos de hologramas.

Neste estudo, usámos os *fixadores* apenas para obter as curvas de densidade para cada revelador. Porém, uma vez obtidas, os fixadores não eram utilizados para a obtenção de hologramas em que a cor é o principal objectivo.

[126] Estudo realizado no Instituto Interuniversitário de Optica, Universidade de Alicante, sob a supervisão do Professor António Fimia, no âmbito do Programa Erasmus, 1996.

[127] OLIVEIRA, Rosa Maria; Carretero, L.; Madrigal, R.; Garzón, M. T.; Pinto J. L. and Fimia, A., *Experimental Study of Colour Control on Reflection Holography*, in Practical Holography XI and Holographic Materials III, Stephen A. Benton/ T. John Trout, Editores, SPIE Proc., vol. 3011, 1997, pp.224, 230.

#### 4.5.1.1.1 REVELADORES

Foram vários os *reveladores* testados. Os principais foram: PAAP; AAC; Phillips; (Pic)AAC. Para todos, as soluções são feitas pouco tempo antes de se proceder ao processamento, dada a rápida degradação dos componentes activos. Por esta razão, também não devem estar armazenados. Quando os reveladores são compostos de duas partes, solução A e solução B, estas devem ser misturadas imediatamente antes de revelar, devendo ser usadas apenas uma vez.

No caso destas soluções, feitas pelos hológrafos, por vezes os compostos que adquirimos podem ter nomes diferentes dos apresentados na receita que nos forneceram. Torna-se, por vezes, difícil para quem não tem conhecimentos de química, saber se um determinado composto produz uma reacção análoga à do produto que vem substituir.

É importante também que o revelador seja escolhido em função dos resultados obtidos. Em geral, é importante que o revelador possa penetrar através de toda a emulsão antes de iniciar a sua acção reveladora, produzindo assim uma revelação mais uniforme[128]. A temperatura dos banhos tem também um papel importante nos resultados obtidos.

O revelador PAAP, da autoria de Benton, não contém agentes solventes, actuando à superfície. O agente revelador do PAAP é a *Fenidona*, um agente muito forte que, em alguns reveladores, pode ainda aparecer associado à *Hidroquinona*, outro agente revelador, o que aumenta o seu poder. No caso do PAAP, ao estar em conjunto com o *Ácido Ascórbico*, torna este revelador o mais rápido conhecido até ao momento. Este revelador é extremamente útil na revelação de hologramas registados com tempos de exposição muito baixos, ou com pouca energia.

A Fenidona pode aparecer com outros nomes, como 1-Phenyl-3-Pyrazolidone, Grafidona, etc.

[128] BJELKHAGEN, H. I., op. cit., p. 137.

**Composição do Revelador PAAP**

Fenidona – 0,5 gr.

Ácido Ascórbico – 18 gr.

Hidróxido de Sódio – 12 gr.

Fosfato de Sódio (dibásico) – 28,4 gr.

Água destilada até – 1 l.

Tempo de revelação – 4 mn em contínua agitação, a 20°C.

Outro revelador não solvente é o AAC, da autoria de Crespo, Fimia e Quintana. É considerado o revelador que produz a melhor qualidade em hologramas de reflexão de fase, se for usado em conjunto com um branqueador apropriado, sem fixar antes de branquear. Este processo é conhecido como "fixation-free rehalogenating bleaching"[129].

O revelador AAC, é um revelador muito interessante por não conter, na sua composição, elementos nocivos à saúde ou ao ambiente.

É necessário ter em conta que, na solução B, a grande quantidade de Carbonato de Sódio deve ser misturada na água pouco a pouco, para evitar a precipitação. Também é importante sublinhar que esta mistura liberta uma grande quantidade de calor, podendo até queimar as mãos, se não houver cuidado no seu manuseamento. Deve-se deixar arrefecer até atingir a temperatura de 20°C, para depois se misturar com a solução A e se proceder à revelação do holograma.

[129] CRESPO, J. et al., *Fixation-free methods in bleached reflection holography*, Applied Optics, 25, 1986, pp. 1642-1645.

**Composição do Revelador AAC**

**Solução A**– Ácido Ascórbico– 18 gr.

Água destilada até– 500 c.c.

**Solução B**– Carbonato de Sódio– 60 gr.

Água destilada até- 500 c.c.

Misturar 1 parte de A + 1 parte de B no momento de usar. Só se usa uma vez. Tempo de revelação- 3 mn, em contínua agitação, a 20°C.

**Composição do Revelador (Pic)AAC**:

Pirocatechol–10 gr

Sulfito Sódico Anidro–5 gr

Ácido Ascórbico–18 gr

Ureia– 50gr

Carbonato Sódico– 60gr

Água destilada até– 1l

Tempo de revelação- 2,5 mn, em contínua agitação, a 20°C.

O revelador (Pic)AAC, além da composição do AAC, contém outro elemento activo de revelação, o *Pirocatechol*, que tem a vantagem de não produzir "fog". Porém, como tem sobre a emulsão um efeito endurecedor, junta-se a *Ureia*, que tem a função de amolecer a emulsão e permitir a acção do revelador. O *Pirocatechol* também escurece a emulsão, mas num grau inferior ao *Pirogalol*.

O *Pirocatechol* também se apresenta sob outros nomes, tais como Catechol, Pyrocatechin, orto-dihydroxybenzeno, etc.

O revelador Phillips, da autoria de Nick Phillips, tem como agente activo de revelação o *Pirogalol*, que é um forte endurecedor da gelatina. Também escurece fortemente a emulsão, dando-lhe uma cor acastanhada característica. Este efeito, por vezes, diminui a eficiência de

difracção do holograma embora, como reduz o sinal ruído, possa ser útil em algumas aplicações.

**Composição do Revelador Phillips**:

**Solução A** –Pirogalol– 2,5 gr.

Sulfito Sódico Anidro– 7,5 gr.

Água destilada até– 250 c.c.

**Solução B** – Carbonato Sódico Anidro– 30 gr.

Água destilada até – 250 c.c.

Misturar 1 parte de A + 1 parte de B imediatamente antes de revelar. Não se volta a usar.

Tempo de revelação-2 mn, em contínua agitação, a 23°C.

Este revelador também necessita de ser feito em duas soluções, dado que o Pirogalol apenas se mantém estável numa solução ácida; a solução B, alcalina, deve ser feita à parte, misturando-se apenas no momento de usar. Chama-se novamente a atenção para o calor libertado pela reacção do Carbonato de Sódio na água.

Enquanto os outros reveladores funcionam de uma maneira geral bem, quer em conjunto com branqueadores realogenantes, quer com solventes, o revelador Phillips obtém bons resultados sobretudo com o (R-9), que é solvente.

O *Pirogalol* também tem outros nomes, como: 1,2,3-trihidroxibenzeno, 1,2,3-benzinetriol, Pyro, e Ácido Pirogálico.

Há outros reveladores muito usados em holografia, que é interessante conhecer, embora não os tenha usado para este trabalho. A obra de Bjelkhagen, já referenciada, é um bom auxiliar para quem estiver interessado em testar outros reveladores. Um revelador muito referenciado é o D-19, bem como a sua versão D-19b, produzidos pela Kodak. Diferem apenas na quantidade dos componentes usados. Usam-se no processamento da SHSG, com bons resultados.

Têm como agentes activos na revelação, o *Metol* e a *Hidroquinona*. Como os outros agentes activos, a *Hidroquinona* também pode ter outros nomes. Pode ser chamada Quinol,

1,4-benzenediol, Hidroquinol, etc; o Metol também aparece como *para*-aminofenol, *para*-metilaminofenol, Genol, etc.

| **Composição do Revelador D-19** |
| --- |
| Metol-2 gr. |
| Sulfito Sódico Anidro-45 gr. |
| Hidroquinona -8 gr. |
| Brometo de Potássio -5 gr. |
| Carbonato Sódico Anidro -50gr. |
| Água destilada até- 1l. |

| **Composição do Revelador D-19b** |
| --- |
| Metol-2 gr. |
| Sulfito Sódico Anidro-72 gr. |
| Hidroquinona -9 gr. |
| Brometo de Potássio -4 gr. |
| Carbonato Sódico Anidro -48gr. |
| Água destilada até- 1l. |

#### 4.5.1.1.2 FIXADOR

Quando a revelação está completa, o holograma deve passar por um banho de paragem, em água destilada, durante breves minutos, em geral 1 ou 2. Há alguns banhos de paragem a que se adiciona à água Ácido Acético (10 ml/l), ou em alternativa, Ácido Cítrico (15 gr/l). Depois do banho de paragem pode proceder-se ao banho de fixação.

Durante o banho na solução de fixação, são dissolvidos os cristais de halogeneto de prata não expostos, permanecendo na gelatina apenas os cristais expostos.

Os banhos em fixador são usados principalmente para obter hologramas de amplitude. No início, julgava-se que a fixação dos hologramas era imprescindível, mesmo para os hologramas de fase, tal como é para a fotografia. Porém, actualmente usa-se apenas para determinar a curva de densidades, (D-logE). Com base nesta curva, pode-se escolher a exposição necessária para optimizar os resultados de cada revelador.

**Composição do Fixador F- 24** (não endurecedor):

Tiosulfito Sódico– 120 gr.

Sulfito Sódico Anidro– 5 gr.

Bisulfito Sódico– 12,5 gr.

Água destilada até – 0, 5 l.

Fixar durante 4 mn em contínua agitação, a 20°C.

Esta solução pode-se guardar em armazém por vários meses e usá-la muitas vezes.

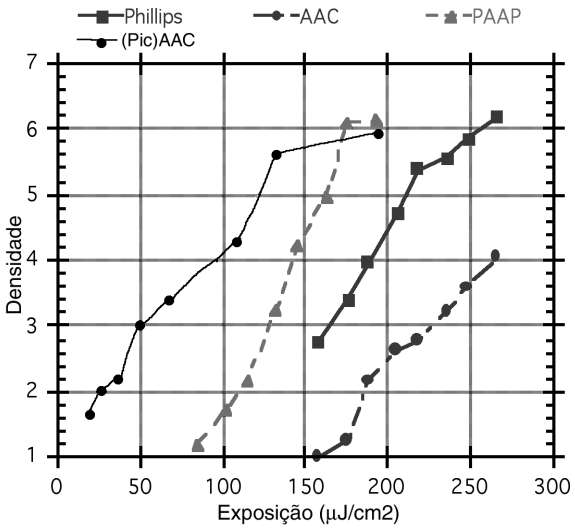



Fig. 63 – Gráfico de Densidades dos reveladores estudados, fixados com F-24, em emulsão 8E 75 HD. Estudo realizado no âmbito desta tese na U. Alicante em 1996.

Para obter as densidades correspondentes, foram seguidos os passos seguintes: 1- revelação da placa com o revelador seleccionado; 2-banho de paragem em água destilada, durante 1 minuto; 3-fixação em F-24 durante 4 minutos a 20°C; 4-lavagem em água corrente filtrada durante 10 minutos; 5-lavar em água destilada com Agepon durante 3 minutos. Depois de seca ao ar à temperatura ambiente, foram medidas as densidades.

#### 4.5.1.1.3 BRANQUEADORES

O *branqueamento* é uma técnica que visa transformar os *hologramas de amplitude*, registados em emulsões de halogeneto de prata, em *hologramas de fase*.

Há três tipos de branqueamento: 1- branqueamento convencional, em que o holograma é primeiro revelado e fixado e só depois branqueado com uma solução realogenante; 2- branqueamento realogenante sem fixar; 3- branqueamento reversivo, com uma solução solvente.

Os *branqueadores* são usados em holografia para tornar transparentes os grãos de sais de prata revelados, que durante a revelação, se tornaram opacos. Há branqueadores de dois tipos: *realogenantes* e *solventes*.

Os *Branqueadores Realogenantes* revertem a prata metálica novamente em brometo de prata. No caso em que a emulsão foi submetida a uma fixação prévia, que retirou à emulsão os sais de halogeneto de prata não expostos, a imagem formada cujos cristais são opacos, por realogenização é transformada em cristais de halogeneto de prata transparentes.

No caso da emulsão não ter sido fixada antes de branquear, não há nenhuma remoção da prata da emulsão, havendo uma redistribuição dos grãos de halogeneto de prata não expostos, que continuam a revelação durante o processamento com o branqueador. Como estes branqueadores não retiram material da emulsão, a espessura da emulsão mantém-se inalterada e o comprimento de onda do holograma também.

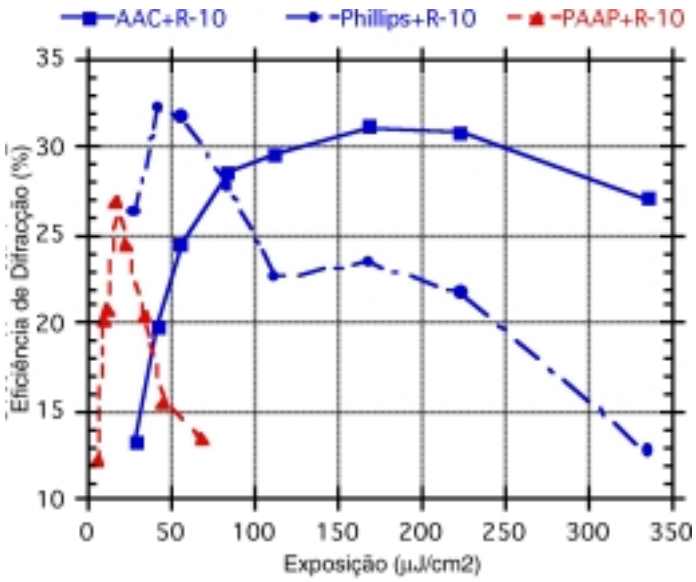



Fig.64- Gráfico da Eficiência de Difracção obtida com o uso do R-10 com os reveladores PAAP, AAC e Phillips. Estudo realizado na U. Alicante.

No trabalho de investigação realizado na Universidade de Alicante e já mencionado, o branqueador R-10 foi estudado comparativamente, com os vários reveladores já mencionados (fig. 64). Neste gráfico também é possível verificar que o revelador PAAP, em conjunto com o R-10, necessita de muito pouca energia para obter uma boa eficiência de difracção. Noutros gráficos também se verificou, por comparação, o efeito produzido nos mesmos reveladores por um branqueador solvente, o R-9.

Usou-se o método de processar os hologramas sem os fixar antes de branquear, seguindo os seguintes passos: 1- revelação da placa com o revelador escolhido; 2-banho de paragem 1 minuto; 3-branqueamento até que a placa fique transparente; 4-lavagem em água corrente filtrada durante 10 minutos; 5- passagem em água com Agepon durante 2 a 3 minutos.

**Composição do Branqueador R-10**: (Realogenante)

Dicromato de Potássio– 2 gr.

Ácido Sulfúrico– 10 c.c.

Brometo de Potássio– 35 gr.

Água destilada até– 1l.

Branquear em contínua agitação, até que a placa fique transparente, (1 a 2 minutos).

Os *Branqueadores Solventes* removem os sais de prata expostos, deixando sem revelar os grãos de halogeneto de prata da emulsão, não expostos à luz. Estão nesta categoria os branqueadores reversíveis, que dissolvem completamente os grãos de prata expostos. Assim, partes de emulsão com grãos de brometo de prata não expostos alternam com outras, em que a gelatina está completamente livre de sais de prata. Não há fixação destes hologramas antes do branqueamento.

Como estes branqueadores dissolvem parte do material existente, há uma diminuição da espessura da emulsão e, consequentemente, o comprimento de onda de reconstituição altera-se podendo, no caso da emulsão 8E 75 HD, baixar até ao amarelo esverdeado e mesmo ao verde.

**Composição do Branqueador R -9**: (Solvente)

Dicromato de Potássio– 2 gr.

Ácido Sulfúrico– 10 c.c.

Brometo de Potássio- 0 gr.

Água destilada até– 1l.

Branquear, em contínua agitação, até que a placa fique transparente.

Há vários branqueadores solventes. O mais estudado neste trabalho foi o R-9, que produz resultados possíveis de observar nos gráficos apresentados em comparação com o R-10

(realogenante). Actuando em conjunto com o revelador Phillips, este branqueador é o mais utilizado pelos hológrafos.

Na composição dos branqueadores R-10 e R-9, a quantidade do Brometo de Potássio existente na solução torna-se na chave da diferença de comportamento da emulsão, no que diz respeito à cor obtida. A composição do R-10, cujos comprimentos de onda de reconstrução são na área do vermelho, contém 35 gr. deste ingrediente, enquanto que no R-9, cujos comprimentos de onda de reconstrução são na área do verde, a quantidade é 0 gr. Assim, se quisermos comprimentos de onda intermédios, temos necessidade de controlar a quantidade de Brometo de Potássio do branqueador, bem como os tempos de exposição, que também podem ter influência. Na figura 65, é possível observar a diferença dos comprimentos de onda que podem ser obtidos, para um mesmo revelador, usando um branqueador realogenante (R-10) ou um solvente (R-9).

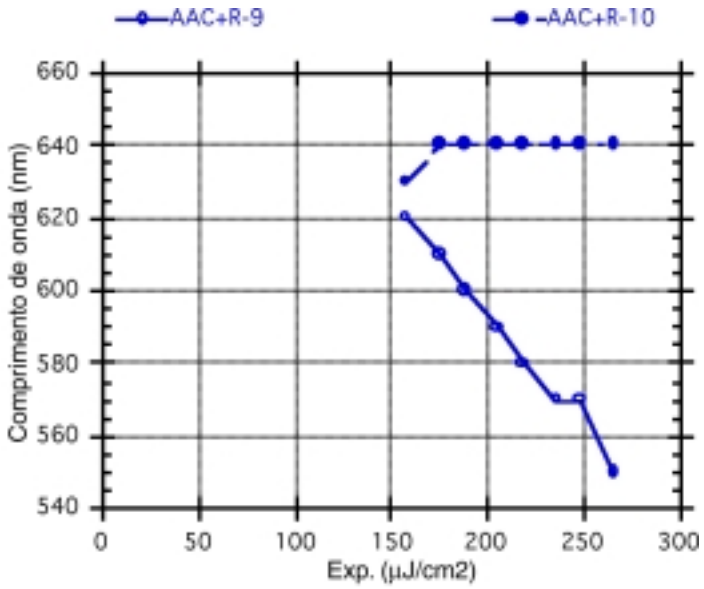



Fig. 65- Neste gráfico é possível verificar a diferença de comprimentos de onda obtidos com R-10 e R-9, em placas reveladas com AAC. Estudo realizado em Alicante. (Ver nota 127).

A percentagem da eficiência de difracção obtida também é diferente, sendo mais alta com o branqueador realogenante do que com o solvente, como é possível ver na fig. 66.

As cores estão localizadas no diagrama CIE (fig. 67 e 68), a fim da diferença se tornar mais explícita.

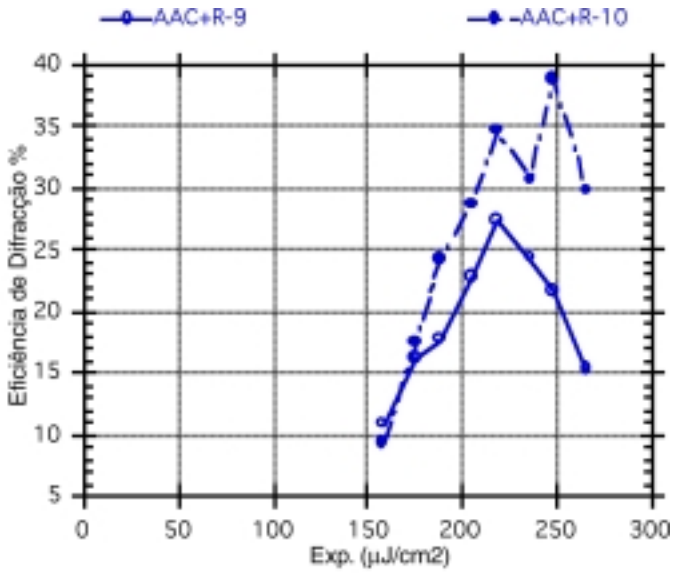



Fig. 66– Gráfico da diferença de eficiência de difracção obtida com R-10 e R-9 em placas reveladas com AAC. Estudo realizado em Alicante. (Ver nota 127).

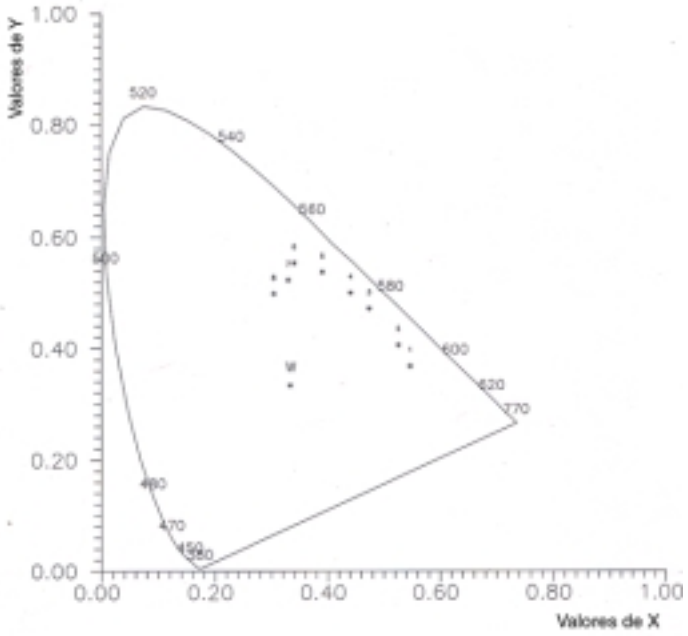



Fig. 67- Localização dos comprimentos de onda obtidos pelo branqueamento com R-9 em placas reveladas com PAAP. Estudo realizado em Alicante. (Ver nota 127).

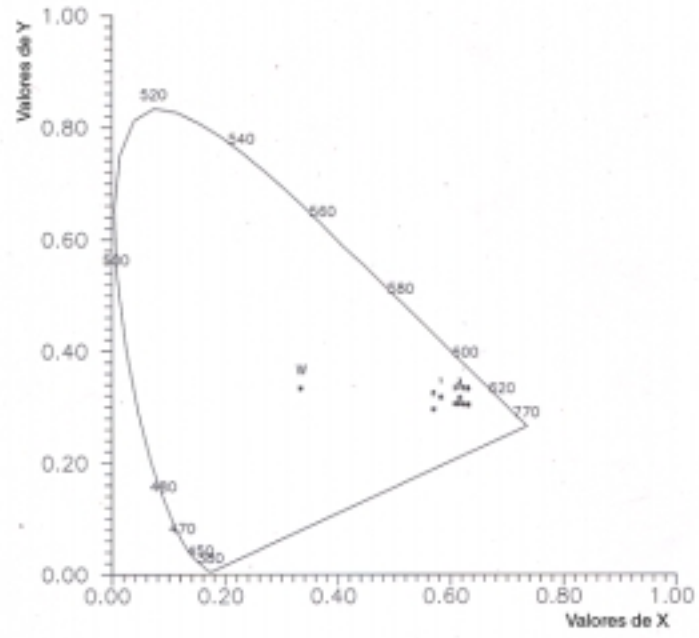



Fig. 68- Localização dos comprimentos de onda obtidos pelo branqueamento com R-10 em placas reveladas com PAAP. Estudo realizado em Alicante. (Ver nota 127).

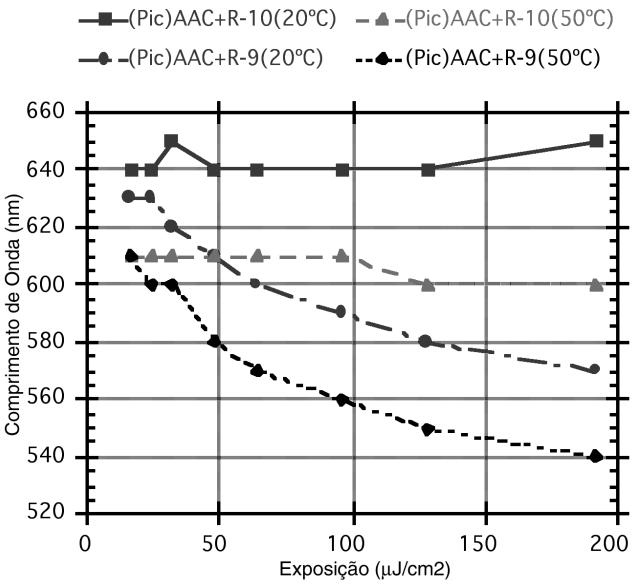



Fig. 69– Diferença dos comprimentos de onda obtidos quer com R-10, quer com R-9 em placas reveladas com (Pic)AAC, a 20°C e 50°C. Estudo realizado em Alicante. (Ver nota 127).

