



**Eduardo Jorge
Nunes Durana**

Transições de Fase e Percepção Visual



**Eduardo Jorge
Nunes Durana**

Transições de Fase e Percepção Visual

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Física Aplicada, realizada sob a orientação científica do Prof. Dr. Fernão Abreu, Professor Auxiliar do Departamento de Física da Universidade de Aveiro

Dedico este trabalho à minha irmã Jordana.

o júri

Presidente

Prof. Dr. João de Lemos Pinto

Professor Catedrático do Departamento de Física da Universidade de Aveiro

Prof. Dr. Fernão Rodrigues Vístulo de Abreu

Professor Auxiliar do Departamento de Física da Universidade de Aveiro

Prof. Dr. Miguel de Sá e Sousa Castelo-Branco

Professor Auxiliar da Faculdade de Medicina da Universidade de Coimbra

Agradecimentos

Agradeço a todos os observadores que se disponibilizaram a participar nas experiências e a todos os amigos que deram conselhos e ânimo.

palavras-chave

Transição de fase, percepção visual, atenção visual, ambiguidade visual, processo em serie, processo em paralelo, estereopsis, visão 3D.

Resumo

Este trabalho incide no estudo de transições de fase em percepção visual. Tem como objectivo realizar testes com figuras ambíguas a duas e a três dimensões, tentar perceber como a percepção visual extrai informação para além do que é explicitamente mostrado a um observador normal, estudar maneiras para facilitar a percepção da tridimensionalidade e procurar pistas de como funciona o sistema visual com base na fisiologia da visão e através de ilusões de óptica.

Keywords

Phase transitions, visual perception, visual attention, visual ambiguity, serial process, parallel process, stereopsis, 3D vision.

abstract

This work studies the phase transitions in visual perception. Has as goal to test ambiguous figures in two and three dimensions, try to figure how visual perception extract information beyond what is showed in an explicit way to a normal observer, study ways to facilitate tridimensional perception and look for clues of how the visual system works based on vision physiology and through optical illusions.

Índice

1	INTRODUÇÃO	1
2	NOÇÕES GERAIS SOBRE A VISÃO	3
2.1	BREVE DESCRIÇÃO ANATÓMICO-FISIOLÓGICA DO SISTEMA VISUAL.....	3
2.1.1	<i>Propriedades dos neurónios.....</i>	5
2.1.2	<i>Estrutura anatómica da retina.....</i>	7
2.1.3	<i>Campos receptivos das células ganglionares da retina.....</i>	11
2.1.4	<i>Percurso visual a partir da retina</i>	15
2.2	MECANISMOS DE ATENÇÃO	20
2.2.1	<i>Duas visões sobre a atenção.....</i>	21
2.2.2	<i>Procura visual.....</i>	22
2.2.3	<i>Top-down e Bottom-up controlo da atenção na procura visual.....</i>	23
2.3	PERCEPÇÃO VISUAL.....	23
2.3.1	<i>Visão temporal.....</i>	24
2.3.2	<i>Intensidade luminosa.....</i>	25
2.3.3	<i>Processamento de profundidade.....</i>	25
2.3.4	<i>Ilusões de óptica.....</i>	28
3	AMBIGUIDADE EM PERCEPÇÃO VISUAL	37
3.1	CUBO DE NECKER	39
3.1.1	<i>Parte experimental</i>	41
4	VISÃO ESTEREOSCÓPICA.....	46
4.1	ESTEREOGRAMAS.....	46
4.1.1	<i>Parte experimental</i>	47
4.2	AUTOESTEREOGRAMAS DE PONTOS ALEATÓRIOS	58
4.2.1	<i>Parte experimental</i>	59
5	DO ‘FILL IN’ AO ‘FILL OUT’	63
5.1	PARTE EXPERIMENTAL	64
5.1.1	<i>Descrição.....</i>	64
5.1.2	<i>Resultados e discussão</i>	66
6	CONCLUSÕES E ESTUDOS FUTUROS	75
7	REFERÊNCIAS	77

1 Introdução

Esta tese surgiu da vontade de conhecer melhor os mecanismos que o sistema visual humano utiliza na interpretação dos estímulos que chegam aos olhos de um observador. O objectivo desta tese é o de estudar e testar, com especial interesse nas transições de fase, fenómenos perceptivos associados à visão, como a ambiguidade, a visão tridimensional e a extracção de informação visual. Serão utilizados conhecimentos de física, fundamentos da visão e programação.

A compreensão da fisiologia subjacente a fenómenos perceptivos é de elevada importância. Esta importância deve-se ao facto de a visão ser o sentido Humano que mais informação capta. O conhecimento nesta área pode contribuir para melhor aproveitar os recursos da visão. Pode ser usado para criar novas sensações visuais em observadores normais e ajudar observadores menos eficientes a ultrapassar as suas limitações. Tornam-se por isso grandes as potenciais aplicações desta área científica num mundo, onde a informação visual é cada vez mais utilizada.

Nesta tese procurou-se compreender melhor o modo como um observador extrai a informação dos estímulos visuais que recebe. O ambiente que nos rodeia está repleto de objectos complexos e tridimensionais. A Luz que estes objectos reflectem, transmitem e emitem é projectada em receptores distribuídos numa superfície bidimensional no fundo do olho. Esta projecção leva a que a informação possa ter mais de uma interpretação possível. Felizmente um observador normal não tem dificuldade em conseguir uma interpretação útil perante a maioria dos cenários naturais. Existem no entanto figuras de natureza ambígua, cuja interpretação entre duas ou mais imagens possíveis é conflituosa. Mesmo um observador normal pode transitar entre estados perceptivos distintos, que em física reflectem a existência de uma transição de fase num sistema complexo. Neste caso o sistema é composto pelos neurónios que participam na visão e é estudado por cientistas para se compreender como é feito o processamento visual. Este tipo de transições de fase será abordado no decorrer desta tese, sendo apresentados alguns testes de psicofísica desenvolvidos para o efeito.

A percepção visual é de elevada utilidade para um observador interagir com o ambiente circundante, dado que lhe permite identificar a distribuição espacial dos objectos. Mecanismos neuronais utilizados pela percepção visual podem também ser evocados pela

memória, sendo talvez um dos principais conteúdos do pensamento [6]. Vários físicos e matemáticos descreveram as suas cogitações como sendo dominadas por imagens. Benoit Mandelbrot afirmou pensar sempre através de imagens [6]. Para Richard Feynman, autor dos diagramas de Feynman essenciais em mecânica quântica, as descrições gráficas eram de elevada importância para a interpretação das equações. Albert Einstein desvalorizava as palavras nos mecanismos do seu pensamento. Einstein considerava que os elementos do seu pensamento eram determinados sinais e imagens que podiam ser reproduzidos e combinados e que se relacionavam com os conceitos lógicos [6].

2 Noções gerais sobre a Visão

O sistema visual é muito complexo. Um bom ponto de partida para a sua compreensão consiste em conhecer bases anatômicas, fisiológicas e neuronais que o suportam. Neste capítulo irá ser feita uma revisão sucinta sobre o tema, tendo sido seleccionada a informação considerada mais relevante na sequência dos trabalhos abordados nesta tese.

2.1 Breve descrição anatômico-fisiológica do sistema visual

Ao contrário do que se possa pensar a imagem formada pelo olho humano é muito imperfeita quando comparada com a formada pelo sistema óptico de uma máquina fotográfica. Felizmente apresenta soluções fisiológicas e anatômicas para minimizar os defeitos ópticos [4]. A luz até chegar à retina verifica aberração esférica nos meios ópticos por onde passa. Esta aberração deve-se ao efeito prismático exercido sobre os feixes que incidem nas regiões mais periféricas de uma lente. O sistema óptico do olho é convergente, assim o efeito resulta na maior convergência dos feixes de luz periféricos em relação aos paraxiais, formando uma imagem desfocada [11]. A íris impede a passagem de feixes de luz mais periféricos para dentro do globo ocular, evitando que estes desfoquem a imagem.

O índice de refração de um meio transparente à luz é uma grandeza adimensional, e definida como a valor da velocidade da luz no vácuo sobre a velocidade da luz no meio que caracteriza. É representado por $n = c/v$ e é a característica do meio que determina o modo como a luz é refractada quando nele incide. A lei da refração também conhecida por lei de Snell é mostrada na seguinte expressão.

$$n_i \sin(\theta_i) = n_r \sin(\theta_r) \quad (2.1)$$

Onde n_i é o índice de refração do meio donde a luz sai, θ_i é o ângulo que o feixe de luz faz com a normal da superfície de separação dos meios ao incidir, n_r é o índice de refração do meio para onde a luz entra, θ_r é o ângulo que o feixe de luz faz com a normal da superfície de separação dos meios depois de refractada. Acontece porque o índice de refração de um

meio óptico depende do comprimento de onda da luz que o atravessa. A luz com comprimento de onda mais curto é mais refractada, logo vai convergir mais que a luz com comprimento de onda maior [11]. Este fenómeno provoca a aberração cromática. Os efeitos desta aberração são minorados pela focagem na retina de comprimentos de onda intermédios e também pela distribuição espacial na fóvea dos fotorreceptores com sensibilidade à cor. A fóvea é a região da retina com maior resolução espacial e que, em condições normais, corresponde à zona do campo visual onde se fixa o olhar. Os fotorreceptores sensíveis ao verde e vermelho estão localizados no centro da fóvea e os sensíveis ao azul estão localizados na região mais periférica da fóvea, distribuição esquematiza na figura 2.1. Como os feixes de comprimentos de onda mais próximos do azul vão convergir antes da retina, a imagem formada na retina vai ser ligeiramente desfocada. Assim seria desvantajoso que os fotorreceptores sensíveis ao azul estivessem tão compactados quanto os fotorreceptores sensíveis ao verde e ao vermelho.

A imagem de objectos planos formada pelo sistema óptico do olho vai ser curva. Os pontos constituintes do objecto vão ser focados sobre uma superfície curva chamada de superfície de Petzval. Este fenómeno é conhecido como curvatura de campo, sendo outra aberração que afecta a formação de imagem pelo sistema óptico do olho. A superfície do fundo do olho onde a imagem se forma tende a ter uma curvatura adequada para minimizar esta aberração.

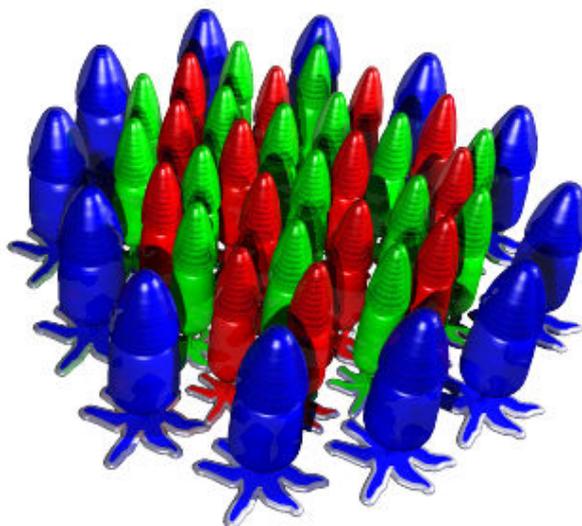


Figura 2.1. Distribuição dos três tipos de fotorreceptores sensíveis à cor existentes na retina. Cada tipo está representado com a cor com que normalmente são referidos em função da respectiva curva de sensibilidade. Notar que os cones verdes e vermelhos, são mais pequenos, estão mais juntos e ocupam a região central da fóvea. Os cones sensíveis ao azul são maiores, estão mais espaçados e ocupam predominantemente a região periférica da fóvea.

As respostas anatómico fisiológicas não são suficientes para que a imagem formada na retina seja livre de aberrações. O que implica que a percepção visual que um observador normal tem do ambiente que o rodeia só é possível através de processamento de imagem. Nos capítulos seguintes serão descritos alguns mecanismos utilizados pelo sistema visual.

2.1.1 Propriedades dos neurónios

Nesta fase é importante fazer uma pequena introdução sobre como se propaga a informação numa célula nervosa. Os neurónios possuem ao longo da membrana celular canais de passagem de iões. Estes canais permitem mover iões para dentro e para fora da célula. Os principais iões envolvidos neste processo são iões de sódio (Na^+), potássio (K^+), cálcio (Ca^{2+}) e cloro (Cl^-). O fluxo de iões através da membrana resulta da abertura ou encerramento dos canais iónicos em resposta a alterações de potencial. Como consequência, a diferença de potencial eléctrico entre o interior do neurónio e o meio extra celular pode variar. Normalmente em condições de repouso, i.e., quando a célula nervosa não está a ser estimulada, o potencial do neurónio é da ordem de -70mV relativamente ao meio envolvente. As bombas de iões localizadas na membrana celular do neurónio regulam a concentração dos iões, em função da sua carga, de modo a manter a diferença de potencial. Quando acontece actividade neuronal na célula, o potencial da membrana vai sofrer alteração. Se houver corrente eléctrica pelo fluxo de iões positivos para fora da célula ou entrada de iões negativos, o potencial da membrana torna-se mais negativo e corresponde ao processo de hiperpolarização. Se houver corrente eléctrica pelo fluxo de iões negativos para fora da célula ou entrada de iões positivos, o potencial da membrana torna-se menos negativo e corresponde ao processo de despolarização [12].

Mediante estimulação, se um neurónio consegue despolarizar o suficiente para elevar o potencial da membrana até um determinado patamar, inicia-se um mecanismo de retroalimentação (feedback) positiva. Em consequência gera-se um potencial de acção que representa uma flutuação de cerca de 100mV no potencial de membrana e tem uma duração da ordem do milissegundo. Após cada potencial de acção existe um período de tempo em que é impossível gerar novo potencial de acção. Este período compreende poucos milissegundos e é chamado período refractário absoluto. Existe um período mais

longo após o último pico de potencial durante o qual, embora seja possível, é mais difícil gerar um novo potencial de acção. Este período pode durar algumas dezenas de milissegundos e é chamado período refractário relativo. Os potenciais de acção são de elevada importância para a condução da informação nervosa, permitindo a propagação do sinal a longas distâncias com uma mínima atenuação.

Uma sinapse entre duas células nervosas é a região que compreende terminações dos neurónios, e o espaço que os separa, chamado fenda sináptica. Na terminação sináptica de uma célula nervosa os potenciais de acção ou simplesmente os potenciais de membrana desencadeiam a libertação de neurotransmissores para a fenda sináptica. Os neurotransmissores são substâncias existentes em vesículas na terminação sináptica de um neurónio, importantes para o neurónio comunicar com outra célula nervosa. Quando o neurotransmissor se liga aos receptores pós-sinápticos de um novo neurónio provoca uma resposta em termos de abertura de canais de iões. A natureza do neurotransmissor e do receptor determinam o tipo de fluxo. Por sua vez o tipo de fluxo de iões determina o efeito de excitação ou inibição no neurónio pós-sináptico em termos de flutuações no potencial de membrana.

Devido aos períodos refractários anteriormente referidos, actividade de um neurónio não depende apenas do sinal no instante t considerado. Depende também do comportamento do estímulo durante alguns milissegundos anteriores a t . A estimativa para a taxa de disparo de pulsos de potencial $r_{est}(t)$ provocada por um estímulo $s(t)$ é representada pela convolução do estímulo sobre $D(t)$. Onde $D(t)$ é uma função que pesa a contribuição do sinal num período de tempo τ anterior a t para a resposta em cada instante de tempo.

$$r_{est}(t) = r_0 + \int_0^{\infty} d\tau D(\tau) s(t - \tau) \quad (2.2)$$

Onde r_0 é taxa de disparo correspondente ao nível espontâneo de actividade, quando o estímulo s é zero. Esta estimativa é apenas uma aproximação, uma vez que se está a assumir que as células ganglionares respondem de forma linear, o que não acontece na realidade.

Esta estimativa linear não prevê a saturação da taxa de disparo e permite encontrar taxas de disparo negativas. Um modo de corrigir o problema é escrever a taxa de disparo como a

taxa de disparo espontânea mais uma função não linear do estímulo linearmente filtrado. O termo linear pode ser representado por L .

$$L(t) = \int_0^{\infty} d\tau D(\tau) s(t - \tau) \quad (2.3)$$

A taxa de disparo não linear passa a ser descrita pela expressão:

$$r_{est}(t) = r_0 + F(L(t)) \quad (2.4)$$

Onde F denomina-se por função de “não linearidade estática”. É uma função dependente do filtro linear e, pode ser encontrada pelo ajuste aos pontos obtidos experimentalmente para vários instantes, expressos num gráfico de r em função de L . Desta forma consegue-se descrever de forma mais realista o comportamento da taxa de disparo de uma célula ganglionar ao longo do tempo.

2.1.2 Estrutura anatômica da retina

É importante em primeiro definir algumas grandezas radiométricas que serão mencionadas neste capítulo. Uma vez que estas grandezas envolvem o conceito de ângulo sólido é importante defini-lo como a área esférica de raio R pelo quadrado do raio. É representado por $\Omega = a/R^2$ e tem como unidade o esterradiano [sr]. A intensidade luminosa é definida como a potência da fonte de iluminação por unidade de ângulo sólido, sendo que em fotometria a potencia equivale ao fluxo luminoso representado por F e tem como unidade o Lumen [lu]. A luminância é definida como a intensidade luminosa por unidade de área. É representada por $L = I/a$ e tem unidades [lu sr⁻¹ m⁻²].

Na estrutura da retina existe uma camada de células fotorreceptoras, com capacidade para converter energia luminosa em níveis de potencial por hiperpolarização da membrana.

Quando um fóton sensibiliza um fotopigmento, substância sensível à luz, existente nos fotorreceptores, vai decompô-lo em retinal e opsina. O tipo de molécula de opsina é diferente para cada tipo de fotorreceptor e determina a sua curva de sensibilidade à luz em

função do comprimento de onda. Neste processo a conformação do retinal é alterada. Passa de 11-*cis*-retinal para all-*trans*-retinal. Esta alteração desencadeia uma série de alterações que resulta na activação de um mensageiro chamado transducina, que por sua vez activa a fosfodiesterase que hidrolisa o nucleotido guanosina monofosfato cíclico (cGMP). A quantidade de cGMP regula a probabilidade de os canais iónicos, que permitem a entrada de iões Na^+ e Ca^{2+} para dentro do fotorreceptor, se encontrarem abertos. Assim a diminuição dos níveis de cGMP vai contribuir para redução do fluxo de iões positivos para dentro do fotorreceptor, diminuindo o potencial de membrana. A hiperpolarização resultante conduz a uma diminuição na libertação do neurotransmissor (glutamato) pelo fotorreceptor [3].

Os fotorreceptores têm uma dimensão suficientemente pequena para que a propagação do sinal se faça por níveis de potencial de membrana sem que haja atenuação significativa. Desta forma não existe necessidade para recorrer a potenciais de acção

Os fotorreceptores são classificados em cones e bastonetes. Na retina existe um número próximo da centena de milhões de bastonetes e cerca de 5 milhões de cones. Os bastonetes são sensíveis a luz pouco intensa e acromática, são praticamente inexistentes na fóvea e a sua densidade aumenta rapidamente até cerca de 20° de excentricidade visual e volta a diminuir até região mais periférica da retina. Os cones são sensíveis a luz mais intensa e colorida, existem basicamente sozinhos na fóvea, na sua concentração máxima, a sua densidade diminui rapidamente até uma excentricidade á volta de 5° de ângulo visual até uma densidade bastante baixa que se mantém aproximadamente constante para a restante retina. Na estrutura da retina a luz antes de chegar aos fotorreceptores tem de atravessar as restantes camadas, que com excepção para a região da fóvea, contém células nervosas e seus axónios, células de suporte e vasos sanguíneos.

As células bipolares fazem a ponte entre os fotorreceptores e as células ganglionares (figura 2.3). O modo como respondem, à semelhança do que acontece com os fotorreceptores é através de níveis de potencial. As células bipolares também têm dimensão suficientemente reduzida para não existir necessidade do recurso aos potenciais de acção. A nível da fóvea, na região central, cada célula bipolar contacta apenas um cone, existindo nesta região um menor processamento visual de baixo nível. O número de fotorreceptores que contacta cada célula bipolar aumenta com a excentricidade em relação à fóvea. As células horizontais têm um papel importante na mediação das interacções

laterais a este nível. As células bipolares dos bastonetes abarcam maior número de fotorreceptores que as células bipolares de cones.

Existem dois tipos de células bipolares, centro-on e centro-off. São designadas centro-on ou centro-off, consoante comuniquem com células ganglionares centro-on ou centro-off respectivamente (figuras 2.2 e 2.3). Estas denominações estão associadas ao tipo de campo receptivo das células ganglionares da retina, como se verá a seguir. As células bipolares centro-on têm a característica de inverter a polarização em relação ao fotorreceptor que com elas comunica. Ou seja, despolarizam com aumento de luz. As células bipolares centro-off têm a característica de manter a polarização em relação ao fotorreceptor que com elas comunica. Portanto hiperpolarizam com aumento da luminosidade [3].

Há ainda células denominadas amácrinas que têm função análoga às células horizontais, mas estabelecem interações laterais ao nível da camada pléxiforme interna, onde as células bipolares comunicam com as células ganglionares (figura 2.3).

As células ganglionares integram sinais provenientes de várias células. A este conjunto de células chama-se campo receptivo. Os campos receptivos ocupam uma área aproximadamente circular, constituída por uma região central e outra periférica (figura 2.2). A resposta em relação a sinais provenientes de regiões diferentes não é igual. Há antagonismo entre a informação proveniente do centro e da periferia. Uma célula ganglionar que responda de modo positivo para aumento de luz no centro e diminuição de luz na periferia, é designada centro-on (figura 2.2), no caso contrário é centro-off. Estes tipos diferentes de células ganglionares existem em número semelhante e comunicam de modo selectivo com células bipolares centro-on e centro-off respectivamente. Os campos receptivos centro-on e centro-off sobrepõem-se de modo a que cada ponto da superfície retiniana é analisado por várias células ganglionares centro-on e centro-off.

As células ganglionares transmitem a informação por via de potenciais de acção modelada pela taxa disparo dos potenciais. A resposta ao aumento de luminância numa região “on” do campo receptivo ou diminuição da luminância numa região “off” é

caracterizada por aumento da taxa de pulsos de potenciais de acção, enquanto que a resposta à redução de luminância numa região “on” do campo receptivo ou aumento da luminância numa região “off” é caracterizada por decréscimo da taxa de pulsos de potenciais de acção. O nível espontâneo de actividade corresponde à taxa de disparo na situação em que não existe estimulação luminosa de nenhuma área do campo receptivo da célula ganglionar.



Figura 2.2. Ilustração da forma de um campo receptivo de uma célula ganglionar da retina.

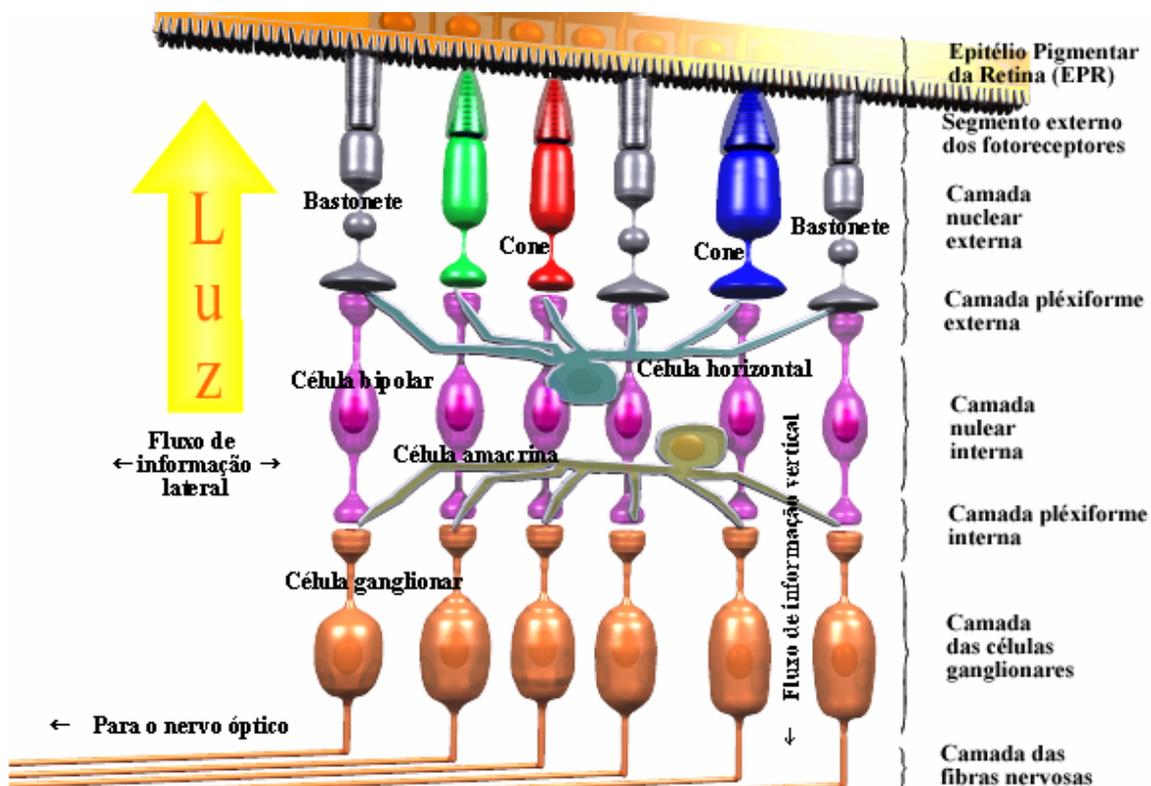


Figura 2.3. Esquema da estrutura da retina. Mostra a disposição dos elementos constituintes principais para a função visual nas várias camadas retinianas. Ligeira descrição do modo como a informação flui a este nível.

Existe cerca de 1 milhão de células ganglionares. Este número é muito inferior aos fotorreceptores o que evidencia o grau de convergência e compactação do sinal de vários fotorreceptores de um campo receptivo para apenas uma célula ganglionar. As interações laterais estabelecidas pelas células horizontais e amácrinas têm um papel importante para se conseguir compactar da informação. Esta redução da informação não constitui uma perda, muito pelo contrário. Resulta do primeiro nível de processamento visual. Este processamento é tanto maior quanto maior a excentricidade das regiões correspondentes do campo visual, cujas imagens formadas na retina têm pior qualidade. Pois na periferia é onde os efeitos das aberrações se fazem notar com maior intensidade.

De seguida são abordadas características fisiológicas dos campos receptivos das células ganglionares da retina, que ilustram as consequências do processamento de informação que realizam.

2.1.3 Campos receptivos das células ganglionares da retina

A estrutura espacial dos campos receptivos de algumas células ganglionares não é linear. Assim na equação (2.5) é descrito o modelo da diferença de Gaussianas, para campos receptivos centrados em $x=y=0$, que se ajusta a estruturas lineares e não lineares.

$$D_s(x, y) = \pm \left(\frac{1}{2\pi\sigma_{cen}^2} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma_{cen}^2}\right) - \frac{B}{2\pi\sigma_{per}^2} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma_{per}^2}\right) \right) \quad (2.5)$$

Onde o primeiro termo descreve a região central, determinada pelo parâmetro σ_{cen} , o segundo termo descreve a região periférica, determinada pelo parâmetro σ_{per} e B é um parâmetro de balanço entre as contribuições do centro e da periferia. Na expressão (2.5) o sinal a seguir à igualdade pode adoptar o valor positivo ou negativo consoante se trate de um campo receptivo centro-on ou centro-off respectivamente [12].

Podemos agora tentar compreender de uma forma mais qualitativa as implicações do modelo fenomenológico descrito anteriormente. A figura 2.4 mostra um estímulo a varrer o campo receptivo de uma célula ganglionar de 'A' para 'E'. Para se obter a taxa de disparo de modo estático para todas as posições do campo receptivo, realiza-se a

convolução entre o estímulo e a estrutura espacial do campo receptivo. A operação de convolução implica que o mesmo campo receptivo vai ter um gráfico da taxa de disparo diferente consoante o tamanho e intensidade do estímulo. Um resultado desta filtragem está exemplificado a uma dimensão para um campo receptivo centro-on na figura 2.5, com a correspondência aos pontos de 'A' a 'E' exibidos na figura 2.4.

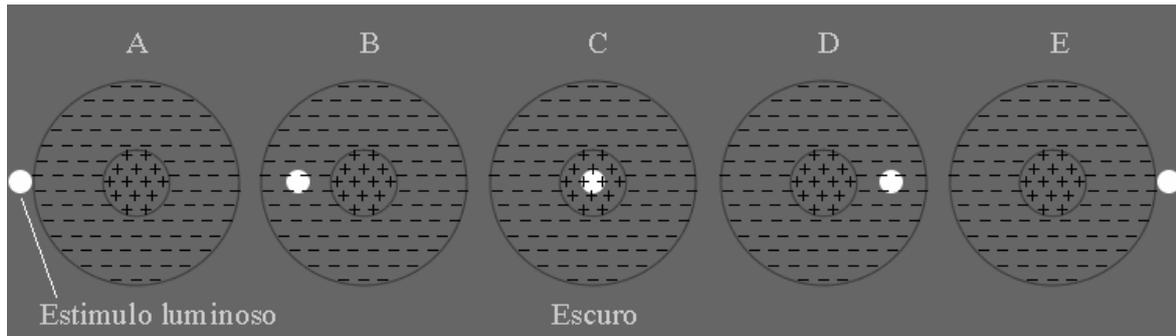


Figura 2.4. Estímulo luminoso de reduzidas dimensões a incidir em diferentes regiões do campo receptivo de uma célula ganglionar.

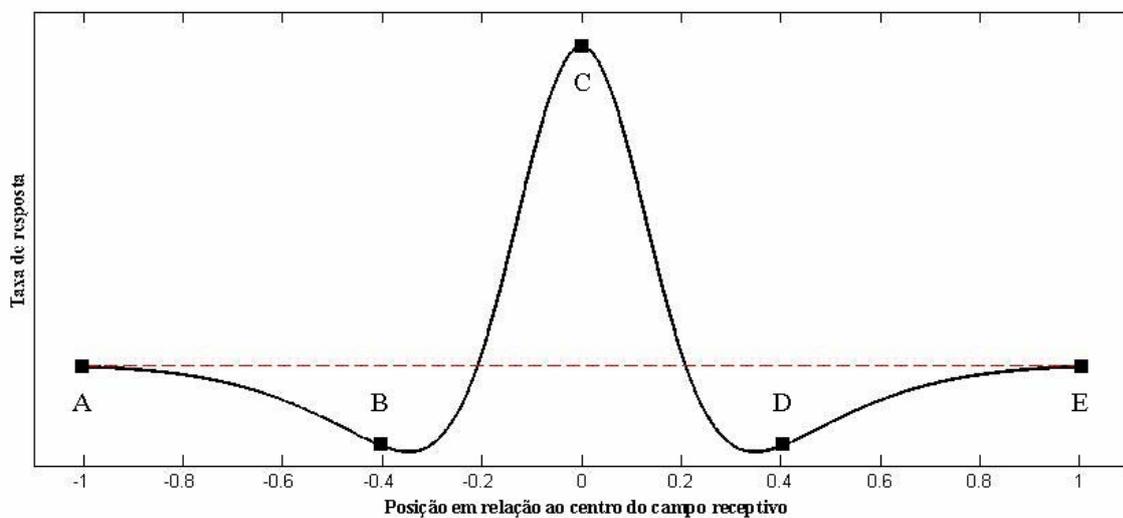


Figura 2.5. A traço contínuo gráfico da taxa de disparo de uma célula ganglionar de campo receptivo centro-on de raio unitário a ser atravessado por um estímulo luminoso. A linha a tracejado marca o nível espontâneo de actividade. Os pontos assinalados de 'A' a 'E' fazem a correspondência com as posições do estímulo na região do campo receptivo mostradas na figura 2.4.

Quando numa imagem existem intensidades diferentes, existe contraste, que definido pela seguinte expressão,

$$\gamma = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} \quad (2.6)$$

Onde I_{\max} corresponde à intensidade máxima e I_{\min} corresponde à intensidade mínima.

Conhecendo a estrutura espacial de um campo receptivo, é possível analisar o tipo de filtragem espacial que este realiza. Quando um campo receptivo centro-on passa de um fundo escuro para uma superfície que estimula os seus fotorreceptores com uma determinada intensidade luminosa, como ilustrado na figura 2.6, a taxa de disparo da célula ganglionar respectiva é obtida por convolução da estrutura espacial do campo receptivo ao longo do fundo percorrido. O resultado a uma dimensão pode ser observado na figura 2.7, com a correspondência com as posições da figura 2.6 assinaladas. É bem evidente a filtragem passa-alto por parte do campo receptivo da célula ganglionar. O comportamento da actividade neuronal sofre alteração em torno da posição da linha de contraste. Em termos de actividade neuronal as regiões da retina que transmitem mais informação para as áreas de processamento subsequentes, são aquelas onde se verificam maiores diferenças de intensidade luminosa.

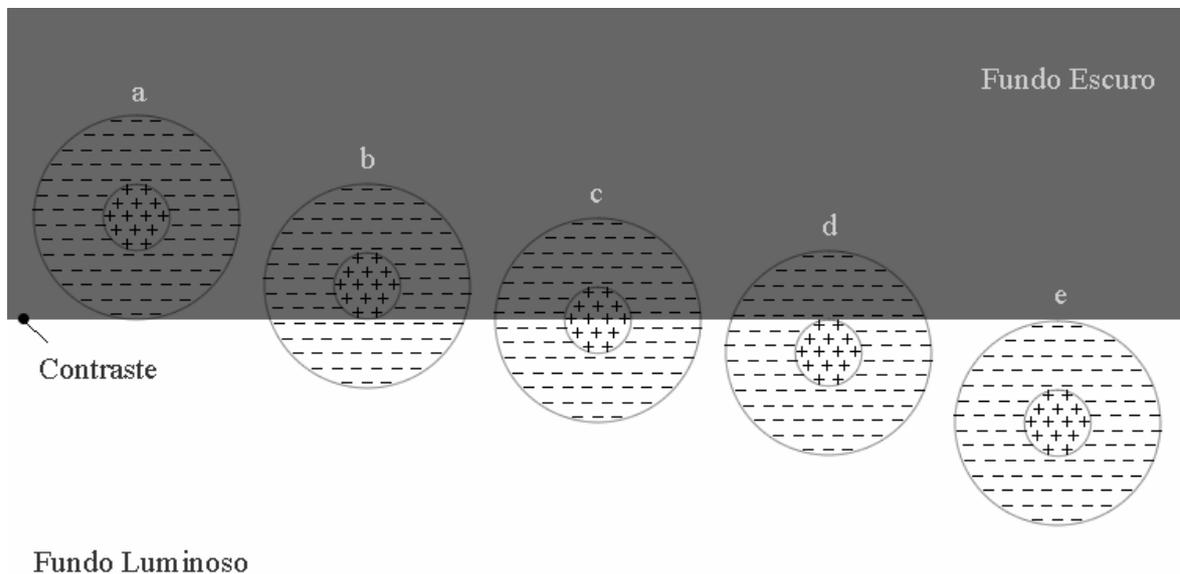


Figura 2.6: Posições do campo receptivo de uma célula ganglionar centro-on num fundo com contraste.

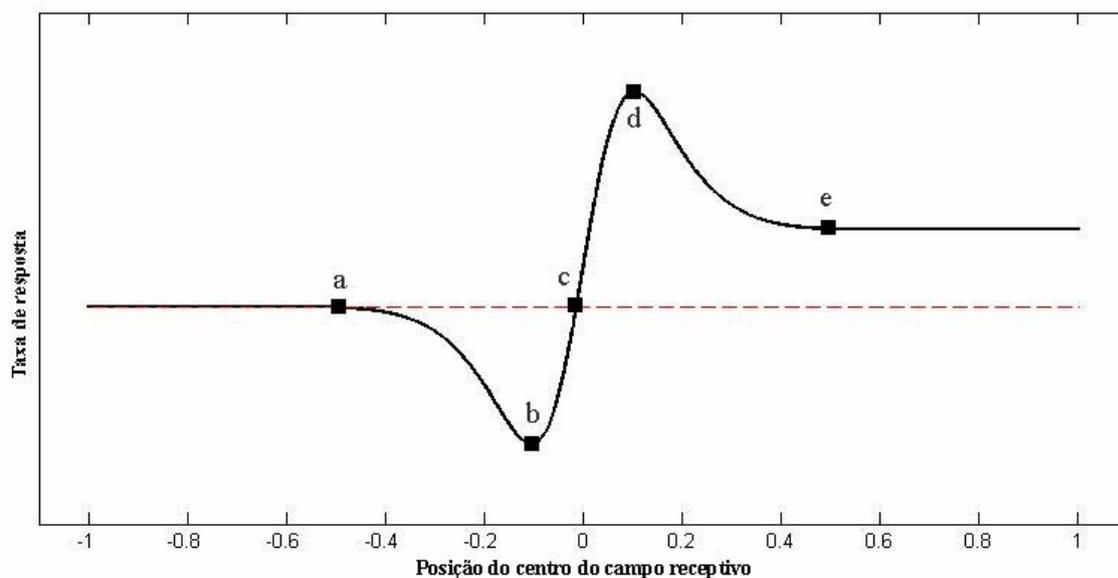


Figura 2.7. A traço contínuo, o gráfico da taxa de disparo de uma célula ganglionar de campo receptivo centro-on de raio unitário, para todas as posições numa trajectória desde um fundo escuro até um fundo luminoso e perpendicular à superfície delimitadora. A linha a tracejado marca o nível espontâneo de actividade. Os pontos assinalados de 'a' a 'e' fazem a correspondência com as posições do centro do campo receptivo relativamente à linha de contraste mostradas na figura anterior.

As figuras 2.6 e 2.7 permitem explicar a ilusão conhecida por bandas de Mach, ilustrada na figura 2.8. Onde se percebe um gradiente de intensidade na fronteira entre rectângulos com níveis de intensidade distintos. Este exemplo mostra como as ilusões de óptica podem servir para melhor compreender certos mecanismos visuais. Mais à frente irão ser estudadas algumas ilusões de óptica.

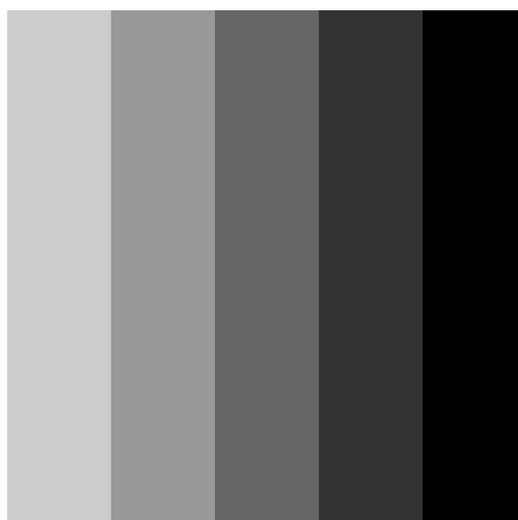


Figura 2.8. Ilusão das bandas de Mach. As listas verticais têm uma intensidade uniforme, no entanto é percebido um gradiente com diminuição de intensidade no sentido contrário ao aumento da intensidade das listas.

A existência dos dois tipos de células ganglionares acaba por definir dois canais de luminância, que têm importância para reduzir ambiguidade no acréscimo ou decréscimo do nível da intensidade luminosa. A adaptação da célula ganglionar a alterações bruscas de intensidade é boa, o que a torna útil para a detecção de contrastes e contornos. No entanto, para regiões com intensidade uniforme, a célula ganglionar tende a aproximar taxa de disparo no sentido da taxa correspondente ao nível espontâneo de actividade. Assim se não existissem dois canais seria difícil saber se a diminuição da taxa corresponde a intensidade constante ou suavemente decrescente. Por outro lado, o mesmo objecto iluminado com diferentes iluminantes é percebido com alguma constância, em parte devido às células ganglionares responderem essencialmente ao contraste e não tanto ao nível de luz global.

2.1.4 Percurso visual a partir da retina

Os axónios das células ganglionares, prolongam-se ao longo da camada mais interna da retina. Dentro do globo ocular os axónios das células ganglionares não são mielinizados para não criarem maior obstáculo à passagem de luz. Continuam dirigindo-se para o disco óptico, constituindo o nervo óptico que sai para fora do olho. No nervo óptico os axónios das células ganglionares passam a ter cobertura de mielina, o que contribui para que a propagação seja mais rápida.

Cerca de 60% dos axónios das células ganglionares cruzam-se no quiasma óptico. A informação que se cruza é a que provem da metade interna da retina de cada olho. Esta informação corresponde ao hemi-campo visual direito captado pelo olho direito e ao hemi-campo esquerdo captado pelo olho esquerdo. Este processo permite que a informação de pontos correspondentes das duas retinas seja processada aproximadamente na mesma localização a nível cortical.

A partir do quiasma óptico os axónios das células ganglionares continuam pelo tracto óptico, conduzindo a informação visual para os núcleos geniculados laterais (NGL), para os colículos superiores e para o pretectum (figura 2.9).

As células ganglionares podem-se diferenciar em termos de estrutura morfológica e dos percursos que seguem. Existem células do tipo α que possuem corpos celulares e dendrites com maiores dimensões e são projectadas para as camadas magnocelulares do

núcleo geniculado lateral. A grande maioria das células ganglionares é do tipo β , têm corpos celulares e dendrites de menor dimensão e são projectadas para as camadas parvocelulares do NGL. Existe ainda um terceiro canal de entrada, denominado de koniocelular com células em quantidade muito reduzida cujos axónios se projectam para finas lâminas entre as camadas parvo e magnocelulares. A sua origem retiniana é mal conhecida, mas pensa-se que deriva dos cones sensíveis a baixos comprimentos de onda (figura 2.10). No NGL os neurónios organizam-se em campos receptivos com características semelhantes aos campos receptivos da retina.

Os colículos superiores têm como função participar na coordenação da cabeça e dos olhos para alvos visuais. O pretectum tem particular importância na coordenação para o reflexo pupilar. Os axónios que comunicam com esta pequena estrutura provêm de células ganglionares especializadas na detecção do fluxo de luz.

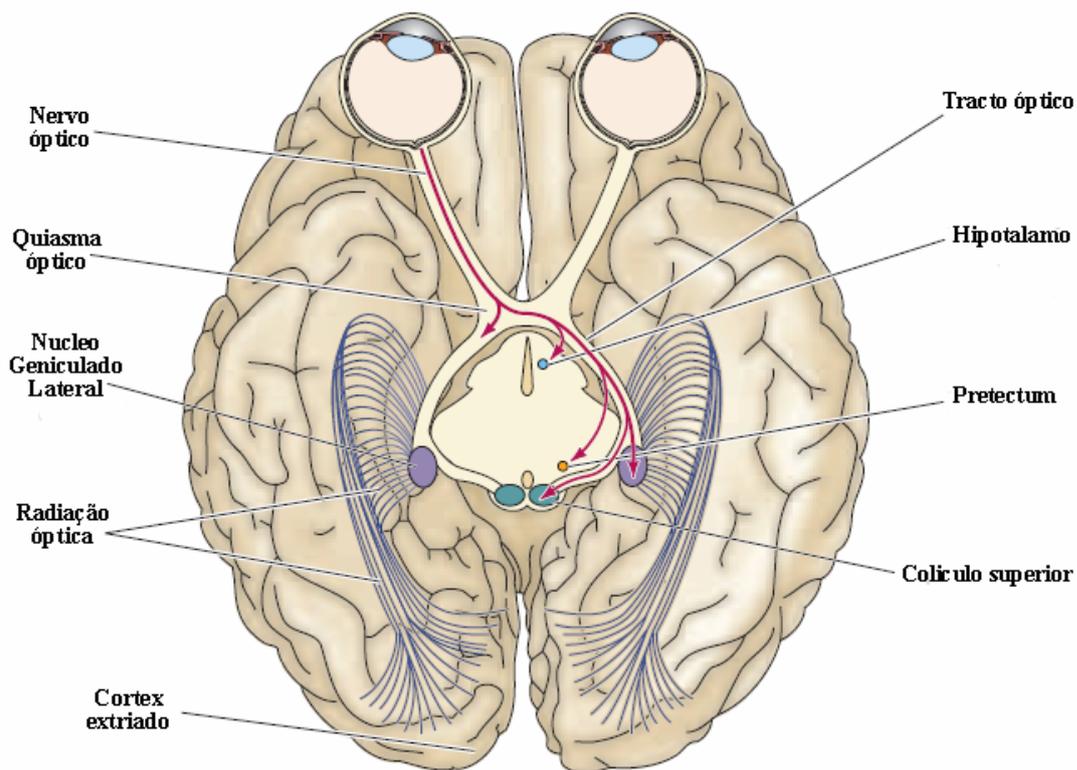


Figura 2.9. Esquema do percurso dos axónios das células ganglionares. Retirado do livro “Neuroscience” [3], com alteração da legendagem.

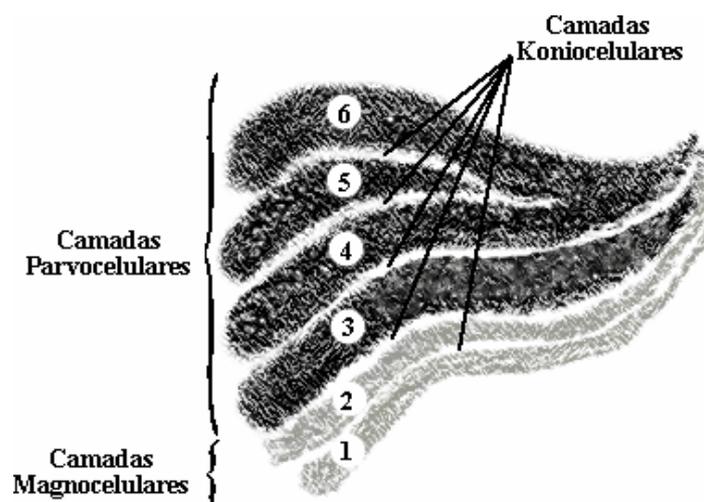


Figura 2.10. Esquema das camadas do NGL.

O quadro que se apresenta de seguida agrupa as principais características específicas dos canais parvocelular e magnocelular.

Tabela 1. Características próprias dos canais parvocelular e magnocelular.

Características	Magnocelular	Parvocelular
Tamanho do gânglio	Grande	Pequeno
Velocidade de transmissão	Rápida	Lenta
Campo receptivo	Grande	Pequeno
Tipo de resposta	Passageiro	Mantido
Resolução espacial	Pobre	Boa
Resolução temporal	Boa	Pobre
Sensibilidade a alterações de luminosidade	Grande	Pequena
Sensibilidade ao contraste	Baixa	Alta
Sensibilidade ao movimento	Alta	Baixa
Discriminação de cor	Não	Sim

Em termos funcionais as células ganglionares podem ser de três tipos. Relativamente ao gato, as células X, são especializadas na resposta à localização e detalhe fino de estímulos bem definidos e que participam nos percursos parvocelular e magnocelular. As células Y que enervam apenas o percurso magnocelular e respondem a características básicas e movimento de estímulos de curta duração. As células W com função semelhante às células Y mas que se projectam para os colículos superiores.

Os axónios de células talâmicas, que constituem a chamada radiação óptica, fazem a ligação do NGL até ao centro visual primário (V1) do córtex estriado no lobo occipital de modo organizado. Existe na distribuição uma correspondência retinotópica, onde os axónios correspondentes à fovea terminam na parte posterior do córtex estriado enquanto que os correspondentes a zonas mais periféricas terminam em regiões progressivamente mais anteriores do córtex estriado. O tamanho da região do córtex que corresponde a determinada área da retina é proporcional à sua densidade de fotorreceptores e axónios sensitivos. Assim a representação da mácula comparativamente com regiões periféricas é muito desproporcionada, ocupando grande parte do pólo do lobo occipital. A área V1 participa na detecção e caracterização do estímulo quanto à cor movimento e orientação.

A maioria dos neurónios corticais responde vigorosamente a barras luminosas ou escuras para um determinado número de orientações dentro do campo receptivo da célula, sendo que a resposta apresenta uma curva de sensibilidade com pico para uma orientação preferida. Os campos receptivos das células corticais não têm forma circular como os campos receptivos retinianos e do NGL. Antes, respondem a estímulos com orientação específica e podem ser classificados como simples ou complexos. O tamanho do campo receptivo de uma célula simples depende da posição correspondente na retina, sendo tanto maior quanto mais afastada da fovea. Uma célula simples apenas dispara quando uma linha ou contorno com orientação preferida cai dentro de uma determinada localização do seu campo receptivo, que é composto por zonas de resposta “on” e “off” delimitadas espacialmente. As células complexas disparam sempre que um estímulo cai no seu campo receptivo, que é composto por zonas de resposta “on” e “off” espacialmente misturadas.

Outra particularidade das respostas dos neurónios do córtex estriado é a binocularidade, que é a capacidade de utilizar em conjunto a informação dos dois olhos. Os axónios do NGL com informação de cada olho terminam em colunas alternadas na camada IV do córtex estriado com especificidade ocular, chamadas de colunas de dominância ocular. Assim os sinais do olho direito e do olho esquerdo permanecem em canais diferentes mas facilmente combinados a nível celular no córtex estriado. Embora a maioria dos neurónios do córtex estriado respondam à estimulação de ambos olhos, o peso da informação de cada olho varia de neurónio para neurónio, ou seja verifica-se uma variação na dominância ocular. Existem neurónios que respondem essencialmente a um

dos olhos e outros que respondem aos dois olhos de modo semelhante. Assim, o cérebro tem acesso à informação comum aos dois olhos, bem como à diferença entre os dois.

Os campos receptivos binoculares, são semelhantes em termos de tamanho, forma, orientação preferida e posição correspondente no campo visual de cada olho. Ao longo da profundidade de uma coluna, perpendicularmente à superfície do córtex visual primário, as várias camadas apresentam a mesma preferência de orientação. Em colunas adjacentes verifica-se ligeira diferença na orientação preferencial, que vai aumentando à medida que as colunas ficam mais afastadas. Ao longo do córtex estriado existem várias iterações em intervalos de 1mm onde se repete esta espécie de mapeamento em termos de preferência de orientação. Cada pequena região do espaço visual é representada por um conjunto de neurónios cujo campo receptivo cobre o intervalo completo de preferências de orientação. A interacção destes campos receptivos constitui a base para a estereopsia. A estereopsia permite extrair informação da profundidade de um objecto ou cenário pela comparação das imagens com perspectivas ligeiramente diferentes para cada olho. A capacidade de estereopsia é desenvolvida nos primeiros anos de vida.

As áreas V2, V4, MT do cérebro (middle temporal) são áreas de visão de alto nível. Têm função de reconhecimento e pertencem ao córtex extra-estriado. Estas áreas estão organizadas em dois percursos que fornecem informação a áreas corticais de associação nos lobos parietal e temporal (figura 2.11). O percurso ventral inclui a área V4, que responde selectivamente à cor de um estímulo visual, e conduz informação do córtex estriado até à parte inferior do lobo temporal. Este sistema segundo se pensa é responsável pela visão de alta resolução e reconhecimento de objectos e está relacionado com o processamento cognitivo do “quê” [4]. Neste percurso os neurónios têm propriedades importantes no reconhecimento de objectos, como selectividade à forma, cor e textura. Nos níveis mais elevados os neurónios chegam a exibir maior selectividade capaz de responder preferencialmente a faces. A via temporal tem acesso à informação transportada tanto pelo percurso magnocelular como parvocelular. O percurso dorsal inclui a área MT, que conduz a informação de V1 até ao lobo parietal. Pensa-se que este sistema é responsável pelos aspectos espaciais da visão, como a análise do movimento e relação entre as posições dos objectos do cenário visual, está associado à localização do “onde” [4]. Os neurónios neste percurso apresentam selectividade para direcção e velocidade do movimento. A via parietal recebe essencialmente informação do percurso magnocelular.