A temperatura dos banhos também é um factor importante quando queremos aumentar a eficiência de difracção. A diferença é notória, quer em eficiência de difracção, quer nos comprimentos de onda obtidos, como é possível ver nas fig. 69 e 70.

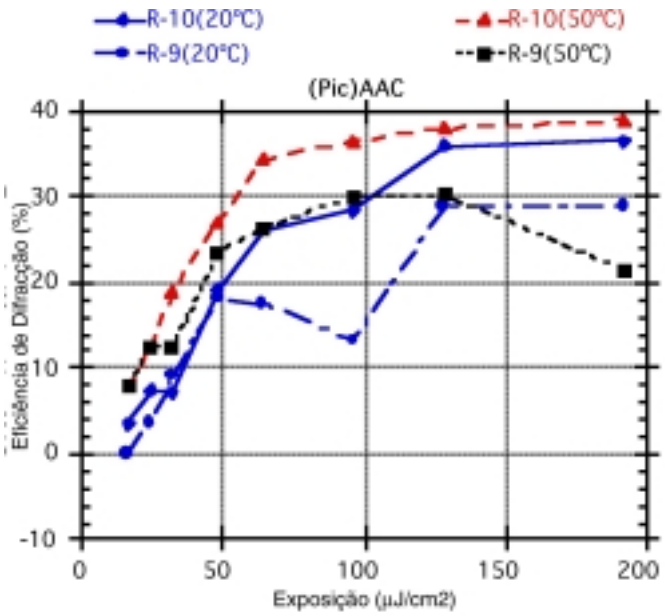



Fig. 70– Diferença da eficiência de difracção obtida quer com R-10, quer com R-9 em placas reveladas com (Pic)AAC, a 20°C e 50°C. Estudo realizado em Alicante. (Ver nota 127).

Os Branqueadores realogenantes mais usados neste trabalho foram o R-10, o EDTA e o PBU-amidol.

Alguns dos testes realizados foram repetidos posteriormente, num estudo realizado no Departamento de Física da Universidade de Aveiro e no *CETO*, no Departamento de Física da Universidade do Porto[130]. O branqueador EDTA foi também testado, optando-se pelo seu uso em conjunto com o revelador (Pic)AAC, nos hologramas de transmissão de arco-íris e matrizes, e nos hologramas de reflexão em emulsões Agfa. Este branqueador, embora dê bons resultados em termos de eficiência de difracção, não deixa as placas completamente transparentes. No final do branqueamento, apresentam um aspecto leitoso, resultante dos sensibilizadores existentes na emulsão que não foram dissolvidos, o que não é muito agradável, sobretudo em hologramas de imagem. O problema fica resolvido se, após o banho com EDTA, a placa estiver em R-9, por breves segundos, até ficar transparente. Esta operação

[130] Oliveira, Rosa M.; Bernardo, Luis M.; Pinto, João L. and Machado, Joaquim M., *Colour control in creative holography*, in Sixth International Symposium on Display Holography, Lake Forest College, SPIE Proceedings, vol. 3358, 1997, pp. 220, 224.

não altera o comprimento de onda, e dissolve os produtos que davam ao holograma o aspecto leitoso. Este método permite obter hologramas com uma grande eficiência de difracção.

O branqueador PBU-amidol foi usado nos materiais Slavich, em hologramas de reflexão, após a revelação em SM-6.

**Composição do Branqueador EDTA**: (Realogenante)

Água Destilada - 700 cc.

Sulfato de Ferro- 30 gr.

EDTA Sal Dissódico -30 gr.

Brometo de Potássio - 30 gr.

Sulfito Sódico Hidrogenado–30 gr

Água destilada até– 1l

Branquear, em contínua agitação, durante 1 a 2 minutos.

### 4.5.2 EMULSÕES SLAVICH

A necessidade de encontrar materiais alternativos às emulsões Agfa, levou a que nos centrássemos nas emulsões de origem soviética que, embora semelhantes, apresentam pequenas diferenças as quais, na prática, se tornam bastante significativas.

Embora sempre tivessem produzido diferentes tipos de materiais com halogeneto de prata para utilizar em holografia, o maior interesse dos investigadores soviéticos centrou-se manifestamente na produção de hologramas de reflexão, predominantemente do tipo chamado de Denisyuk, de um só feixe. Neste tipo de hologramas, o tamanho do grão de halogeneto de prata das emulsões é de primordial importância, pelo que os investigadores se concentraram no desenvolvimento de emulsões com este tipo de características. No entanto, actualmente são

produzidos outros tipos de emulsões, para hologramas de transmissão e pancromáticas[131]. Os materiais comercializados com os nomes de VRP e PFG-01 têm emulsões, respectivamente sensíveis às radiações de verde e do vermelho, cujas características são similares às Agfa 8E 56 HD e 8E 75 HD.

São os seguintes, os materiais genericamente chamados Slavich, actualmente comercializados:

*VRP*- Placas Holográficas de grão muito fino (35-40 nm), sensíveis ao verde, com uma camada anti-halo, especialmente destinadas a hologramas de transmissão. Tem um poder de resolução de mais de 3000 linhas por mm e a sua sensibilidade espectral é 488 nm, 514 nm, 526 nm e 532 nm. São anunciadas como tendo características idênticas às Agfa 8E 56 HD.

A emulsão VR-P foi estudada para o registo de hologramas na área espectral do verde 514.5 nm (Ar), tendo depois vindo a demonstrar também ser bem sucedida com lasers pulsados: 532 nm (Nd:YAG), 526.5 nm (Nd:YLF). É também relatado pelos investigadores, terem sido feitas experiências com lasers pulsados de Neodimium para registar hologramas de reflexão nestas emulsões, em que a cor do holograma final foi controlada pelo processamento químico usado. Além disso, foi usado um procedimento, chamado latensificação para aumentar a sensibilidade da emulsão à exposição da luz[132].

*VR-PM*- Placas e Filme Holográficos, sensíveis ao verde, de grão muito fino (35-40 nm), sem camada anti-halo, próprias para hologramas de transmissão e de reflexão. Poder de resolução de mais de 3000 linhas por mm e a sua sensibilidade espectral é 488 nm, 514 nm, 526 nm e 532 nm.

*PGF-01*- Placas e Filme Holográficos, sensíveis ao vermelho, de grão muito fino (40 nm). Poder de resolução de mais de 3000 linhas por mm e sensibilidade espectral de 600- 680 nm. Com características idênticas às das placas Agfa 8E 75 HD, a emulsão PFG-01 foi estudada para o registo de hologramas de transmissão e de reflexão, usando lasers de radiação contínua, na área espectral do vermelho 633 nm (He-Ne) e 647 nm (crípton).

[131] http://www.geola.com/Holoplates_techspec.html
[132]SAZONOV, Yuri A., Kumonko, Petr I., *Holographic materials produced by the "Micron" plant at Slavich*, Proc. SPIE vol. 3358, 1997, pp. 31-40.

*PFG-03M*- Placas e Filme Holográficos, sensíveis ao vermelho, de grão ultra fino (8-12 nm), para hologramas de reflexão. Poder de resolução de mais de 5 000 a 8 000 linhas por mm e sensibilidade espectral de 633 nm e 647 nm. Como o tamanho do grão é inversamente proporcional à sensibilidade da emulsão, estes dados significam que, sendo o grão das emulsões Slavich cerca de três vezes mais pequeno que o das emulsões Agfa, é necessário muito tempo de exposição para se obterem resultados.

*PFG-03C*- Placas e Filme Holográficos, emulsões pancromáticas, de grão ultra fino (8 nm), para hologramas de reflexão. Poder de resolução de mais de 5 000 linhas por mm e sensibilidade espectral até 700 nm.

A emulsão PFG-03C foi concebida para a produção de hologramas de reflexão de cor real (true colour holography), branqueados. Esta é uma emulsão pancromática, própria para a produção de hologramas de reflexão usando diferentes lasers, de emissão contínua, com radiação no azul (457 nm), verde (514 nm) e vermelho (633 nm). O tamanho do grão é sensivelmente igual ao das emulsões PFG-03M. A eficiência de difracção é de cerca de 25% na área do azul e de cerca de 40% na área do verde e do vermelho. Os valores da exposição são de 2 mJ/cm2 e 3mJ/cm2 respectivamente.

*PFG-04*- Placas Holográficas, com Gelatina Dicromatada, de grão ultra fino, para hologramas de fase de reflexão. Poder de resolução de mais de 5 000 linhas por mm e sensibilidade espectral até 514 nm.

Esta emulsão é baseada em Gelatina Dicromatada e destina-se ao registo específico de hologramas de reflexão do tipo Denisyuk, com lasers de Argon (488 e 514 nm). A sua sensibilidade atinge os 100 mJ/cm2 na área espectral do azul e 200 mJ/cm2 na do verde. Como este material é livre de grão, tem um alto poder de resolução e uma eficiência de difracção de 75%. A vida deste material é de 12 meses e o seu processamento químico também depende da frescura da emulsão[133].

Das várias emulsões Slavich apresentadas, trabalhámos com placas PFG-03M e PFG-01 em placa e filme, cujos resultados se apresentam seguidamente.

[133] SAZONOV, Yury A. et al., *Holographic Materials Produced by the "Micron" Plant at Slavich*, GEOLA Internal Report GE-210, 15 Sept., 1997.

### 4.5.2.1 CARACTERÍSTICAS DO MATERIAL SLAVICH

Além do tamanho do grão de halogeneto de prata, - que pode atingir cerca de 10 nm-, a quantidade de prata na emulsão é outra característica que difere das emulsões ocidentais. Assim, nas emulsões soviéticas, a quantidade de prata é de cerca de metade, (0,25 gr/cm3), da prata contida normalmente nas emulsões ocidentais.

A latensificação (intensificação da imagem latente), ou solarização, é um método muito recomendado para as emulsões Slavich. Utilizado para aumentar a sensibilidade de uma emulsão fotográfica, usa-se após a exposição mas antes da revelação.

Este método, usado frequentemente em astronomia para aumentar a sensibilidade das emulsões fotográficas, é também usado com frequência nas emulsões russas, com grãos ultra--finos de halogeneto de prata, mas que apresentam uma sensibilidade muito baixa, não sendo muito usual nos materiais holográficos ocidentais.

De uma maneira geral, a latensificação leva a uma aparente aceleração do processo de revelação, mas apenas para curtos tempos de revelação. Com tempos de revelação longos, o efeito é menos pronunciado[134] .

Há vários métodos para a latensificação, tendo os autores do relatório interno dos laboratórios GEOLA usado o método da luz de baixa intensidade. O controlo do tempo necessário para a latensificação pode variar com as condições do ambiente, do lote da emulsão, idade do material holográfico e tipo de processamento químico usado.

No nosso trabalho, não encontrámos diferenças de qualidade dos hologramas que justificassem a latensificação; por isso, abandonámos este procedimento.

[134]BJELKHAGEN, H. I., *Silver-Halide Recording Materials for Holography and Their Processing*, Springer Series in Optical Sciences, Springer-Verlag, 1993, pp. 235-236.

#### 4.5.2.1.1 EMULSÕES PFG-03M

No que diz respeito às emulsões *PFG-03M*, é referido, nos vários textos fornecidos[135],[136], que este material foi produzido para hologramas de reflexão, registados quer com lasers de radiação contínua na área espectral dos 633 nm (He-Ne), quer com lasers pulsados, de Kr (647 nm). Apesar de ter uma baixa sensibilidade, neste relatório interno os investigadores relatam terem obtido uma eficiência de difracção igual ou superior a 45% e um alto sinal ruído, pelo que os hologramas registados neste material têm uma reconstrução da imagem muito clara e intensa, bem como uma excelente transparência da emulsão.

**QUADRO II**

| **Slavich PFG-03M** |
| --- |
| Halogeneto de prata sobre placas de vidro |
| Sensibilidade Espectral: Vermelho 633 nm/ 647 nm |
| Sensibilidade: 2/ 3 (mJ/ cm2) |
| Tamanho do grão 8/ 10 nm |
| Poder de resolução: 8 000 linhas/ mm até 10 000 l/ mm (as informações não são coincidentes neste ponto). |

Não foi possível testar este material com um laser de impulso; por isso, não é possível neste momento saber com clareza o seu comportamento nessas condições de registo. No estudo que realizámos com a emulsão *PFG-03M* como material de registo, quer de hologramas de transmissão quer de reflexão, usámos um laser de He-Ne de 35 mW. Os

[135] HOLO.TREND, PHOTOPLATES FOR HOLOGRAPHY, Holography Center Austria, Kahlenbergstrasse 6, A-3042 Wurmla.
[136] SAZONOV, Yury A. et al., *Holographic Materials Produced by the "Micron" Plant at Slavich*, GEOLA Internal Report GE-210, 15 Sept., 1997.

resultados obtidos por nós, durante o nosso estudo, são muito diferentes dos referidos pelos fornecedores[137].

Assim, para se obter uma imagem razoavelmente brilhante, dada a baixa sensibilidade da emulsão, entre 2 a 3 mJ/ cm2, o tempo de exposição exigido para o registo de um holograma é muito longo, na ordem de alguns minutos (no caso 4, 5 minutos no mínimo). Este facto faz aumentar a possibilidade de que algo aconteça durante a exposição do holograma, que impeça o seu correcto registo.

Os hologramas de transmissão registados por nós, durante o estudo efectuado no CETO, apresentaram uma razoável eficiência de difracção. Porém, os hologramas de reflexão apresentaram pouca eficiência de difracção e desvios espectrais do vermelho para outros comprimentos de onda, não cumprindo a condição de Bragg (fig. 71). Estes desvios, que no nosso trabalho apenas aconteceram com este material, podem ser atribuídos à não uniformidade da emulsão depois de processada, apesar de terem sido seguidos cuidadosamente todos os passos do processamento.

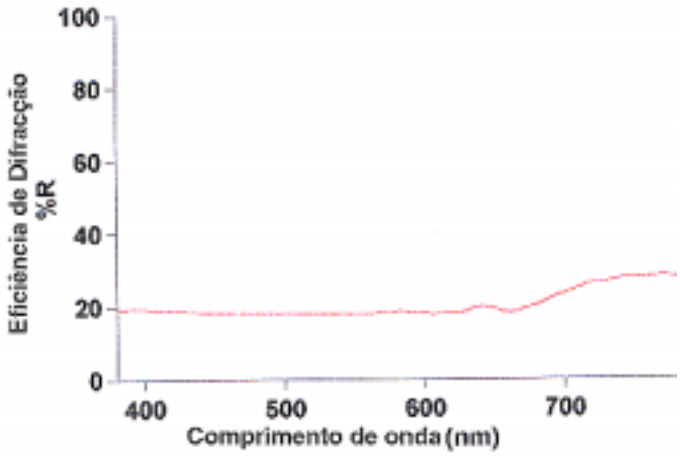



Fig. 71- Gráfico da Eficiência de difracção em função do comprimento de onda de um holograma de reflexão em PFG-03M. Estudo realizado no CETO, no âmbito desta tese.

[137] Estudo realizado no CETO-Centro de Ciências e Tecnologias Ópticas, Faculdade de Ciências, Universidade do Porto, no âmbito desta tese.

A nossa observação vai de encontro ao estudo de N. Phillips[138] que refere ter encontrado o mesmo problema no uso de outras emulsões Slavich. Ele considera que há uma distribuição não uniforme da espessura da emulsão, resultante de mau controle de qualidade por parte do fabricante. Este problema é aparente, sobretudo, quando é necessário rigor na imagem.

Outro factor desfavorável, que também observámos, é a extrema brandura da emulsão. De tal maneira, que o seu processamento é muito longo, exigindo um endurecedor prévio e, durante o processamento, não se devem agitar os líquidos, sob pena da emulsão alterar a sua espessura, ou mesmo descolar do vidro.

Por esta razão, também não é possível proceder a qualquer manipulação controlada da espessura da emulsão antes de expor. O resultado será ficarmos com uma placa de vidro vazia ou, quando muito, com alguns vestígios da emulsão agarrados.

#### 4.5.2.1.2 PROCESSAMENTO QUÍMICO DAS EMULSÕES PFG-03M

Dadas as suas características, este tipo de material sofre um processamento químico muito demorado, cerca de 40 minutos no total. Como a emulsão PFG-03M é muito macia, é necessário proceder a um pré endurecimento da emulsão, seguindo-se depois a revelação, fixação e secagem, e vários momentos de lavagem com água.

É preciso ter em atenção que o Revelador GP-2, solução concentrada, deve ser posteriormente diluído no momento da revelação. Esta solução de trabalho diluída, só se deve usar uma vez[139], [140].

---

[138] PHILLIPS, Nicholas J., *Slavich Recording Materials for Holography- An Individual View*, Proc. SPIE, Vol. 3358, pp. 41-51, 1998.
[139] HOLO.TREND, HOLOGRAPHY CENTER AUSTRIA, Kahlenbergstrasse 6, A- 3042 Wurmla.
[140] 3Deep Company, http://www.3deepco.com/Process.htm

| | |
|---|---|
| **1- Endurecedor (a utilizarcomo 1º banho):** | |
| Formaldeíde a 37% (Formol) | 10 ml |
| Brometo de Potássio | 2 gr |
| Carbonato de Sódio | 5 gr |
| Água destilada até fazer | 1 l |

| | |
|---|---|
| **2- Revelador GP-2 (concentrado):** | |
| Metilfenidona | 0.2 gr |
| Hidroquinona | 5 gr |
| Sulfito de Sódio Anidro | 100 gr |
| Hidróxido de Potássio | 5 gr |
| Tiocianato de Amónio | 12 gr |
| Água destilada até fazer | 1 l |
| **3- Solução de trabalho (diluída), a usar apenas uma vez:** | |
| GP-2 (concentrado) | 40 ml |
| Água destilada até fazer | 1 l |

| | |
|---|---|
| **4- Fixador** | |
| Tiosulfato de Sódio (cristais) | 160 gr |
| Potássio Metabisulfito | 40 gr |
| Água destilada até fazer | 1 l |

Observámos que a eficiência de difracção apresentada nas placas branqueadas, sem fixar, é superior à obtida em placas fixadas, sem posterior branqueamento. Porém, a melhor eficiência de difracção foi obtida nas placas fixadas, e posteriormente branqueadas.

Por isso, adoptámos como procedimento para fazer o processamento sem agitação, como se segue: a)-banho de endurecedor durante 6 min; b)- lavagem em água corrente filtrada -2 min; c)-revelar em revelador GP-2 (Solução de trabalho diluída, a usar apenas uma vez) -12

min a 20°C; d)- lavar em água corrente filtrada durante 2 min; e)- fixar durante 3 min; f)- lavar em água corrente filtrada durante 2 min; g) branqueamento com EDTA, até a placa ficar transparente; h)- lavagem em água corrente filtrada durante 10 min; i)- secagem em concentrações diferentes de *Álcool Isopropílico* ou *Etílico*. As percentagens são as seguintes: 50%, 75% e 96%, durante 2 minutos cada banho.

O álcool é usado para uma secagem completa da gelatina. As moléculas de álcool substituem as moléculas de água existentes na emulsão, proporcionando uma secagem mais rápida e completa. Depois deste procedimento, as placas devem ser mantidas na vertical, até à sua completa secagem à temperatura ambiente.

### 4.5.2.1.3 EMULSÕES PFG-01

As emulsões Slavich PFG-01 e VRP são apresentadas como semelhantes às Agfa 8E 75 HD e 8E 56 HD. Com base nas especificações técnicas fornecidas pelos produtores, foram elaborados os gráficos das fig. 72 e 73, bem como o Quadro III.

No estudo feito para este trabalho, foi apenas utilizada a emulsão PFG-01, sensível à radiação do vermelho, com características semelhantes à Agfa 8E 75 HD. No quadro IV podemos comparar as especificações técnicas, que embora pareçam semelhantes, mostram que as emulsões têm algumas diferenças, que se tornam muito importantes na obtenção de resultados no trabalho prático.

**QUADRO III**

| **Slavich PFG-01** | **Slavich VRP** |
|---|---|
| Halogeneto de prata sobre placas de vidro e filme | Halogeneto de prata sobre placas de vidro e filme |
| Sensibilidade Espectral: Vermelho 633/ 647 nm | Sensibilidade Espectral: Verde 514/ 532 nm |
| Sensibilidade a 633 nm: (μ J/ cm2) 100 | Sensibilidade a 514 nm: (μ J/ cm2) 100 |
| Tamanho do grão: (média) 40 nm | Tamanho do grão:(média) 40 nm |
| Poder de resolução: mais de 3 000 linhas/ mm | Poder de resolução: mais de 3 000 linhas/ mm |

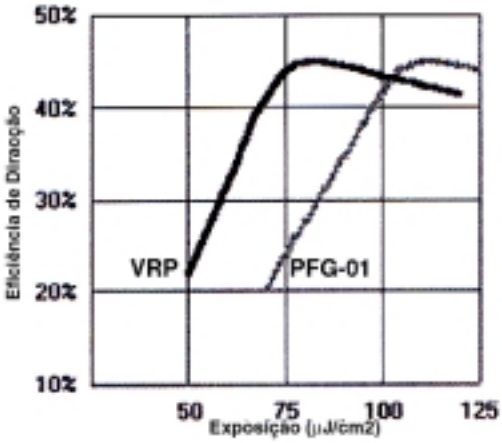



Fig.72- Curvas de eficiência de difracção das emulsões Slavich PFG-01 (sensibilidade ao vermelho) e VRP (sensibilidade ao verde), fornecidas pelo fabricante (Geola).

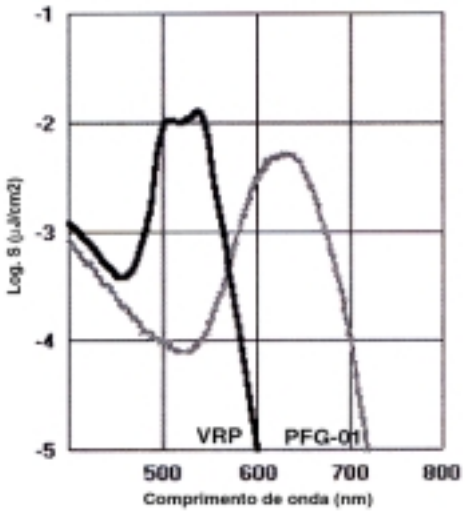



Fig.73- Curvas de densidade das emulsões Slavich PFG-01 (sensibilidade ao vermelho) e VRP (sensibilidade ao verde), fornecidas pelo fabricante (Geola).

**QUADRO IV**

| **Slavich PFG-01** | **Agfa (Holotest) 8E 75 HD** |
|---|---|
| Halogeneto de prata sobre placas de vidro e filme | Halogeneto de prata sobre placas de vidro e filme |
| Sensibilidade Espectral: Vermelho 633/ 647 nm | Sensibilidade Espectral: Vermelho 633 nm 100 |
| Sensibilidade a 633 nm: (μ J/ cm2) 100 | Sensibilidade a 633 nm: (μ J/ cm2) 100 |
| Tamanho do grão (média) 40 nm | Tamanho do grão: 35/ 44 nm |
| Poder de resolução: mais de 3 000 linhas/ mm | Poder de resolução: 5 000 linhas/ mm |

#### 4.5.2.1.4 PROCESSAMENTO QUÍMICO DAS EMULSÕES PFG-01

Como o trabalho incide sobre a obtenção de hologramas multicoloridos, em que a cor é obtida por manipulação da espessura da emulsão, a sua dureza, bem como um correcto procedimento químico, são da maior importância para se obterem hologramas de boa qualidade. Os resultados obtidos estão directamente relacionados com a escolha das soluções para o processamento químico. No caso da emulsão PFG-01, obtivemos resultados satisfatórios com dois reveladores: *Pirocrómio modificado* e *SM-6*, [141],[142], cuja composição das soluções é a seguinte:

[141] Estudo realizado no CETO-Centro de Ciências e Tecnologias Ópticas, Faculdade de Ciências, Universidade do Porto, no âmbito desta tese.
[142] Rosa M. Oliveira, L. M. Bernardo and J. L Pinto, *Multicolour holography: a comparative study*, in Holography 2000, SPIE Proceedings, Vol. 4149, pp. 113 a 121.

**Pirocrómio modificado**

| | |
|---|---|
| **Parte A** | |
| Pirogalol | 20 gr |
| Fenidona | 2 gr |
| Sódio Metabisulfito | 5 gr |
| Água destilada até | 0.5 l |
| **Parte B** | |
| Carbonato de Sódio | 130 gr |
| Água destilada até | 0.5 l |

Juntar 1 parte A + 1 parte B imediatamente antes de revelar. Não usar a solução mais do que uma vez.