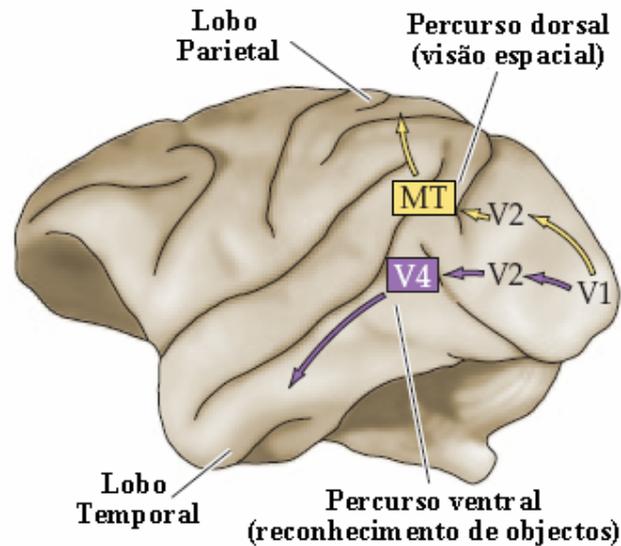


Figura 2.11. As áreas visuais para além do córtex extriado organizadas nos percursos ventral e dorsal. Imagem retirada do livro Neuroscience [3].

Perante a diferenciação que é feita é importante salientar que as vias e os percursos, não são independentes. O sistema visual é muito complexo, e a percepção visual envolve muitas e complexas interligações entre variados centros visuais. O modo como vemos é psicossomático [6].

2.2 Mecanismos de atenção

Os mecanismos de atenção são essenciais para o estudo da percepção visual. Uma vez que o ser humano não tem capacidade de atender a todos os estímulos que os sentidos captam. Impõem-se portanto uma breve descrição das suas características.

Atenção visual consiste na dedicação da mente à observação e interpretação de uma determinada região do campo visual. Exige essencialmente focalização e consciência.

A quantidade de informação que é conscientemente retida de uma observação para a seguinte é extremamente baixa [5]. É fundamental compreender estas limitações para perceber como a informação visual é integrada entre observações e movimentos oculares. A atenção é necessária para prevenir que acontecimentos visuais sejam apagados por estímulos seguintes, ainda que não exista sobreposição espacial. Assim a selecção pela

atenção é necessária para que o estímulo persista tempo suficiente para ser conscientemente reportado. Também a experiência e a memória influenciam aquilo a que se atende. Existe uma tendência para orientar a atenção para elementos novos enquanto elementos familiares são examinados de modo mais eficaz [5]. O observador atende mais rapidamente a elementos que partilhem cor, frequência espacial ou posições de elementos previamente atendidos. A invariância do contexto de um objecto alvo observado ao longo do tempo pode guiar a atenção e facilitar a procura.

A atenção não afecta a intensidade ou nitidez do estímulo e tem apenas um pequeno e inconsistente efeito na veracidade das características e localização dos elementos percebidos [5]. Embora a atenção não aumente a nitidez do estímulo percebido, pode determinar o modo como este é percebido. Principalmente no caso de imagens ambíguas, como se verá adiante. Mais à frente irá ser visto também como os mecanismos de atenção verificam ser de elevada utilidade na percepção de profundidade e no estudo de algumas ilusões visuais.

No entanto os estímulos não atendidos não caem no esquecimento, são registados implicitamente e têm impacto em observações subsequentes. Este tipo de processamento é conhecido por pré-atencional, por não existir recuso à atenção [17]. Um exemplo é o agrupamento de Gestalt que acontece sem intervenção de mecanismos de atenção [5].

2.2.1 Duas visões sobre a atenção

Em primeiro convêm introduzir os conceitos de processamento em Paralelo e em Série. O processo em paralelo ocorre quando todos os elementos são processados simultaneamente. O processo em série ocorre quando o processamento acontece em um elemento de cada vez.

A teoria de Gestalt sugeriu que o reconhecimento visual consiste essencialmente na tendência de agrupar objectos, conduzido por um processamento paralelo de natureza global, onde a forma tem importância fundamental. No entanto o registo de movimentos oculares, chamou a atenção para a relevância do processamento em série do reconhecimento visual. Isto com base nos registos dos movimentos oculares, variarem consoante a interpretação ou informação que o observador pretende extrair da imagem mostrada [4].

2.2.2 Procura visual

Um cenário visual é composto por elementos, que têm determinadas características básicas como, cor, forma, tamanho, textura e movimento. Quando o sistema visual procura um ou mais elementos alvo, pode ter mais ou menos dificuldade consoante o número e disposição de outros elementos com características total ou parcialmente diferentes, chamados de elementos distractivos. Na tarefa de procura visual os olhos do observador deslocam-se fixando pontos correspondentes à fóvea diferentes. Ao movimento dos olhos entre estas fixações, chama-se movimentos sacádicos.

Existem teorias que defendem que a procura visual se divide em mecanismos pré-atencionais e pós-atencionais [17]. Os mecanismos pré-atencionais são caracterizados por processamento em paralelo, onde os estímulos com as características que se pretendem encontrar, normalmente distintas das dos elementos distractivos, se evidenciam perceptivamente de modo praticamente imediato sem recurso à atenção. Os mecanismos pós-atencionais, onde o processamento é em série, acontecem em situações onde a procura é difícil. Normalmente quando se verificam as chamadas conjunções de características, ou seja, quando elementos distractivos diferentes, partilham diferentes características com o elemento alvo. Por exemplo quando se procura um círculo vermelho, no meio de quadrados vermelhos e círculos azuis. Nestas situações a procura exige a presença de atenção e é demorada.

Estudos recentes apontam para a presença de ambos mecanismos, em paralelo e em série, na tarefa de procura visual. Em experiências de procura visual, verificou-se existir modulação na área V4, em células com preferência pelas características procuradas, antes da localização do objecto alvo. Quando um elemento com as características pretendidas cai no campo receptivo das referidas células, a resposta destas passa a ser máxima. Provavelmente esta acção promove a atenção espacial para a localização deste elemento e na maioria dos casos é acompanhada de movimentos sacádicos. Este tipo de reacção acontece também com elementos distractivos que partilham algumas características com o objecto alvo, o que explica a dificuldade de algumas procuras visuais no caso de conjunções. No entanto existem importantes componentes de processamento em série na procura visual. São utilizados mecanismos de selecção espacial para examinar potenciais

alvos. O grau de processamento em série ou em paralelo é determinado pela dificuldade da tarefa de procura. [18].

A visualização de simulações gráficas é uma área onde o estudo da procura visual é muito relevante, na medida em que os mecanismos de procura devem ser pré-atencionais para maior facilidade de interpretação do observador [17].

2.2.3 Top-down e Bottom-up controlo da atenção na procura visual.

Quando a atenção está sob controlo do observador, está envolvido o sistema de controlo atencional *top-down*, neste caso a atenção é voluntária, envolve esforço e decorre lentamente. Quando a atenção é conduzida por estímulos externos que automaticamente conduzem a atenção para uma localização particular, está envolvido o sistema de controlo atencional *bottom-up*. Pode existir interacção entre os sistemas de controlo atencionais *bottom-up* e *top-down*.

Existe uma ampla variedade de atributos visuais *bottom-up*, que atraem a atenção. Por exemplo pistas espaciais e alterações abruptas de características visuais, como por exemplo as luzes intermitentes de uma ambulância, imagens estáticas mostradas alternadamente e padrões com diferenças abruptas de luminância.

Elementos com características muito particulares e visualmente salientes em relação ao contexto, também atraem a atenção, mas estas pistas são mais fáceis de ignorar que as primeiras, principalmente se a procura que o observador efectua se baseia em características diferentes das destes elementos [5].

2.3 Percepção visual

Na imagem perceptiva que um observador constrói não fazem parte, os obstáculos presentes nas camadas da retina que são atravessados pela luz antes de chegar à camada fotossensível. Assim como os escotomas fisiológicos, que são regiões da retina sem sensibilidade, por exemplo o local para onde os axónios das células ganglionares convergem para o nervo óptico. O número de fotorreceptores que captam a informação luminosa é limitado, no entanto a imagem formada no nosso consciente tem aspecto

contínuo. Os aspectos focados neste parágrafo realçam a importância do processamento da informação visual ao longo das vias e regiões cerebrais da visão.

O sistema visual humano tem limitações ditadas pela sua fisiologia e estrutura neuronal. De seguida são abordados temas importantes para a compreensão de como percebemos.

2.3.1 Visão temporal

A persistência da visão acontece quando o sistema visual perante um estímulo intermitente a partir da frequência crítica de fusão o percebe contínuo sem cintilar. A frequência crítica de fusão depende do contraste, da luminância e do observador. No entanto a persistência da visão não explica completamente como somos capazes de perceber movimento.

Quando um estímulo é desenhado numa determinada posição e no instante seguinte, suficientemente pequeno é apagado e desenhado numa posição diferente, é percebido como um movimento da primeira posição para a segunda. Este fenómeno é conhecido por movimento stroboscópico, movimento aparente ou fenómeno “phi”. Verifica-se por exemplo nas luzes sinalizadoras que acendem sequencialmente com um intervalo de tempo suficientemente pequeno e provocam a sensação de haver um foco de luz a percorrer o percurso composto pela posição das lâmpadas. Este efeito permite que na visualização de filmes e em aparelhos televisivos a frequência temporal, não necessite de atingir valores acima de um valor máximo de aproximadamente 50Hz sem que se note intermitência.

A velocidade do movimento de um estímulo lento parece maior na região central do campo visual. A sensibilidade ao movimento decresce com a excentricidade retiniana para movimentos lentos. Para movimento rápidos acontece o contrário. O campo visual periférico é mais sensível a estímulos em movimento que a estímulos estáticos [4].

2.3.2 Intensidade luminosa

Vivemos num mundo onde estamos sujeitos a uma enorme variedade de iluminantes, naturais e artificiais, com diferentes intensidades. Para se conseguir elevada sensibilidade para todo o intervalo de intensidades, o sistema visual tem de se ajustar.

A possibilidade de controlo do diâmetro pupilar permite controlar a entrada de luz dentro do olho, mas não é suficiente para dar resposta a todos os níveis de intensidade luminosa a que estamos sujeitos. Outro mecanismo é a capacidade de adaptação à luz por parte dos fotorreceptores em termos da sensibilidade dos pigmentos fotossensíveis aí existentes. Outra solução é a existência de dois tipos de fotorreceptores os cones predominantemente usados em visão fotópica, em condições de iluminação diurnas, e os bastonetes basicamente responsáveis pela visão em condições escotópicas, em condições de iluminação nocturnas.

Na adaptação aos níveis de luminância, numa área da retina onde incide uma maior intensidade luminosa, durante um período de tempo relativamente longo, vai existir um maior numero de fotopigmentos sensibilizados, e conseqüentemente um menor numero de fotopigmentos para sensibilizar, pois a sua produção é um processo que leva algum tempo, diminuindo desta forma a sensibilidade do fotorreceptor.

O sistema visual com inacção das células ganglionares centro-on verifica dificuldade em detectar estímulos com maior intensidade luminosa que o fundo. Se a afecção for nas células ganglionares centro-off a dificuldade passa a ser a detecção de estímulos com menor intensidade luminosa que o fundo. No entanto o modo como o contexto afecta a percepção de níveis de intensidade luminosa não é completamente explicado com base na actividade das células ganglionares. O sistema visual com certeza realiza processamento extra-retiniano para atribuir significado em termos de intensidade luminosa aos estímulos visuais [3].

2.3.3 Processamento de profundidade

O sistema visual vê-se obrigado a utilizar pistas para obter a noção da distribuição espacial do cenário observado, porque a retina, capaz de ser sensibilizada pela luz, não tem por si só capacidade de registar a tridimensionalidade do espaço observado.

Existem vários tipos de pistas tridimensionais e as pistas oculomotoras como a acomodação, vergência, e pistas visuais monoculares como a perspectiva, tamanho relativo, interposição, sombras e movimento de paralax. Existe ainda uma pista visual binocular chamada estereopsia.

A estereopsia só acontece em visão binocular, i.e., quando as imagens formadas nos dois olhos são usadas em conjunto para a percepção do mesmo cenário visual. Nesta condição existe correspondência entre os pontos de cada retina e diz-se existir fusão das imagens. Quando os dois olhos observam um objecto tridimensional a uma distância suficientemente próxima (figura 2.12), devido à sua separação, cada olho têm uma imagem ligeiramente diferente do mesmo objecto (figura 2.13). Assim determinados elementos desse objecto vão impressionar pontos da retina não correspondentes. Havendo fusão das imagens dos dois olhos, chama-se disparidade retiniana, à distância entre esses pontos. Existem células corticais com capacidade para comparar a disparidade da informação recolhida pelos olhos em cada pequena área do campo visual. Desta comparação o sistema visual de um observador normal consegue extrair informação tridimensional.

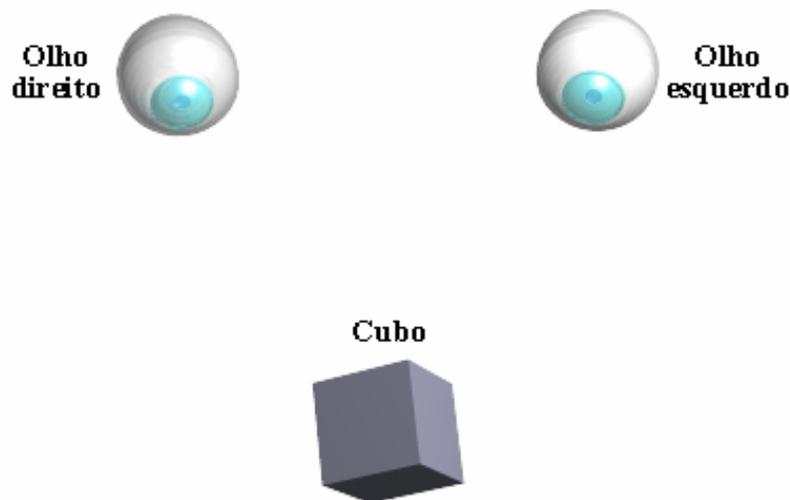


Figura 2.12. Esquema de um cubo a ser visualizado pelos dois olhos.

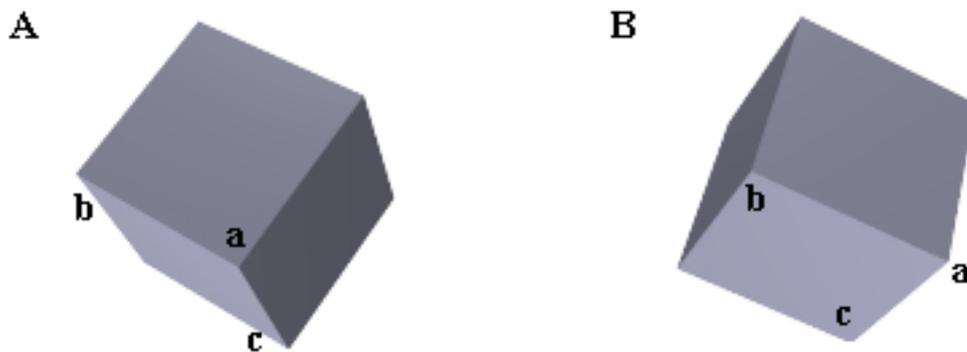


Figura 2.13. Na figura ‘A’ está representada a imagem visualizada pelo olho direito e na figura ‘B’ o cubo visto pelo olho esquerdo. Nas figuras foram assinalados os vértices ‘a’, ‘b’ e ‘c’ do cubo, para melhor ilustrar a rotação entre as duas perspectivas.

Utilizando um aparelho que mostra de modo separado uma imagem a cada olho, chamado estereoscópio, é possível observar sem grande dificuldade duas fotografias cada uma tirada de uma posição ligeiramente diferente ao mesmo cenário.

Existe ainda assim a possibilidade de recorrer a ajudas como filtros polarizadores ou filtros anaglifos. Neste caso cada olho vai apenas ver os estímulos que lhe correspondem, facilitando desta forma a fusão na visualização de estereogramas. Com os filtros polarizadores a informação relativa a cada olho tem a mesma polarização do filtro aplicado em frente do respectivo olho e tem polarização cruzada em relação ao outro olho. Os filtros anaglifos são vermelhos para um olho e verdes ou azul ciano para o outro. A informação visual relativa a cada olho deve ser da cor do respectivo filtro, para não ser filtrada.

Felizmente a falta da estereopsia não compromete completamente a capacidade de perceber o arranjo tridimensional do espaço circundante. Até porque a estereopsia é limitada espacialmente devido ao limite da separação dos nossos olhos. Para dois pontos que estejam demasiado próximos um do outro ou muito afastados do observador deixa de existir disparidade retiniana suficiente para extracção de profundidade.

O movimento de paralaxe é uma pista monocular que permite extrair informação tridimensional. O modo como pontos em profundidades diferentes se movem quando o observador altera a posição dos olhos é característico. Quando se foca num plano de um objecto tridimensional e se move o olhar, os elementos mais próximos desse objecto

parecem mover-se mais rápido e em sentido contrário ao olhar, enquanto que pontos mais afastados parecem mover-se mais lentamente e no mesmo sentido do olhar.

Embora se saiba pouco sobre os mecanismos neuronais que regulam esta capacidade, as sombras constituem mais uma pista para a determinação da forma tridimensional de um objecto. Os iluminantes mais frequentes, o sol, candeeiros, iluminam por cima e esse facto condiciona a forma como percebemos uma imagem com sombras.

Também a perspectiva é uma pista tridimensional cuja base de funcionamento neuronal não é bem conhecida. Quando no cenário existem superfícies que vão progressivamente diminuindo a sua área verifica-se a tendência para interpretar que a profundidade vai aumentando. A pista do tamanho relativo está intimamente ligada a este fenómeno. A imagem do mesmo objecto, com dimensão maior é normalmente interpretada como estando mais próximo do observador.

As pistas tridimensionais num ambiente natural são interpretadas em simultâneo. Em laboratório é possível separar ou misturar algumas pistas em harmonia ou em conflito, o que permite estudar o peso que o sistema visual atribui a cada pista. Pistas em harmonia promovem a percepção tridimensional, enquanto que pistas em rivalidade geram confusão, ou diminuem o efeito, acabando por ganhar a pista mais forte. Provavelmente o peso relativo atribuído a cada pista pode depender do desenvolvimento ontogénico, como resposta às condicionantes físicas e ambientais a que uma pessoa é submetida à medida que o sistema visual se vai desenvolvendo e filogénico, como consequência da adaptação evolutiva sofrida pela espécie ao longo das gerações.

2.3.4 Ilusões de óptica

Certas ilusões de óptica podem dar pistas sobre os mecanismos que estão ou não por detrás de determinado efeito perceptivo. As ilusões de óptica são utilizadas cientificamente para ilustrar mecanismos que suportam ou contrariam teorias sobre a percepção visual. Estas teorias podem ser fenomenológicas (como no caso das teorias sobre a atenção discutidas anteriormente), ou ter um suporte fisiológico mais sólido.

Vamos agora utilizar os conceitos discutidos até aqui para compreender alguns efeitos presentes em ilusões.

A ilusão na figura 2.14 mostra dois rectângulos centrais exactamente iguais. No entanto o rectângulo da esquerda parece ter maior intensidade por estar mergulhado num fundo de intensidade muito menor, enquanto o rectângulo da direita parece ter menor intensidade por estar envolvido por uma superfície mais intensa. Este fenómeno pode ser explicado pelas propriedades dos campos receptivos das células ganglionares da retina, já explicado no primeiro capítulo. As células ganglionares têm bom desempenho na determinação do contraste, mas são limitadas na correcta determinação da intensidade luminosa de uma superfície.

Um efeito interessante e que mostra bem a ambiguidade associada à determinação da intensidade de um estímulo, acontece quando se procura fundir visualmente os dois rectângulos. Como são iguais, apenas vai existir rivalidade retiniana no fundo. Assim o fundo da sobreposição das imagens vai ser percebido oscilando entre as duas intensidades do fundo de cada metade da figura. Perceptivamente o rectângulo fundido oscila a sua intensidade em função do fundo independentemente de na região da retina que lhe corresponde não existir rivalidade.



Figura 2.14. Imagem que mostra a ambiguidade em termos de intensidade luminosa.

Nesta figura podem ainda verificar-se dois outros fenómenos. Percebe-se um gradiente em cada lado na imediação da fronteira entre os dois fundos, o que é explicado pelos campos receptivos circulares com antagonismo centro/periferia das células ganglionares da retina já explicados anteriormente. Nota-se também que o tamanho aparente dos dois rectângulos difere ligeiramente embora tenham a mesma dimensão. Para

explicar este fenómeno, é necessário introduzir o conceito de difracção como a distorção da luz por um obstáculo. Neste caso o obstáculo consiste nos bordos livres da íris. Como resultado a imagem correspondente a regiões com maior luminância que o redor, vai ter maior dimensão, devido ao espalhamento da luz.

Na figura 2.15 o fenómeno é diferente. Os mesmos rectângulos da figura 2.14, quando rodeados predominantemente por uma área mais escura parecem mais escuros que os rectângulos rodeados predominantemente por uma área mais clara. A explicação encontrada para a ilusão da figura 2.14 não se aplica a este caso. Uma possível explicação para este fenómeno é que a percepção da intensidade luminosa é gerada estatisticamente com o objectivo de diminuir a ambiguidade característica da luminância. Assim na presença da incerteza da intensidade luminosa do estímulo e em face de não existir um contraste nítido com o fundo, uma espécie de integração do estímulo com o que o envolve, parece ser uma estratégia razoável para acertar o mais possível a sua intensidade.



Figura 2.15. Imagem que mostra a ambiguidade em termos de intensidade e, como o contexto influencia a sua interpretação.

Na figura 2.16 temos do lado esquerdo o exemplo de um padrão que provoca o “deslizamento periférico”. Como o próprio nome indica é um fenómeno onde se sente movimento em zonas periféricas do campo visual. Este efeito é conseguido através de um padrão de intensidades estático, que quando observado pela visão periférica transmite ao observador sensação de se estar em movimento. Este padrão consiste em regiões ordenadas de negro, cinza escuro, branco, cinza claro repetido sequencialmente e promove a percepção de movimento neste sentido para a maior parte dos observadores. O facto de o movimento ter uma direcção específica provavelmente tem a ver com a resposta em função da intensidade do estímulo das células com selectividade direcciona ser diferente para sentidos contrários. Estas regiões podem ter separação abrupta ou ser em gradiente. Este é

um fenómeno *bottom-up*, pois a sensação obtida é completamente involuntária. Este é um exemplo em que o conhecimento de como a atenção funciona pode ajudar a avançar com uma explicação. Foi falado no capítulo sobre os mecanismos de atenção, que padrões de intensidade podem conduzir a atenção, neste caso como os padrões estão em círculo a atenção a ser atraída pelas diferenças de luminosidade pode dar uma sensação de movimento relativo. O facto do fenómeno ser periférico pode ser explicado pelo facto de na periferia existirem essencialmente bastonetes, que iniciam por excelência o percurso magnocelular bastante sensível ao movimento. O facto de existir pouca visão de detalhe e, por ser mais difícil de manter o foco de atenção estável facilita a ilusão. O facto de o movimento dos olhos promover o efeito pode ser explicado pelo facto de o padrão ocupar posições diferentes no campo visual ao longo do tempo, facilitando assim o redireccionamento da atenção. Juntando todas estas considerações, parece bastante plausível que este fenómeno seja atencional. A imagem da direita na figura 2.16 mostra uma ilusão bastante conhecida, denominada de “rotating snakes” que tem por base o fenómeno de “deslizamento periférico”.

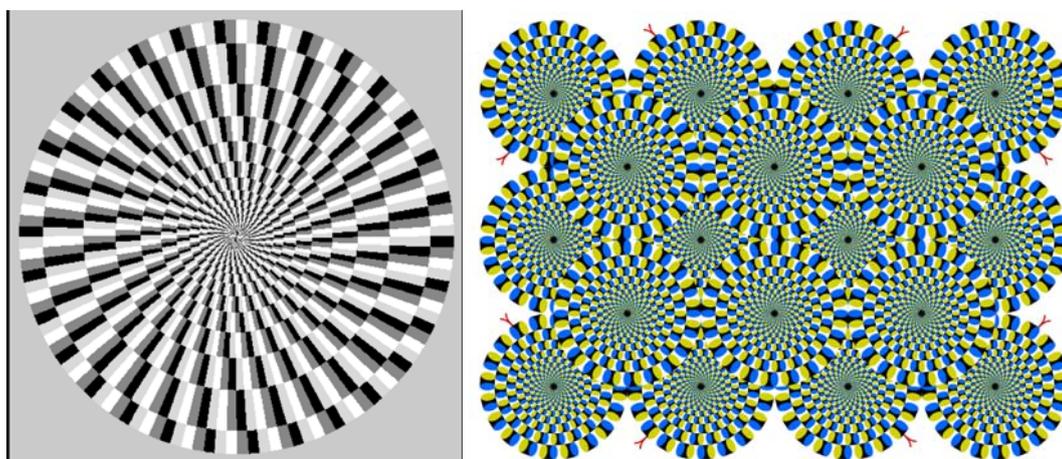


Figura 2.16. Do lado esquerdo está o exemplo do padrão em termos de intensidades que provoca o efeito de “deslizamento periférico”. Do lado direito, está mostrada uma ilusão denominada “rotating snakes” feita com base no “deslizamento periférico”. Imagens retiradas do site de Akiyoshi [13].