**Revelador SM-6**

| | |
|---|---|
| Ácido Ascórbico | 18 gr |
| Hidróxido de Sódio | 12 gr |
| Fenidona | 6 gr |
| Fosfato de Sódio Dibásico | 28.4 gr |
| Água destilada até fazer | 1 l |

**Branqueador PBU-amidol**

| | |
|---|---|
| Persulfato de Potássio | 10 gr |
| Ácido Cítrico | 50 gr |
| Brometo de Cobre | 1 gr |
| Brometo de Potássio | 20 gr |
| Amidol | 1 gr |
| Água destilada até fazer | 1 l |

Nota importante: o branqueador *PBU-amidol* deve ser feito com algumas horas de antecedência a fim de estabilizar. A cor inicial é um violeta escuro, clareando lentamente até um azul-água muito claro. Pode-se guardar em armazém por alguns dias.

Procedimento a seguir: a) Revelação em SM-6 min; b) banho de paragem-2 a 3 min; c) branqueamento em PBU- amidol- até ficar transparente; d) lavagem em água corrente filtrada-10 a 20 min; e) banho final em água com Agepon-1 min. Secar à temperatura ambiente.

Após algumas experiências, o Pirocrómio modificado foi abandonado por duas razões principais: a) a cor acastanhada do holograma, dada pelo *Pirogalol* que entra na composição do revelador, e que interfere com o comprimento de onda de reconstrução e b) uma menor eficiência de difracção. Assim, foi escolhido o revelador SM-6, como o que apresentava o melhor desempenho: revelação com boa eficiência de difracção e não interferência visível na reconstrução da cor do holograma.

Nas fig.74 e 75, é possível ver as diferenças da percentagem de eficiência de difracção obtida, para uma exposição de 37 μJ/cm2.

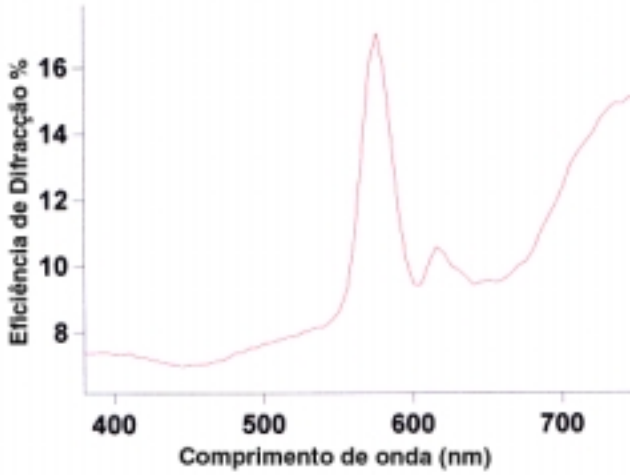



Fig. 74- Eficiência de difracção medida em função do comprimento de onda, para uma placa revelada com Pirogalol modificado. Estudo realizado no CETO, no âmbito desta tese.

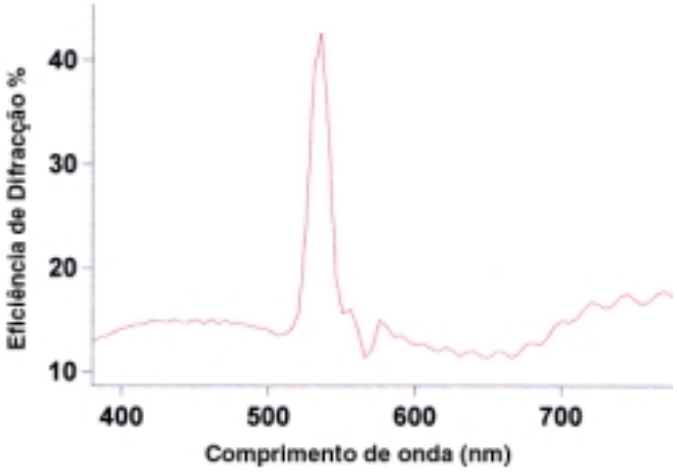



Fig. 75- Eficiência de difracção medida em função do comprimento de onda, para uma placa revelada com SM-6. Estudo realizado no CETO, no âmbito desta tese.

Apesar de os autores do relatório GEOLA afirmarem não ser necessário proceder ao branqueamento dos hologramas, nas especificações técnicas da HOLO.TREND[143], outra empresa fornecedora de material Slavich, consta um gráfico da eficiência de difracção das placas (Fig. 76).

[143] HOLO.TREND, PHOTOPLATES FOR HOLOGRAPHY, Holography Center Austria, Kahlenbergstrasse 6, A-3042 Wurmla.

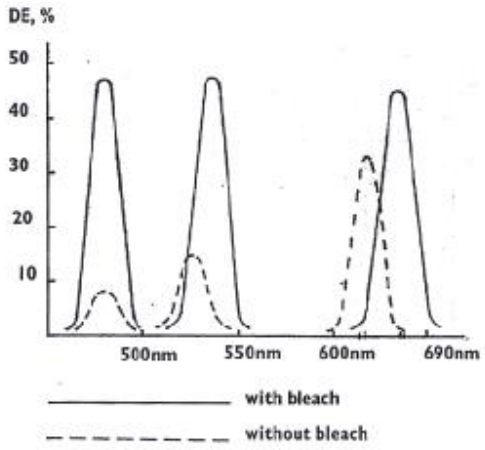



Fig. 76- Gráfico da eficiência de difracção obtida em hologramas branqueados e não branqueados, em materiais Slavich. (Nota 143).

Nele é possível ver que a eficiência de difracção dos hologramas não branqueados é de menos de 10%, para sensibilidades espectrais de menos de 500 nm, cerca de 15% para sensibilidades espectrais entre 500 e 550 nm e cerca de 35% para sensibilidades espectrais entre 600 e 690 nm. Nos hologramas branqueados, a eficiência de difracção é de cerca de 45% para todas as sensibilidades espectrais.

### 4.5.2.2 ESCOLHA DOS MATERIAIS: PLACAS OU FILME?

Para este trabalho foram seleccionadas as emulsões fotográficas. Quaisquer das emulsões testadas são apresentadas em placas e filme. As placas, de vidro coberto da emulsão, apresentam-se em diferentes tamanhos, normalmente standard. Os tamanhos maiores podem atingir preços muito elevados por placa, tornando-se incomportáveis num trabalho de investigação desta natureza, o que leva a uma certa limitação das dimensões dos hologramas apresentados como propostas estéticas.

Por outro lado, dado que em artes visuais há a tradição e a necessidade de apresentar trabalhos com alguma dimensão, experimentámos a emulsão sobre filme, apresentada em folhas ou em rolo, podendo este ser cortado com dimensões semelhantes às normalmente usadas em outras técnicas visuais. Outra vantagem seria o preço, bastante mais acessível.

Apesar das emulsões em filme apresentarem resultados idênticos aos das emulsões em placas, no que diz respeito aos comprimentos de onda obtidos - fizemos medições que assim o comprovam-, o mesmo já não acontece relativamente à qualidade da imagem. As vantagens do filme sobre as placas rapidamente desapareceram, perante a impossibilidade de conseguir que o filme tivesse estabilidade suficiente durante o registo do holograma.

Quando se utiliza o filme, e dadas as necessidades de estabilidade em holografia, tem que ser colocado num vidro, que o suporte. O contacto entre a folha do filme e o vidro não é absolutamente completo, ficando uma camada de ar entre os dois. Como o índice de refracção do ar é inferior ao do vidro e do filme, isso causa reflexões indesejadas, o que interfere com a qualidade da imagem. Usa-se, então, um tipo de líquido com um índice de refracção da luz o mais possível idêntico ao do vidro (1.51), do filme (base de triacetato= 1.485; base de polyester = 1.6) e da gelatina da emulsão (1.64), chamado *index matching*, com o objectivo de reduzir as reflexões indesejadas $n_m = \sqrt{n_1 n_2}$ . Além desta condição, também é indispensável que não afecte a emulsão holográfica, nem o material usado para o suporte.

O uso do *index matching* implica a eliminação cuidadosa de todas as bolhas de ar aprisionadas entre o filme e o vidro ou vidros e de todos os vestígios do líquido nas superfícies que recebem luz, acrescentando dificuldades ao seu manuseamento.

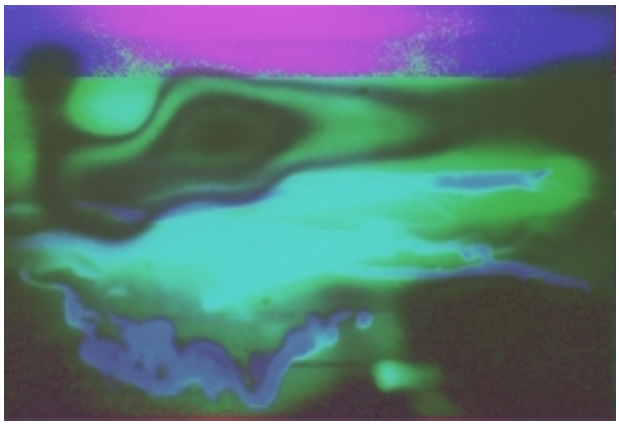
Foram os seguintes, os líquidos de *index matching* empregues: *Tricloetileno*= 1.478; *Óleo Mineral*= 1.475; *Glicerina Líquida*= 1.475[144].

O uso destes produtos demonstrou ser insuficiente para fazer aderir o filme ao vidro, eliminando assim as reflexões indesejadas e, ao mesmo tempo, o movimento do filme durante a exposição. Os resultados não foram bons a nível da qualidade da imagem, que apresentou sempre manchas escuras apesar de, nos locais onde ficou registado o holograma, a cor ser conforme o esperado (fig. 77). No caso da glicerina, embora fosse suficientemente espessa e

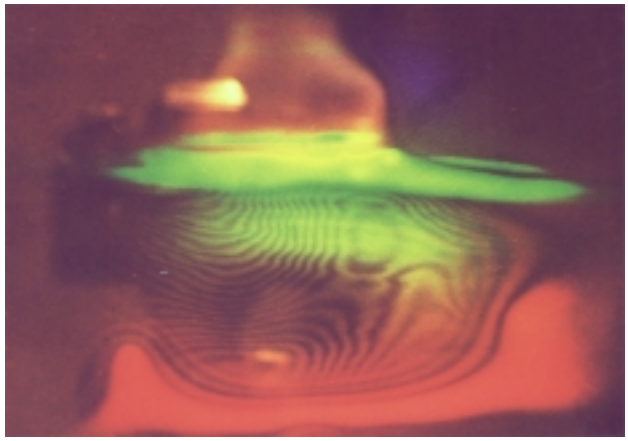
[144] BJELKHAGEN, H. I., *Silver-halide Recording Materials for Holography and Their Processing*, Springer Series in Optical Sciences, Spring-Verlag, 1993, pp. 238-240.

coladiça para segurar o filme e não o deixar mover-se, assistiu-se a outro problema, que foi a impossibilidade de eliminar todos os vestígios de glicerina sobre a superfície do vidro, tendo ficado registados no holograma.

No entanto, talvez o problema do movimento durante a exposição ficasse resolvido com o uso de um suporte para o filme, construído de tal maneira, que este pudesse ser seguro por meio de vácuo. Apesar de não ter sido possível testar esta ideia, um suporte deste tipo resolveria o problema da estabilidade e também eliminaria a necessidade do uso de *índex matching*, por não haver ar entre o vidro e o filme e estes terem índices de refracção semelhantes.



(a)



(b)

Fig 77– (a) e (b). Imagens de dois hologramas registados em filme.

## 4.6 SUBSTÂNCIAS USADAS PARA ALTERAR A ESPESSURA DA EMULSÃO

Neste trabalho, realizado em emulsões sensíveis à radiação do vermelho, foram utilizadas: a água, a Ureia e a Triethanolamina (TEA), para alterar a espessura da emulsão.

Assim, no nosso trabalho observou-se que: a *Água*, a que se adiciona um pouco de "wetting agent" (no nosso caso Agepon), a fim de ajudar a espalhar a água com uniformidade, aumenta a eficiência do holograma, mas não altera significativamente o comprimento de onda inicial.

A *Ureia*, conforme pudemos constatar no estudo feito na Universidade de Alicante, altera bastante o comprimento de onda de reconstituição, podendo essa alteração atingir comprimentos de onda entre o verde esmeralda e o azul. Esta substância actua na emulsão, tornando-a mais mole e permitindo que o revelador actue mais facilmente. É necessário, no entanto, utilizá-la com cuidado, porque foi observado que, devido a causas que não foi possível identificar, pode produzir uma cristalização da emulsão e, assim, arruinar o holograma.

É, sobretudo, a *Triethanolamina* dissolvida em água, que é utilizada. É um líquido incolor e viscoso, miscível em água, que necessita de ser mexido continuamente durante vários minutos antes de estar suficientemente homogéneo. Em diferentes proporções, actua em todos os comprimentos de onda, que variam com o grau de concentração da solução. A mesma solução de TEA pode ser utilizada várias vezes, sem problema. Há, porém, que ter em atenção que a solução age como meio de cultura para bactérias e fungos, pelo que deve ser substituída sempre que isso aconteça.

A concentração necessária à obtenção dos vários comprimentos de onda não é sempre igual. Os factores responsáveis por essa variação são o tipo de emulsão e, dentro desta, o lote da emulsão, o tipo de processamento utilizado, e mesmo a temperatura das concentrações de TEA e dos reveladores e branqueadores.

Além de alterar a espessura da emulsão holográfica, a TEA aumenta também a sua sensibilidade num factor de 3 ou mais. Sendo a sua sensibilidade de 100 μJ/ cm2 quando seca,

depois de mergulhada em TEA, necessita apenas de 37 μJ/ cm2 para apresentar alta eficiência de difracção (ver Cap. V, secção 5.2 e seguintes). Se, por um lado, isso é benéfico quando se utiliza um laser de He-Ne, que normalmente é de baixa potência, por outro, é necessário que se tome muito cuidado para que não se verifique uma sobre-exposição da emulsão, sobretudo quando o holograma é de múltipla exposição.

A maioria da holografia multicor em hologramas de reflexão é obtida por técnicas de pseudocor, que envolvem o pré inchamento da emulsão antes de a expor e, por vezes, a mudança do ângulo de referência para um registo correcto de diferentes cores, como já foi dito anteriormente. Basicamente, é necessário registar os hologramas por sucessivas exposições, depois de banhos em diferentes soluções de pré inchamento da emulsão.

Embora seja possível, como também já foi dito, obter a cor real de um objecto pelo método da tricomia, usando um laser para cada comprimento de onda registado, o método usado para realizar este trabalho foi o da obtenção de cores não reais, chamadas *pseudocores*, o qual permite criar imagens policromáticas, embora as cores não correspondam à cor real do objecto holografado.

Na minha opinião, este método é o que permite obter resultados mais interessantes a nível estético; por isso, todo o trabalho realizado foi nesse sentido. Esta afirmação reside no facto de assim se poderem realizar hologramas de uma maneira mais pessoal e expressiva, compensando alguma rigidez da tecnologia.

# CAPÍTULO V

## 5. TRABALHO PRÁTICO

*"Desejo um dia que esteja claro e radiante e longo, e uma noite de tranquilidade. E luz que inunde tudo e que não seja eu quem pinte, mas a luz".*

Otto Piene

Ao longo deste trabalho, teve-se sempre em conta que a parte de realização prática seria o culminar de toda a investigação. Toda ela foi desenvolvida em ordem a obter um trabalho final na área da holografia criativa, em que a cor fosse controlada dentro dos limites impostos pela própria tecnologia.

Tendo como base a emulsão Agfa 8E 75 HD, já bastante estudada, partimos para o uso da emulsão Slavich PFG-01, mal estudada e cujas informações técnicas não se mostraram fiáveis em vários parâmetros, nomeadamente no que respeita à alteração dos comprimentos de onda.

### 5.1 MONTAGEM USADA NO REGISTO DOS HOLOGRAMAS

A montagen escolhida para o registo dos hologramas finais foi uma simples geometria de reflexão, com o feixe objecto focado num vidro despolido. Esta montagem teve como objecto uma zona de luz que, atravessando um vidro despolido, incidia na placa holográfica, como é possível ver pelo esquema da fig. 78 e pelas fotografias de vários ângulos da montagem (fig. 79, 80 e 81). Foi utilizada para registar todas as séries dos hologramas de

reflexão multicoloridos, variando apenas as máscaras utilizadas para isolar da luz partes da placa holográfica.

Como a direcção da polarização do laser em hologramas de reflexão é muito importante, tivemos que introduzir na montagem, à saída do laser, uma lâmina retardadora de $\lambda/2$, a fim de rodar o plano de polarização e obter, assim, uma direcção da luz *p-polarizada*, cuja reflexão é menos forte do que a luz *s-polarizada*[145]. Com este procedimento, pretendemos obter a máxima eficiência de difracção. Caso contrário, as franjas de interferência indesejáveis aparecem com muito contraste, o que prejudica a qualidade da imagem final.

[145] SAXBY, Graham, *Manual of Practical Holography*, Focal Press, 1991, pp. 30, 31.

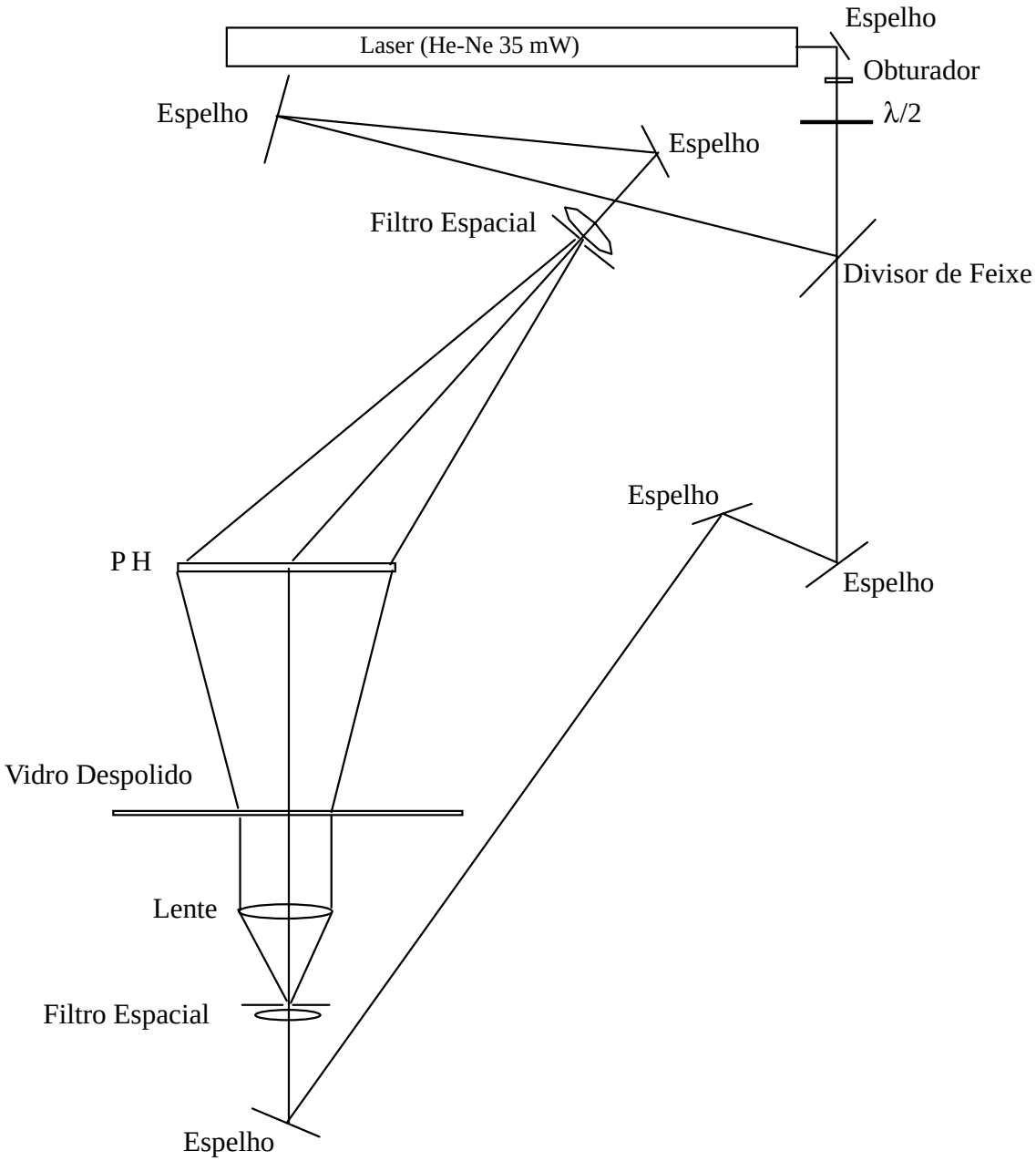
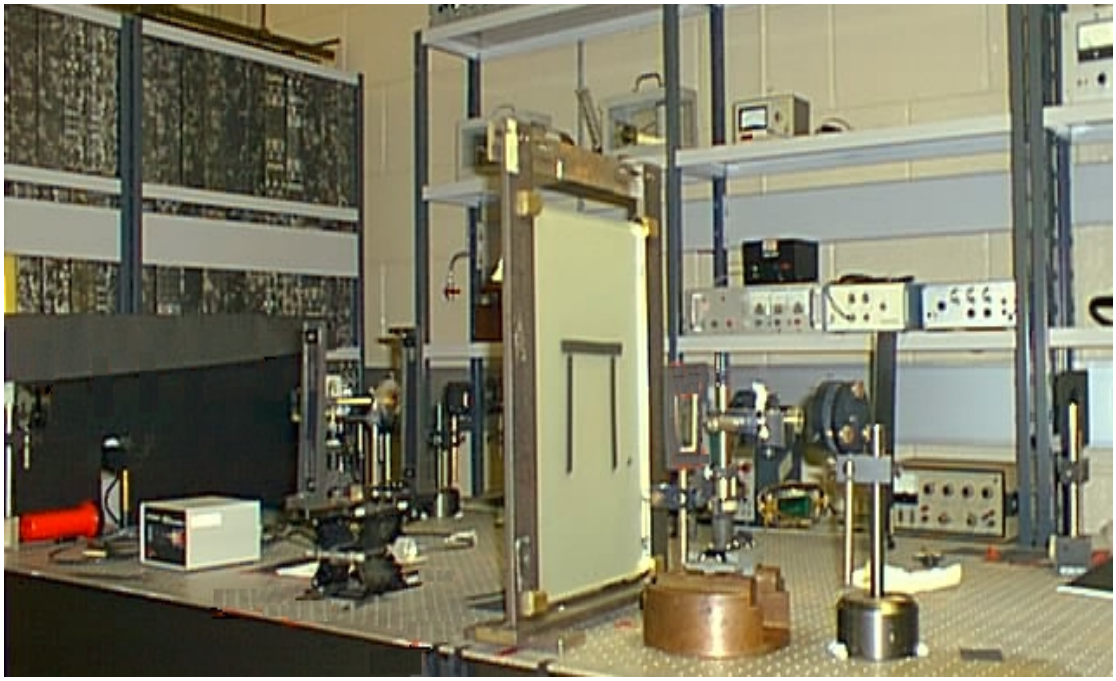
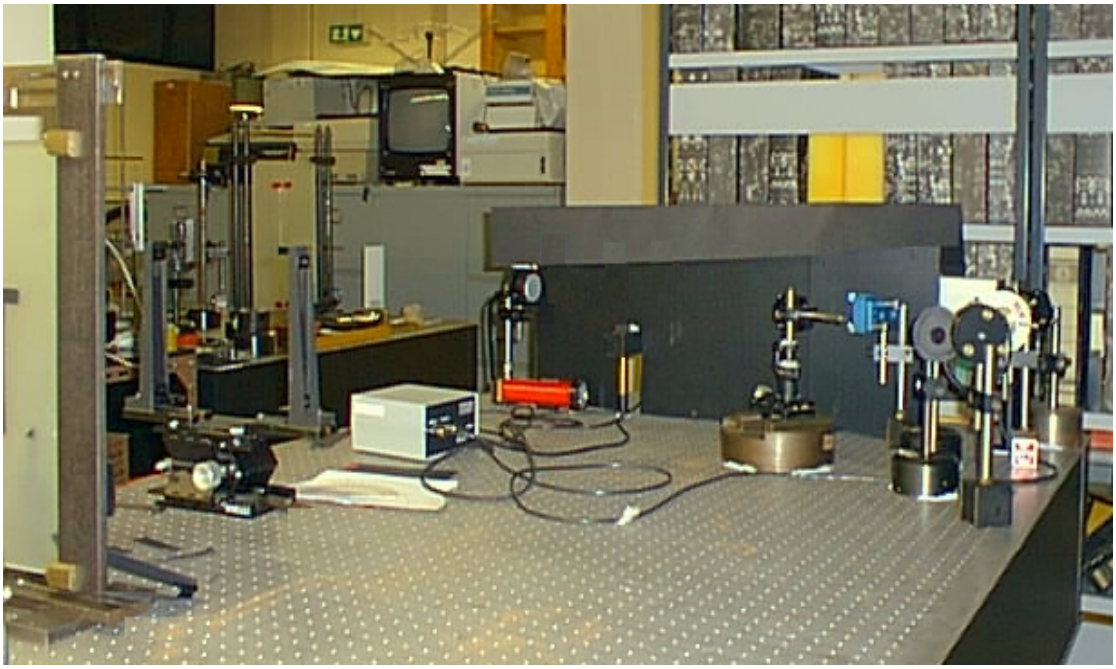



Fig. 78- Montagem usada para o registo dos hologramas de reflexão multicoloridos.



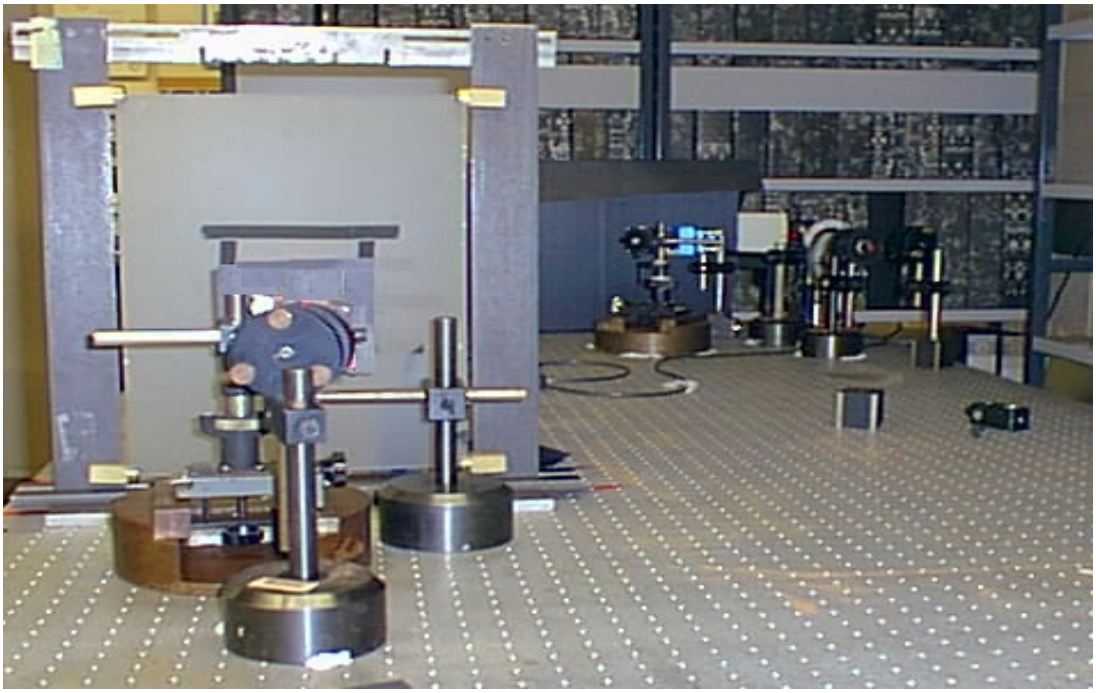
a)



b)

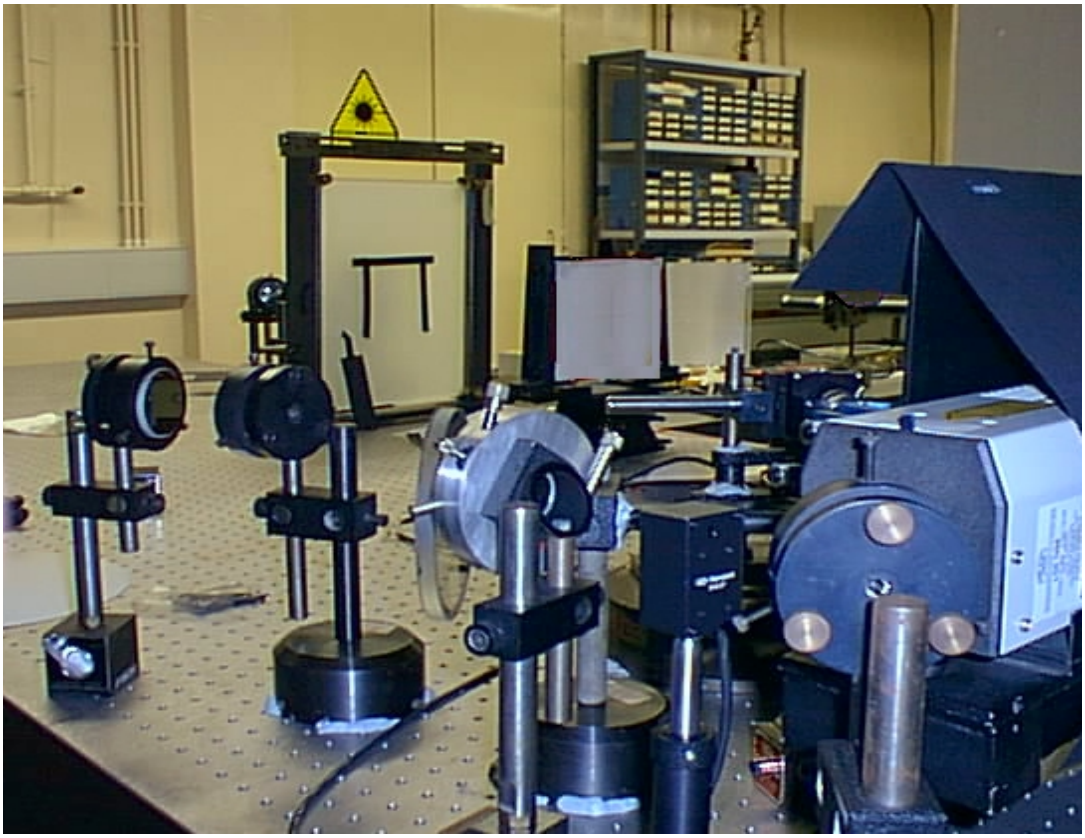
Fig. 79- a) e b) Fotografias de diferentes vistas da montagem usada para o registo dos hologramas de reflexão multicoloridos.

c)



d)

Fig.80- c) e d) Fotografias de diferentes vistas da montagem usada para o registo dos hologramas de reflexão multicoloridos.



e)

Fig.81- Fotografia da montagem usada para o registo dos hologramas de reflexão multicoloridos.

## 5.2 MANIPULAÇÃO DA ESPESSURA DA EMULSÃO

Como já foi dito anteriormente, para se modificar a espessura da emulsão e, assim, modificar os comprimentos de onda de modo a obter hologramas multicoloridos, é necessário proceder a um pré inchamento (preswelling) da emulsão.

Para isso, é necessário mergulhar a placa, no todo ou em partes, em diferentes concentrações de produtos químicos, sendo a substância mais usada neste procedimento a *Triethanolamina* (TEA). Além da TEA, também a água, a que se adicionam umas gotas de

sabão (wetting agent) para que se espalhe mais uniformemente, tem um papel importante neste procedimento.

Neste caso, resolvi também “pintar” a emulsão com as diferentes concentrações que obtive, cada uma para seu comprimento de onda, como se o estivesse a fazer com tintas invisíveis. Usei neste procedimento pincéis de pelo de marta, muito macios, para evitar danificar a emulsão.

A razão para pintar a emulsão e não mergulhar apenas a placa, é o meu interesse em contrariar o efeito de uma certa rigidez dos trabalhos realizados em holografia, e tentar introduzir uma técnica que preserve a frescura e a espontaneidade do traço e da mancha. Assim, cada holograma é uma obra única e, por mais que se tente, não se conseguem produzir dois hologramas iguais.

Fig.82- Frascos com soluções de TEA e parte dos instrumentos de trabalho necessários à manipulação da emulsão.

Depois de mergulhar ou pintar a emulsão, é necessário escorrer a placa com um rodo (squeegee) de borracha, de maneira a não danificar a emulsão, deixar secar e limpar muito bem o vidro da placa antes de a expor à luz. Todas estas operações têm de ser feitas às escuras, ou com o auxílio de uma luz de segurança, de baixa intensidade, de cor verde, cor a que a emulsão usada não é sensível.

As concentrações necessárias para obter os diferentes comprimentos de onda em placas Agfa 8E 75 HD já tinham sido propostas por John Kaufman, cujo procedimento está descrito em vários artigos e é um pouco diferente do utilizado neste trabalho. Nas placas Agfa que trabalhámos, usámos as concentrações propostas por Kaufman, mas para obter a cor vermelha, aumentando a sensibilidade da placa, sem mudar o seu comprimento de onda, utilizou-se água com um "wetting agent", (*Agepon*). Este procedimento proporcionou hologramas com muito mais eficiência de difracção no vermelho, do que a obtida quando se utilizaram as placas secas, isto é, sem as pré inchar antes de expor.

**QUADRO VI**

| **Agfa (Holotest 8E 75 HD)** | | | |
|---|---|---|---|
| **Tpo banho(min)** | **Conc. TEA %** | **λ (nm)** | **Cor** |
| 5 | Água c/ Agepon | (para aumentar a sensibilidade) | Vermelho |
| 5 | 3. 5 % | 570-580 | Amarelo |
| 5 | 10% | 487- 510 | Verde |
| 5 | 13. 5% | 430- 487 | Azul |
| 5 | 17 % | 400- 430 | Violeta |

Apesar de os processamentos químicos usados por Kaufman (Revelador D 19+ Branqueador PBQ ou EDTA) serem diferentes dos que usámos (PicAAC+ EDTA+ R-9), os comprimentos de onda de reconstrução não se alteraram significativamente, correspondendo ao que era esperado.

No entanto, verificou-se que as concentrações de TEA utilizadas nas placas Agfa para a obtenção das diferentes cores não eram as correctas para a obtenção de comprimentos de onda idênticos, nas emulsões Slavich.

Já tínhamos detectado algumas diferenças nas emulsões de ambos os materiais. Assim, verificámos que as emulsões Agfa são claramente mais duras do que as Slavich, havendo que ter muito cuidado com estas últimas, para que a emulsão não inche demasiado ou se descole do vidro. O escorrimento também deve ser muito cuidadoso, dada a sua brandura.

Enquanto que para as emulsões Agfa, é requerido um período de, pelo menos, 5 minutos (min) para que a solução penetre na emulsão e a inche o suficiente para mudar o comprimento de onda, no caso das emulsões Slavich, 2 a 2,5 minutos são suficientes para alterar a espessura da emulsão e, consequentemente, o comprimento de onda.

O tempo de banho e as correctas concentrações de TEA foram cuidadosamente testados, começando por baixas concentrações de TEA e pouco tempo de banho, aumentando progressivamente até serem encontradas as soluções adequadas e o tempo necessário. Esta testagem também teve que ser realizada para obter uma maior eficiência para a cor vermelha (fig. 83). Neste gráfico apresentam-se os valores e os tempos de pré inchamento necessários para uma boa eficiência no vermelho, mais equilibrada em relação à eficiência conseguida com TEA a 3% (amarelo esverdeado), do que a obtida sem pré inchar a emulsão.

Verificou-se também que, uma vez encontrada a solução correcta, banhos com tempos mais longos não produziam melhores resultados na obtenção das cores pretendidas, aumentando o risco da emulsão descolar do vidro. Os resultados obtidos podem ser vistos no QUADRO VII.

**QUADRO VII**

| Slavich PFG-01 | | | |
|---|---|---|---|
| **Tpo banho (min)** | **Concent. de TEA %** | **λ (nm)** | **Cor** |
| 2.5 | Água e Agepon | 635- 625 | Vermelho |
| 2.5 | 1.5% | 610- 605 | Laranja |
| 2.5 | 2% | 595- 580 | Amarelo |
| 2.5 | 3.5% | 555- 550 | Verde Amarelado |
| 2.5 | 5% | 540- 535 | Verde |
| 2.5 | 9% | 520- 490 | Ciano |
| 2.5 | 10% | 460- 455 | Azul |
| 2.5 | 13.5% | 430- 420 | Violeta |

Apesar dos resultados obtidos, há que ter em atenção alguns factores muito difíceis de controlar, e que influenciam o resultado final. Assim, a pressão, maior ou menor, exercida sobre a emulsão no momento do escorrimento (squeegee), bem como a dureza da borracha utilizada para o efeito, podem alterar o resultado final do holograma. Por isso, podem-nos surgir pequenas diferenças no comprimento de onda de reconstrução; algumas são tão pequenas, que apenas são perceptíveis pelo espectrofotómetro.

Há também o risco de, se não se aplicar a força suficiente, a emulsão ficar com rastos de outra cor, devido à solução não ser eficazmente retirada em toda a superfície do holograma. No caso dos hologramas criativos, isso pode ter mais ou menos importância, dependendo do tipo de composição do holograma. Mas se o holograma exigir um grande rigor na composição, este facto pode afectar bastante. De qualquer modo, não deixa de ser um problema técnico, já que foge ao controlo do experimentador.

Neste estudo, os hologramas realizados são simples redes de difracção, dado que a preocupação maior era conhecer o comportamento do material em função do requerido: alteração da espessura da emulsão e obtenção de diferentes cores com boa eficiência.

### 5.2.1 EFICIÊNCIA DE DIFRACÇÃO

A Eficiência de Difracção obtida nas emulsões Slavich, depois de serem pré inchadas, atingiu percentagens bastante altas. Um dos factores que contribuiram para esses resultados, foi o efeito da TEA nas emulsões.

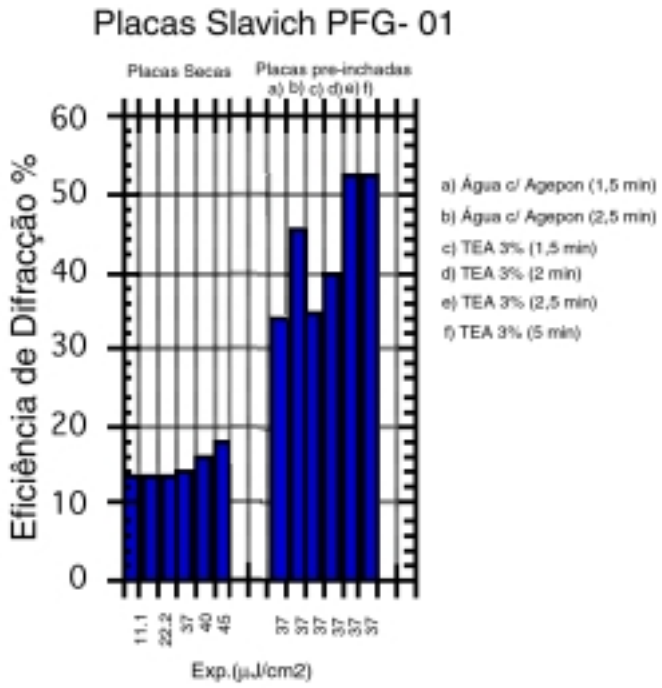



Fig.83- Gráfico da Eficiência de Difracção % do material Slavich PFG-01 em diferentes condições: placas secas (expostas sem pré inchamento) e expostas após serem pré inchadas. Pré inchamento com Água c/ Agepon (vermelho) e TEA 3% (amarelo esverdeado). Estudo realizado no CETO, no âmbito desta tese.

Já referenciada como tendo sobre as emulsões Agfa uma acção hipersensibilizadora de cerca de duas vezes[146],[147], nas emulsões Slavich essa acção parece ser ainda maior. Nestas emulsões obtivemos, em condições de exposição adequada, percentagens de eficiência de difracção, que variam entre 32, 5% e 54, 39%. No caso das emulsões Agfa, as percentagens situam-se entre 15,5% e 24,9%, com necessidade de tempos de exposição superiores.

Em ambas as emulsões- Agfa e Slavich-, usou-se o pré inchamento com água e umas gotas de *Agepon*, para aumentar a sensibilidade da emulsão na área da radiação do vermelho. Desta maneira, a eficiência de difracção do vermelho (fig. 84), em comparação com a das outras cores (fig. 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91), ficou equilibrada.

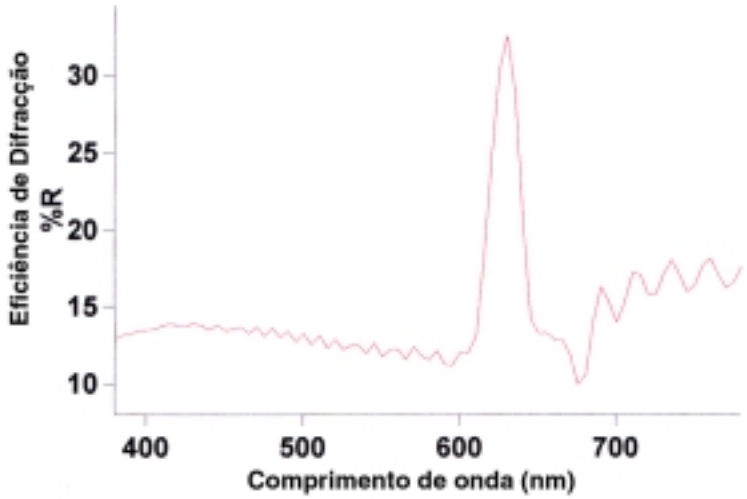



Fig.84- Gráfico de Eficiência de Difracção medida em função do Comprimento de onda, λ= 630 nm e eficiência máxima= 32,5% (Vermelho). Estudo realizado no CETO, no âmbito desta tese.

[146] SAXBY, Graham, *Manual of Practical Holography*, Focal Press, 1991, p. 50.
[147] BJELKHAGEN, H.I., *Silver-Halide Recording Materials for Holography and Their Processing*, Springer Series in Optical Sciences, Spring-Verlag, 1993, p. 222.

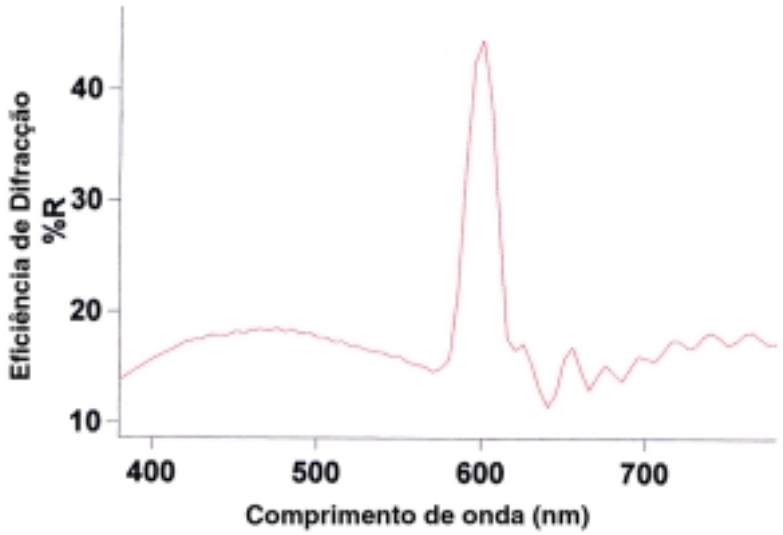



Fig.85- Gráfico de Eficiência de Difracção em função do Comprimento de onda, λ= 600 nm e eficiência máxima= 44,4%, (Laranja). Estudo realizado no CETO, no âmbito desta tese.

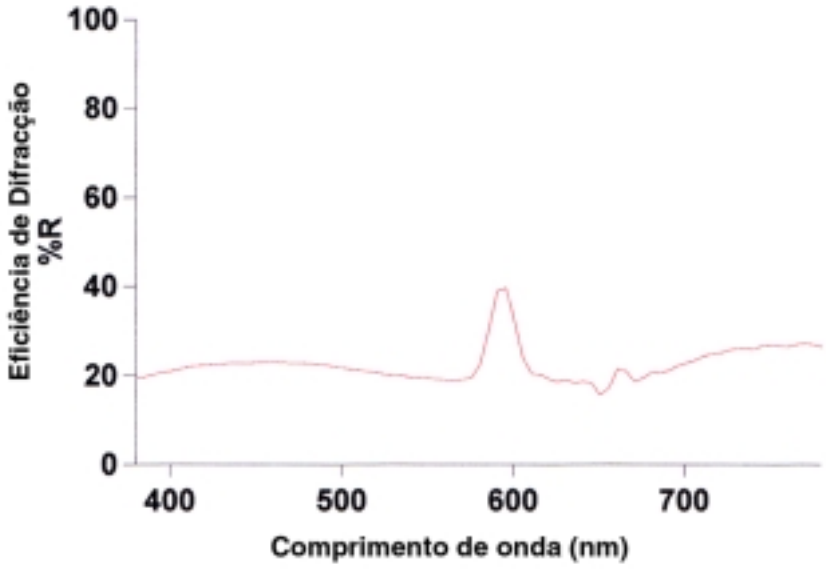



Fig.86- Gráfico de Eficiência de Difracção em função do Comprimento de onda, λ= 595 nm e eficiência máxima=39,7% (Amarelo). Estudo realizado no CETO, no âmbito desta tese.

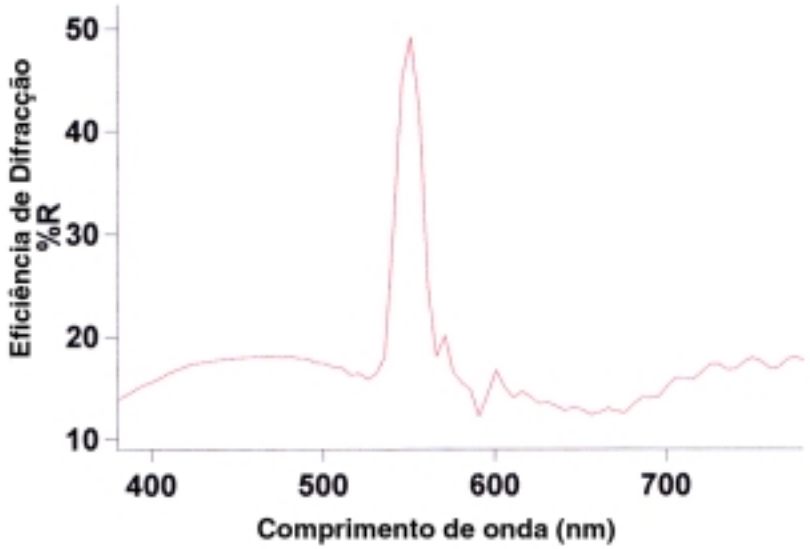



Fig.87- Gráfico de Eficiência de Difracção em função do comprimento de onda, λ= 550 nm e eficiência máxima= 49,1% (Verde amarelado). Estudo realizado no CETO, no âmbito desta tese.

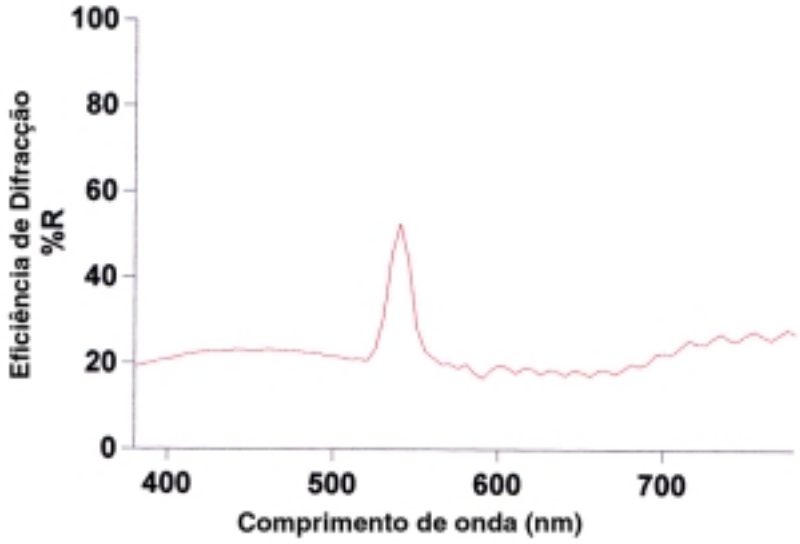



Fig.88- Gráfico de Eficiência de Difracção em função do Comprimento de onda, λ= 540 nm e eficiência máxima= 52,5% (Verde). Estudo realizado no CETO, no âmbito desta tese.