De acordo com o que foi focado no capítulo da intensidade luminosa, zonas da retina menos sensibilizadas por prévia estimulação vão responder menos ao mesmo estímulo luminoso que outra área da retina mais sensível. Esta descrição explica o fenómeno das pós-imagens. Que acontecem, nos dois tipos de fotorreceptores, cones e bastonetes e que permitem por em evidencia a oponência de cores, devido ao antagonismo centro-periferia dos campos receptivos. Verifica-se que o azul está em oposição ao amarelo

(resultante da soma da luz verde com luz vermelha) e o verde encontra-se em oposição ao vermelho.

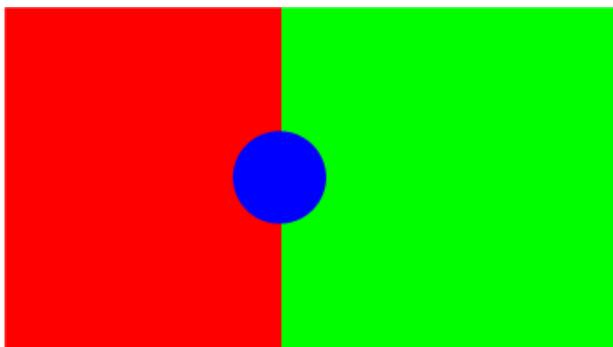


Figura 2.17. Bandeira de Portugal com as cores invertidas. Fixando um ponto central da figura durante um período de 30 segundos, após os quais se olhe para o fundo branco ao lado permite observar o efeito de pós-imagem.

Em ilusões como a “ilusão de Poggendorff” e a “ilusão da parede do café”, podemos verificar a tendência que existe em o sistema visual incrementar perceptivamente a menor amplitude formada por duas linhas que cruzam de modo enviesado. Que é o mesmo que dizer que tende a aproximar a amplitude de intercepção de duas linha ao ângulo recto, distorcendo assim a disposição mostrada. Este efeito deve acontecer a nível cortical onde existem células nervosas com selectividade de orientação. Este efeito pode surgir como consequência do modo como estas células funcionam, ou resultar de uma estratégia evolutiva com o objectivo de facilitar a diferenciação de duas linhas com orientação semelhante.

A ilusão de Poggendorff é mais notória com as linhas paralelas na vertical que com as linhas paralelas na horizontal [7].

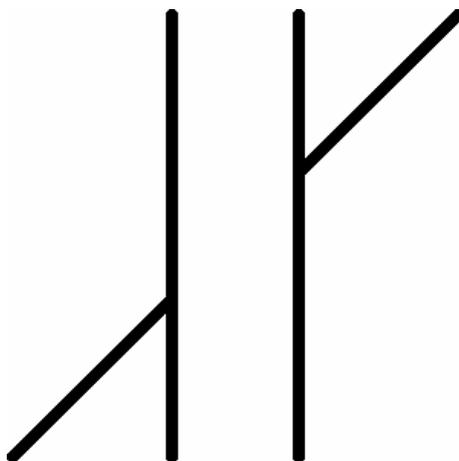


Figura 2.18. Ilusão de Poggendorff. Nesta figura, a ilusão é percepção do desalinhamento das linhas obliquas, que na realidade estão alinhadas.

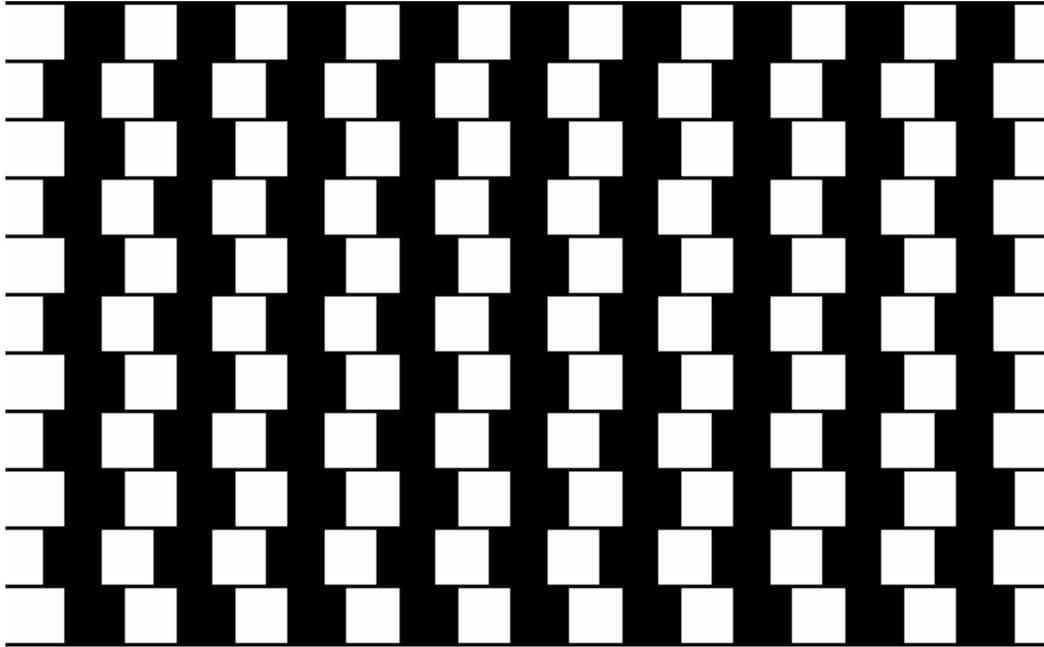


Figura 2.19. Ilusão da parede de café. O efeito ilusório é a distorção das linhas horizontais, que separam cada fila de quadrados.

A “grelha de Hermann” ilustrada na figura 2.20 é uma ilusão, cuja explicação clássica que tem sido amplamente difundida, embora explique o efeito, não descreve seguramente o fenómeno pois é facilmente posta em causa realizando pequenas variações na grelha. Esta explicação baseia-se na geometria dos campos receptivos das células ganglionares da retina a no antagonismo centro/periferia da sua resposta. Quando um campo receptivo está centrado sobre uma lista branca fora de um ponto de intersecção, de modo ao centro ocupar a lista e a periferia apanhar regiões escuras, a área periférica que engloba zona escura é maior, comparativamente com a situação em que o campo receptivo está centrado num cruzamento de listas brancas (figura 2.21). Desta forma se explica que a resposta à presença de luz seja maior fora, que no cruzamento. Em consequência observa-se o aparecimento de manchas escuras na intercepção de listas brancas em zonas periféricas. No entanto, na região central não se verifica o mesmo fenómeno. Tal pode dever-se ao facto de a visão central ser de maior detalhe e ter os campos receptivos mais pequenos ou mesmo não existirem para determinados fotorreceptores.

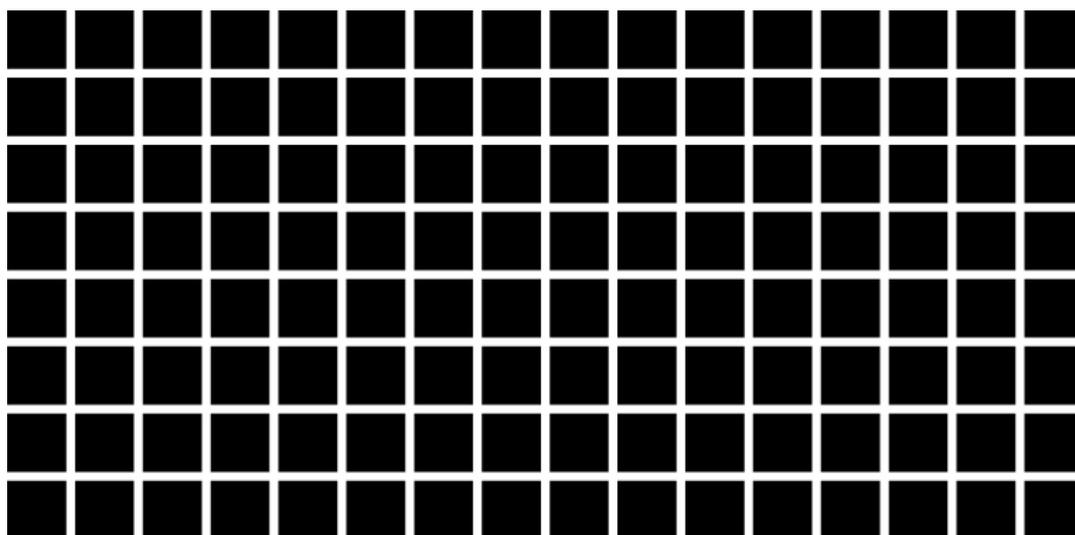


Figura 2.20. Grelha de Hermann. Nas regiões periféricas do campo visual, os cruzamentos das listas brancas é percebido de modo escurecido.

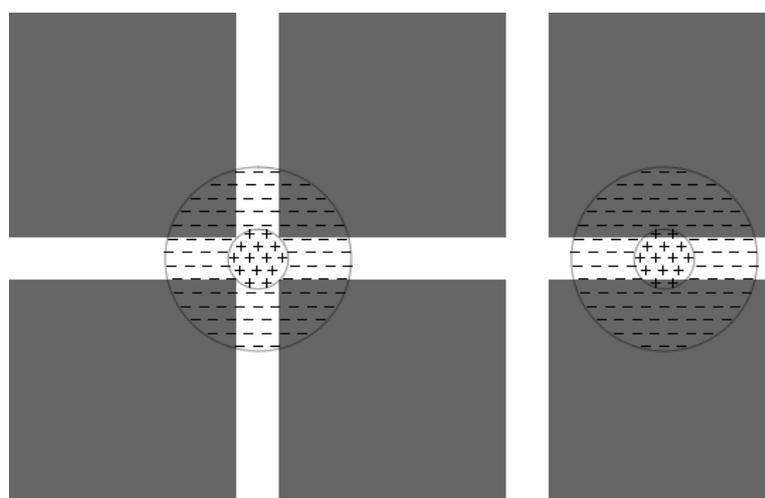


Figura 2.21. Esquema que ilustra a explicação clássica para a ilusão da grelha de Hermann.

O que contraria esta explicação é o facto de que quando as linhas são apresentadas na diagonal ou são deformadas o efeito desvanece. Com base neste facto pode pensar-se que o mecanismo não deve ser exclusivamente a nível retiniano ou do NGL. Em princípio deve existir envolvimento das células com selectividade direccional a nível cortical para explicar o desvanecimento do fenómeno.

Um fenómeno de desaparecimento visual, recentemente divulgado é o “Motion Induced Blindness” (MIB) que consiste no desaparecimento e reaparecimento de estímulos visuais periféricos em relação á zona de fixação do olhar quando sobrepostos por um padrão homogéneo em movimento e é verificado em observadores normais em condições normais. Yoram Bonne, Alexander Cooperman e Dov Sagi utilizaram uma apresentação

de estímulos amarelos com elevado contraste, juntos com um padrão aleatório de pontos azuis em movimento. Os observadores normais, ao fixarem o centro do teste, de modo estável mas não rígido, verificam o desaparecimento de um ou mais estímulos durante algum tempo, com posterior reaparecimento de modo igualmente espontâneo. O teste foi efectuado a centenas de pessoas, onde o tempo de desaparecimento foi medido para estudo dos parâmetros que afectam o fenómeno. O número de pessoas que não verificou qualquer desaparecimento foi muito reduzido.

Nos testes de MIB, verificou-se um desaparecimento alternante durante cerca de 40% do tempo de visualização com durações até 10s. Geralmente desaparece um ponto de cada vez, podem também desaparecer dois e mais raramente desaparecem os três em simultâneo. O ponto que verificou mais desaparecimento foi o superior esquerdo.

Os movimentos oculares amplos tendem a mostrar de novo os pontos desaparecidos, mas o desaparecimento resiste a pequenos movimentos. Qualquer ponto a que se preste atenção não desaparece.

Do estudo realizado constataram-se as seguintes características.

O aumento do contraste dos estímulos faz com que o seu desaparecimento se verifique mais. Os estímulos tendem a desaparecer menos quanto maior for a sua dimensão. Estímulos em movimento não deixam de desaparecer, sendo que nestes casos desaparecem num quadrante e aparecem noutro. Quanto maior for o movimento dos estímulos menos desaparecem. No que respeita à intermitência dos estímulos, foram testadas frequências, de 1 a 3 Hz, sendo que o aumento inicial começa por dificultar o MIB, mas a partir de uma frequência um pouco a abaixo de 2Hz promove de novo o aumento do desaparecimento dos estímulos. O fenómeno em estudo continua a verificar-se ainda que se coloquem zonas de protecção circulares em torno dos estímulos onde o padrão de pontos azuis não se percebe, mas diminui à medida que as zonas se afastam do estímulo, até deixar de se verificar MIB. Em relação ao padrão em movimento, em todos os tipos utilizados se verificou que com o aumento da velocidade o desaparecimento dos estímulos aumenta. O MIB aumenta também com o contraste do padrão e com o número de pontos que o compõem. O padrão de pontos em movimento pode representar uma superfície a duas dimensões ou uma estrutura tridimensional, sendo que este ultima caso, por exemplo pontos aleatórios distribuídos uniformemente sobre uma superfície esférica, favorece o fenómeno.

Pelo facto de o desaparecimento dos estímulos aumentar com o contraste, sem que seja necessária demorada exposição dos mesmos e, se continuar a verificar o desaparecimento de estímulos em movimento, aponta para que o fenómeno não se deva a supressão sensorial ou a adaptação.

A inibição da actividade neuronal por aplicação de estimulação magnética transcraniana (TMS) no lobo parietal no hemisfério esquerdo faz com que os estímulos deixem de desaparecer e, quando aplicada no hemisfério direito prolonga o desaparecimento dos estímulos. Este facto sugere o envolvimento de mecanismos atencionais. Assim a explicação mais plausível para o desaparecimento induzido pelo movimento reside na incapacidade de direccionar a atenção para todos os estímulos presentes, sendo que a presença de um padrão em movimento é sensorialmente dissociável dos estímulos e passam a ser objectos em competição.

O fenómeno de MIB pode ser uma manifestação da subtracção selectiva, de estímulos, da consciência, por parte do sistema visual, enquanto constrói uma interpretação útil da informação sensorial de entrada. [10].

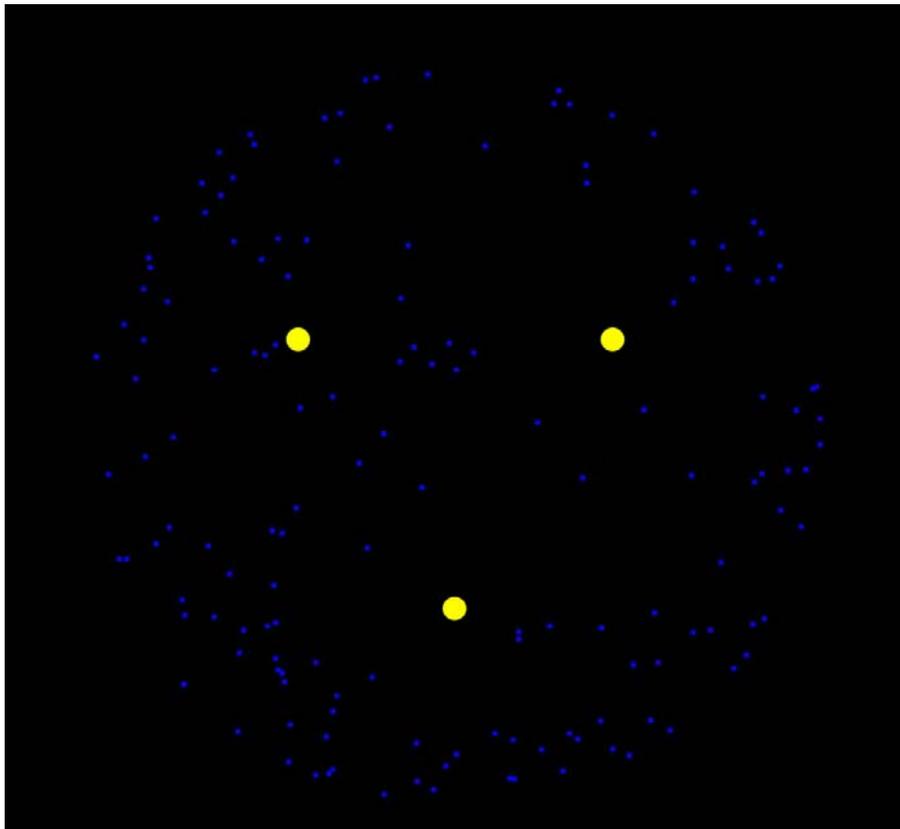


Figura 2.22. Imagem clássica do MIB onde os pontos a amarelo são os estímulos que desaparecem quando se fixa o centro da figura com o padrão de pontos azuis, neste caso sobre uma superfície esférica em movimento.

3 Ambiguidade em Percepção Visual

Qualquer observador se vê confrontado com a necessidade de atribuir significado ou quantificar o que vê, acerca do tamanho, relação espacial entre os objectos, a sua forma e movimento. Quando nos deparamos com imagens de natureza ambígua, a interpretação pode ser passiva de natureza *bottom-up* onde as transições dependem de processamento nos primeiros estágios do sistema visual, ou pode ter controlo voluntário *top-down*, onde factores como atenção e expectativa interferem nas transições perceptivas em patamares mais elevados da hierarquia visual.

A multi-estabilidade característica de figuras ambíguas foi alvo do desenvolvimento de uma teoria explicativa por parte de Köhler e Wallach em 1944 conhecida como teoria da saciação [9]. Esta teoria defende a existência de uma mudança de percepção como resultado saciação a nível cerebral. Não se conseguiu definir exactamente do que o cérebro se sacia, mas pensa-se que resulta na saturação de uma interpretação transitando o estado para outra percepção possível.

Também têm sido realizados estudos físicos sobre esta problemática, acentando essencialmente na aplicação de técnicas de modelos de áreas como teoria de catástrofes, por Poston e Stewart em 1978 e, Ta'eed em 1988, sinérgica por Ditzinger e Haken em 1989 e redes neuronais por Kawamoto e Anderson em 1985. Em todos os casos, tentativas em ajustar modelos pré-existentes aos dados experimentais procurando descrever o comportamento [8].

O fenómeno das transições de fase em figuras ambíguas pode ser interpretado por analogia a um gráfico de potencial, primeiramente utilizado em física por Hermann Haken. Este gráfico tem dois vales, na base dos quais se encontra um ponto de equilíbrio estável, que corresponde a uma interpretação estável da figura ambígua (figura 3.1). Estes vales estão mediados por uma elevação central, no topo da qual se encontra um ponto de equilíbrio instável, que corresponde a um estado ambíguo, do qual a percepção tende a fugir para cair num dos dois estados estáveis que o ladeiam. A posição do estado perceptivo no eixo das abcissas é constrangida pelo gráfico tendendo sempre a ver a sua energia potencial diminuir. O já referido mecanismo de saciação, pode ser representado pelo aplanar gradual do vale do gráfico de potencial onde a percepção se encontra e, até a

percepção ser suficientemente estimulada para ultrapassar a barreira de potencial inicial e cair no outro estado perceptivo (figura 3.2). O parâmetro de saciação depende da adaptação ou fadiga neuronal [9].

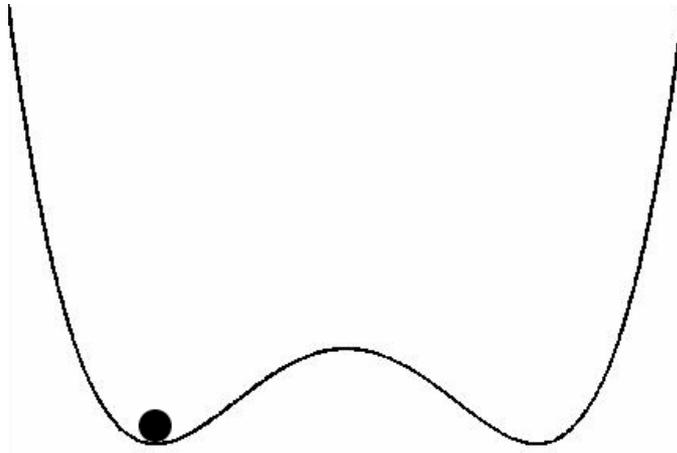


Figura 3.1. Ilustração do gráfico de potencial com os dois vales simétricos.

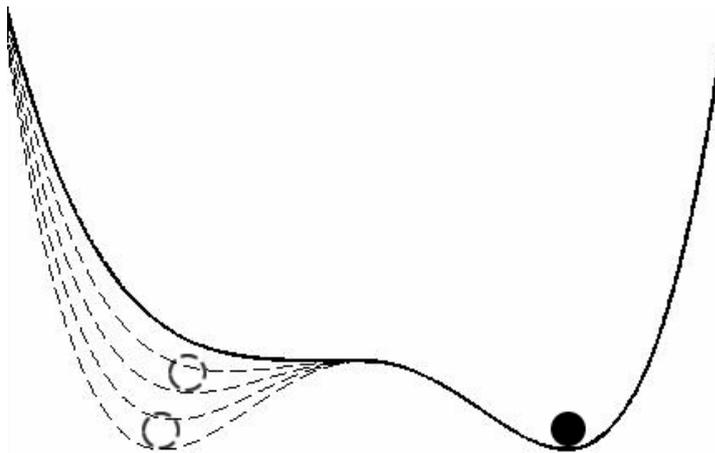


Figura 3.2. Ilustração do aplanamento de um dos vales do gráfico de potencial.

Outro modo de olhar para a multiestabilidade da percepção do sistema visual na presença de ambiguidade. É interpretá-lo como um sistema físico complexo, composto por muitos neurónios e conexões, com organização própria, uma vez que não existe nenhuma entidade externa a determinar como os elementos constituintes se devem relacionar. Este sistema está sujeito a transições de fase abruptas, onde se verificam alterações a nível da percepção. Assim pode-se definir um estado perceptivo como a configuração de um padrão com comportamento e características específicas observáveis a nível macroscópico, i.e., sem ir à escala dos elementos constituintes do sistema. Os parâmetros externos responsáveis por alteração no comportamento do sistema são chamados de parâmetros de

controle e conduzem o sistema ao longo da variedade de estados possíveis, num processo não linear, uma vez que a resposta do sistema não é proporcional aos valores dos parâmetros de controle. Quando estes parâmetros têm valores afastados de um determinado valor crítico, o sistema têm uma configuração estável, ou seja está num estado bem definido. Quando os parâmetros de controle se aproximam do valor crítico, aumenta a instabilidade do sistema, devido à interacção entre as configurações de estados diferentes. Quando os parâmetros de controle assumem valores críticos acontece subitamente o fenómeno de emergência, que é caracterizado por uma transição de estado do sistema. Esta transição pode ser contínua ou descontínua, em função da interacção das configurações dos estados antes e após a emergência. Neste processo pode haver cooperação, com coexistência das configurações ou verificar-se uma competição donde resulta apenas uma configuração vencedora. Existindo transição entre estados perceptivos, torna-se importante avaliar a estabilidade do sistema perante a variação de condições externas, i.e., dos parâmetros de controle. Para realizar esta avaliação existe o parâmetro de ordem, que é uma variável que descreve a estrutura macroscópica do sistema em termos de comportamento, caracteriza a sua forma e evolução em função dos parâmetros de controle.

Estes conceitos são de elevada relevância para os estudos descritos ao longo da tese onde se verificam transições de fase.

3.1 *Cubo de Necker*

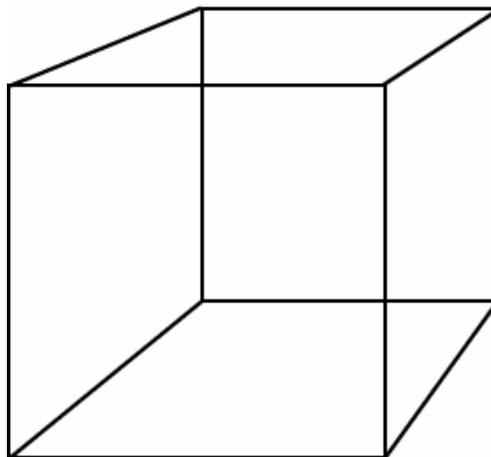


Figura 3.3. Representação de um cubo de Necker com perspectiva.

Quando um cubo transparente é visto monocularmente, (figura 3.3), as duas interpretações mais comuns do estímulo alternam. Quando se observa um cubo de Necker transparente, a interpretação correcta corresponde à percepção de seis faces com o mesmo tamanho. Embora a perspectiva contribua para que a imagem retiniana dos vértices não tem o mesmo tamanho. As faces mais afastadas são mais pequenas que as faces mais próximas. Debido à perspectiva, quando a interpretação é a errada a imagem do cubo corresponde a uma pirâmide truncada, onde as faces mais próximas parecem mais pequenas que as mais afastadas, ilustrado na figura 3.4 *A*. Um outro efeito muito interessante acontece quando se afasta a cabeça de um lado para o outro para procurar usar a paralaxe como pista da disposição tridimensional da estrutura. Quando a imagem percebida corresponde a um cubo, ilustrado na figura 3.4 *B* e a cabeça se move num sentido, os elementos mais próximos da estrutura movem-se em sentido contrário, enquanto que os mais afastados se movem no mesmo sentido da cabeça. Agora se a mesma imagem retiniana for percebida a rodar no sentido inverso, a paralaxe falha. O cubo passa a rodar no sentido do movimento da cabeça. Isto porque os elementos do cubo que são percebidos mais próximos, estão na realidade mais afastados. Assim movem-se relativamente menos que os percebidos como estando mais afastados. Daí a sensação de rotação. Isto é interessante porque a imagem retiniana é exactamente a mesma. Também é interessante o facto da pista da perspectiva e mesmo da paralaxe não serem suficientes para eliminar a ambiguidade da figura.

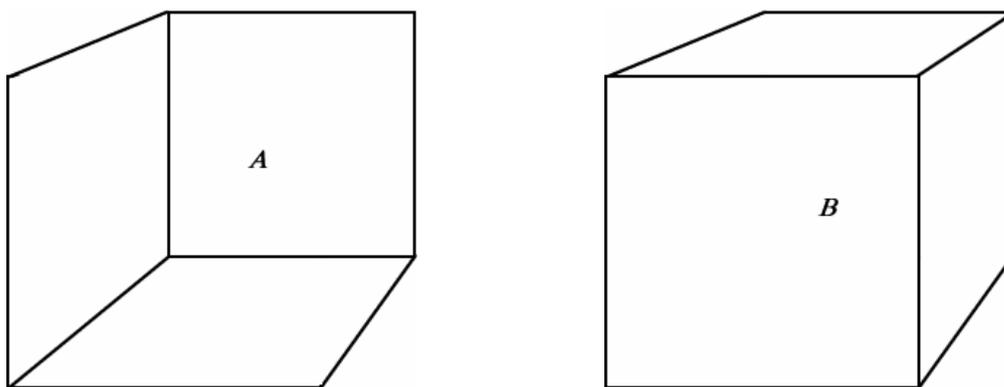


Figura 3.4. Representações das duas percepções possíveis de um cubo de Necker com perspectiva. A imagem *A* mostra a percepção errada onde a face mais afastada é percebida mais próximo, tem aspecto de pirâmide truncada. A imagem *B* mostra a percepção correcta onde a face mais próxima é percebida mais próximo, tem aspecto de um cubo.

Quando o cubo transparente é colocado em rotação em cima de uma plataforma sem ambiguidade esta é percebida sempre a rodar no sentido real. Se a interpretação do

cubo é a correcta, o movimento do cubo tem o mesmo sentido de rotação da base. Quando a percepção é a ilusória a direcção de rotação inverte imediatamente e passa a perceber-se rotação contrária à da base de rotação [2]. A consequência da alternância de interpretações é dramática, pois altera a forma, a relação espacial com outros objectos e a direcção do movimento. Independentemente do observador saber que o objecto é um cubo, continua a ter ambiguidade, entre um cubo e uma pirâmide truncada, significa que aqui a expectativa da forma conhecida do objecto não se consegue impor. Também outras pistas como a estereopsia, feedback da vergência e acomodação se mostram incapazes de eliminar a ambiguidade de um cubo transparente.

3.1.1 Parte experimental

A seguinte experiência foi realizada com o objectivo de estudar as transições de fase numa figura ambígua. O estudo consiste em avaliar em que medida a alteração das características do cubo desenhado condiciona a transição entre estados perceptivos do cubo, que se traduz na variação aparente do seu sentido de rotação.

3.1.1.1 Descrição

Foi realizado um programa em Matlab, para simular a projecção no plano do ecrã as arestas de um cubo tridimensional em rotação. O primeiro passo consistiu em determinar as posições de um cubo com aresta de valor a , possível de ser escolhido pelo utilizador. As posições dos oito vértices são operadas por uma matriz de rotação em torno do eixo vertical, com amplitude de rotação φ em cada iteração. A velocidade angular com que o cubo roda tem valor $\omega = \varphi/\tau$, onde τ é o período temporal que separa duas iterações consecutivas. Os valores estipulados inicialmente pelo utilizador são ω e τ . A seguinte expressão descreve como se obtém a posição dos novos vértices em cada iteração.

$$\begin{bmatrix} v_x(t + \tau) \\ v_y(t + \tau) \\ v_z(t + \tau) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\varphi) & -\sin(\varphi) & 0 \\ \sin(\varphi) & \cos(\varphi) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_x(t) \\ v_y(t) \\ v_z(t) \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

Onde v índice x , y e z são as coordenadas de um vértice num referencial onde o eixo dos zz tem direcção vertical. Conhecendo os vértices do cubo, desenham-se as arestas e, obtém-se um cubo em rotação. Este programa para além dos parâmetros iniciais já referidos permite ainda alterar a cor e espessura das arestas, a cor do fundo e a ausência ou não de perspectiva geométrica na projecção sobre o ecrã.

Método A

No ecrã é mostrado um cubo de Necker em rotação, como mostra a figura 3.5. O objectivo é estudar os tempos entre transições e procurar saber se existem tempos característicos para características específicas da imagem desenhada.

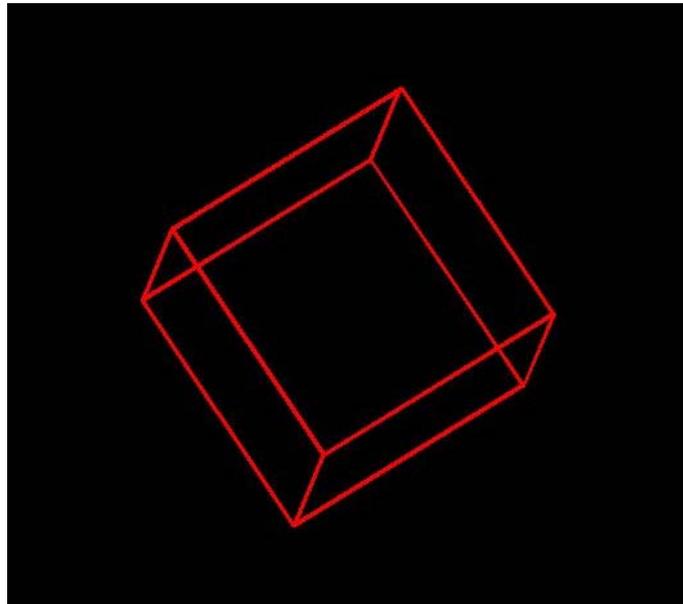


Figura 3.5. Imagem de um único cubo de Necker em rotação.

O observador foi instruído para carregar uma de duas teclas, consoante percebesse o cubo a rodar para a esquerda ou para a direita. Desta forma foram registados os tempos em que o observador percebe a alteração do sentido de rotação do cubo.

Método B

Neste método foi mostrado um conjunto de cubos de Necker em rotação, distribuídos em círculo, onde sequencialmente um dos cubos aparece desenhado a uma cor diferente durante um período de tempo definido, ilustrado na figura 3.6. O objectivo é estudar como a passagem de um cubo para outro interfere com a percepção das transições. Saber se existe correlação nas respostas, i.e., qual a influencia de percepções anteriores para uma determinada resposta.

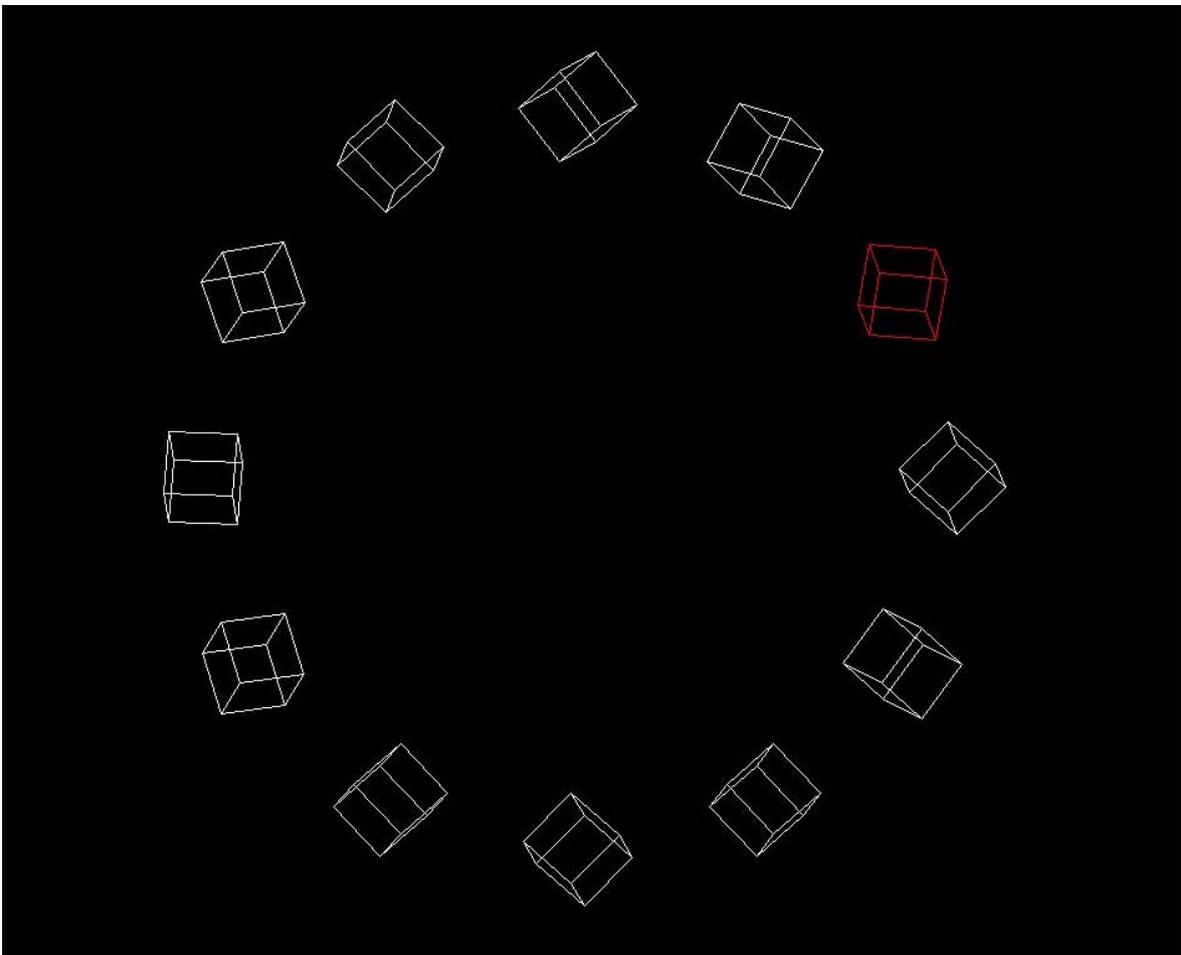


Figura 3.6. Arranjo de cubos em rotação disposto em círculo onde durante um período de tempo um fica com uma cor a evidenciar.

Ao observador pediu-se que acompanhasse o cubo com cor distinta e que registasse em que sentido estava a rodar.

3.1.1.2 Resultados e discussão

Dos resultados obtidos pelo método A, verificou-se que,

- Não existe correlação nos tempos que medeiam as transições percebidas durante um determinado teste;
- O histograma do número de respostas em função do tempo entre transições varia muito de observador para observador;
- Para o mesmo observador o tipo de respostas varia muito de teste para teste;
- O observador manifesta começar a controlar a transição do sentido de rotação pelo desviar da atenção a determinados detalhes do cubo que promovem espontaneamente a inversão.

Dos resultados pelo método B, verificou-se que

- Não existe correlação entre os registos;
- Para o mesmo observador as respostas variam muito de teste para teste;
- O observador manifesta dificuldade em perceber de imediato qual o sentido em que o cubo observado está a rodar.

Estas observações sugerem as seguintes conclusões,

- O fenómeno evidencia natureza não determinística, embora haja descrição dos observadores no sentido de existir uma disposição preferencial para a transição que acontece quando a projecção das arestas verticais de faces opostas se cruza.
- Cada observador tem uma sensibilidade própria ou pelo menos um modo próprio de observar o cubo em rotação.
- Existe um efeito de aprendizagem que facilita a percepção da transição de fase.
- Os tempos entre transições são difíceis de controlar por estes métodos.

Neste caso os parâmetros de ordem são valores discretos atribuídos a cada estado perceptivo, que definem o sentido de rotação percebido. Nas figuras ambíguas, a transição de fase é descontínua uma vez que não existe percepção intermédia, os estados são muito bem definidos. No caso do cubo de Necker, este ou é percebido a rodar para a esquerda ou para a direita. O facto de os observadores verificarem uma influência dos detalhes atendidos

sugere que a posição que os olhos fixam em relação à disposição dos detalhes do cubo poderão ser parâmetros de controlo. Seria portanto importante complementar os valores registados, com informação sobre os movimentos sacádicos dos olhos, para se obter resultados mais conclusivos.

Limitações em termos de registar convenientemente os instantes em que o observador percebe as transições do sentido de rotação dos cubos, impedem por estes métodos uma análise quantitativa dos resultados.

A questão que se colocou em seguida foi qual o efeito de informação estereoscópica nas transições da percepção do cubo. Tema focado no capítulo que se segue sobre a visão 3D.

4 Visão estereoscópica

A estereopsia resulta da disparidade das imagens captadas por cada olho, dos elementos de um espaço tridimensional que se projectam em pontos não correspondentes das duas retinas. Esta disparidade tem de estar dentro de determinados parâmetros que garantam que a imagem seja percebida como única. Para além desses limites deixa de se conseguir a fusão e passa-se a perceber imagem dupla, fenómeno chamado de diplopia

4.1 Estereogramas

Quando se fundem duas estruturas tridimensionais com forma idêntica, jogando com a sua separação e com a disparidade horizontal da sua estrutura, conseguem-se dois tipos de informação tridimensional. A disparidade entre os desenhos apresentados a cada olho contém informação estereoscópica, que contribui para formar uma imagem tridimensional. A profundidade em relação ao ecrã, que depende do afastamento entre os cubos, e se o observador os funde em convergência ou em divergência. Quanto maior o afastamento, maior a distancia ao plano onde os cubos são desenhados. Se a fusão for feita com convergência dos eixos visuais, a imagem é percebida para fora do ecrã enquanto que se os olhos divergirem a imagem é percebida para dentro do ecrã. Neste processo acontece um efeito perceptivo que altera a dimensão aparente da imagem fundida, precisamente pela imagem retiniana manter o tamanho. É um efeito perceptivo que tem como base a constância dos tamanhos. Normalmente quando a convergência aumenta, a imagem retiniana do mesmo objecto também aumenta. Quando a pista de maior peso para a determinação da proximidade é a convergência, o sistema visual efectua uma correcção diminuindo o tamanho perceptivo do objecto em relação ao tamanho da sua imagem retiniana, para que o objecto não pareça crescer. Quando a convergência diminui o efeito é contrário. Como neste caso a vergência dos olhos é alterada, mas o tamanho da imagem retiniana é sempre o mesmo, um objecto fundido em convergência vai parecer mais pequeno e, quando fundido em divergência vai parecer maior.

4.1.1 Parte experimental

4.1.1.1 Descrição

Método A

Foram feitos inúmeros estereogramas, com estruturas tridimensionais em rotação. Nomeadamente, com cubos de Necker, com a estrutura do C60, com meridianos e com pontos aleatórios distribuídos numa superfície esférica ilustrado nas figuras 4.1, 4.2, 4.3 e 4.4. Para tal fez-se um programa a partir do anteriormente referido para o cubo de Necker. Neste caso as várias estruturas, foram distribuídas num determinado número de linhas e colunas igualmente espaçadas. Ao longo de cada linha, as estruturas são desenhadas com disparidade horizontal devido a uma rotação em torno do eixo vertical, entre objectos adjacentes, para simular a diferente perspectiva de cada olho.

As figuras seguintes ilustram algumas imagens mostradas ao observador.

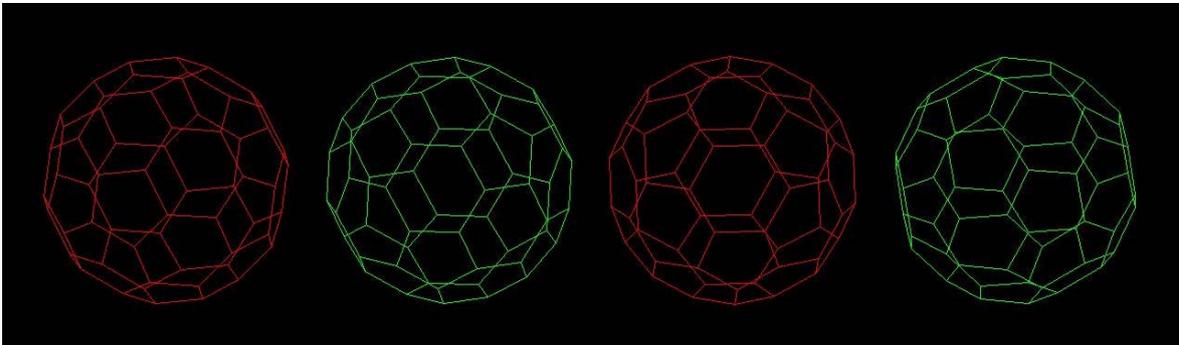


Figura 4.1. Imagens da estrutura do C60 com disparidade horizontal para serem observados estereoscopicamente. A cor resultante da fusão destas figuras corresponde à soma das respectivas cores

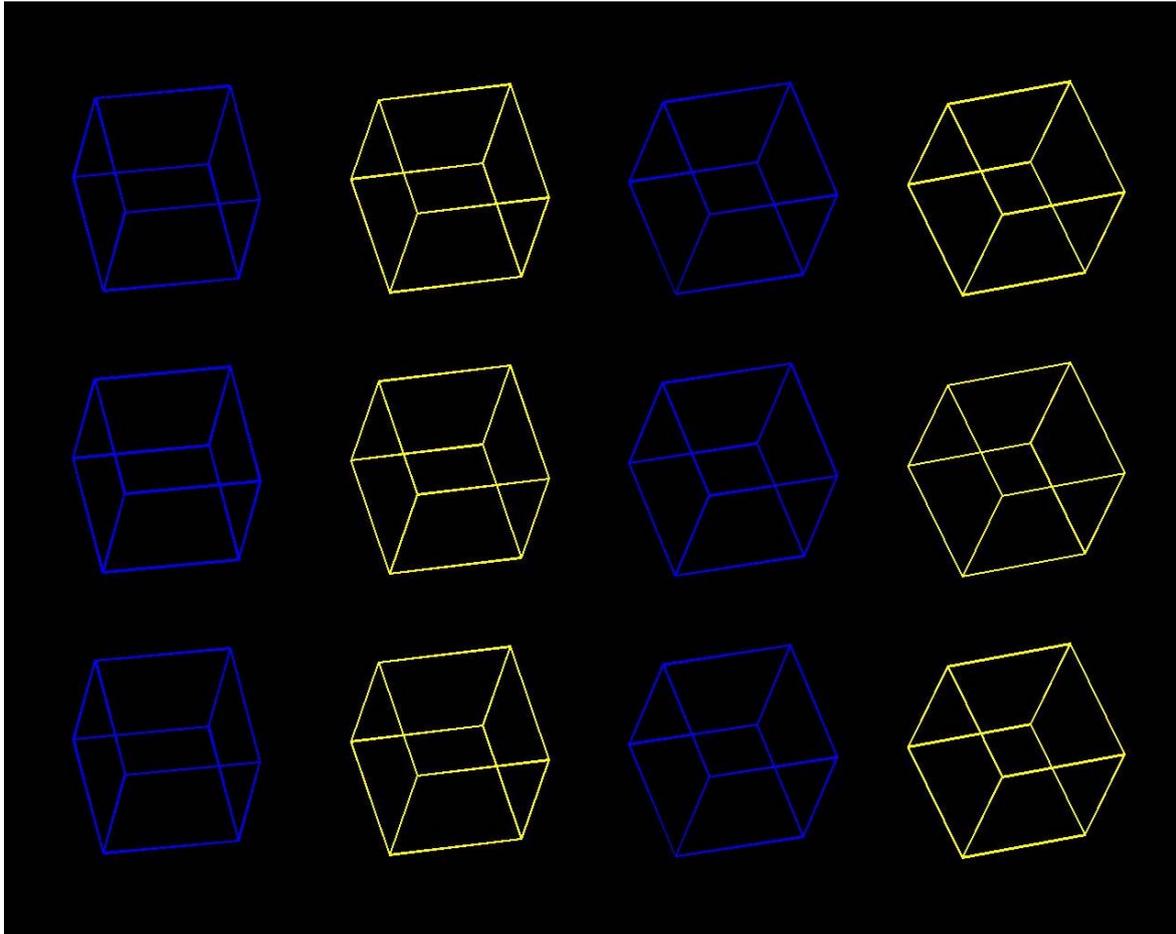


Figura 4.2: imagens de cubos de Necker com disparidade horizontal e estruturadas para haver fusão de cubos com diferente cor para estudar a cor dos cubos vistos estereoscopicamente.

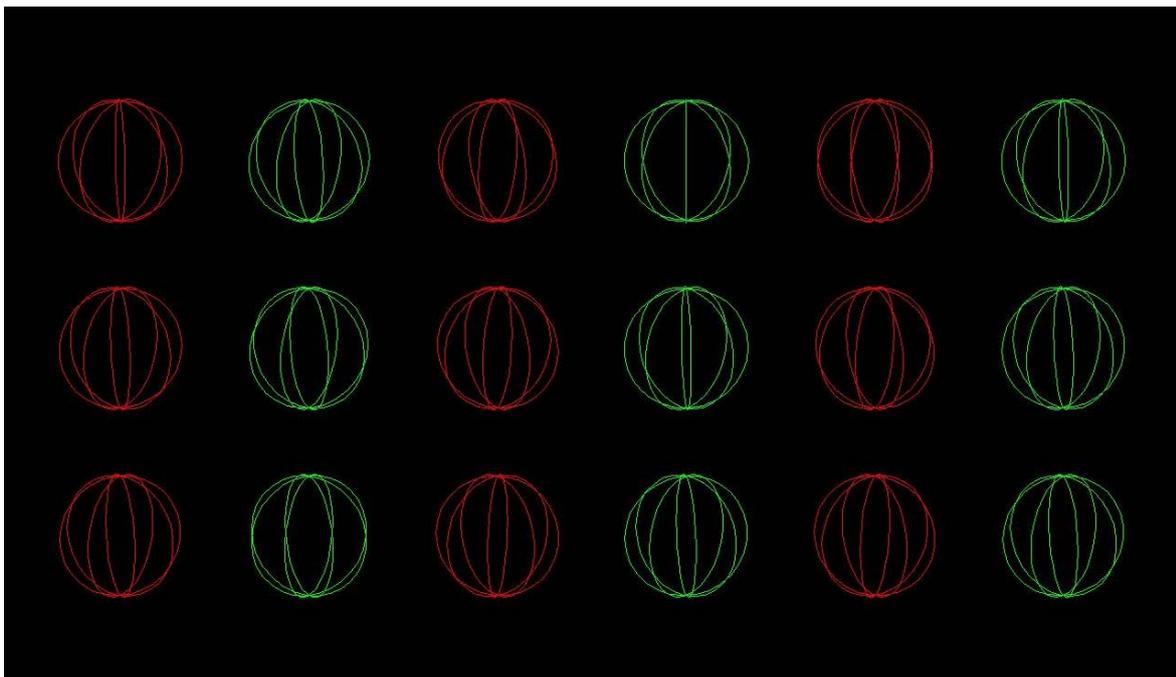


Figura 4.3. Imagens da estrutura de meridianos de superfícies esféricas com disparidade horizontal.

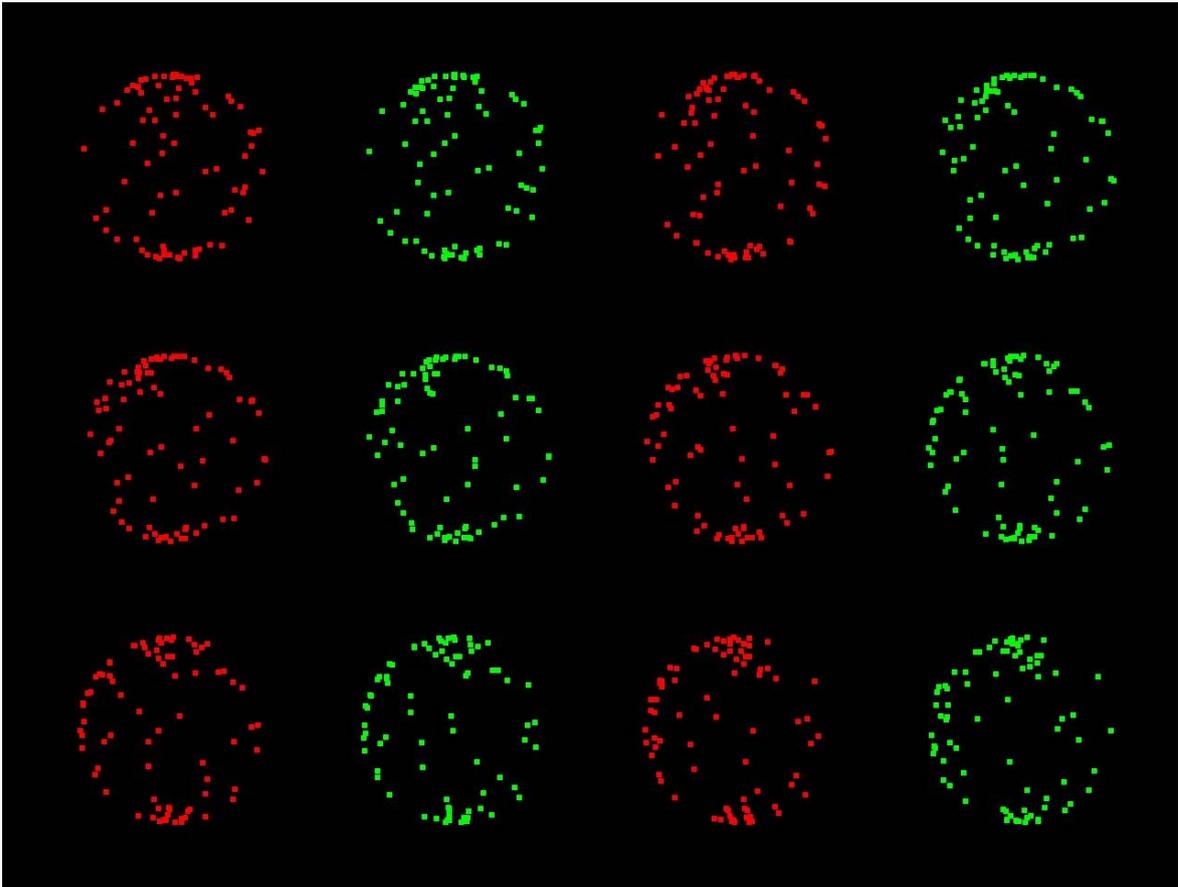


Figura 4.4. Imagens da estrutura de pontos aleatórios sobre superfícies esféricas, com disparidade horizontal.