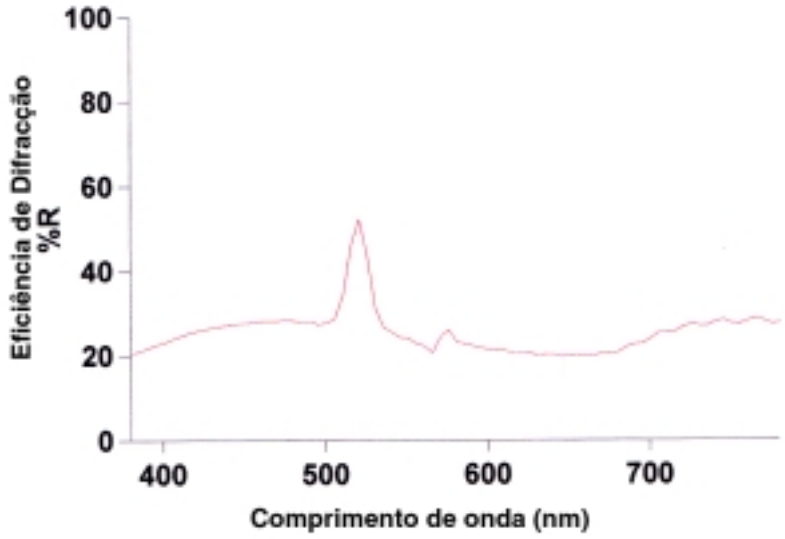



Fig.89- Gráfico de Eficiência de Difracção em função do Comprimento de onda, λ= 520 nm e eficiência máxima= 52,2% (Ciano). Estudo realizado no CETO, no âmbito desta tese.

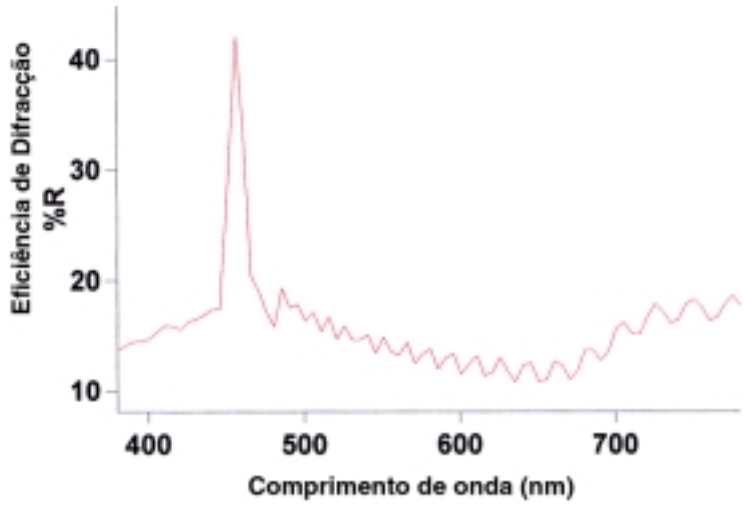



Fig.90- Gráfico de Eficiência de Difracção em função do Comprimento de onda, λ= 455 nm e eficiência máxima= 42% (Azul). Estudo realizado no CETO, no âmbito desta tese.

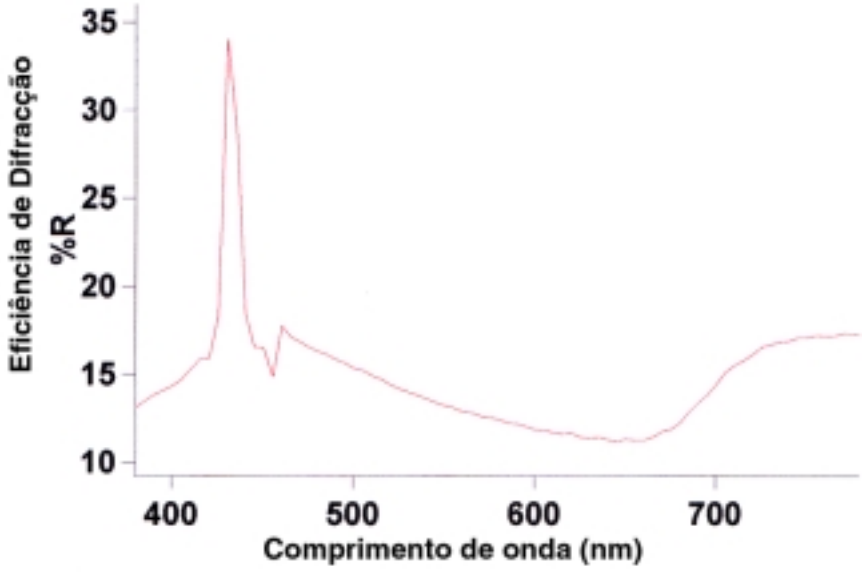



Fig.91- Gráfico de Eficiência de Difracção em função do Comprimento de onda, λ= 430 nm e eficiência máxima= 34% (Violeta). Estudo realizado no CETO, no âmbito desta tese.

As cores espectrais primárias obtêm-se apenas com uma exposição, bem como todas as cores resultantes de mistura de duas primárias, excepto o Magenta. Para se obter esta cor, é necessário proceder a uma dupla exposição. Também o Amarelo e o Ciano se podem obter por dupla exposição. Estas cores serão vistas quando os dois grupos de franjas das cores primárias que as compõem, estiverem sobrepostos. O Branco, mistura das três primárias, aparecerá quando estiverem sobrepostos os três grupos de franjas, resultantes de uma tripla exposição. Os gráficos correspondentes a placas com mais do que um grupo de franjas, aparecerão com dois ou três picos.

No entanto, observou-se que estes hologramas exigem, para a sua leitura, um maior rigor no ângulo de iluminação, o que se compreende, já que se trata de cores compostas.

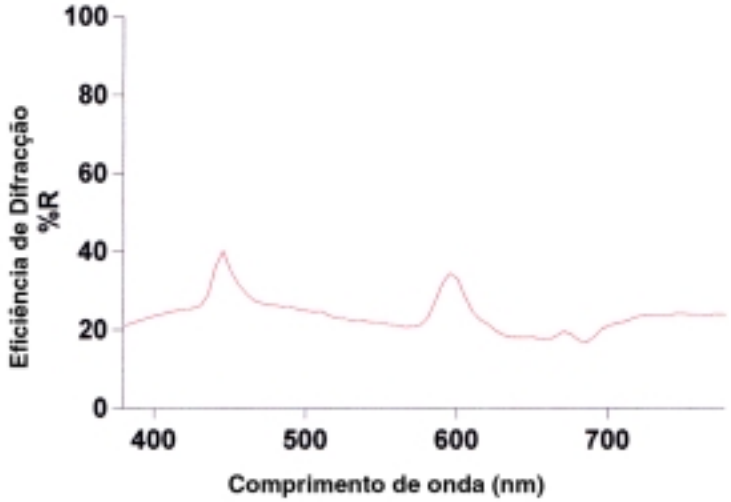



Fig.92- Gráfico de Eficiência de Difracção em função do Comprimento de onda, λ= 595 nm, com eficiência máxima= 34,5%; e λ= 445 nm, com eficiência máxima= 40,1% (Magenta). Como esta cor resulta de dupla exposição, o gráfico apresenta dois picos. Estudo realizado no CETO, no âmbito desta tese.

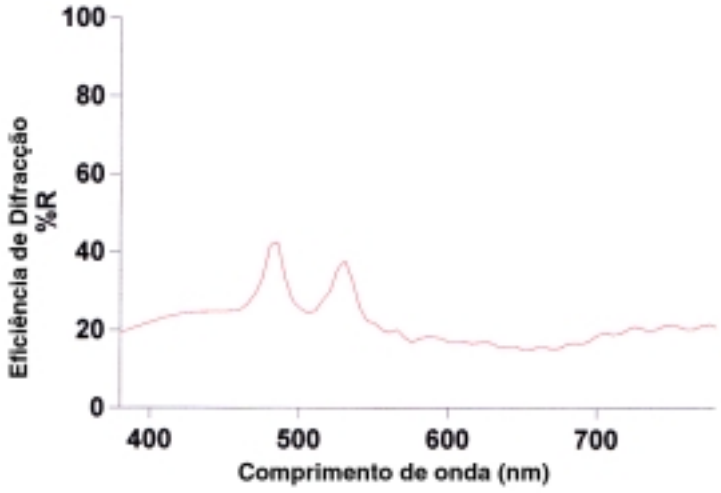



Fig.93- Gráfico de Eficiência de Difracção em função do Comprimento de onda, λ= 560 nm, com eficiência máxima=19,5%; e λ= 485 nm, com eficiência máxima= 42,4% (Ciano). Como esta cor resulta de dupla exposição, o gráfico apresenta dois picos. Estudo realizado no CETO, no âmbito desta tese.

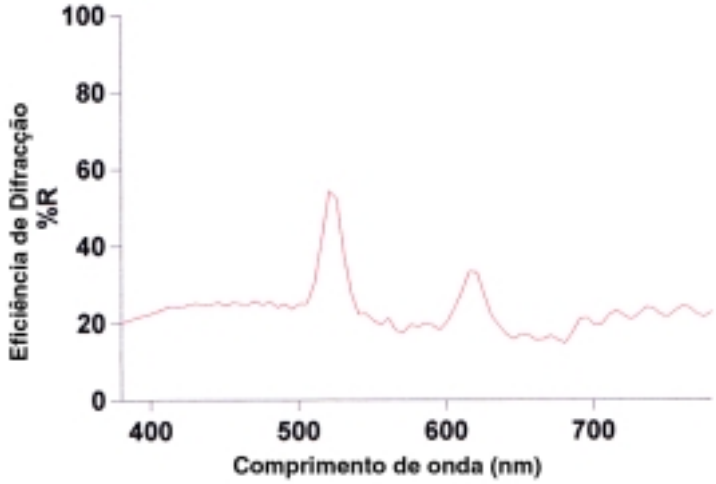



Fig.94- Gráfico de Eficiência de Difracção em função do Comprimento de onda, λ= 615 nm, com eficiência máxima= 33,4%; e λ= 520nm, com eficiência máxima= 54,3% (Amarelo). Como esta cor resulta de dupla exposição, o gráfico apresenta dois picos. Estudo realizado no CETO, no âmbito desta tese.

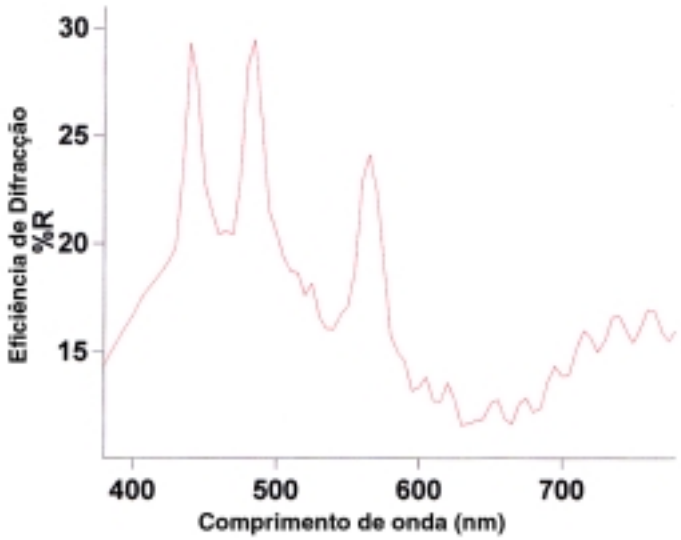



Fig.95- Gráfico de Eficiência de Difracção em função do Comprimento de onda, λ= 575 nm, com eficiência máxima= 33,3%; λ= 485nm, com eficiência máxima= 29,4%; e λ= 440 nm, com eficiência máxima= 29,2% (Branco). Como esta cor resulta de tripla exposição, o gráfico apresenta três picos. Estudo realizado no CETO, no âmbito desta tese.

### 5.2.2 TEMPO DE EXPOSIÇÃO

Como o pré inchamento aumenta a sensibilidade da emulsão, houve necessidade de encontrar o tempo de exposição correcto. Foram testados diferentes tempos de exposição, em hologramas realizados com simples redes de difracção, cujos resultados se encontram na figura 96.

É possível verificar que a melhor eficiência de difracção é obtida a 37μJ/cm2, decrescendo significativamente com tempos de exposição superiores.

Quando mais do que uma exposição tem lugar, este dado tem que ser levado em conta, para que não haja sobre-exposição de zonas da placa. Deve-se, por isso, ajustar o tempo de cada uma das exposições, de maneira a evitar o excesso de energia na parte da placa que recebe luz mais do que uma vez (fig.97), evitando, ao mesmo tempo, que as zonas que recebem menos energia, fiquem com eficiência de difracção muito reduzida. Na figura 97, podemos ver a eficiência de difracção (%) nas zonas onde a placa recebeu energia apenas uma vez (uma para o vermelho e outra para o azul) e na zona onde recebeu energia duas vezes (para produzir o magenta).

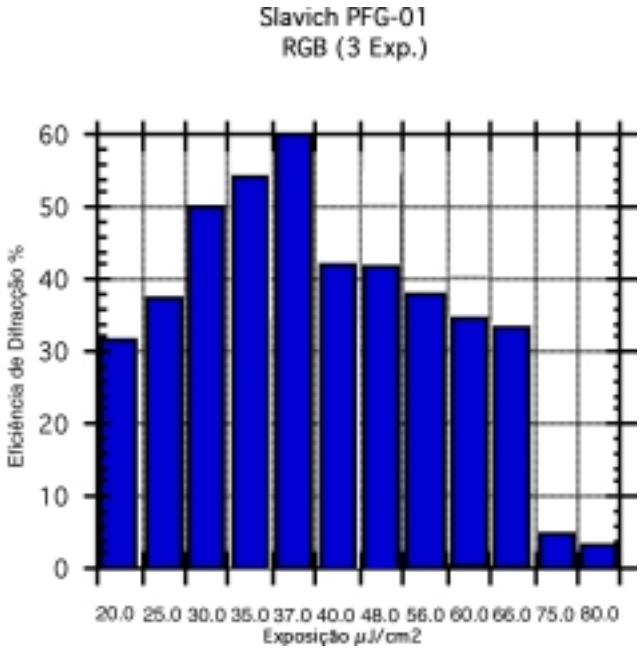



Fig.96- Gráfico de Eficiência de Difracção medida em função do Tempo de Exposição, em placas pré inchadas de modo a produzir cores e sujeitas a uma única exposição. Estudo realizado no CETO, no âmbito desta tese.

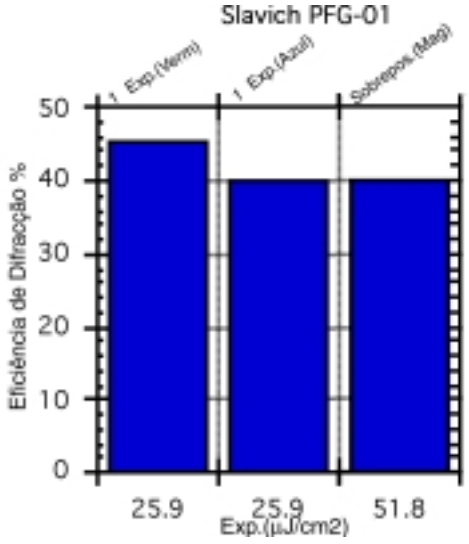



Fig.97- Gráfico de Eficiência de Difracção medida em função do Tempo de Exposição, numa placa pré inchada de modo a produzir diferentes cores e sujeita a dupla exposição. Estudo realizado no CETO, no âmbito desta tese.

Após vários testes, verificámos que os tempos de exposição necessários para obter resultados idênticos em hologramas deste tipo realizados em placas Agfa, são cerca do dobro dos tempos necessários para as placas Slavich. A maior dureza das emulsões Agfa é, provavelmente, a causa desta diferença de comportamento.

### 5.2.3 TEMPERATURA DOS BANHOS

Verificou-se também que a temperatura dos banhos, principalmente durante o período de pré inchamento, é extremamente importante na obtenção dos vários comprimentos de onda, afectando particularmente, a reconstrução das radiações de mais baixa frequência.

Esta verificação teve lugar durante a investigação, depois de algumas tentativas infrutíferas para repetir resultados já obtidos a uma temperatura de 25°C, mas agora em diferentes condições de temperatura (15°C). As radiações mais afectadas eram as do azul ao violeta, tornando-se muito difíceis de obter. Apesar das concentrações de TEA serem as correctas, os comprimentos de onda obtidos a esta temperatura situavam-se na área dos verdes.

Assim, foi necessário proceder a alguns testes, para descobrir quais as condições e em que circunstâncias, a temperatura afectava os resultados obtidos.

Os testes levados a efeito foram os seguintes:

a) colocar a placa processada numa estufa a diferentes temperaturas (25°C, 30°C e 35°C);
b) elevar a temperatura dos banhos a 25°C durante o processamento químico;
c) elevar a temperatura dos banhos de pré inchamento a 25°C.

Verificou-se que, das três hipóteses tomadas em consideração, apenas a hipótese c) apresentava ter influência decisiva na variação do comprimento de onda de reconstrução. Ao elevar a temperatura dos banhos de pré inchamento à temperatura a que se trabalhava anteriormente, podíamos obter todos os comprimentos de onda, com as concentrações habituais.

Em função dos dados que coligimos durante a investigação acerca do comportamento das emulsões, processamentos químicos adequados, manuseamento, montagem, temperatura dos banhos e tudo o que está associado à realização de hologramas com as características pretendidas, passou-se à realização dos hologramas apresentados na secção 5.4.

## 5.3 CONDIÇÕES DE ILUMINAÇÃO DOS HOLOGRAMAS

Normalmente, os hologramas de reflexão são iluminados pela frente, com a luz pontual, vinda de cima, incidindo sobre a placa num ângulo igual ao do feixe de referência usado no registo, para que o holograma seja visto com a máxima eficiência, cumprindo a condição de Bragg.

Devido à proximidade com o ângulo de Brewster, que para o vidro é 56°, convencionou-se, entre os práticos da holografia de imagem, que o ângulo mais apropriado para a iluminação dos hologramas deveria ser 45°. Além disso, devido ao estudo da Teoria das Sombras, com que os artistas estão familiarizados, há a convicção de que este ângulo proporciona a melhor leitura do holograma, dado que se evita a sombra da cabeça do observador sobre o holograma, o que impediria a sua visão.

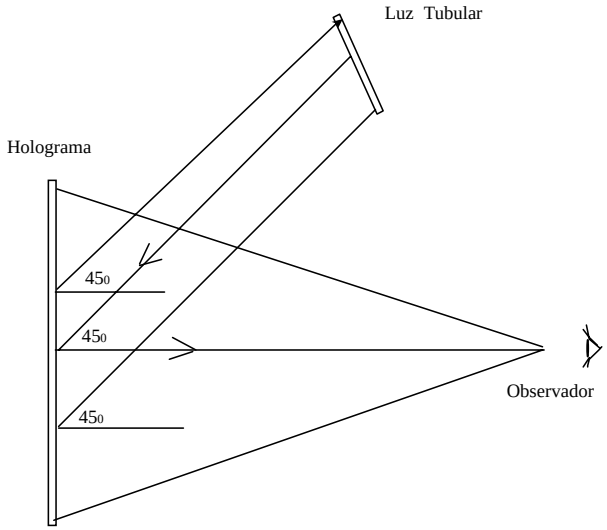



Fig.98- A luz, vinda de uma fonte de luz tubular, incide na placa holográfica segundo vários ângulos, sendo depois reflectida e permitindo que todas as cores sejam vistas ao mesmo tempo.

Esta convenção também facilita, a quem está a montar exposições de holografia, encontrar um ângulo idêntico para a iluminação de hologramas feitos por diferentes pessoas e em diferentes lugares do mundo.

Porém, os hologramas multicoloridos do tipo dos realizados pelo procedimento de pré inchamento da emulsão, não ficam perfeitamente iluminados, ao serem reconstituídos com luz pontual. Isto é, não podem ser vistas todas as cores ao mesmo tempo.

Como no registo, devido ao pré inchamento da emulsão, há um ângulo de Bragg para cada cor registada, na sua reconstituição é necessário que a luz incida no holograma segundo diferentes ângulos, para que a leitura das diferentes cores se faça ao mesmo tempo.

Esse problema normalmente é resolvido pela alteração dos ângulos da fonte de referência das várias cores, ou recorrendo a vários “truques”, como a inclinação do holograma cerca de 15° durante a reconstituição. Porém, neste caso, dado que há vários comprimentos de onda registados ao mesmo tempo, com ângulos de Bragg diferentes de cor para cor, essas soluções não podem ser aplicadas. O problema pode ser resolvido pelo uso de uma fonte tubular, em vez de uma fonte pontual, para a iluminação dos hologramas.

O uso de uma fonte tubular, fazendo a luz incidir sobre o holograma segundo diferentes ângulos, permite que todos os comprimentos de onda sejam reconstituídos e visíveis ao mesmo tempo (fig 98).

## 5.4 RESULTADOS-PINTAR COM LUZ

Sendo uma das mais importantes fontes de inspiração das tecnologias artísticas, a luz como elemento criativo foi, desde há muito, interpretada de múltiplas maneiras.

A escolha do título desta Dissertação, **Pintar com Luz**, deriva do facto de, na realidade, a matéria prima com que se trabalha em holografia, ser a luz.

Luz coerente, emitida por laser que, por interferência de duas frentes de onda, produz franjas microscópicas, onde é codificada toda a informação nela contida. Usando um suporte fotossensível (placa ou filme emulsionado), toda a informação que a luz contém, aí fica armazenada, invisível, até que novamente uma luz incidente num ângulo apropriado, revele aos olhos do observador a imagem que foi registada no holograma.

Depois de processado esse suporte, por um procedimento químico ou outro, dependendo do tipo de material usado, toda a informação registada fica armazenada, secreta, imaterial. Assim, a imagem holográfica é luz, apenas luz, registada e reconstruída por luz. Sem luz não se pode fazer o holograma; sem luz, não se pode ver a imagem existente no holograma.

Como a imagem holográfica é um registo de luz, qualquer objecto aí registado é uma ilusão da matéria. Em termos de realização formal, o objecto desmaterializado, que pode mudar e dissolver-se, ao poder reconstruir-se para a frente do plano do holograma, como no caso dos hologramas tridimensionais, permite uma invasão do espaço do observador, forçando-o a uma leitura dinâmica.

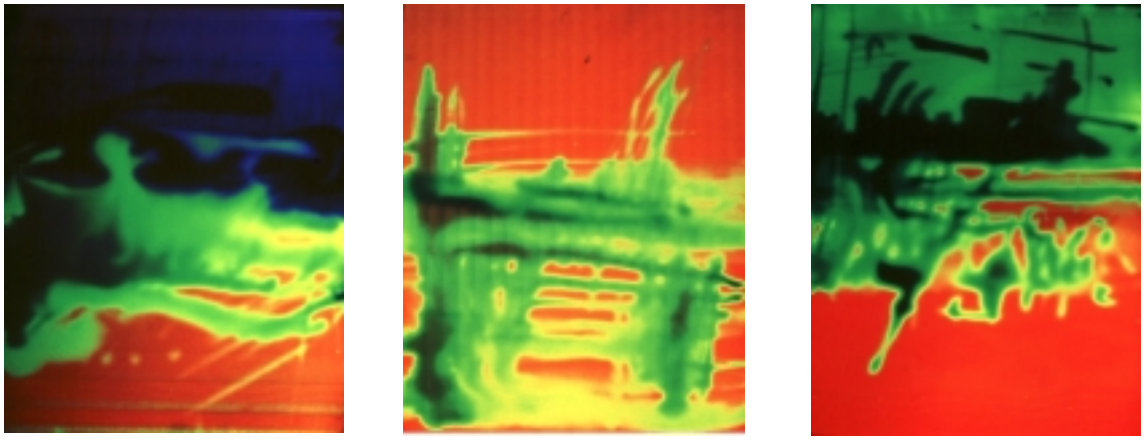
A imagem, desmaterializada, pode entender-se num movimento contínuo ou descontínuo, que muda com os sucessivos pontos de vista. A percepção das cores e do espaço de um holograma faz-se em planos, que podem destacar-se do suporte. São transparências multicoloridas continuamente mutáveis, permitindo adquirir expressões mais próximas da representação plástica.

O controle das cores está relacionado com a tecnologia holográfica, com a técnica usada para pintar e escorrer a emulsão, mas também com a temperatura ambiente, das soluções e dos banhos de processamento e também do tipo de processadores químicos usados. Além disso, as variações da humidade do ar existentes entre o momento do registo do holograma e dos lugares onde o holograma vai ser exibido, afectam a cor obtida.