Uma característica dos estereogramas é que a cada olho são mostradas duas imagens, das quais apenas uma é fundida. O resultado é uma imagem em cada olho que aparece a mais quando visualizado sem recurso a ajudas. Este é um dos problemas dos estereogramas, que motivou variações com o objectivo de o minimizar.

Experimentou-se fundir dois cubos com intermitência de modo a aparecer um de cada vez. O objectivo era verificar se deste modo as imagens residuais enfraqueciam.

Outra tentativa foi de fundir cubos inacabados, mas de modo à imagem fundida resultar no cubo completo, como mostra a figura 4.5.

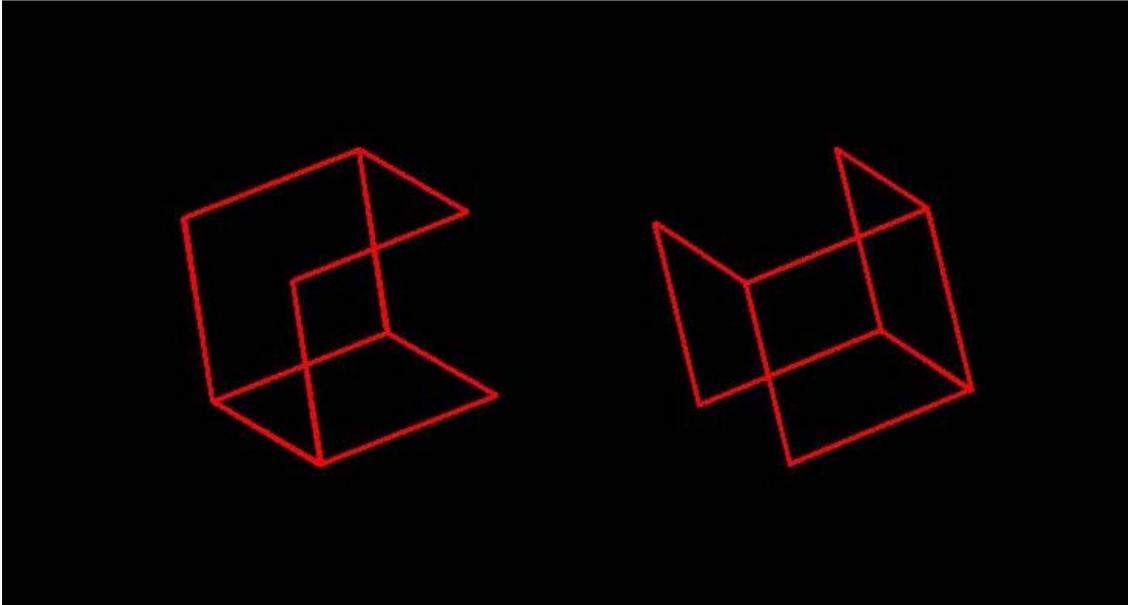


Figura 4.5. Dois cubos incompletos que depois de fundidos resultam na imagem de um cubo completo.

Método B

Foi também feito o exercício de construir geometricamente a imagem a ser vista por cada olho com base na profundidade a que se pretende perceber o objecto, na distância do desenho a que é observada e na separação dos olhos do observador. Pelo mesmo método foi feito um programa para animar uma linha a rodar sobre a vertical com uma velocidade angular constante, ω , fazendo um ângulo φ com a horizontal esquematizado na figura 4.6. Ao mesmo tempo um asterisco vai orbitando em torno da linha. O propósito de adicionar o asterisco é de ter um objecto com profundidade diferente e assim ser mais fácil perceber tridimensionalidade no cenário mostrado na figura 4.7.

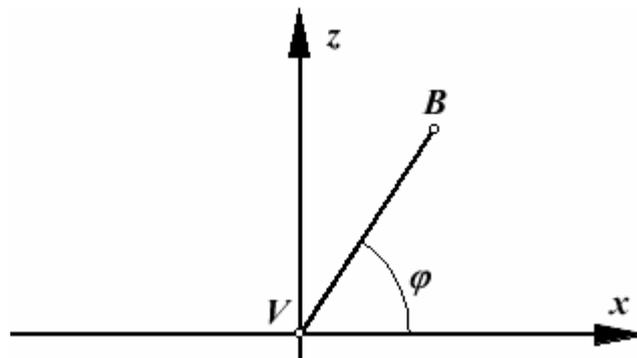


Figura 4.6. Esquema da linha, que ilustra a relação dos seus extremos no referencial considerado, onde V é o extremo fixo e B é o extremo que descreve uma trajectória circular em torno do eixo zz .

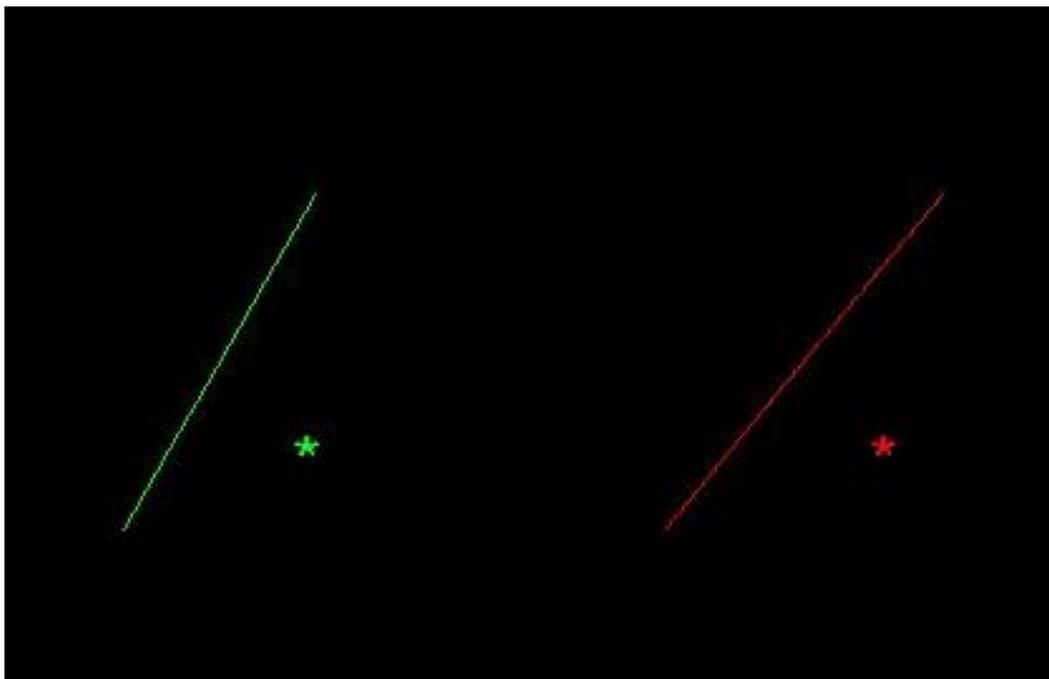


Figura 4.7. Imagem captada da simulação de uma linha que roda em torno de uma geratriz vertical, realizando um varrimento cónico e com um asterisco a orbitar em sua volta.

O modo como foram determinados os pontos extremos do segmento de recta a ser desenhado para cada olho está esquematizado na figura 4.8. O extremo mais baixo da linha está fixo, com abcissa zero, ordenada $-p$, e cota zero. Onde p é a distância do desenho à posição onde se pretende observar a linha. O outro extremo que define a linha é representado por B e vai rodar sobre o eixo zz uma quantidade $\theta = \omega t$ em cada iteração na qual é registado o instante temporal t . Se a linha tiver dimensão L , a posição do ponto B é definida por:

$$\vec{r}_B : \begin{cases} x_B = L \cos(\varphi) \cos(\theta) \\ y_B = L \cos(\varphi) \sin(\theta) \\ z_B = L \sin(\varphi) \end{cases} \quad (4.1)$$

O desenho do ponto B para ser visualizado pelo olho esquerdo vai ser a projecção do ponto B pelo eixo visual do olho esquerdo no plano do ecrã definido pelo plano de ordenada zero. Assim vem:

$$\vec{r}_{l_esq} = \vec{r}_{N_esq} + k(\vec{r}_B - \vec{r}_{N_esq}) \quad (4.2)$$

Onde I_{esq} e N_{esq} são respectivamente as posições da imagem para olho esquerdo e o respectivo ponto nodal.

O desenho do ponto B para ser visualizado pelo olho esquerdo vai ser a projecção do ponto B pelo eixo visual do olho esquerdo no plano do ecrã definido pelo plano de ordena zero. Assim vem:

$$\vec{r}_{I_dir} = \vec{r}_{N_dir} + k(\vec{r}_B - \vec{r}_{N_dir}) \quad (4.3)$$

Onde I_{dir} e N_{dir} são respectivamente as posições da imagem para olho direito e o respectivo ponto nodal.

Como a ordenada da posição da imagem é zero e a ordenada do ponto nodal dos dois olhos é $-D$, que corresponde à distância do observador ao ecrã, o valor de k é:

$$k = \frac{D}{L \cos(\varphi) \sin(\theta) - p + D} \quad (4.4)$$

Considerando as abcissas dos pontos nodais metade da Distancia Inter-Pupilar (DIP), negativa para o olho esquerdo e positiva para o olho direito e as cotas zero para ambos os olhos, temos:

$$\vec{r}_{I_esq} : \begin{cases} x_{I_esq} = -\frac{DIP}{2} + k \left(L \cos(\varphi) \cos(\theta) + \frac{DIP}{2} \right) \\ y_{I_esq} = 0 \\ z_{I_esq} = k(L \sin(\varphi)) \end{cases} \quad (4.5)$$

$$\vec{r}_{I_dir} : \begin{cases} x_{I_dir} = \frac{DIP}{2} + k \left(L \cos(\varphi) \cos(\theta) - \frac{DIP}{2} \right) \\ y_{I_dir} = 0 \\ z_{I_dir} = k(L \sin(\varphi)) \end{cases} \quad (4.6)$$

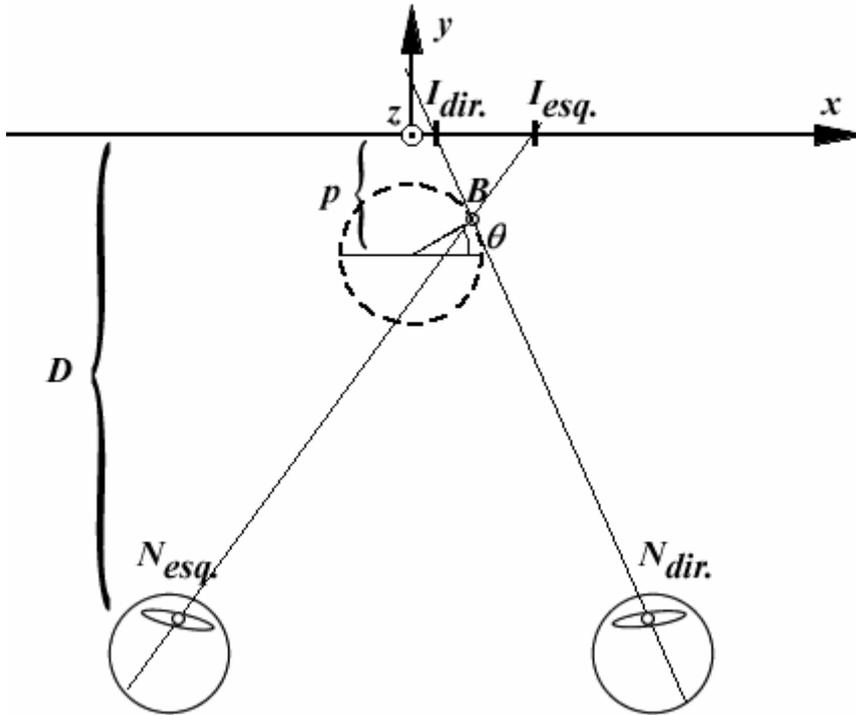


Figura 4.8. Esquema das posições relativas entre os dois olhos o plano onde é feito o desenho e a posição onde vai ser percebida a linha.

Em ambos os métodos ‘A’ e ‘B’ houve lugar a muitas experiências diferentes. Fusão entre objectos com cores diferentes e animados. Foram alteradas variadas características dos objectos, como espessura das linhas, tamanho, cor do fundo, entre outras. Com o objectivo de encontrar particularidades neste tipo de estereogramas e tentar eliminar ou diminuir a ambiguidade das figuras.

Método C

Uma vez que o objectivo é eliminar perceptivamente elementos visuais, procurou-se aplicar um fenómeno de desaparecimento visual, como o MIB descrito no capítulo das ilusões de óptica. Aqui os estímulos clássicos são substituídos por pequenos cubos, com

disparidade horizontal e em lenta rotação. O padrão de pontos aleatórios em movimento foi o mesmo da descrição clássica. O observador ao fundir os cubos vai perceber um cubo central resultante da fusão numa posição central, sobre o qual deve manter a atenção. Percebem-se ainda as duas imagens extra em posições periféricas.

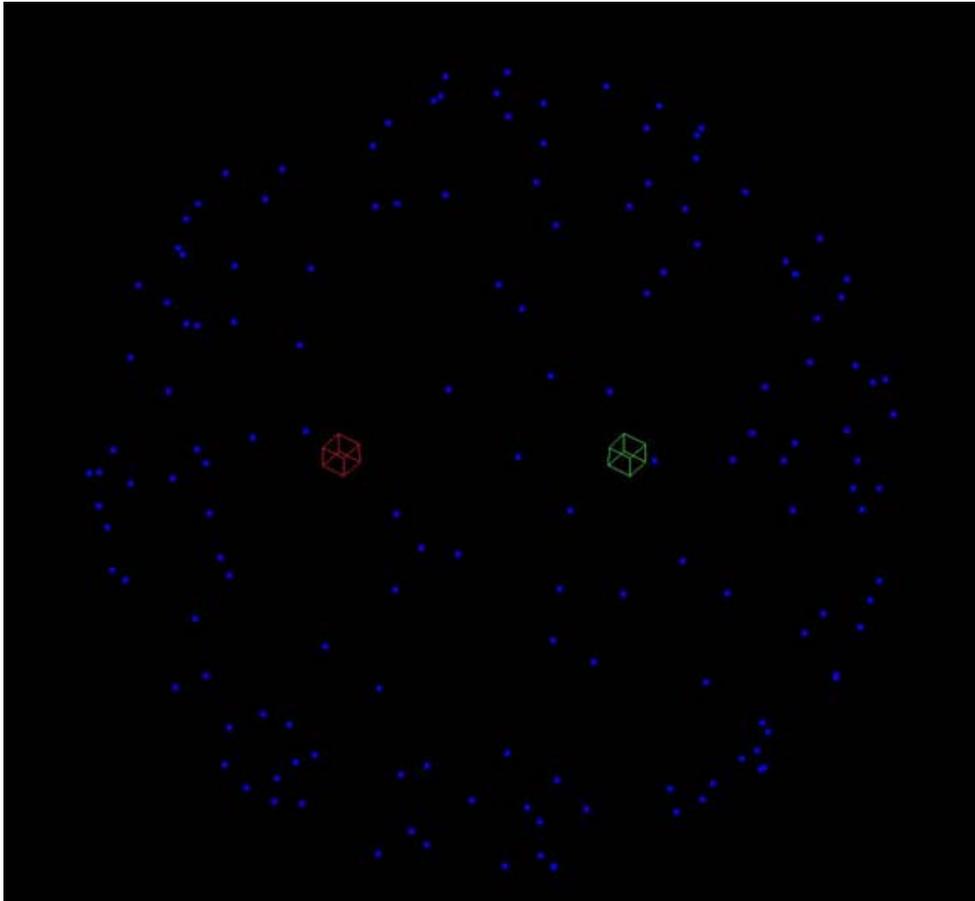


Figura 4.9. Adaptação do fenómeno de MIB à visualização estereoscópica.

Método D

Para completar este capítulo realizou-se ainda um estereograma para ser visualizado com filtros anaglifos. A visualização de estereogramas com esta técnica tem a vantagem de cada olho ver apenas uma imagem, que por sua vez leva a outra vantagem que é o facto de não existir necessidade de separar o plano de convergência do plano de acomodação. Isto significa que é mais fácil de visualizar e não se percebem elementos para além dos fundidos. O inconveniente está na necessidade de filtros para a observação.

É essencial que a cor intensidade e transparência dos estímulos a serem vistos por cada olho sejam escolhidos de modo a não serem percebidos pelo outro olho (figura 4.10).

Normalmente utiliza-se o filtro vermelho à frente do olho direito e um filtro verde ou azul ciano à frente do olho esquerdo. Se os filtros forem trocados percebe-se inversão da profundidade do estereograma.

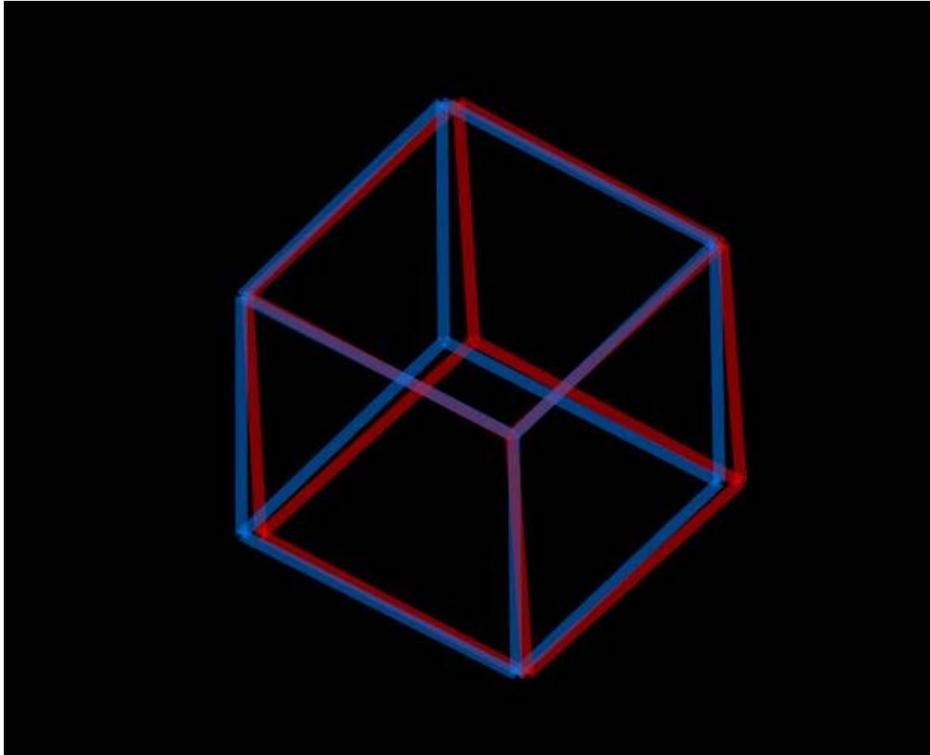


Figura 4.10. Estereograma para ser visualizado com um par de filtros anaglifos.

4.1.1.2 Resultados e discussão

Das observações obtidas pelo método A, verificou-se que,

- Quando se colocam os objectos a ser fundidos, a aparecer de modo intermitente, o processo de fusão é dificultado. A imagem fundida aparece ainda um pouco intermitente, pois as limitações em termos de processamento do equipamento disponível não permitiram frequências suficientemente elevadas para obter a imagem fundida a aparecer de modo contínuo.
- Quando se recorreu à fusão de objectos inacabados, a fusão verifica ser instável. Enquanto o número de elementos não fundidos seja menor, continuam a notar-se.
- Quando se fundem objectos com cores diferentes, vai existir adição de cores. Por exemplo fusão entre objectos azuis e amarelos é percebida a branco e fusão entre

objectos verdes e vermelhos são percebidos a amarelo. Este facto pode ser um auxílio para o observador perceber se está ou não a visualizar os objectos em fusão.

- Existe a tendência a verificar a transição perceptiva do conjunto em simultâneo. Quando o observador vagueia o olhar pela matriz de objectos, assim que se verifica transição num, todos os outros passam a rodar com o mesmo sentido.
- Com os olhos em movimento verifica-se maior estabilidade em termos de transições, enquanto que com o olhar fixo num determinado ponto do ecrã as transições verificam-se com maior frequência.
- Quando se fixa um objecto, este parece comportar-se de modo diferente dos restantes. Percebe-se os seus contornos com maior intensidade, quando observado num fundo mais escuro. As transições de sentido de rotação parecem ter um certo nível de independência dos objectos envolventes. No entanto, quando em rotação em sentido contrário dos envolventes rapidamente voltam a ter todos o mesmo sentido de rotação.

Em relação a este ultimo ponto, ilustrado na figura 4.11, não se encontrou na literatura nenhuma descrição de fenómeno semelhante. Neste fenómeno, quando a atenção é dedicada a um objecto central, o observador é consciente dos detalhes que conferem ambiguidade à estrutura e que de acordo com observações anteriormente descritas promovem a transição no sentido de rotação do objecto. Assim se explica o facto de o objecto atendido seja mais instável no seu estado perceptivo. Por sua vez quando o objecto central e os restantes são percebidos a rodar em sentido contrário, poderá existir de modo pré-atencional a detecção que os objectos periféricos têm uma característica básica diferente, o movimento. Tal irá atrair a atenção para objectos periféricos. Neste caso deixa de existir factor que contribua para o favorecimento de um comportamento distinto para o cubo originalmente atendido, passando todos os cubos a evidenciar comportamento semelhante. Normalmente alterações na posição da atenção são acompanhadas de sacádicos. Assim seria importante complementar estas observações com registo dos movimentos oculares.

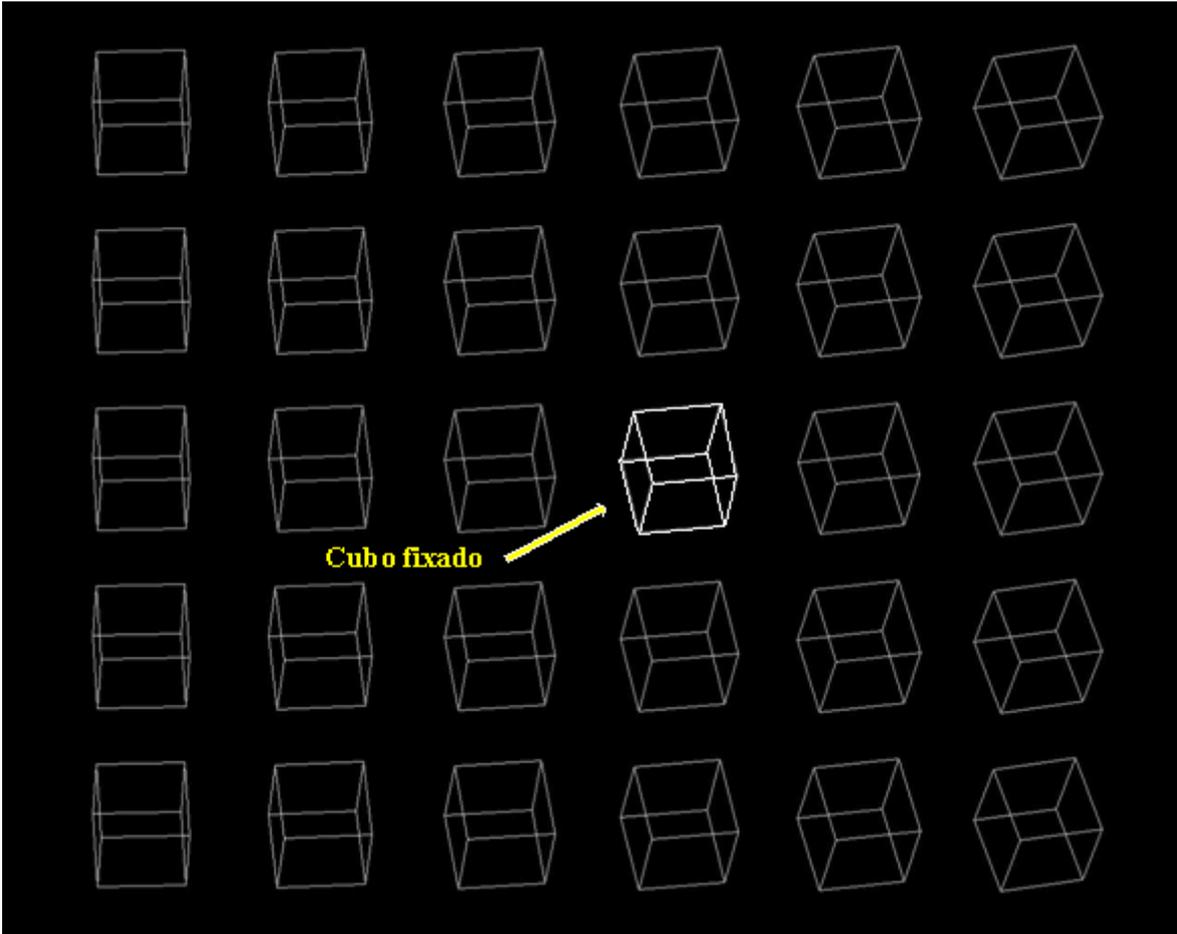


Figura 4.11. Matriz de cubos de Necker.

Das observações obtidas pelo método B, verificou-se que,

Não existem na prática diferenças perceptíveis na visualização de estereogramas entre os métodos 'A' e 'B'.

Das observações obtidas pelo método C, verificou-se que,

O fenómeno de MIB verifica-se. As imagens indesejáveis desaparecem durante alguns segundos, mas mesmo quando estão presentes têm um aspecto atenuado. Assim o MIB pode ter aplicabilidade no sentido de melhorar a visualização de estereogramas.

Das observações obtidas pelo método D, verificou-se que, o recurso a filtros anaglifos facilita muito a fusão para a visualização de estereogramas. Ao contrário dos outros métodos descritos, a fusão é quase imediata. Não houve registo de observadores que não conseguissem visualizar o estereograma por este método.

Em nenhum dos métodos anteriormente descritos se encontrou uma combinação de características dos objectos fundidos, que permitisse atenuar a sua ambiguidade de modo perceptível.

Limitações em termos de registar convenientemente os instantes em que o observador percebe as transições do sentido de rotação da imagem fundida de objectos ambíguos, impedem por estes métodos uma análise quantitativa dos resultados.

4.2 Autoestereogramas de pontos aleatórios

Os autoestereogramas são estereogramas compostos por apenas uma imagem. São percebidos através da estereopsia, mas têm a vantagem de não haver necessidade de recorrer a um esteoscópio para serem observados.

O princípio para a construção de um autoestereograma de pontos aleatórios, é que a projecção de cada ponto, de uma estrutura tridimensional que se pretenda representar, visto pelos dois olhos, intercepta o plano onde é desenhado o autoestereograma em dois pontos e cada ponto no auto estereograma vai servir para definir a posição de dois pontos na estrutura 3D, cada um visto por um olho (figura 4.12). Estes pontos desenhados no plano do autoestereograma têm de ter iguais características, para poderem ser fundidos e percebidos na posição dos pontos correspondentes na estrutura 3D.

A base para se desenhar o autoestereograma é um padrão de pontos aleatórios inicial. Em seguida, para cada ponto do padrão inicial, varre-se toda a linha horizontal do autoestereograma, de acordo com o procedimento descrito anteriormente para encontrar todos os pontos do autoestereograma a serem desenhados com as mesmas características do primeiro. O resultado é um estereograma com padrões de pontos aleatório, que se repetem ciclicamente, mas distorcidos pela profundidade do objecto 3D a ser representado.

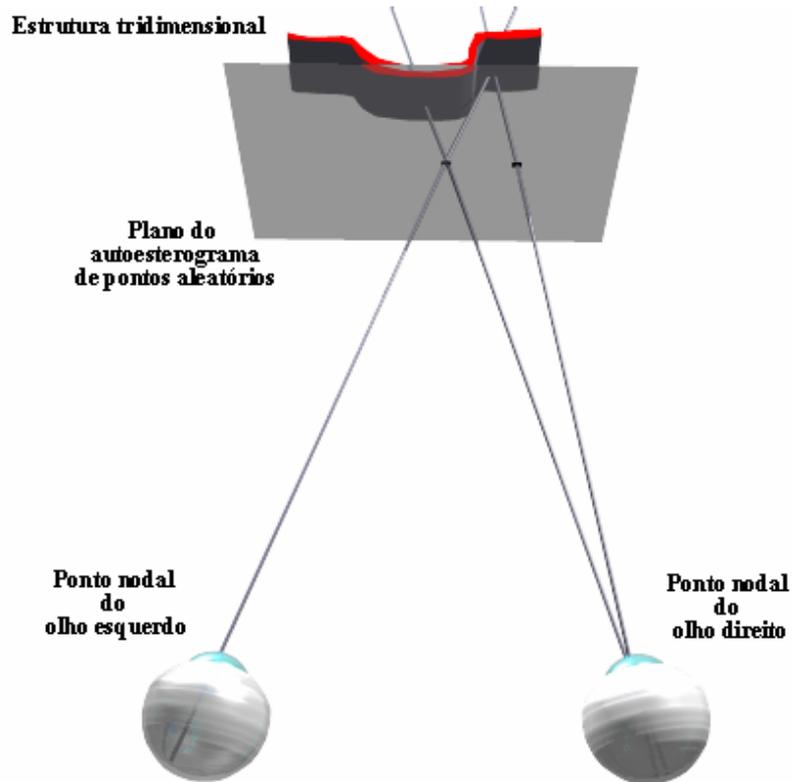


Figura 4.12. Esquema da construção de um autoestereograma de pontos aleatórios. Os dois pontos encontrados no plano do autoestereograma quando fundidos vão corresponderem ao ponto onde as projecções de ambos os olhos se cruzam na estrutura tridimensional. Ambos os pontos vão servir para encontrar outros pelo mesmo processo.

4.2.1 Parte experimental

4.2.1.1 Descrição

Método A

Neste método realizaram-se autoestereogramas de uma figura circular com profundidade em relação ao fundo. O primeiro foi construído apenas com pontos aleatórios pretos e brancos. Foram colocados dois asteriscos na base da figura, para ajudar o observador a encontrar a vergência necessária para a visualização do autoestereograma, como mostra a figura 4.13. Para facilitar a visualização o observador deve fundir de forma estável os dois asteriscos. Para verificar se está a fundir os dois asteriscos o observador deve ter em atenção que deve perceber três asteriscos. Se estiver a fundir em convergência vai perceber os asteriscos a flutuar para fora do desenho, enquanto que se estiver a fundir

em divergência os asteriscos parecem flutuar para dentro do desenho. Outra pista muito forte é a paralaxe, se o observador estiver a fundir os asteriscos em convergência e mover a cabeça na horizontal, os asteriscos parecem mover-se no mesmo sentido, enquanto que se a fusão for feita em divergência os asteriscos parecem mover-se em sentido contrario aos movimentos horizontais da cabeça. Depois de conseguir uma fusão estável importa que estes apareçam nítidos. Depois de realizar este exercício com sucesso o observador pode olhar para o autoestereograma e perceber a imagem apresentada estereoscopicamente.

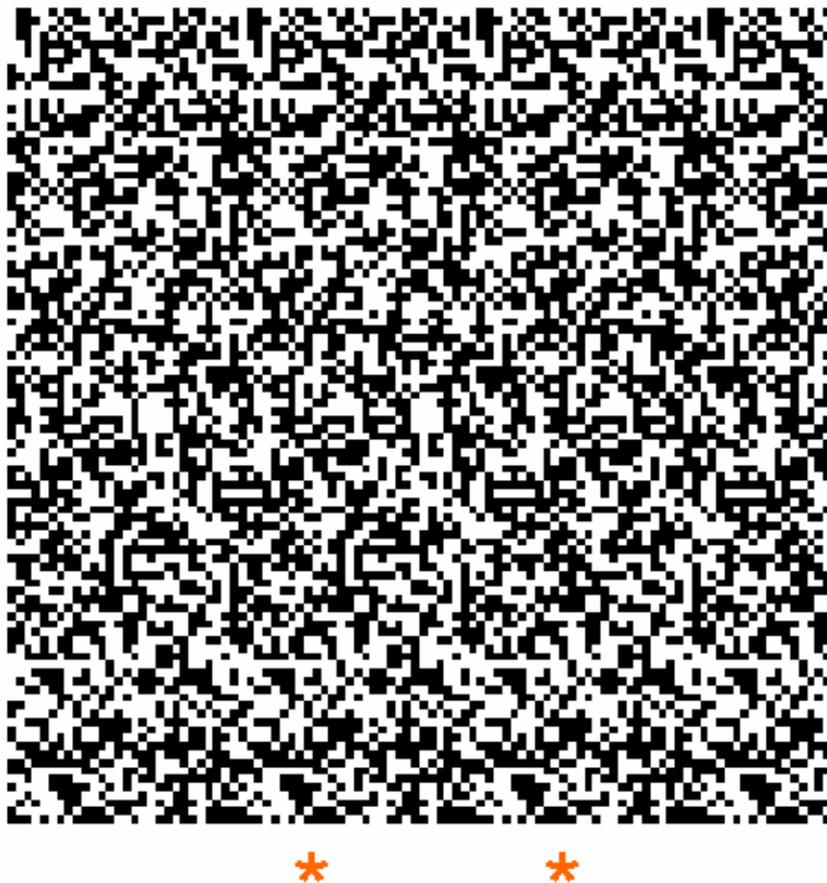


Figura 4.13. Autoestereograma de pontos aleatórios pretos e brancos, os asteriscos.

Nas figuras 4.14 e 4.15, são apresentados: autoestereogramas de pontos aleatórios com maior numero de pontos, coloridos e com tons de cinzento.

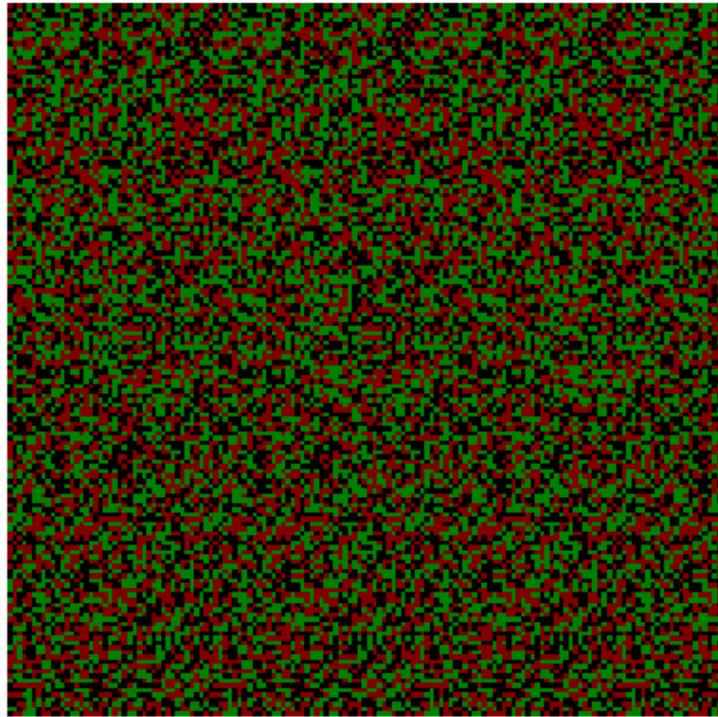


Figura 4.14. Autoestereograma de pontos aleatórios coloridos.

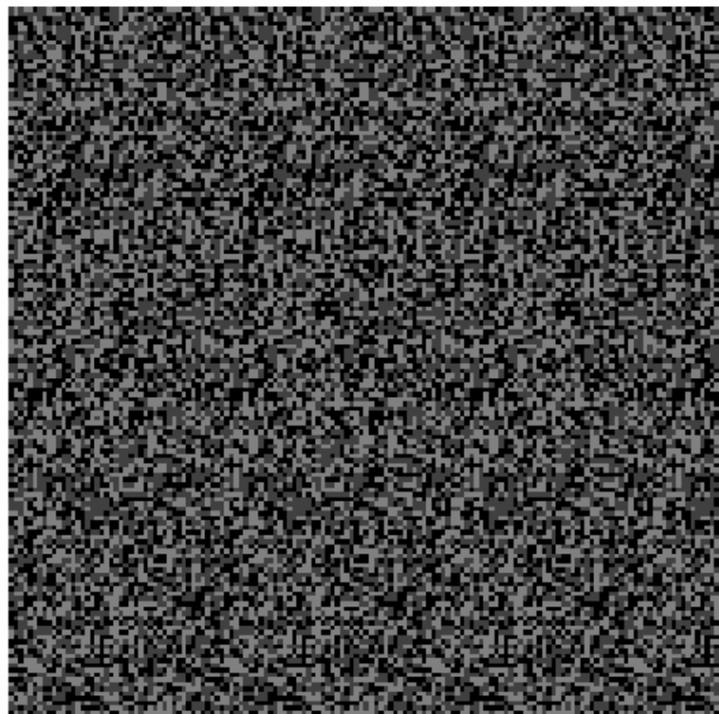


Figura 4.15. Autoestereograma de pontos aleatórios com tons de cinzento.

Método B

Neste método, alteração efectuada foi a apresentação sucessiva de autoesterogramas com os mesmos parâmetros com refrescamento contínuo dos padrões de pontos aleatórios. Desta forma percebe-se a estrutura tridimensional a emergir de um padrão dinâmico de pontos aleatórios. Também foram introduzidas alterações na forma e posição da estrutura tridimensional representada.

4.2.1.2 Resultados e discussão

No método A verificou-se experimentalmente a capacidade de codificar informação tridimensional num autoestereograma.

Das observações obtidas pelo método A, verificou-se que,

- Quando se apresenta a figura tridimensional em translação ao longo do fundo do autoestereograma não existe dificuldade em acompanhar o seu movimento.
- A pista de tamanho relativo funciona quando se altera o tamanho do objecto dinamicamente. À medida que a imagem do objecto aumenta surge a sensação de este se aproximar e, de se afastar à medida que o tamanho decresce.
- Os efeitos dinâmicos associados aos autoestereogramas parecem não favorecer a sua visualização em relação aos estáticos, no entanto são mais espectaculares e o refrescamento dos estímulos que constroem a imagem pode evitar a saturação do sistema visual e constituir motivação acrescida para possíveis aplicações de ordem lúdica, artística ou em terapia visual para melhorar as capacidades vergenciais e acomodativas de um observador.

5 Do 'Fill In' ao 'Fill Out'

A teoria de Gestalt defende entre outros, o princípio do fechamento, que descreve a tendência para o sistema visual humano agrupar elementos visuais de modo a completar figuras previamente conhecidas, como por exemplo figuras geométricas. Estabelece que partes em falta numa determinada forma são automaticamente acrescentadas à percepção. No exemplo da figura 5.1 é nitidamente sugerida a presença de dois triângulos e três círculos, embora não estejam completamente desenhados. De acordo com este princípio um observador é capaz de preencher perceptivamente contornos descontínuos, processo designado por “fill in”. Este princípio é parte da lei de Pragnanz, também conhecida como a lei da boa forma, que engloba todos os princípios de Gestalt e defende que os estímulos visuais são organizados perceptivamente para criar a melhor imagem, o mais simples, simétrica, regular e estável possível. Alguns exemplos clássicos são a organização das constelações e a percepção de algumas imagens familiares quando se observam as nuvens. Assim, o sistema visual é capaz de extrair a informação de estímulos visuais para além do que é explicitamente representado.

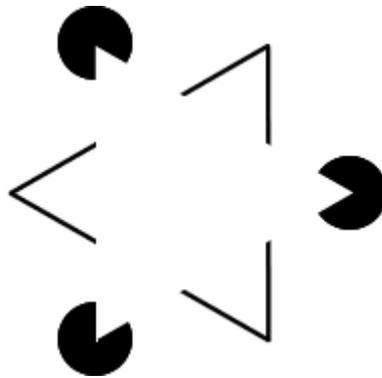


Figura 5.1. Ilustração do princípio do fechamento de Gestalt.

É importante analisar esta capacidade, conhecer os mecanismos presentes e os factores que influenciam o modo como percebemos informação de modo implícito. Este conhecimento pode ser aplicado na manipulação de estímulos visuais com vista a causar sensações visuais predeterminadas. Também ilusões de óptica, imagens artísticas e figuras ambíguas podem beneficiar com o conhecimento mais profundo da percepção da continuidade de contornos.

O princípio de Gestalt da boa continuação estabelece que o observador tende a agrupar elementos de forma a obter contornos contínuos, que sigam um determinado padrão e sem alterações bruscas de direcção. O estudo realizado neste capítulo é um pouco diferente. O objectivo é a análise da expectativa criada para a continuidade de contornos abertos a que neste trabalho se chamou de “fill out”.

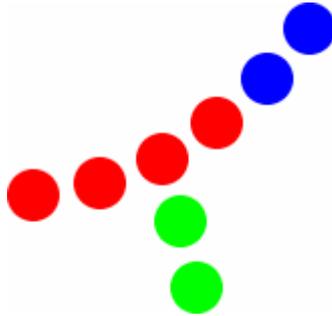


Figura 5.2. Ilustração do princípio da boa continuação de Gestalt. Os observadores tendem a continuar os contornos quando os elementos de um padrão estabelecem uma direcção implícita. Neste exemplo existe tendência a continuar os círculos vermelhos com os círculos azuis e não com os verdes.

Tanto o termo “fill out” como “fill in” foram criados no âmbito deste trabalho. Na literatura não se encontrou nenhuma descrição dos mecanismos subjacentes a estes fenómenos, o que constituiu uma motivação acrescida para este estudo.

5.1 Parte experimental

5.1.1 Descrição

Método A

Este método experimental, consistiu em simular computacionalmente um conjunto de curvas, definidas por uma equação de segunda ordem do tipo $y = Ax^2 + Bx + C$. Variando os coeficientes A, B e C podem-se obter rectas ou parábolas desenhadas ao longo de uma distancia no eixo das abcissas predeterminada (figura 5.3). Estas curvas são mostradas, uma de cada vez. Para cada curva foram registados os valores a distancias do extremo do contorno no eixo das abcissas. A posição do cursor em cada mostragem é aleatória e o observador deve responder procurando mover o cursor apenas na vertical,

com o objectivo de obter um conjunto de respostas com distribuição aproximadamente uniforme ao longo das abcissas. Com este método procura-se que não exista alteração da percepção da continuação das parábolas, pela existência de estímulos adicionais.

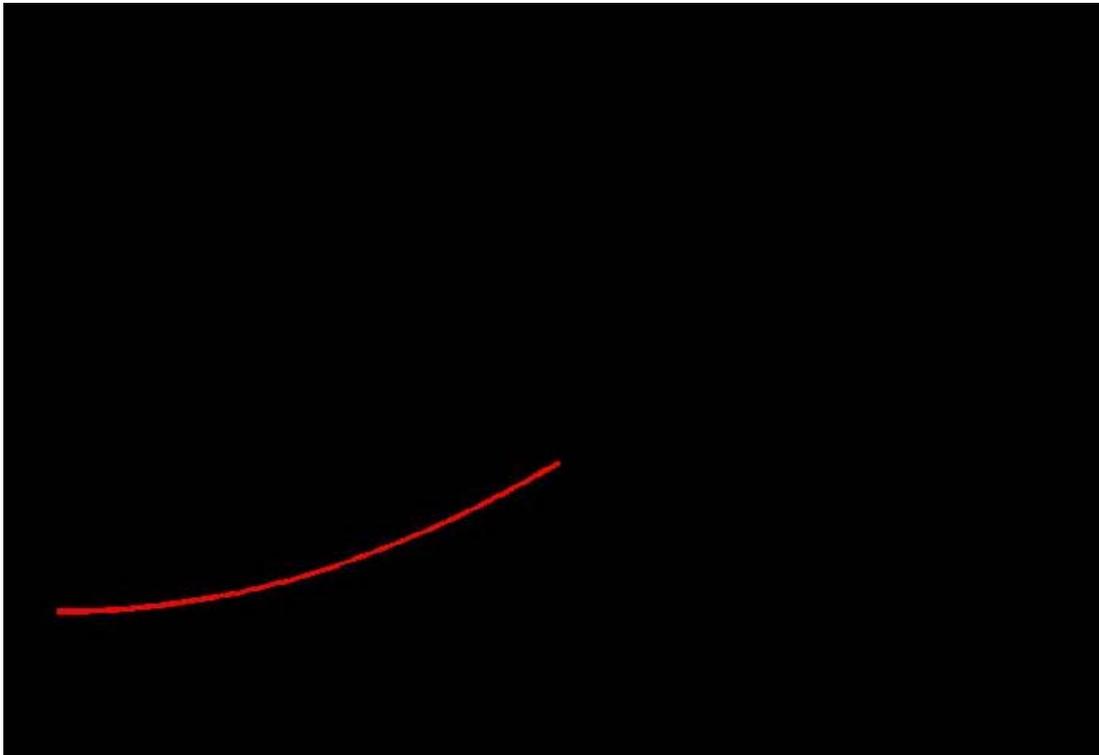


Figura 5.3. Exemplo do desenho de uma curva.

Método B

Neste método a única diferença em relação ao método A é que para cada curva foram registados valores a distancias do extremo do contorno, definidas por uma linha vertical mostrada em cada registo como mostra a figura 5.4. Em cada registo a linha vertical é desenhada numas das posições que divide o eixo horizontal em intervalos iguais o que permite facilitar o tratamento dos dados. O número de linhas verticais de marca e o espaçamento destas é definido inicialmente. A tarefa do observador é registar sobre estas linhas os pontos onde percebe a continuidade da parábola, obtendo-se assim valores para as ordenadas em função de cada abcissa. A linha de marca é desenhada com pequena espessura e baixa intensidade luminosa, com o objectivo de minimizar alterações na percepção da continuidade da parábola. As parábolas e as linhas de marca foram mostradas aleatoriamente para minimizar os efeitos da memória.

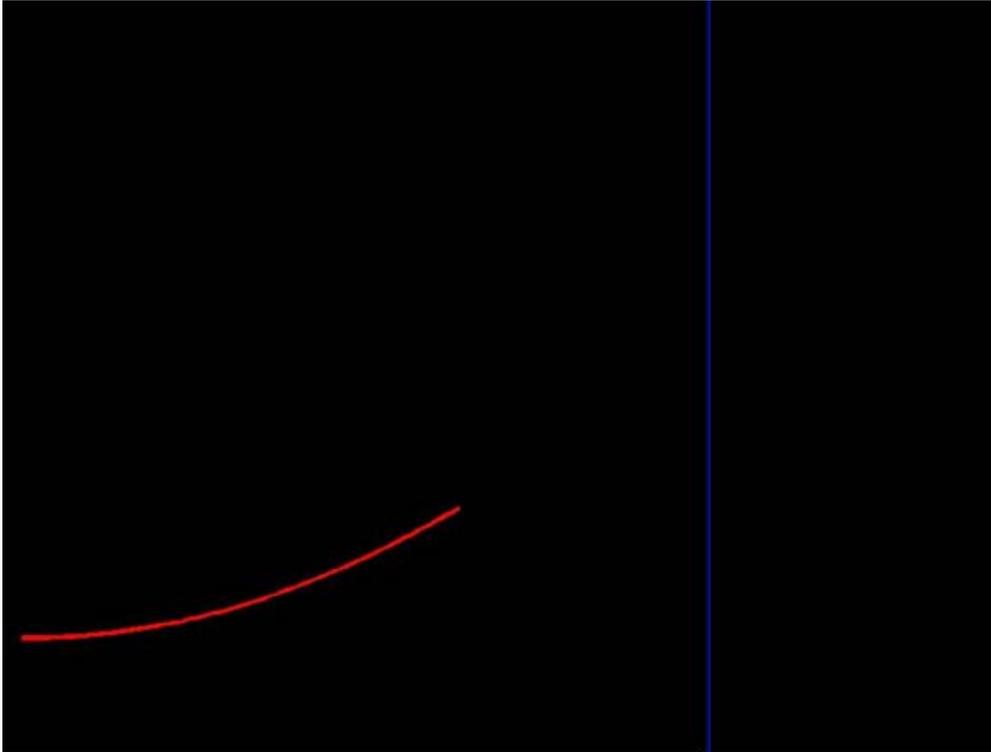


Figura 5.4. Mostragem de uma parábola com uma linha vertical à frente para o observador marcar onde percebe a intersecção das duas linhas. Neste desenho a linha vertical está bem visível por uma questão de ilustração, mas experimentalmente foi desenhada de forma muito ténue.

Em todos os testes em ambos os métodos, existiu a preocupação de repetir o mais fiel possível todas as condições que possam influenciar a percepção. Como o tamanho, cor e espessura dos estímulos e distancia de observação.

5.1.2 Resultados e discussão

Alguns gráficos de testes realizados por ambos os métodos são seguidamente apresentados.

Método A

Gráficos, em cima, relativos ao observador P e que mostram a média da ordenada dos pontos registados para cada abcissa. Permitindo comparar estas respostas com a continuação da curva e com a recta tangente à curva no seu extremo. Os pontos correspondem à média dos registos efectuados pelo observador para cada posição da linha de marca. A linha a tracejado representa a continuação da curva e a traço e ponto a recta com declive do extremo da curva.

Os gráficos das figuras em baixo mostram a variância da ordenada dos pontos registados para cada abcissa. Para três curvas diferentes.

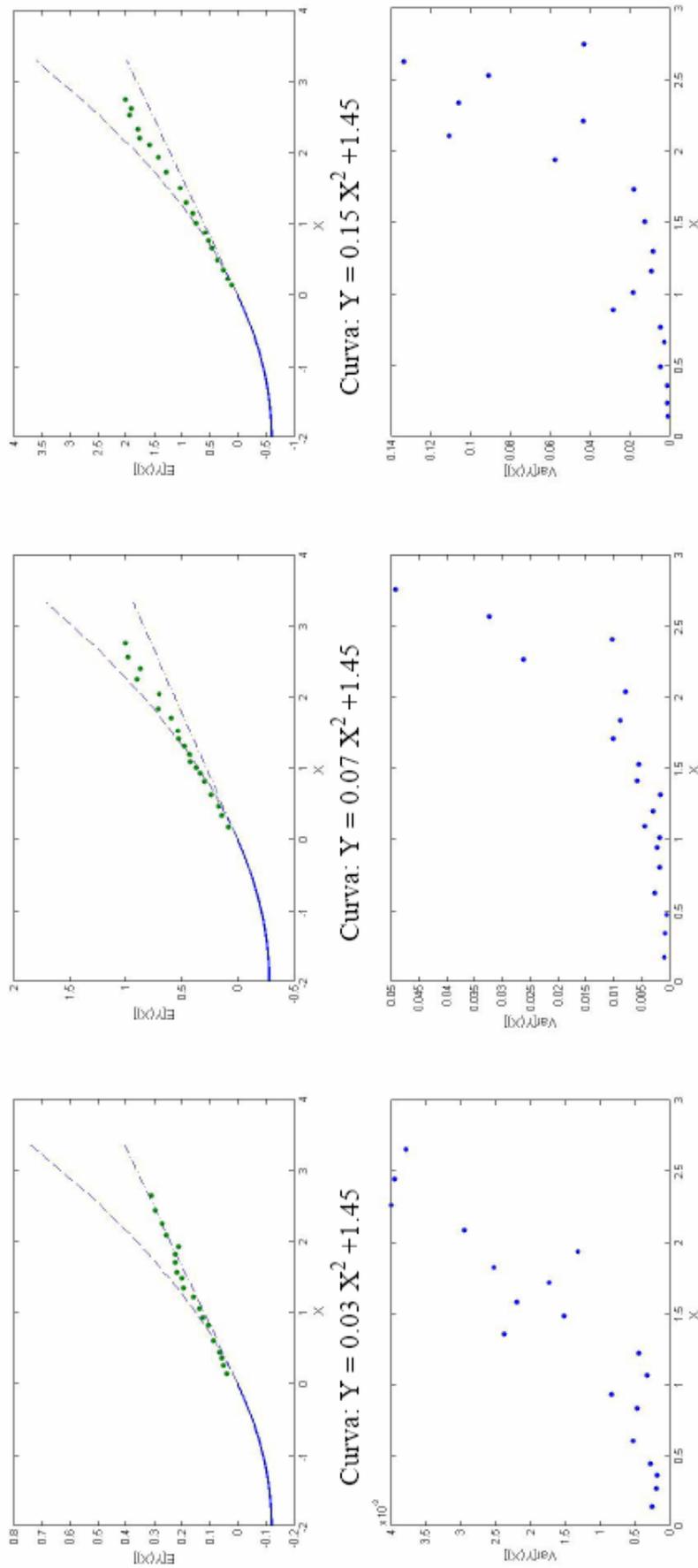


Figura 5.5. Gráficos de testes realizados pelo método A ao observador P.