Para se obterem as cores espectrais, é apenas necessária uma única exposição. Mas, quando o que pretendemos é uma cor não espectral, como o magenta, ou rosas, isso só é possível expondo uma mesma zona da placa mais do que uma vez.

Se a obtenção de um holograma com uma única exposição já coloca alguns problemas, um holograma com múltiplas exposições multiplica o risco de algo correr mal. Assim, este processo, além de exigir o uso de máscaras para que a luz não passe para zonas da placa onde iria causar efeitos não desejáveis na composição, requer que essas máscaras sejam rigorosamente ajustadas. O tempo de exposição também tem que ser cuidadosamente calculado, para que a quantidade de luz que chega à placa seja a adequada à obtenção de imagens com boa eficiência.

A diversidade das cores existente neste projecto foi conseguida “pintando” a emulsão com soluções apropriadas à sua obtenção. É possível obter toda a gama das cores espectrais (fig 99) dependendo, porém, de vários factores exteriores à prática artística e criativa.



a) b) c)

Fig 99-.(a, b, c) *Experiências*. Hologramas de Reflexão de luz branca multicoloridos. Dimensões: 10x12cm.

Como a técnica utilizada nestes hologramas é a pintura directa sobre a emulsão com diferentes soluções, a expressividade do gesto e da mancha é preservada, permitindo assim que cada holograma seja diferente dos outros e irrepetível.

Esta maneira de trabalhar, permite que, pela primeira vez, trabalhos com características de obra única se possam obter em holografia, abrindo novas perspectivas à Holografia Criativa.

### 5.4.1 AS *HOLOPINTURAS*

#### 5.4.1.1 Série "*Paisagens de Luz*"

Nos hologramas da série "**Paisagens de Luz"**, pretende-se uma multiplicidade dos planos, que se transformam numa unidade, em determinados ângulos.

Nesta série de trabalhos, obtidos em uma única exposição, privilegiaram-se a mancha de cor, as linhas orientadoras de atmosferas, de reflexos espectrais, de paisagens abstractas, feitas de luz mutável. O real é apenas sugerido e evocado pelas memórias anteriores do observador.

Foram realizados numa composição feita de linhas e cores. Pretende-se que o observador seja sensibilizado, atraído pelas imagens reveladas nos hologramas; que a imagem deixe marcas, que o faça reparar no máximo de pormenores, que volte atrás, e volte a ver, e descubra novas coisas que ainda não tinha vislumbrado. Que tenha curiosidade e inquietação, que seja tocado pela luz, pela cor, pelo tema. Que o que vê seja novo e simultaneamente conhecido, familiar, por ser redescoberto; que reconheça a sua própria experiência na unidade viva e mutável, orgânica e imaterial, que penetre na atmosfera do holograma, como num espaço múltiplo e quase infinito.

**"Paisagens de Luz"**, linhas que funcionam em registos de movimentos múltiplos, que sejam um hino à luz. À luz da manhã e do entardecer, reflectida nas águas e no ar, em tons doces e ardentes, vibrantes e crepusculares, como se todo um dia ficasse aprisionado no holograma, à espera de ser olhado, sentido.

Conforme o ângulo de visão, podemos ver zonas iluminadas ou sombrias. O contraste das linhas permite dar à luz todo o seu valor, transformá-la no elemento essencial, que dá vida, que dá valor a todo o conjunto, permitindo uma noção de grande espaço, apesar das dimensões reduzidas da placa holográfica.

A variedade da luz exprime-se pela compreensão das diferenças de valor das cores, consideradas isoladamente e em conjunto. A expressão provém, assim, da superfície colorida que o observador capta, na sua totalidade.

No meu trabalho desta série, a cor permite transmitir a minha emoção, sem recorrer a outros meios de construção visual. É a procura da posse do espaço e da cor, através da luz.

Pela luz, cada cor oferece a sua harmonia particular. Cada holograma tem um significado diferente, consoante o momento e a posição em que é examinado. As cores são puras, brilhantes, claras, saturadas, escolhidas com base na observação, no sentimento, e na minha sensibilidade, procurando utilizá-las para exprimir a minha sensação, de uma maneira que, embora intuitiva, é ao mesmo tempo fruto de uma vivência reflectida.

O tipo de relações de cor estabelecidas, não completamente libertas do acidental, permite-me representar espaços, ligados por linhas e formas não definidas, numa atmosfera criada pelas relações mágicas da cor. Os reflexos são também personagens do mesmo quadro.

Estes elementos, de representação simplificada, são linhas interrompidas por cores provenientes de um tom local sublimado ou inventado pelo meu sentimento, animado pela interpretação da paisagem aquática. Intencionalmente, no meu trabalho de desenho, que procuro sintético, deixo lugar ao acidental.

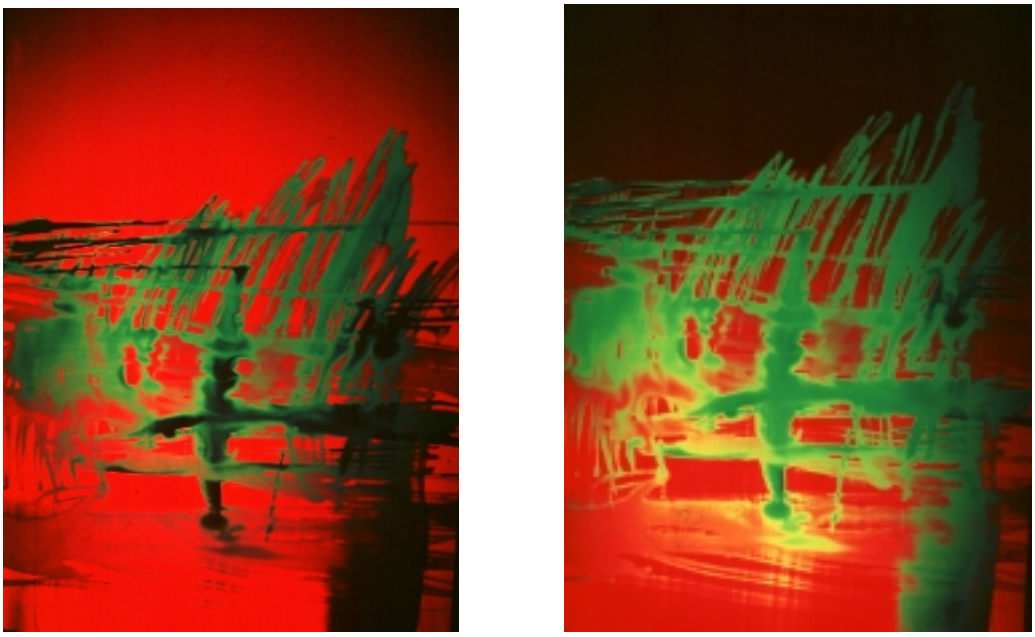


Fig. 100- Série *Paisagens de Luz*. *I*, Holograma de reflexão de luz branca multicolorido. Dim. 18x24cm.

Fig.101- Série *Paisagens de Luz II*. Holograma de reflexão de luz branca multicolorido. Dim.18x24cm.

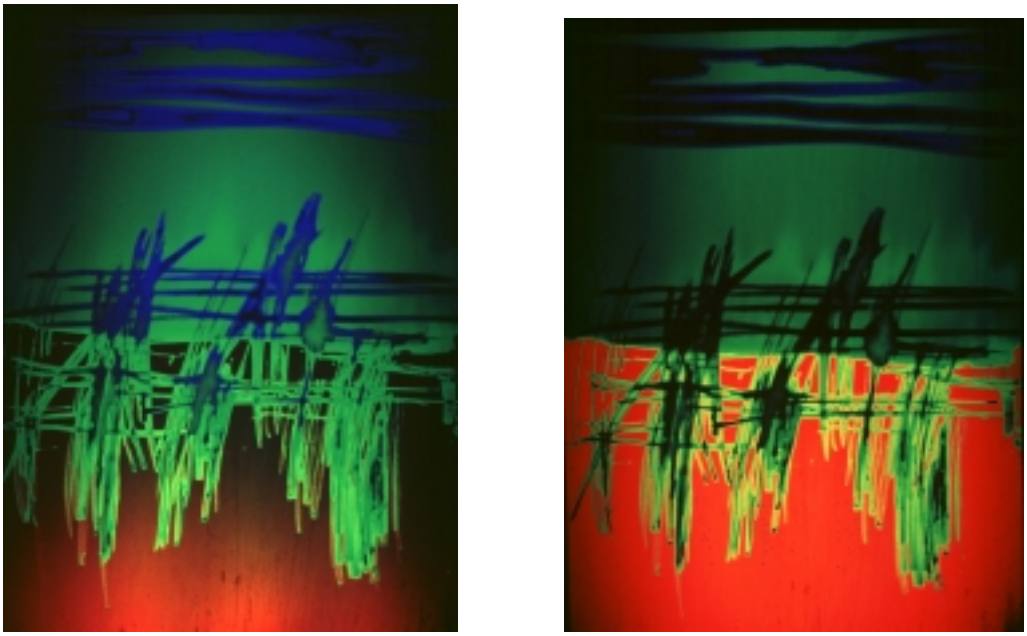


Fig.102- Série *Paisagens de Luz III*. Holograma de reflexão de luz branca multicolorido. Dim.18x24cm.

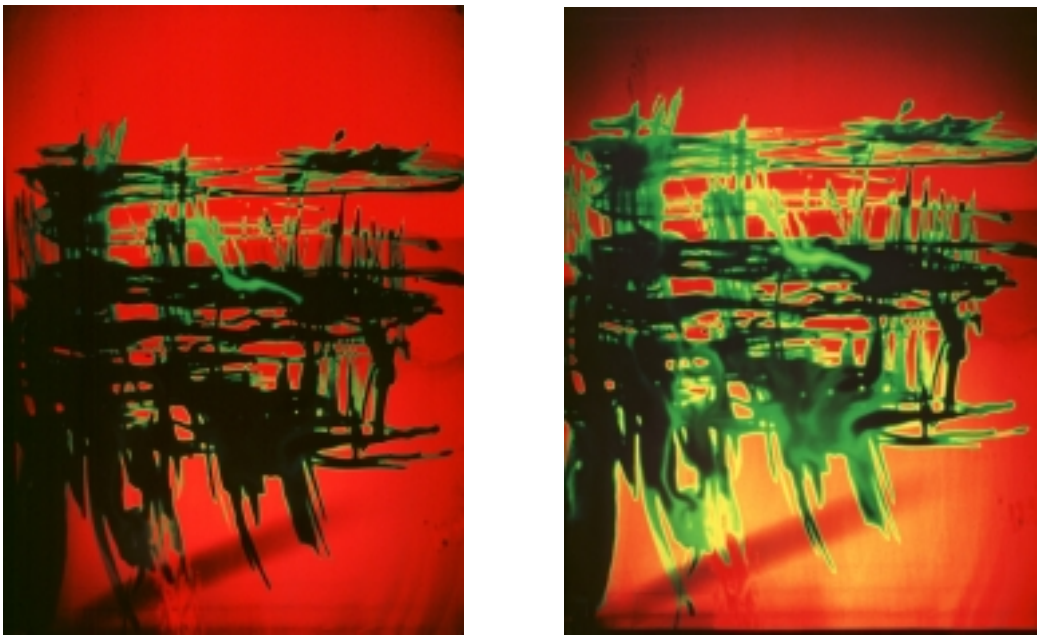


Fig.103- Série *Paisagens de Luz IV*. Holograma de reflexão de luz branca multicolorido. Dim.18x24cm.

Fig. 104- Série *Paisagens de Luz V*. Holograma de reflexão de luz branca multicolorido. Dim.18x24cm.

#### 5.4.1.2 Série *"Faces"*

Na série de Hologramas intitulados **"Faces"**, o tema base é o rosto humano. Rostos humanos que partem do real, mas que se afastam, rumo a uma maior expressividade. A exploração de um trajecto expressivo, transformador das aparências no plano gráfico, partindo de uma forma representativa até uma forma presentativa, é fundamental para a compreensão desta série de trabalhos.

A forma presentativa decorre sobretudo de dois processos técnicos e conceptuais. Um, que se baseia exclusivamente nos elementos estruturais da linguagem e da sua manipulação com referência à realidade concreta: a *geometrização*; outro, que começa na representação simplificada por nivelamento e sintetização da forma inicial, explorando-a em sucessivos despojamentos até se atingir uma nova forma, com maior ou menor desvinculação do real, como acontece, por exemplo, no *Expressionismo*.

A representação acentuada dos objectos e das formas, e a representação simplificada por sintetismo, decorrem de uma tendência do julgamento visual, bem como das potencialidades dos instrumentos, dos materiais e da capacidade plástica do autor. O conhecimento visual e o conhecimento plástico integram o conhecimento "total" sobre as coisas. Esta representação é a tradução de uma imagem mental, que se torna visível.

Em **"Faces"**, desde a imagem inicial até à final, há um processo do domínio representativo, caminhando para uma simplificação da forma até se reduzir a linhas e manchas, sendo que a mancha de cor acaba por se sobrepor e extravasar a forma, tornando-se dominante. A ideia da expressividade autónoma das formas resulta de uma percepção e assimilação do que é envolvente, de uma leitura interpretativa pessoal das formas visíveis ou imaginadas, do conhecimento adquirido pela experiência e transformado pela vontade.

São hologramas obtidos também por uma única exposição; as cores espectrais neles existentes variam, bem como o espaço, havendo uma noção real de espaços e sobreposições de planos e de transparências. A variação do ângulo da luz incidente faz com que a cor

reconstruída se altere e, assim, permita uma dinâmica visual resultante da representação simultânea de diferentes aspectos de uma mesma forma.

O rosto humano, - bem como outros fragmentos do corpo, como por exemplo as mãos- têm-me interessado sempre muito. É um tema recorrente no meu trabalho, quer de pintura e desenho, quer agora, na holografia. Os rostos prendem-me pela sua capacidade expressiva, a sua estrutura óssea, a sua revelação do íntimo. É um interesse inteiramente de ordem plástica. Por vezes, são apenas memórias fraccionadas, pedaços que se recompõem num rosto que é uma síntese de muitos, que representa o de todos, e não é de ninguém.

Talvez se pudesse dizer que a fotografia é suficiente como registo de um rosto. Mas a fotografia "congela" apenas um momento na vida desse rosto, tornando-se uma imagem superficial. A não ser quando, tal como noutras tecnologias expressivas, se busca a essência e não se fica apenas pela sua aparência superficial. Na procura do carácter profundo de um rosto, o desenho ou a pintura permitem o registo dos traços, e revelam sentimentos, expressões, pensamentos, memórias de vida, que lhe são próprios. Torna-se numa expressão de uma verdade, conseguida graças à flexibilidade da linha e da mancha de cor, que se submetem às exigências da composição.

Desenhar é concretizar uma ideia, um pensamento. O desenho será a síntese final de uma série de sensações, que o cérebro reteve, reuniu, muitas vezes ao longo da vida e que, finalmente, se materializam numa escrita plástica. Através dos desenhos, o espectador penetra no meu espírito, na minha maneira de ver.

Considero que a exactidão não é necessariamente a expressão da verdade. Contudo, seguindo a impressão produzida em mim por um rosto, procuro não me afastar da sua construção anatómica, mas sim simplificá-la, sintetizá-la, interpretá-la. Assim, os rostos presentes nos meus hologramas sofreram transformações, sugeridas pela minha interpretação deles. Cada rosto tem o seu ritmo próprio. Jogo com a assimetria, as proporções, os volumes, as luzes e sombras, até surgir um rosto final, obtido a partir do modelo, mas não da exactidão orgânica deste.

**"Faces"** contêm amalgamados, segundo as minhas possibilidades de síntese, os conhecimentos que consegui assimilar das minhas vivências e que, finalmente, exprimo. Os hologramas foram construídos a partir de fotografias digitalizadas em computador. Aí, foram

desconstruídos. Eliminei, adicionei, decompus e reconstruí, voluntariamente, de uma maneira esquemática determinada, numa observação consciente, transcrevendo memórias e reinterpretando-as.

Este trabalho de transformação foi a base para as máscaras usadas nesta série de hologramas. As máscaras, que impedem a luz de chegar a determinadas zonas do holograma, funcionam como um desenho a negro, que sublinha e sugere, mais do que explicita a forma. É como um fio condutor, que permite uma leitura e percepção mais fácil das formas.

O trabalho na emulsão, que é pintada de maneira expressiva com soluções incolores, numa previsão da cor que será reconstituída posteriormente, é já uma antevisão mental do resultado final. Esse trabalho, onde a mancha extravasa as formas definidas pela máscara, ainda acentua mais o efeito final.

A composição final do holograma é a que resultou do meu trabalho, da liberdade da minha imaginação, elaborada de acordo com as memórias que retenho do modelo, que já não são mais do que impulsos que me conduzem a desenhar linhas, cores, formas, valores, numa certa agitação e inquietação intelectual e emocional, que vai explicitar o que estava escondido, armazenado, que fazia parte do meu conhecimento sobre esse rosto.

Esse conhecimento surge de memórias mais ou menos profundas, umas que se atenuam e se perdem, para deixar sobressair os traços mais importantes, a substância real e viva da minha interpretação. São rostos que resultam da observação e que são constituídos por uma multiplicidade de sensações, que finalmente se exprimem. Assim, para traduzir as minhas emoções, os meus sentimentos em termos de cor e forma, procuro empenhadamente o essencial do meu trabalho: a síntese e renovação da cor, simplicidade de forma, ritmo e movimento.

Concebo e reconcebo o meu holograma várias vezes durante a sua execução, adicionando elementos de uma coordenação aparente, da maneira particular como o sinto naqueles momentos, sem saber realmente o resultado final, confiando no meu instinto, que me permitirá essa expressão sem modelados, através de cores espectrais puras. Nas suas diversas combinações, nas suas subtis mutações, a cor é utilizada pela sua intensidade luminosa, sendo apenas possível trabalhar com cores espectrais.

A maneira como é trabalhada a emulsão antes de expor, faz com que os meus hologramas comportem alguma aventura. Mas, se comportam alguns riscos, dado que é necessário prever com antecedência e literalmente às escuras, que cor será colocada em determinado lugar, transforma-se, depois de revelado, numa explosão de cores que são feitas de luz, pura luz. Luz violeta, azul, laranja, vermelha, amarela, verde, ciano… E como as cores são pura luz, a sua intensidade cromática é muito grande e, de certa maneira, libertam-se do desenho, extravasam a forma, adquirem profundidade, ou leveza, aproximam-se ou afastam--se, como se tivessem vida própria.

Claro que essas características produzem também uma inquietação constante. Quando estamos em frente do cavalete, o trabalho constrói-se à nossa vista. Pomos uma cor ao lado da outra, em composições que transformam o campo visual, cuja intensidade se observa, se conhece ao mesmo tempo que se pinta; as cores e as formas influenciam-se mutuamente, numa relação que se testemunha directamente e que se pode mudar. Nos hologramas não é assim. A matéria prima é a luz. Luz imaterial, que se decompõe em transparências coloridas. Essas cores estão na mente, enquanto se aplicam pinceladas de soluções incolores, umas a seguir às outras, em espaços intuídos, que irão posteriormente ter todas as cores do arco-íris.

Depois de expostos à luz do laser, revelados e secos, finalmente o resultado é visível: a revelação aos olhos de todos, da união expressiva das manchas e linhas coloridas, numa concepção espacial, já advinhada, já esperada e, por fim, confirmada. A sua concepção foi anterior, mas sempre com o risco do inesperado, do erro, de não corresponder ao resultado pretendido.

Fig.105- Série *Faces*, Irina I. Holograma de reflexão de luz branca, multicolorido. Dim. 12x18cm.

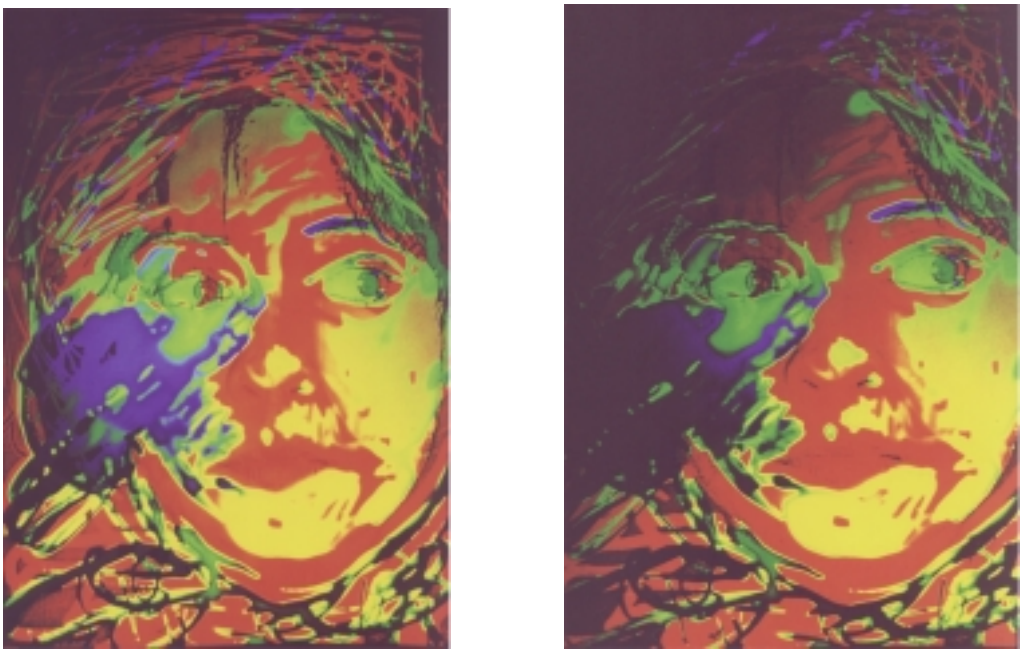


Fig.106- Série *Faces*, Manuela. Holograma de reflexão de luz branca, multicolorido. Dim. 12x18cm.

Fig.107- Série *Faces*, Nuno. Holograma de reflexão de luz branca, multicolorido. Dim. 18x24cm.

Fig.108- Série *Faces*, Irina I. Holograma de reflexão de luz branca, multicolorido. Dim. 18x24cm.

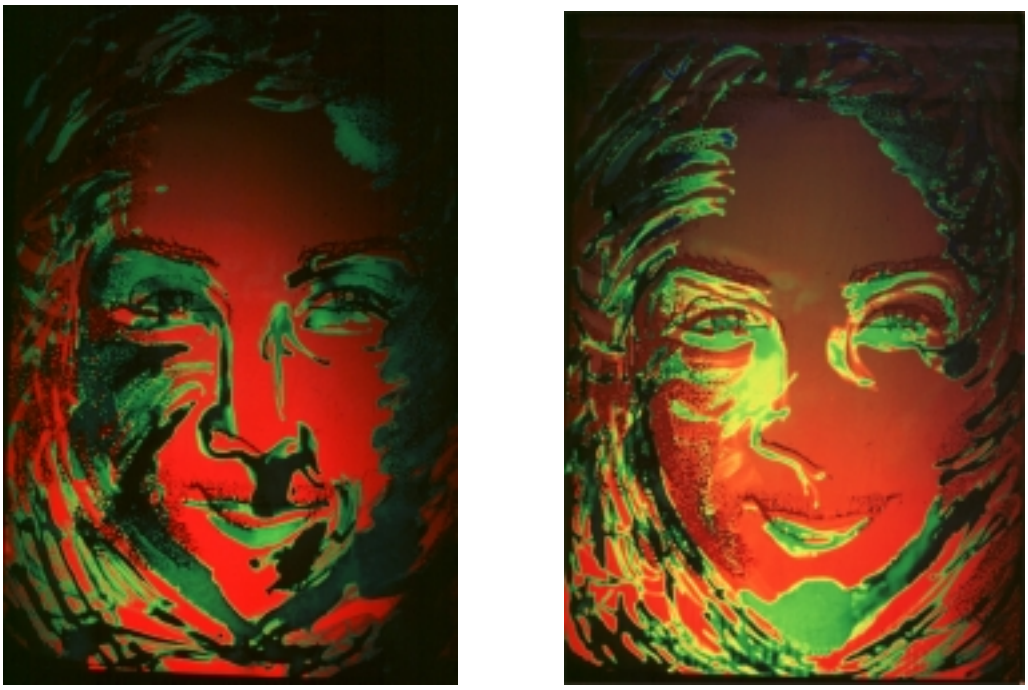


Fig.109- Série *Faces*, Irina II. Holograma de reflexão de luz branca, multicolorido. Dim. 18x24cm.

Fig.110- Série *Faces*, Linda. Holograma de reflexão de luz branca, multicolorido. Dim. 18x24cm.

#### 5.4.1.3 Série *"Hologeometrias"*

Os Hologramas desta série foram realizados por múltiplas exposições à luz laser. A escolha do tema escolhido, composições geométricas rigorosas, resultou de uma necessidade prática.

Como já se disse anteriormente, em hologramas de reflexão, as cores espectrais podem obter-se com uma única exposição à luz; porém, para se obterem cores não espectrais, como o magenta ou outros tons de rosa, por exemplo, é necessário recorrer a mais do que uma exposição à luz.

Para melhor controlar a zona do holograma que terá uma determinada cor, é indispensável usar máscaras que impeçam a luz de atingir outras zonas do holograma, e sejam perfeitamente ajustáveis à superfície da placa holográfica. Assim, realizei máscaras em material rígido, no qual recortei composições de formas geométricas rigorosas.

Na reconstrução do holograma, essas composições podem surgir individualmente, ou sobrepondo-se parcial ou totalmente, formando outras composições mais complexas, dependendo do ângulo de visão do observador.

Nesta série, os hologramas são obtidos por sucessivas exposições. A sobreposição das formas, representativas ou não, confere consistência à composição e articula uma certa noção de espaço em profundidade.

Acrescentam-se ainda os efeitos de transparência e velatura, ganhando assim a possibilidade de maior diálogo com o observador. Este efeito de transparências resulta da sobreposição das franjas de interferência. Não são um efeito pictórico ilusório, mas sim espaços de luz e teias translúcidas, podendo-se especular sobre o real e o irreal, sobre o espaço e as formas, sobre o concreto e a aparência virtual das coisas.

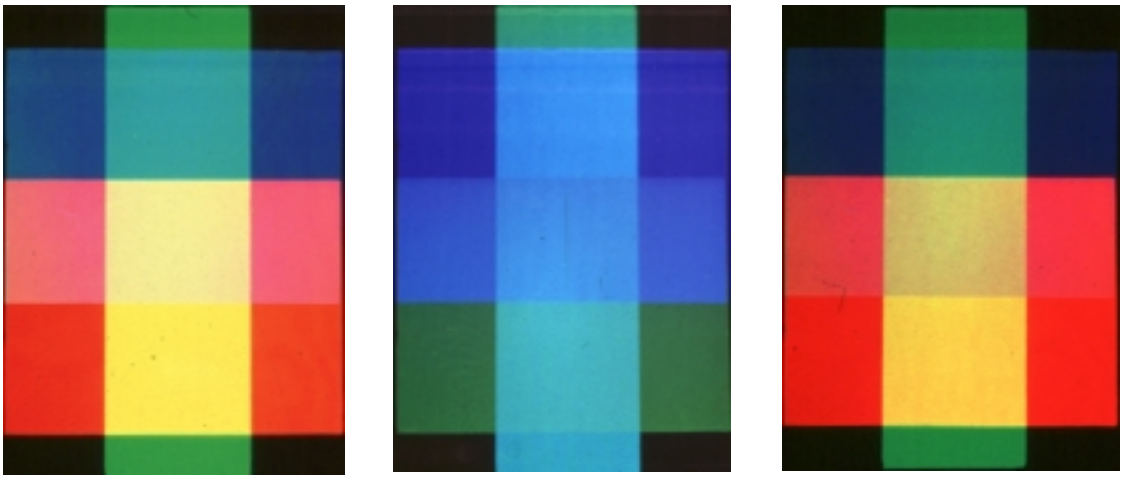


Fig. 111- *Hologeometrias* (Testes*)*. Hologramas de reflexão de luz branca de múltipla exposição. Dim. 10x12cm.

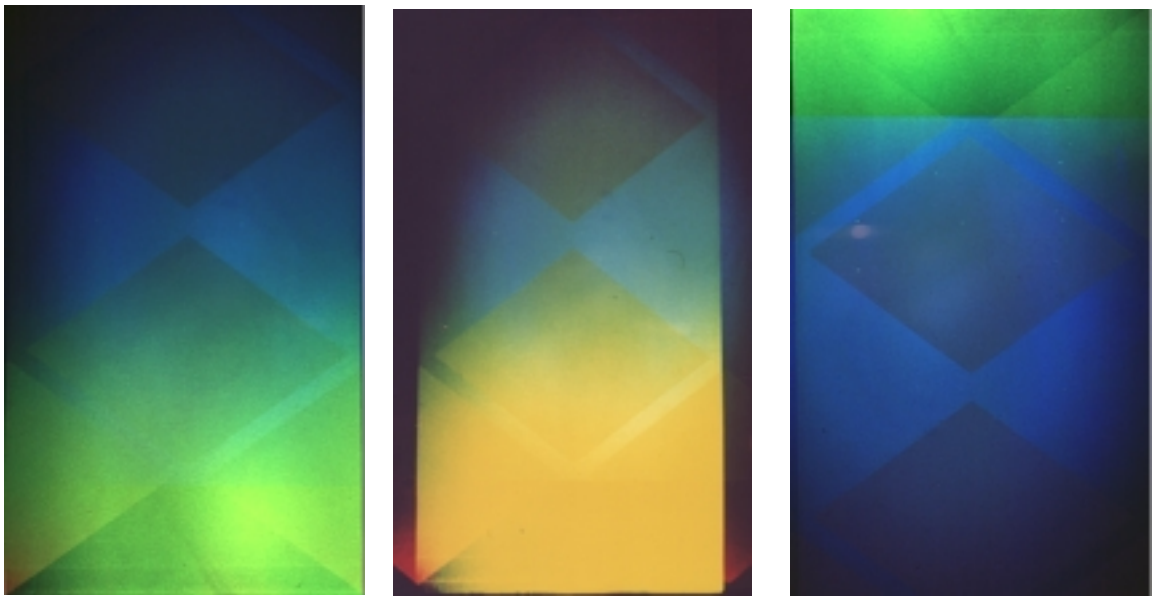


Fig. 112- Série *Hologeometrias I*. (Pormenores da variação de cores). Holograma de reflexão de luz branca de múltipla exposição. Dim. 18x24cm.

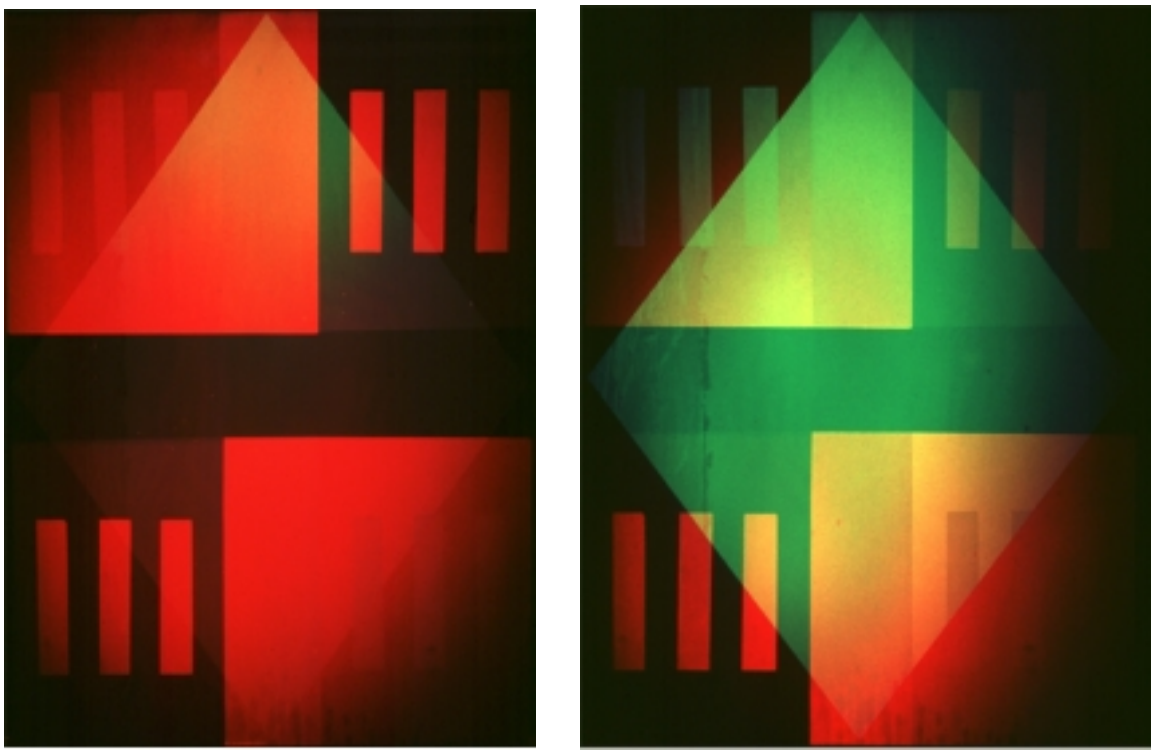


Fig.113- Série *Hologeometrias II*. Holograma de reflexão de luz branca de múltipla exposição. Dim. 18x24cm.

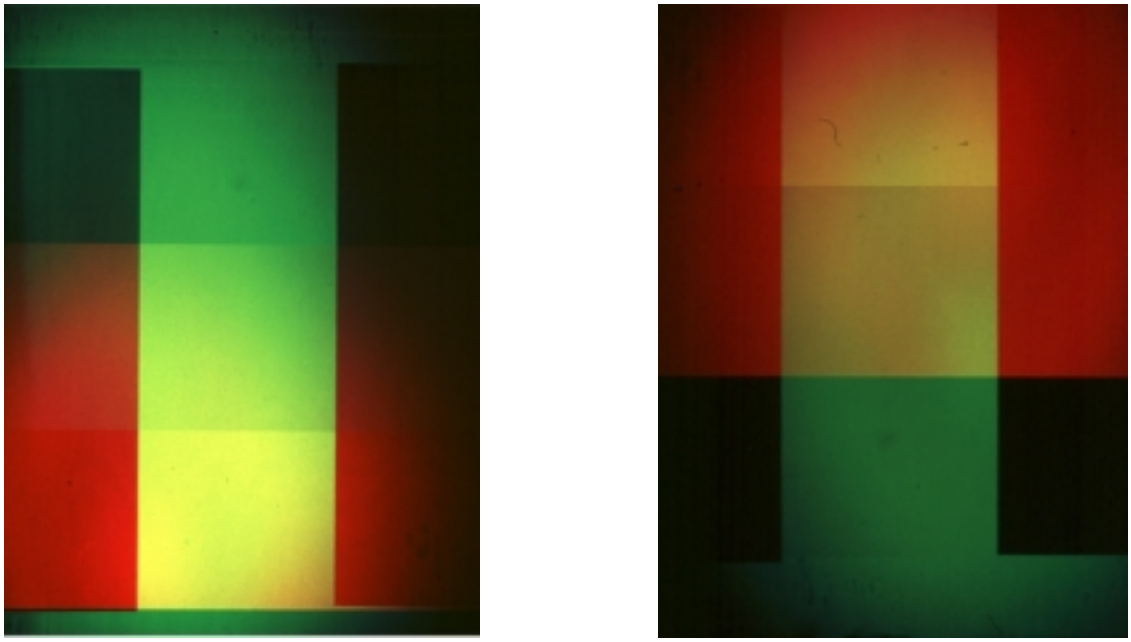


Fig. 114- Série *Hologeometrias III*. Holograma de reflexão de luz branca de múltipla exposição. Dim. 18x24cm.

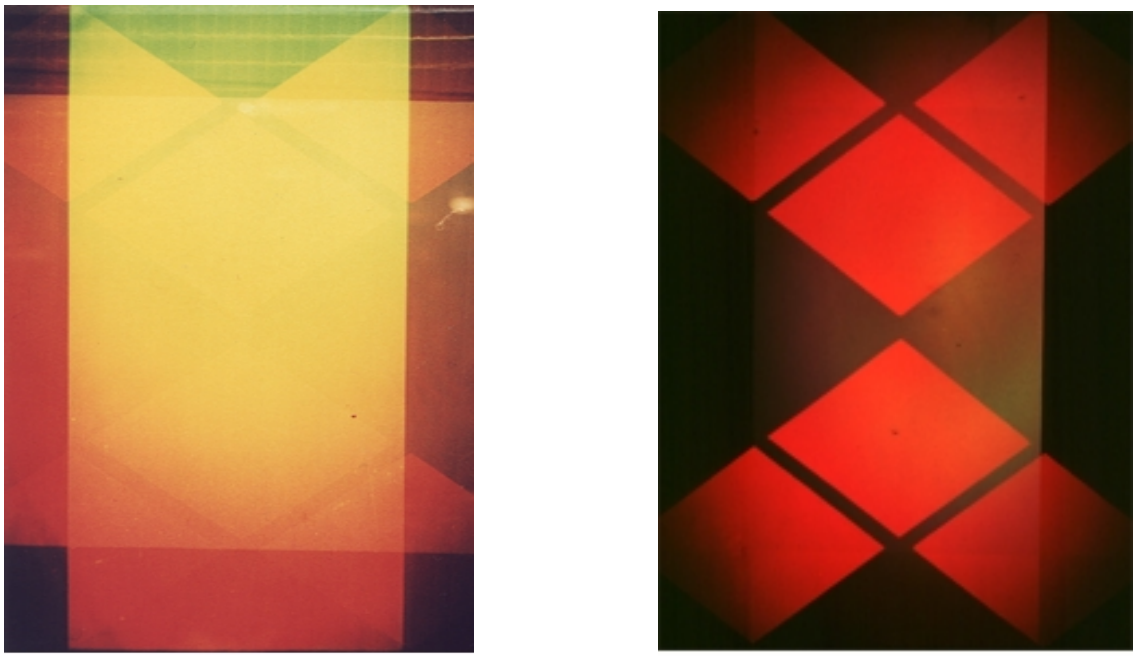


Fig. 115- Série *Hologeometrias IV*. Holograma de reflexão de luz branca de múltipla exposição. Dim. 18x24cm.

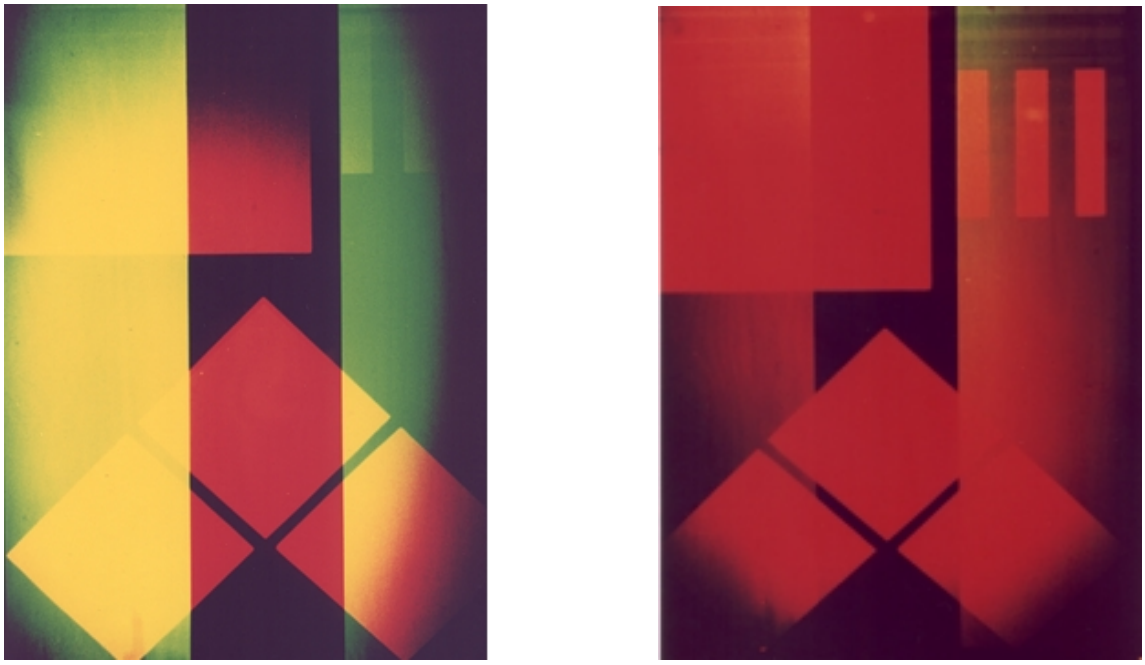


Fig.116- Série *Hologeometrias*. Holograma de reflexão de luz branca de múltipla exposição. Dim. 12x18cm.

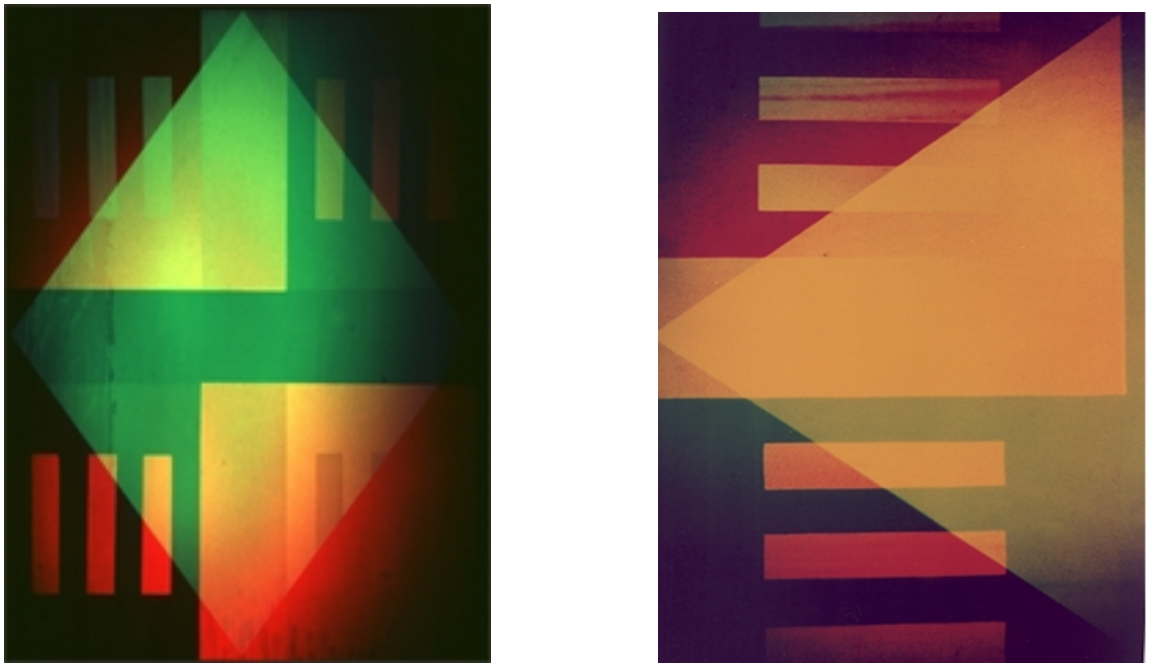


Fig.117- Série *Hologeometrias*. Hologramas de reflexão de luz branca de múltipla exposição. Pormenor na foto da direita. Dim. 12x18cm.

# CAPÍTULO VI

## 6. 1 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS DE FUTURO

A primeira conclusão que poderemos tirar deste trabalho é a confirmação de que é possível utilizar a holografia como meio expressivo. Permite a diversificação da linguagem plástica mas, para se poder explorar devidamente, há a necessidade de o autor dominar a tecnologia suficientemente para compreender as suas potencialidades, e as utilizar de uma maneira adequada ao modo de se exprimir.

A segunda conclusão é que, pela manipulação controlada da espessura da emulsão antes de expor a placa holográfica à luz, se podem obter hologramas multicoloridos, cujas cores não estão colocadas ao acaso, mas sim obedecendo a uma ordem na composição. As cores obtidas podem ser previstas com antecedência, sendo para isso necessário conhecer as percentagens de Triethanolamina e Água necessárias à obtenção de cada uma delas.

A diversidade das cores existente neste projecto foi conseguida “pintando” a emulsão com soluções apropriadas à sua obtenção. Como a técnica utilizada nestes hologramas é a pintura directa sobre a emulsão com as diferentes soluções, a expressividade do gesto e da mancha é preservada, permitindo assim que cada holograma seja diferente dos outros e irrepetível. Esta maneira de trabalhar, que pela primeira vez se utiliza em holografia, abre novas perspectivas à Holografia Criativa.

O tipo de laser usado foi de He-Ne. A razão principal para a minha escolha foi o uso de emulsões sensíveis ao vermelho, o que permitiu manipular a espessura da emulsão, de maneira a obter todas as radiações do espectro visível, do vermelho até ao violeta. A utilização de outro tipo de laser, de Argon, por exemplo, também é possível; neste caso, ter-se-á que utilizar uma emulsão sensível ao verde, sendo a gama das radiações obtidas pela manipulação da espessura da emulsão mais restrita, indo do verde ao violeta. Porém, esta condicionante pode colocar também outros desafios de ordem criativa. Estes lasers têm ainda a vantagem de serem de

maior potência, o que é importante na obtenção de boas imagens em hologramas de grandes dimensões.

Pela experiência adquirida, também podemos concluir que a obtenção das cores em holografia depende de vários factores, uns directamente relacionados com a técnica do hológrafo, outros resultantes de factos que se encontram fora do seu controlo. Assim, podemos dizer que esse controlo está relacionado com a tecnologia holográfica, com a técnica usada para pintar e escorrer a emulsão, mas também com a temperatura ambiente, a temperatura das soluções de pré inchamento e dos banhos de processamento, bem como do tipo de processadores químicos usados. Fora do seu controlo, estão as variações da humidade do ar existentes no laboratório no momento do registo do holograma e dos lugares onde o holograma vai ser exibido e que, se forem diferentes, afectam a cor reconstituída. A cor do holograma também pode ser alterada, se o local de armazenamento após a sua realização, não tiver condições de humidade controlada.

Concluímos ainda que, para se obterem as cores espectrais, é apenas necessária uma única exposição. Mas, quando pretendemos uma cor não espectral, como o magenta, ou outros tons de rosa, a sua obtenção só é possível expondo a placa mais do que uma vez. Desta maneira, o processo de registo do holograma, além de exigir o uso de máscaras para que a luz não passe para zonas da placa onde iria causar efeitos não desejáveis na composição, requer que essas máscaras sejam rigorosamente ajustadas à placa no momento do registo.

No que diz respeito às várias emulsões utilizadas, podemos concluir que as emulsões Slavich PFG-01 podem substituir as emulsões Agfa 8E 75 HD, a que estávamos habituados, e cuja produção parou. Existem, porém, algumas diferenças, tais como a menor dureza da emulsão Slavich relativamente à da Agfa ou uma maior hipersensibilização à água e à TEA, que são importantes para os resultados obtidos.

Estas diferenças tornam-se muito importantes, porque as percentagens de TEA nas soluções usadas durante o pré-inchamento da emulsão, e adequadas à obtenção das diversas cores, não são as mesmas para as duas emulsões. Também é diferente a composição química dos reveladores e branqueadores apropriados ao seu processamento químico.

Os tempos de exposição devem ser cuidadosamente calculados e ajustados, para que a quantidade de luz que chega à placa seja a adequada à obtenção de imagens com boa eficiência.

Apesar de considerar os resultados obtidos muito interessantes, também considero que não se encontram ainda esgotadas as potencialidades da holografia como meio expressivo e gostaria de, futuramente, desenvolver esta pesquisa no sentido de alcançar um melhor controlo na obtenção dos comprimentos de onda não espectrais, sobretudo nas cores insaturadas. Gostaria igualmente de experimentar a obtenção de hologramas multicoloridos com outro tipo de emulsões, nomeadamente as sensíveis a outras radiações (verde e azul). Dadas as suas características, a redução da gama de cores que é possível de obter exigirá, a meu ver, um controlo ainda maior da manipulação da espessura da emulsão.

Neste trabalho apenas procurei obter *pseudocores* em holografia mas, futuramente, gostaria de trabalhar também a cor real dos objectos, o que implicará três comprimentos de onda para o registo, bem como o uso de emulsões pancromáticas.

No que diz respeito a hologramas de objectos tridimensionais, e após algumas experiências realizadas, optei por não apresentar trabalho criativo neste tipo de hologramas no âmbito desta tese, devido a não ter conseguido "transcender o objecto". O aspecto criativo destes hologramas é muito restrito, confinando-se apenas à selecção dos objectos a holografar, obtendo-se depois, hologramas idênticos repetidamente. Por isso, resolvi de momento pôr de lado esta técnica, pretendendo retomá-la mais tarde, na esperança de conseguir avançar de uma maneira mais interessante e criativa.

A realização de hologramas com lasers pulsados, pela possibilidade de serem holografados seres vivos ou objectos com pouca estabilidade, aparece também como uma perspectiva de futuro de grande interesse para mim.