Método A

Gráficos, em cima, relativos ao observador C e que mostram a média da ordenada dos pontos registados para cada abcissa. Permitindo comparar estas respostas com a continuação da curva e com a recta tangente à curva no seu extremo. Os pontos correspondem à média dos registos efectuados pelo observador para cada posição da linha de marca. A linha a tracejado representa a continuação da curva e a traço e ponto a recta com declive do extremo da curva.

Os gráficos das figuras em baixo mostram a variância da ordenada dos pontos registados para cada abcissa. Para três curvas diferentes.

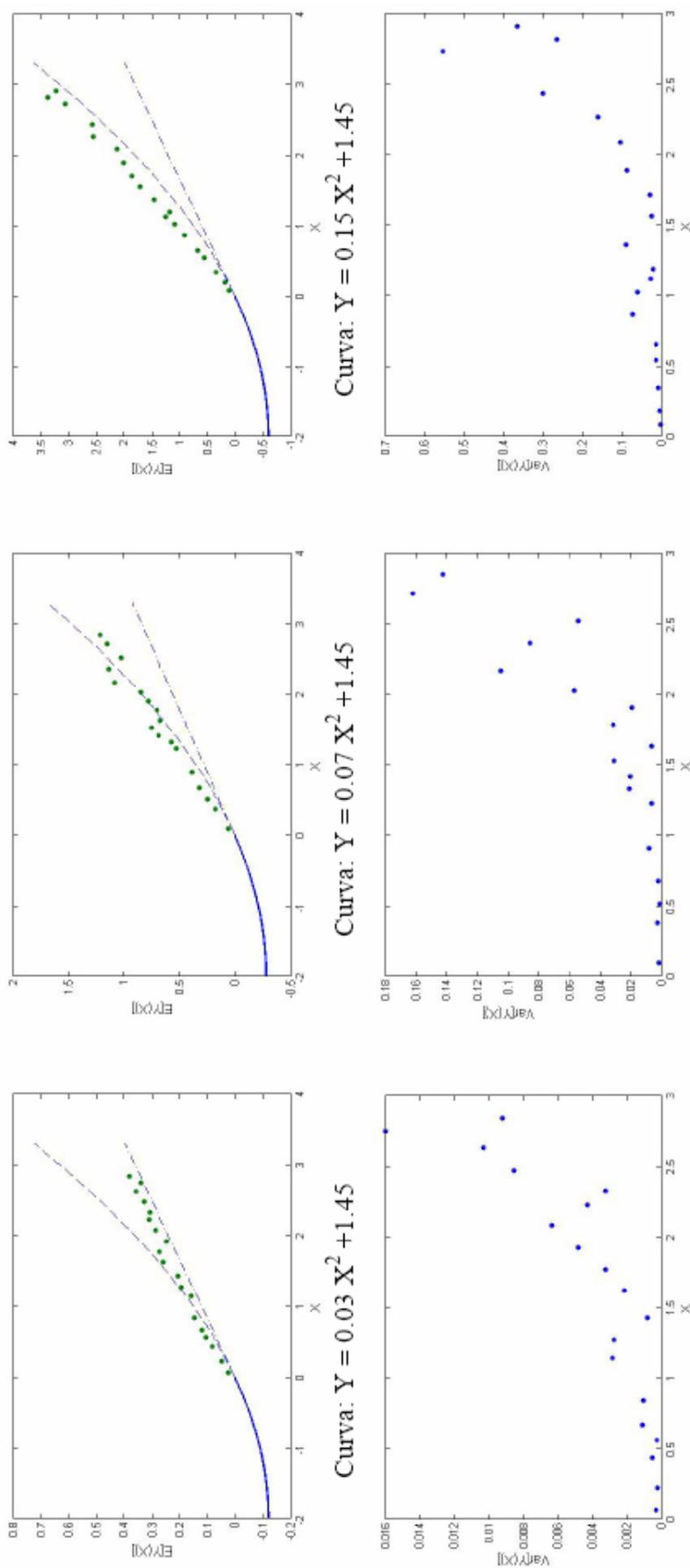


Figura 5.6. Gráficos de testes realizados pelo método A ao observador C.

Método B

Gráficos, em cima, relativos ao observador P e que mostram a média da ordenada dos pontos registados para cada abcissa. Permitindo comparar estas respostas com a continuação da curva e com a recta tangente à curva no seu extremo. Os pontos correspondem à média dos registos efectuados pelo observador para cada posição da linha de marca. A linha a tracejado representa a continuação da curva e a traço e ponto a recta com declive do extremo da curva.

Os gráficos das figuras em baixo mostram a variância da ordenada dos pontos registados para cada abcissa. Para três curvas diferentes.

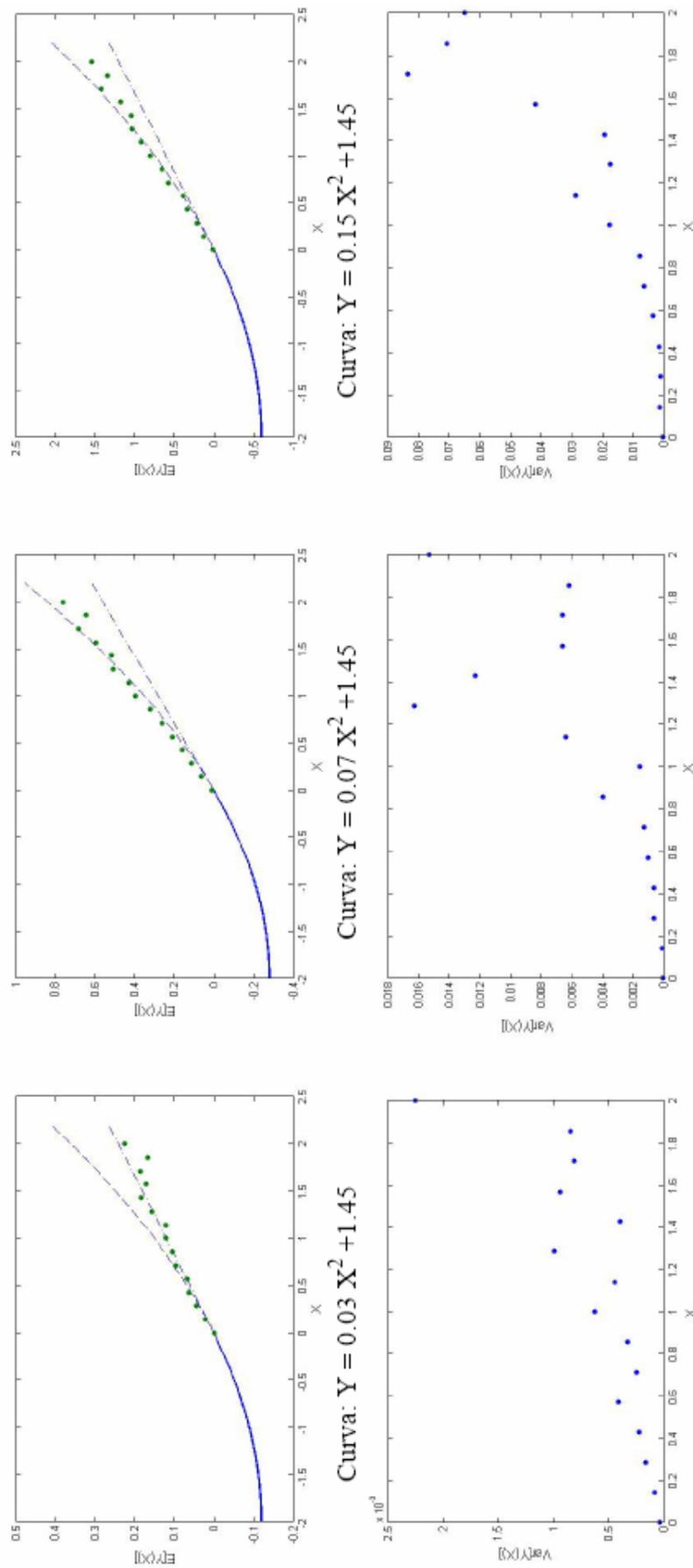


Figura 5.7. Gráficos de testes realizados pelo método B ao observador P.

Verifica-se que quando existe curvatura, os registos não acompanham perfeitamente a continuidade da parábola mostrada e tendem a seguir a direcção da recta tangente à parábola no seu extremo. Este facto pode dever-se à importância que as rectas têm na experiência sensorial de um observador. Linhas rectas são percebidas mais facilmente que as curvas, este fenómeno é tanto mais interessante quanto mesmo um observador prevenido (como o autor deste trabalho) não consegue prever a continuação de acordo com uma parábola [14]. É nítido que os observadores relativos aos gráficos mostrados não percebem a continuação da parábola da mesma forma. O observador C parece ser mais sensível à aceleração da parábola, principalmente para valores do coeficiente de segunda ordem mais elevados, mas não produz curvatura na sua curva, antes um declive diferente. De um método para o outro não parecem verificar-se diferenças significativas quanto à percepção da continuidade da parábola.

As diferenças entre os dois métodos são principalmente técnicas, quando se pretende calcular a variância em função da distância. Verifica-se em termos de variância, valores baixos, praticamente constantes ou com crescimento muito reduzido até uma determinada distância da parábola, a partir da qual se regista uma alteração de comportamento, onde a variância passa a verificar valores mais elevados e com uma aparente descontinuidade em função da abcissa. Este fenómeno verifica-se para todos os testes realizados em ambos observadores, independentemente de existirem diferenças na percepção da continuidade da parábola. Existe uma transição entre dois estados de percepção. Assim, de uma forma geral, os resultados obtidos indicam que a variância pouco varia numa região próxima à parábola fornecida, crescendo depois de forma clara. Este resultado mostra que há uma mudança brusca de percepção em função da distância.

Nos gráficos da figura 5.8 é ilustrado o comportamento da resposta em função da distância horizontal do extremo da parte da curva desenhada. O gráfico 'A' mostra a nuvem dos pontos seleccionados pelo observador, onde julga estar a continuação da curva desenhada. Foi feita uma regressão linear a estes pontos. À ordenada de cada ponto foi subtraído a ordenada correspondente sobre a linha de regressão, com o objectivo de obter a distribuição dos dados em torno do eixo das abcissas como mostrado no gráfico do lado direito. Analisando estes pontos é nítida a alteração de comportamento da distribuição dos pontos a partir da posição assinalada. Os pontos para posições mais próximas do contorno, estão juntos e a partir de uma determinada distancia começam a afastar-se em leque, como

evidenciado na figura 5.8 B. esta observação reforça a existência de uma transição no comportamento do sistema visual. A distância do extremo do contorno parece controlar a alteração do comportamento da dispersão dos pontos marcados pelo observador. Sendo assim é possível considerar o valor da abcissa como parâmetro de controlo e a variância das ordenadas entre pequenos intervalos de abcissa como parâmetro de ordem. Isto com base nos conceitos que foram introduzidos anteriormente, quando se falou em ambiguidade em percepção visual.

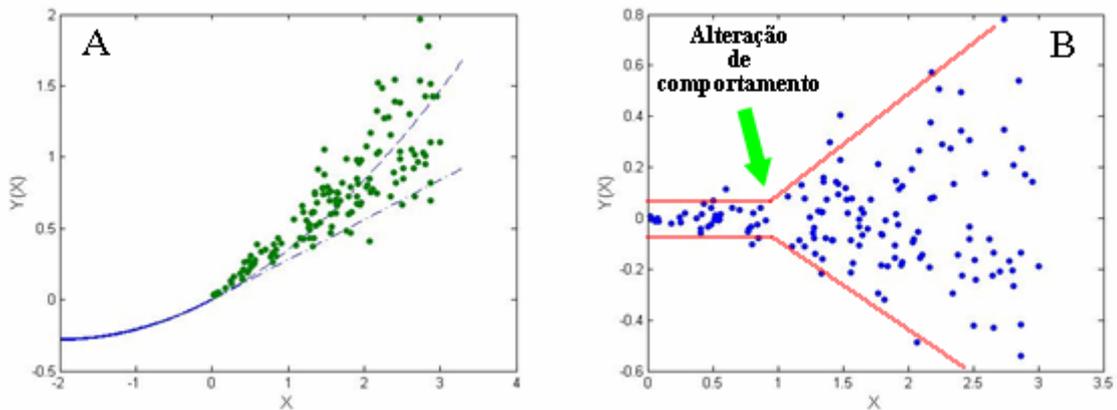


Figura 5.8. Do lado esquerdo, o gráfico da nuvem de respostas pelo método A para a curva $Y = 0.07 X^2 + 1.45$, mostrada na pela linha a contínuo. Representação da continuação da curva a tracejado e a traço e ponto a recta com declive do extremo da curva. Do lado direito estão representados as respostas deitadas sobre o eixo das abcissas.

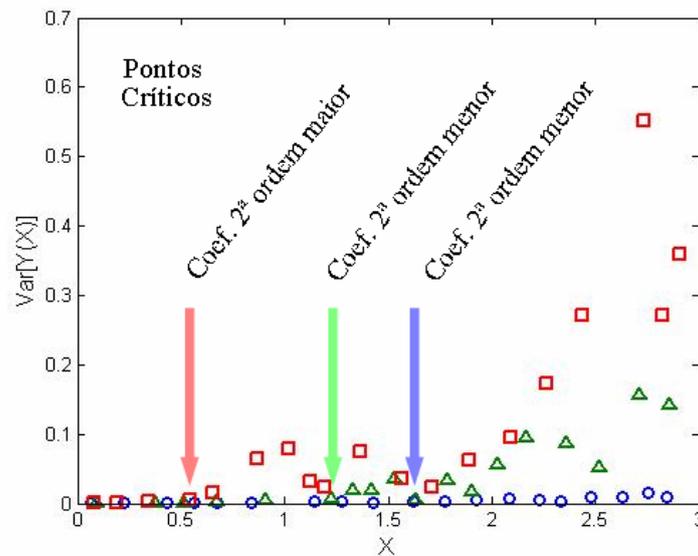


Figura 5.9. Gráfico da variância em função da abcissa. Para três curvas com coeficiente de ordem zero 1.45 e coeficiente de 2ª ordem 0.03, 0.07 e 0.15, respectivamente marcadas com círculos azuis, triângulos verdes e quadrados vermelhos.

Os observadores manifestam ter muito menos duvidas sobre onde marcar a posição onde a curva parece continuar até uma certa distancia do extremo do seu desenho, a partir da qual começam a sentir dificuldade, sentem a necessidade de percorrer com os olhos um percurso que vão imaginando como sendo o correcto e sentem cada vez mais incerteza na sua resposta. O que está de acordo com os resultados obtidos. Este facto leva a acreditar que existem dois mecanismos distintos em jogo.

A explicação que parece mais plausível para este fenómeno é existência de processos em paralelo e em série. A percepção da continuidade da parábola será um processo em paralelo numa região mais próxima, onde o desenho e a sua continuidade são percebidos de forma global, assim as respostas praticamente não vão variar. A partir de certa distancia, o observador deixa de conseguir uma percepção global e vê-se obrigado a ir percorrendo o caminho que lhe parece ser a correcta continuação, num o processo em série. No processo em série o movimento do foco de atenção do observador terá um movimento algo errático, perturbável por diversos elementos distractivos, neste caso principalmente endógenos. A estes elementos distractivos poder-se-ão juntar erros de natureza muscular no caso de haver movimento ocular. No caso mais simples de um movimento Browniano teríamos:

$$\frac{d\vec{r}}{dt} = \vec{v} + \vec{\xi} \quad (5.1)$$

Dada a natureza dos resultados experimentais (em que o observador parece seguir uma recta) a velocidade pode ser considerada constante (para facilitar) e o ruído branco perpendicular a trajectória.

Com base na tendência que existe na aproximação à tangente da parábola no seu extremo, pode-se pensar que os erros que o observador vai cometendo em cada passo que efectua são enviesados. Em cada passo vai existir maior probabilidade de se deslocar no sentido da tangente no extremo do desenho da parábola $P_{-}=(1+\varepsilon)/2$, logo a probabilidade de se deslocar em sentido contrário será inferior $P_{+}=(1-\varepsilon)/2$. Este percurso é representado pela equação (5.2).

$$n(t + 1) = n(t) + \xi(t) \quad (5.2)$$

Onde t é o valor da coordenada segundo o eixo tangente à percepção da parábola no início do processo em série e n o valor da coordenada segundo o eixo normal. O valor médio da normal é dado pela seguinte expressão.

$$\langle n(t) \rangle = \varepsilon t \quad (5.3)$$

O valor médio para o quadrado da normal vem,

$$\langle n^2(t) \rangle = \varepsilon^2 t^2 + dt (1 + \varepsilon^2) t \quad (5.4)$$

Onde dt é o deslocamento segundo o eixo tt para cada passo. Como a variância é a diferença entre a média do quadrado e o quadrado da média, vem,

$$VAR [n(t)] = dt (1 + \varepsilon^2) t \quad (5.5)$$

Com esta base é possível estudar a difusão do processo em série na selecção da continuação da parábola.

Um modelo com base nestas considerações, explica o aumento da variância com a distância do extremo da curva.

Para além da distância do extremo da curva, estudou-se também como a curvatura influencia as respostas. O gráfico da figura 5.9 exemplifica que a transição de fase tanto mais afastada do extremo do contorno desenhado quanto menor for a curvatura. Desta forma pode-se considerar o coeficiente de segunda ordem como parâmetro de controlo, designado por A .

Fazendo um gráfico de ' A ' em função da abcissa obtém-se um diagrama de fases mostrado na figura 5.10, que ilustra modo qualitativo o modo como os pontos críticos dividem o espaço definido por estes dois parâmetros. Deste diagrama, pode perceber-se

que tipo de transição se obtém em função do coeficiente de segunda ordem da expressão que define a curva mostrada ao observador.

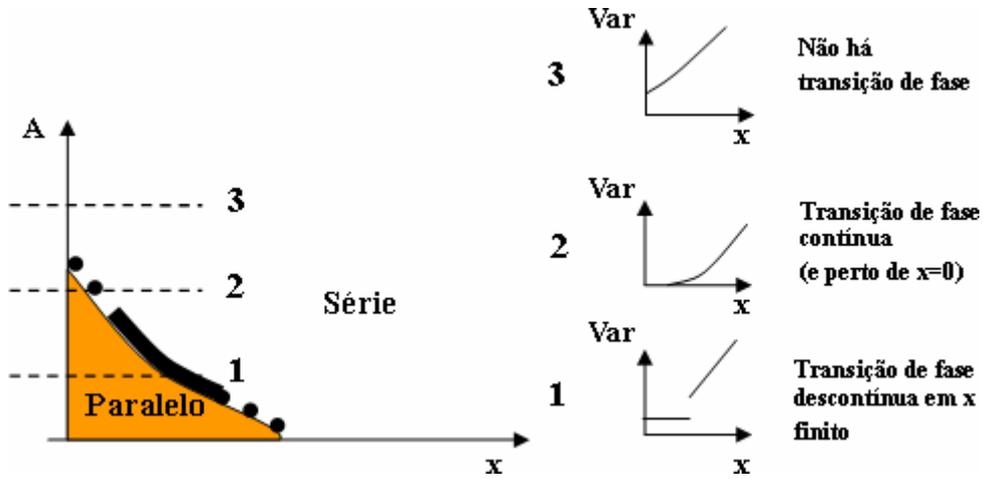


Figura 5.10. Esquema do diagrama de fases entre os dois parâmetros de controle, com correspondência para o comportamento do sistema para três situações.

6 Conclusões e estudos futuros

Neste trabalho foi estudada de uma forma abrangente a anatomia e fisiologia de grande parte dos componentes do sistema visual, assim como alguns conceitos psicofísicos importantes para o desenvolvimento do trabalho. Existiu a preocupação de relacionar estes aspectos com fenómenos anómalos conhecidos por ilusões de óptica, com objectivo de aprofundar a capacidade dedutiva e intuitiva sobre o tema da percepção visual. Desenvolveram-se testes para estudar as transições de fase em figuras ambíguas e no fill out. Foram também realizados testes para estudar aspectos da visão tridimensional na tentativa de encontrar meios que facilitassem a percepção de informação 3D.

A quantidade e diversidade de testes realizados, assentou essencialmente na criação de programas informáticos, para visualização gráfica, obrigando a um alargamento de competências técnicas muito úteis para trabalhos futuros e que constituiu só por si motivo de satisfação.

No entanto os métodos utilizados nem sempre se mostraram suficientemente robustos para conseguir resultados quantitativos absolutamente claros. Houve testes meramente de observação e outros cujos resultados não permitiram uma análise quantitativa detalhada, devido a limitações do método. Assim verifica-se a necessidade de complementar este trabalho com mais estudos e técnicas. É importante realizar mais testes para ter maior quantidade de amostras e observadores. Também é importante estudar o modo como elementos adicionais, em termos de características estáticas e dinâmicas, influenciam os resultados, e trabalhar em novos métodos que permitam resultados complementares e que conduzam a conclusões mais profundas.

Existem alguns trabalhos que já estou a desenvolver nesta área, mas que não foram apresentados por falta de resultados suficientemente satisfatórios. É o caso de trabalho na modelação matemática com vista à descrição e previsão de fenómenos perceptivos e relativo ao estudo do efeito de ruído na percepção visual.

Estes estudos na área da percepção visual, para além de permitirem conhecer em mais detalhe o funcionamento dos mecanismos do sistema visual, têm diversas possíveis aplicações na área das artes gráficas, na visualização de gráficos, na imagiologia, em entretenimento, em publicidade e eventualmente como meio auxiliar de diagnóstico em

determinados problemas visuais ou outras condições patológicas de ordem neurológica através de tipos de respostas típicas.

7 Referências

- [1] <http://web.mit.edu/bcs/schillerlab/research.html>
- [2] Dale Purves, Timothy J. Andrews. “The perception of transparent three-dimensional objects”. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, Vol. 94, pp. 6517, June 1997.
- [3] Purves D., et al. (eds.) Neuroscience (3ed, 2004)(832s).
- [4] Andrew Duchowski. “Eye-Based Interaction in Graphical Systems: Theory & Practice”. Clemson University, Siggraph 2000 Course Notes.
- [5] Marvin M. Chun, Jeremy M. Wolfe. “Blackwell Handbook of Perception”. E. B. Goldstein, 2000.
- [6] António R. Damásio. “O erro de Descartes”. Publicações Europa-América, 1995.
- [7] M.J.Morgan, “The Poggendorff illusion_ a bias in the estimation of the orientation of virtual lines by second-stage filters”, Vision Research 39 (1999) 2361-2380.
- [8] I. Merk, J. Schnakenberg. “A stochastic model of multistable visual perception”. Biol.Cybern. 86,111-116, 2002.
- [9] P.Kruse, H.-O. Carmesin, L. Pahlke, D. Strüber e M. Stadler, “Continuous Phase transitions in the Perception of Multistable Visual Patterns”. ZKW Bericht Nr. 3/96
- [10] Yoram S. Bonneh, Alexander Cooperman, Dov Sagi. “Motion-induced blindness in normal observers”. Nature, Vol. 411, pp. 798-801, 14 June 2001.
- [11] Francis A. Jenkins, Harvey E. White. “Fundamentals of optics”. 4th ed McGraw-Hill, 1981.
- [12] Peter Dayan, L. F. Abbott. “Theoretical Neuroscience”. 2001 MIT Press.
- [13] <http://www.ritsumei.ac.jp/~akitaoka/index-e.html>
- [14] Rolf A. Zwaan. “Grounding Cognition the role of Perception and Action in Memory, Language, and Thinking”. Cambridge University Press 2005.
- [15] Sunny Y. Auyang. “Foundations of Complex-system Theory in Economics, Evolutionary Biology, and Statistical Physics”. Cambridge University Press, 1998.
- [16] Charles R. Noback, Norman L. Strominger, Robert J. Demarest. “Neuroanatomia Estrutura e Função do Sistema Nervoso Humano”. 5^a ed. Editorial Premier, 1999.
- [17] <http://www.csc.ncsu.edu/faculty/healey/PP/>
- [18] Narcisse P. Bishot, Andrew F. Rossi, Robert Desimone. “Parallel and Serial Neural Mechanisms for Visual Search in Macaque Area V4”. Science, Vol 308, pp. 529-534, 22 April 2005.