A utilização do filme holográfico é outro desafio que se coloca em termos de investigação futura. A sua apresentação, em folhas e rolos, permite a existência de maiores dimensões disponíveis, aproximando os hologramas criativos das dimensões usadas nas outras tecnologias da expressão plástica. A apresentação das emulsões holográficas em filme torna-as também mais económicas. Neste trabalho não foi possível obter bons hologramas neste material, devido a haver sempre micro deformações e movimentos durante o registo. Por isso,

uma abordagem no sentido de encontrar a estabilidade necessária ao registo em filme, está presente nos meus projectos futuros. Resolver a estabilidade do filme holográfico, encontrando uma solução em que o material esteja completamente imóvel e aderente às paredes do suporte, será de todo o interesse para o desenvolvimento da holografia de grandes dimensões.

Podemos, assim, concluir que a Holografia tem ainda muitos caminhos para percorrer em termos de desenvolvimento futuro, quer seja a nível do melhoramento de materiais de registo, quer da resolução de problemas técnicos, quer a nível expressivo e criativo. No que diz respeito à Holografia Criativa, mesmo os caminhos já percorridos serão sempre diferentes de hológrafo para hológrafo, devido à concepção individualizada que cada artista imprime ao seu trabalho.

## 6.2 EVENTOS REALIZADOS NO ÂMBITO DESTE TRABALHO

### 6.2.1 PUBLICAÇÕES

**1997—** Oliveira, Rosa Maria; Carretero, L.; Madrigal, R.; Garzón, M. T.; Pinto J. L. and Fimia, A., ***Experimental Study of Colour Control on Reflection Holography***, in Practical Holography XI and Holographic Materials III, Stephen A. Benton/ T. John Trout, Editores, SPIE Proceedings, vol. 3011, 1997, pp.224, 230.

**1997**— Oliveira, Rosa M.; Azevedo, Isabel; Bernardo, Luis M. and Pinto, J. L., ***Holography in Portugal***, in Sixth International Symposium on Display Holography, Lake Forest College, SPIE Proceedings, vol. 3358, 1997, pp. 14, 15.

**1997**— Oliveira, Rosa M.; Bernardo, Luis M.; Pinto, João L. and Machado, Joaquim M., ***Colour control in creative holography***, in Sixth International Symposium on Display Holography, Lake Forest College, SPIE Proceedings, vol. 3358, 1997, pp.220, 224.

**2000**— Rosa M. Oliveira, L. M. Bernardo and J. L Pinto, ***Multicolour holography: a comparative study***, in Holography 2000, SPIE Proceedings, vol.4149, pp.113 a 121.

**2000**— Rosa M. Oliveira, L. M. Bernardo, J. L. Pinto, I. Azevedo and P. Pombo, ***Report on holography in Portugal: recent developments***, in Holography 2000, SPIE Proceedings, vol.4149, pp.50 a 51.

**2000**— Pedro M. Pombo, Rosa M. Oliveira and João L. Pinto, ***Experimental holography in high school teaching***, in Holography 2000, SPIE Proceedings, vol.4149, pp.232 a 238.

### 6.2.2 EXPOSIÇÕES

**1997- Fine Arts Holography Exhibition,** realizada paralelamente *ao Sixth International Symposium on Display Holography*, Lake Forest College, U.S.A.

**2000- Holography 2000,** Stadtmuseum St. Poelten, Áustria, de 16 Junho a 18 de Julho de 2000. Com publicação de catálogo.

**2000- Arte e Ciência- Novas Dimensões (Holografia)**, Departamento de Comunicação e Arte, Universidade de Aveiro, de 20 a 24 de Novembro.

**2000- Física e Arte (Holografia)**, Departamento de Física, Universidade de Aveiro, de 22 e 23 de Novembro.

**2000- Estruturas de Informação** - Instalação Multimedia, realizada no âmbito do *Programa Forum Aveiro- Cidade Digital*, Centro Cultural de Congressos de Aveiro, em 25 de Novembro.

### 6.2.3 CD ROM

**2001**— Rosa M. Oliveira et al., ***Art holography***, MGD Productions, Québeque, Canadá (em produção).

## 6.2.4 OUTRAS ACÇÕES

**1996**- Apresentação do trabalho realizado em Holografia na secção **"Artists Showcase"**, inserida no *"Art in Holography 2- The International Symposium"*, realizado em Nottingham de 14/ 17 de Setembro de 1996.

**1999**- Apresentação do trabalho realizado em **Holografia Artística** no programa *"2001"*, do canal 2, *RTP*, no dia 22 de Janeiro de 1999.

**1999**- Apresentação do trabalho realizado em **Holografia Artística** no programa "*Praça da Alegria"*, do canal 1, RTP, no dia 22 de Junho de 1999.

**2000**- Apresentação do trabalho recentemente realizado em **Holografia Artística** na secção **"Art Forum",** pertencente a *The International Holography Conference 2000*, que teve lugar de 10 a 14 de Julho, no Stadtmuseum, St. Poelten, Áustria.

## 6.3 BIBLIOGRAFIA


Adorno, Theodor W., *Teoria Estética*, Arte & Comunicação, Edições 70, 1988.

Albers, Josef, *La interacción del color*, Alianza Forma, décima reimpressión, Madrid, 1996.

Auping, Michael, org., *Abstraction, geometry, painting*, Harry N. Abrahams, Inc., Publishers, New York, 1989.

Ardenne, Paul, *Art l'ÊÂge Contemporain. Une histoire des arts plastiques à la fin du XX siècle*, Éditions du Regard, Paris, 1997.

Argan, Giulio Carlo, *Arte e Crítica de Arte*, Imprensa Universitária, Editorial Estampa, Lisboa, 1988.

Arnheim, Rudolf, *Arte & Percepção Visual- Uma Psicologia da Visão Criadora. Nova Versão*, Livraria Pioneira Editora, São Paulo, 1986.

Arnheim, Rudolf, *Visual Thinking*, University of California Press, Los Angeles, London, 1969.

Aristarco, Guido e Teresa, *O Novo Mundo das Imagens Electrónicas*, Arte & Comunicação, Edições 70, 1985.

Barthes, Roland, *Mitologias*, Arte & Comunicação, Edições 70, 1988.

Barthes, Roland, *A Câmara Clara*, Arte & Comunicação, Edições 70, 1988.

Barthes, Roland, *Ensaios Críticos*, Colecção Signos, Edições 70, s/ data.

Bayer, Raymond, *História da Estética*, Editorial Estampa, 1995.

Bazargan, Kavel, *Factors affecting the choice of optimum recording wavelengths in true-color holography*, SPIE, vol. 1600, International Symposium on Display Holography, 1991.

Bazargan, Kavel, *Design of a one-step full color holographic recording system*, SPIE vol.1051, Practical Holography III, 1989.

Benyon, Margaret, *Art concepts in holography: works from the Male Cosmetic Series*, SPIE, vol. 1600, International Symposium on Display Holography, 1991.

Benyon, Margaret, *How is Holography Art?*, a PhD Thesis in Holography, Royal College Of Art, supplied by The British Library, Document Supply Centre, Boston Spa, Wetherby, West Yorkshire, United Kingdom, April 1994.

Bernardo, Luís Miguel, *Um Olhar sobre a Luz*, Departamento de Física, Faculdade de Ciências, Universidade do Porto, 1995.

Bernardo, Luís Miguel, *Visão Tridimensional (3D, Fotografia e Holografia)*, Documento policopiado, Centro de Física da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, 1991.

Billard, T.C., Pawluczyk, R. and Hockley, B.S., *The sensitization process of dichromated gelatin*, SPIE vol. 1051, Practical Holography III, 1989.

Bjelkhagen, H. I., *Silver halide emulsions for Lippman photography and holography*, SPIE, vol. 1600, International Symposium on Display Holography, 1991.

Bjelkhagen, H. I., *Silver-Halide Recording Materials for Holography and Their Processing*, Springer Series in Optical Sciences, New York, Heidelberg, vol. 66, 1993.

Bjelkhagen, H.I. and Jeong, Tung H., *Experimental Study of wavelength selections on color holography*, SPIE, vol. 2406, Practical Holography IX, 1995.

Blackburn, Simon, *Dicionário de Filosofia*, Gradiva, 1997.

Blyth, Jeff, *DCG Recording with Red Light: Discovery of a new Electron Donor System*, SPIE vol.1212, Practical Holography IV, 1990.

Blyth, Jeff, *Red Sensitive DCG: A Recipe*, Holographics International, no 7, Winter 1989.

Blyth, Jeff, *"Pseudoscopic" moldmaking handy trick for Denisyuk holographers*, in Holsphere Vol. 8, No. 11, May 1979.

Boone, Pierre M., *Some problems associated with Processing Agfa-Gevaert 8E75HD Sheet Film for Reflection Holography*, SPIE vol. 600, Progress in Holographic Applications, 1985.

Clément, Élisabeth, Demonque, Chantal, Hansen-LØve, Lawrence, Kahn, Pierre, *Dicionário Prático de Filosofia*, Terramar, 2ª edição portuguesa, 1994.

Clulow, F. W., *Colour-Its Principles and Their Applications*, Fountain Press, London, 1972.

Crespo, J., Fimia, A. and Quintana, J. A., *Fixation-free methods in bleached reflection holography*, Applied Optics, vol. 25, no 10, 15 May 1986.

Cvetkovich, Thomas J., *Techniques for the replication of multicolor holograms*, SPIE Vol.523, Applications of Holography, 1985.

Damásio, António R., *O Erro de Descartes, Emoção, razão e cérebro humano*, Publicação Europa-América, 2ª Edição, 1994.

Dewar, David, *A Journey towards Creative Holography*, in Leonardo, Vol. 22, No. 3/4, 1989, pp. 327-329

Dewey, John, *Art as Experience*, Perigee Books, New York, 1980.

Dondis, D. A., *La Sintaxis de la Imagen, Introducción al alfabeto visual*, Editorial Gustavo Gili, 1976.

Druckrey, Timothy, editor with Ars Electronica, *Ars Electronica: Facing the Future*, MIT Press, 1999.

Eco, Umberto, *Obra Aberta*, Difel- Difusão Editorial, Lda., 1989.

Eco, Umberto, *Os Limites da Interpretação*, Difel- Difusão Editorial, Lda., 1990.

Escher, M. C., *Visions of Symetry*, Doris Schattschneider, Ed., W. H. Freeman and Company, New York, 1990.

Fimia, A., Pascual I. and Beléndez, A., *Optimized spatial frequency response in silver halide sensitized gelatin*, Applied Optics, vol. 31 no 23, 10 August 1992.

Fimia, A., Beléndez, A. and Pascual, I., *Silver halide (sensitized) gelatin in Agfa-Gevaert plates: the optimized procedure*, Journal of Modern Optics, vol. 38, no 10, 1991.

Fimia, A., Beléndez, A. and Pascual, I., *Influence of R-10 bleaching on latent image formation in silver halide-sensitized gelatin*, Applied Optics, vol. 31 no 17, 10 June 1992.

Fisher, John, *Some New Problems in Perspective*, in Philosophy and the Visual Arts, Andrew Harrison, Ed. Dordrechet, 1987.

Fiz, Simón Marchán, *Del Arte Objectual al Arte de Concepto. Epílogo sobre la sensibilidad postmoderna,* Akal/ Arte y Estética, 1988.

Francastel, Pierre, *Arte e Técnica nos séculos XIX e XX*, Livros do Brasil, Lisboa, s/ data.

Gage, John, *Colour and Culture, Practice and Meaning from Antiquity to Abstraction*, Thames and Hudson, 1993, 1995.

Gardner, Howard, *The Mind's New Science, a History of the Cognitive Revolution*, Basic Books, New York, 1987.

Gardner, Howard, *Frames of Mind. The Theory of Multiple Intelligence*, Basic Books, New York, 1983.

Gardner, Howard, *Art, Mind and Brain, a Cognitive Approach to Creativity*, Basic Books, New York, 1982.

Gardner, Howard, *Artful Scribbles. The significance of Children's Drawings*, Basic Books, USA,1980.

Gerstner, Karl, *Las Formas del Color*, Hermann Blume, 1988.

Gibson, James J., *Pictures, Perspective and Perception*, in Daedalus, Journal of American Academy of Arts and Sciences, Winter 1960, pp. 217-221.

Gombrich, E. H., *The History of Art*, Phaidon Press Limited, Littlegate House, St Ebbe's St, Oxford, First published 1950, Thirteenth edition 1978.

Gombrich, E. H., *Art and Illusions*, Phaidon Press Limited, Musterlin House, Jordan Hill Road, Oxford OX2 8DP, Fifth Edition 1977, Reprinted 1980, 1983, 1986, 1987, 1988, 1989, 1990.

Gombrich, E. H., *La Imagen y el Ojo. Nuevos estudios sobre la psicologia de la representación pictórica*, Alianza Forma, Alianza Editorial, S.A., Madrid, 1987, 1991, 1993.

Goodman, Nelson, Elgin, C. Z., *Reconceptions en Philosophie*, Presses Universitaires de France, Paris, 1994.

Goodman, Nelson, *Los Lenguages del Arte. Aproximación a la teoría de los símbolos*, Seix Barral, Barcelona, 1976.

Goodman, Nelson, *Modos de Fazer Mundos*, Edições Asa, 1995.

Grandis, Luigina de, *Teoria y Uso del Color*, Ediciones Cátedra S. A., 1985.

Gregory, R. L., *A Psicologia da Visão (O Olho e o Cérebro)*, Biblioteca Universitária Inova, 1968.

Hauser, Arnold, *História Social da Arte e da Cultura*, Vega/ Estante Editora, 1989.

Hauser, Arnold, *A Arte e a Sociedade*, Editorial Presença, 1984.

Hariharan, P., *Silver halide sensitized gelatin holograms: mechanism of hologram formation*, Applied Optics, vol. 25, no 13, 1 July 1986.

Heaton, J. M. and Solymar, L., *Wavelength and angular selectivity of high diffraction efficienty reflection holograms in silver halide photographic emulsion*, Applied Optics, vol.24 no 18, 15 September, 1985.

Heidegger, Martin, *A Origem da Obra de Arte*, Biblioteca de Filosofia Contemporânea, Edições 70, 1990.

Hickethier, Alfred, *Le Cube des Couleurs*, Dessain et Tolra, 1973.

Hubel, Paul M. and Ward, A. A., *Color reflection holography*, SPIE, vol. 1051, Practical Holography III, 1989.

Huyghe, René, *Diálogo com o Visível*, Flammarion, 1955, 1993, Bertrand Editora, 1994.

Huyghe, René, Rudel, Jean, *L'Art et le Monde Moderne*, vol I et II, Ed. Larousse, 1970.

Hunt, R. W. G., *Measuring Color*, Applied Science and Industrial Technology, Ellis Horwood Limited Publishers, Chichester, 1989.

Itten, Johannes, *Art de la Couleur*, Dessain et Tolra, 2ième Réimpression, 1990.

Janson, H. W., *História da Arte*, F. C. G., 1977.

Jeong, Tung H. and Wesley, Edward, *True Color Holography on Du Pont Photopolymer Material*, Holosphere, vol. 16, no 4, Fall 1989.

Jeong, Tung H. and Wesley, Edward, *Progress in true holography*, SPIE vol. 1212, Practical Holography IV, 1990.

Kandinsky, Wassily, *Do Espiritual na Arte*, Publicações Dom Quixote, 1987.

Kandinsky, Wassily, *Ponto e Linha Frente ao Plano*, Arte & Comunicação, Edições 70, 1988.

Kaufman, John A., *Large Format Pseudo-Color Reflection Holograms on Film*, SPIE, vol. 1600, International Symposium on Display Holography, 1991.

Kemp, Martin, *The Science of Art*, Yale University, 1990.

Kendler, Howard, *Introdução à Psicologia*, Ed. F. C. G., 1980.

Kepes, Gyorgy, *Éducation de la Vision*, Ed. La Connaissance, Bruxelas, 1966.

Kuppers, Harald, *Fundamentos de la teoria de los colores*, Editorial Gustavo Gili, 5ª edición, Barcelona, 1995.

Lucie-Smith, Edward, *Visual Arts in the 20th Century*, Laurence King, 1996.

Lynton, Norbert, *The Story of Modern Art*, Phaidon Press Limited, 1980, 1989.

Lyotard, Jean-François, *La Condition Pos-moderne: rapport sur le savoir*, Minuit, Paris, 1979.

Maline, Sarah Radley, *Art Holography 1968-1993: A Theatre of the Absurd*, PhD Dissertation, Presented to the University of Texas at Austin, May 1995.

Marx, Ellen, *Couleur Optique*, Dessain et Tolra, Paris, 1983.

Matisse, Henri, *Escritos e Reflexões sobre Arte*, Editora Ulisseia, 1972.

Melo, Alexandre, *O Que é Arte?*, Difusão Cultural— Sociedade Editorial e Livreira, Lda., 1994.

Melville, Stephen and Readings, Bill, ed., *Vision & Textuality*, MacMillan Press Ltd., 1995.

Michalski, Sergiusz, *New Objectivity*, Taschen, 1994.

Mizuno, Toru, Goto, T., M. Goto and Matsui, K., *High efficient multicolor holograms recorded in methylene blue sensitized dichromated gelatin, SPIE* vol.1212, Practical Holography IV, 1990.

Moles, Abraham, *Arte e Computador*, Edições Afrontamento, 1990.

Moles, Abraham *O Kitsch,* Editora Perspectiva S. A., São Paulo, Brasil, 1994.

Moles, Abraham *La Comunicación y los Mass Media,* Mensajero, Bilbao, 1975.

Molina, Juan José Gómez (Coord.), *Estrategias del Dibujo en El Arte Contemporáneo*, Ediciones Cátedra, Madrid, 1999.

Monteiro, Paulo Filipe, *Os Outros da Arte*, Celta Editora, Oeiras, 1996.

Mumford, Lewis, *Arte & Técnica*, Arte & Comunicação, Edições 70, 1980.

Oliveira, Rosa Maria, *A Cor na Expressão Plástica*, Provas de Aptidão Pedagógica e Capacidade Científica (Relatório de Aula Prática), Universidade de Aveiro, 1992.

Oliveira, Rosa Maria, *Holografia como Medium de Expressão Plástica*, Provas de Aptidão Pedagógica e Capacidade Científica (Síntese), Universidade de Aveiro, 1992.

Oliveira, Rosa Maria, Carretero, L., Madrigal, R., Garzón, M. T., Pinto J. L. and Fimia, A., *Experimental Study of Colour Control on Reflection Holography*, Proceedings SPIE, vol. 3011, 1997.

Oliveira, Rosa M., Bernardo, Luis M., Pinto, João L. and Machado, Joaquim M., *Colour control in creative holography*, in Sixth International Symposium on Display Holography, Lake Forest College, Proceedings SPIE, vol. 3358, 1997.

Pascual, Pablo Martín, *El libro de la holografia,* Alianza Editorial, Madrid, 1997.

Pepper, Andrew, *Holographic Space: A Generalised Graphic Definition,* in Leonardo, vol. 22, No. 3/4, pp. 295-298, 1989.

Pepper, Andrew, *Drawing in Space. A holographic system to simultaneously display draw images on a flat surface and in three dimensional space*, PhD Thesis, University of Reading, 1988.

Phillips, N. J., *Benign Bleaching for Health Holography*, *Holosphere*, vol.14, no 4, Fall 1986.

Phillips, N. J., *Bridging the gap between Soviet and Western holography*, *SPIE Institute Series,* vol. IS 8, 1990.

Phillips, Nicholas J., Wang Ce and Yeo, Terence E., *Edge-Illuminated Holograms, Evanescent Waves and Related Optical Phenomena*, *SPIE*, vol. 1600, International Symposium on Display Holography, 1991.

Phillips, Nicholas J., *Slavich Recording Materials for Holography- An Individual View*, Proceedings SPIE, vol. 3358, 1998.

Poissant, Louise, ed., *Esthétique des Arts Médiatiques*, Tome 1 et 2, Collection Esthétique, Presses de l'Université du Québec, 1995.

Popper, Frank, *Art of the Electronic Age*, Thames and Hudson, London, 1997.

Rallison, Richard D., *Novel Enhancement of Photopolymers*, *SPIE* vol. 1212, Practical Holography IV, 1990.

Razutis, Al, *Art and Holography,* in Wavefront, October 1985, pp. 23-25.

Razutis, Al, *Avant-Garde for Holography by Way of Nemesis*, in Wavefront, Fall 1986, pp. 23-26.

Richter, Hans, *Dadá: Arte e Antiarte*, Martins Fontes, São Paulo, 1993.

Riemschneider, Burkhard, Grosenik, Uta, *Arte na Viragem do Milénio*, edição bilingue, Taschen, 1999.

Rock, Irvin, *La Percepción*, Biblioteca Scientific American, Prensa Científica, Editorial Labor, 1985.

Ross, Gary and Watson, John, *Single stage white-light colour holograms on Agfa 8E75 film*, SPIE vol.1732, Holographics International '92.

Ruhrberg, Karl, S. M., Fricke, C. Honnef, K., *Arte do séc. XX*, vol. I e II, Taschen, 1999.

Santos, A. M. Nunes dos, coordenador, *Arte e Tecnologia*, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1993.

Saxby, Graham, *Manual of Practical Holography*, Focal Press, Butterworth-Heinemann Ltdª, 1991.

Saxby, Graham, *Practical Holography*, second edition, Prentice Hall, UK, 1994.

Sazanov, Yuri A., Kumonko Petr I., *Holographic materials produced by the "Micron" plant at Slavich*, Proceedings SPIE, vol. 3358, 1997.

Sloane, Patricia, *The Visual Nature of Color*, Design Press, 1989.

Smith, Posy Jackson, *Between the Lines*, in Leonardo, Vol 22, No. 3/4, pp. 291-294, 1989.

Smith, Steven L., *Application of the Tri-Color theory of Additive Color mixing to the Full Color Reflection Hologram*, SPIE vol. 523, Applications of Holography, 1985.

Soares, Olivério D. D., Editor, *Colorimetria Aplicada e Industrial*, CETO- Centro de Ciências e Tecnologias Ópticas, The European Institute for Advanced Studies in Optics (EOS), CEUL-Cooperativa de Ensino Universidade Lusíada, Famalicão, NORTEC'93, MIE- Ministério da Indústria e Energia, Porto, 1993.

St. Cyr, Suzanne, *A holographer's worksheet for the Benton math'*, Holosphere, Vol. 12, 1984, pp. 4-16.

Sternberg, Robert J. ed., *The Nature of Creativity- Contemporary Psychological Perspectives*, Cambridge University Press, 1988, 1989, 1991.

Torralba, Nieves, *Holografia Creativa Española 1983-1993*, Colección PARAARTE, Instituto de Cultura "Juan Gil-Albert", Diputación Provincial de Alicante, 1996.

Tribillon, Jean-Louis, *General Review on Recording Materials used in Holography*, SPIE vol. 600, Progress in Holographic Applications, 1985.

Unterseher, F., Hansen, J. Schesinger, B., *The Holography Handbook*, Ross Books, 1982.

Vários, *Collier's Encyclopedia*, Macmillan Educational Company, New York, Maxwell Macmillan Canada, Toronto, Maxwell Macmillan International Publishing Group, New York, Oxford, Singapore, Sydney, 1992.

Vários, *Dicionário da Lingua Portuguesa*, 8ª edição revista e actualizada, Porto Editora, 1999.

Vários, *História da Arte em Portugal, Pioneiros da Modernidade*, vol. 12, Publicações Alfa, s/ data.

Vários, *História da Arte em Portugal, De 1945 à Actualidade*, vol. 13, Publicações Alfa, s/ data.

Wade, Nicholas, *Visual Allusions, Pictures of Perception*, Lawrence Erlbaum Associates, Publishers, London (UK), Hillsdale (USA), 1990.

Ward, A. A. and Solymar, L., *Diffraction efficiency limitations of holograms recorded in silver-halide emulsions*, Applied Optics, vol. 28, no 10, 15 May 1989.

Weber, A. M., Smothers, W. K., Trout, John T. and Mickish, D. J., *Hologram recording in Du Pont's new photopolymer materials*, SPIE vol. 1212, Practical Holography IV, 1990.

Wenyon, Michael, *Understanding Holography*, Arco Publishing, N. Y., 1978.

Wittgenstein, Ludwig, *Anotações Sobre as Cores*, Edição Bilingue, Biblioteca de Filosofia Contemporânea, Edições 70, 1987.

Wollheim, Richard, *A Arte e seus Objectos*, Martins Fontes, São Paulo, 1994.

Zec, Peter, *The Aesthetic Message of Holography*, in Leonardo, Vol. 22, No. 3/4, pp. 425-430, 1989.

Zec, Peter, *For a Theory of Holography*, in Report of the International Congress in Art and Holography, Douglas Tyler, ed., Notre Dame, 1991, pp. 5-16.