Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia
FEUP

Percepção Humana na Visualização de Informação Crítica

Hugo Miguel dos Reis Costa Sousa

Fevereiro 2009

Percepção Humana na Visualização de Informação Crítica

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do Curso de Mestrado em Tecnologia Multimédia

Hugo Miguel dos Reis Costa Sousa

Licenciado em Informática (Ensino, de) pela Universidade dos Açores (2006)

Orientador

João Manuel Ribeiro da Silva Tavares

Professor Auxiliar da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial

Fevereiro 2009

Agradecimentos

Em primeiro lugar, ao professor João Tavares; por todo o interesse e apoio que demonstrou desde o primeiro momento e ao longo da elaboração desta Dissertação; pela partilha de conhecimento; pelo permanente incentivo à excelência. Sem ele, este seria por certo um projecto inacabado.

Na Faculdade de Engenharia, a todos os que tiveram a amabilidade de colaborar na fase experimental; e ao Danilo e à Helena, meus colegas de Mestrado, pelos remos de ânimo e conversas.

Ao Luís Cruz e ao Hugo Ferreira, controladores na Torre de Controlo do Porto, pelo tempo e explicações que me concederam.

Aos colegas e amigos, em particular aos do ARO do Porto; que pelas perguntas, sugestões e participação na parte experimental, foram um estímulo. Ao Paulo Silva e ao Carlos Borges, em especial, por todo o interesse com que me ouviram divagar acerca da investigação.

Ao Ivo, meu amigo, por me lembrar de mim; aos meus pais e ao meu irmão, a minha janela para casa, pelo vosso exemplo e por todas as palavras de encorajamento.

À Raquel... Por tudo. Sem ela, seria eu o projecto inacabado.

Aos meus Avós;
Luís, Odília e Conceição.

Sumário

Esta Dissertação resultou de um trabalho de investigação que se centrou, fundamentalmente, em três domínios: Percepção Humana, Visualização de Informação, e Interacção Homem-Computador no Controlo de Tráfego Aéreo. O principal objectivo foi o de estabelecer uma relação entre estas três áreas de estudo, de modo a que fosse possível fundamentar devidamente o desenvolvimento de uma nova ferramenta de visualização de informação. Uma vez atingido esse objectivo foi então possível proceder à implementação e avaliação da ferramenta concebida.

Os primeiros capítulos desta Dissertação explicitam vários aspectos relativos às características de funcionamento do sistema cognitivo humano, relacionando-os com princípios e fenómenos considerados relevantes para a visualização de informação. São depois analisados os principais problemas de visualização existentes no domínio dos processos de Controlo de Tráfego Aéreo. Do cruzamento destas duas de linhas de investigação surgiu a ideia do desenvolvimento de um filtro visual baseado no efeito *Blur*. Este filtro insere-se numa categoria de ferramentas de visualização de apoio aos Controladores de Tráfego Aéreo que tentam melhorar a gestão dos recursos cognitivos, através da eliminação de informação visual irrelevante para uma determinada tarefa.

O filtro desenvolvido resulta da combinação de quatro algoritmos de pesquisa visual de informação crítica com o efeito *Blur*. Para avaliar a *performance* deste filtro foi construído um Simulador de Controlo de Tráfego Aéreo que serviu de plataforma de testes, numa experiência de pesquisa visual. Considerando as características do filtro *Blur* e os resultados obtidos na fase experimental, chegou-se à conclusão que este filtro é uma alternativa às estratégias de filtragem actualmente utilizadas em *displays* radar.

Summary

This Dissertation results from a research work that was centered, mainly, in three domains: Human Perception, Information Visualization, and Air Traffic Control (ATC) Human-Computer Interfaces. The main goal of this analysis was to establish a relationship between these three areas of study in a way that the development of a new visualization tool was well grounded from the theoretical perspective. Once this goal was achieved, it was possible to start the implementation and evaluation of the developed tool.

The first chapters of this Dissertation are dedicated to the description of the main mechanisms and features of the human cognitive system, linking them with phenomena considered relevant to information visualization. Air Traffic Control visualization problems are then analyzed. From the intersection of these two main research lines, results the idea of developing a visual filter, based on the Blur effect. This filter belongs to a category of ATC tools that attempt to eliminate irrelevant information available to Controllers in their visual search tasks, thus, improving their cognitive resourse management.

The developed filter consists of a combination of 4 ATC filtering algorithims with the graphical blur filtering strategy. In order to evaluate the performance of this filter, an ATC simulator was also developed. This simulator was used in a visual search task experiment. Considering the main features of the proposed filter and the results obtained in the experimental stage of this study, it is concluded that the filter developed is an alternative to current filtering strategies used in ATC radar displays.

Índice

ÍNDICE DE FIGURAS ..... **v**

LISTA DE SIGLAS E ACRÓNIMOS ..... **xiii**

CAPÍTULO I **1**

1.1 - ENQUADRAMENTO 3
1.2 - OBJECTIVOS E ABORDAGEM ADOPTADA 3
1.3 - ESTRUTURA ORGANIZATIVA 4
1.4 - PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES 5

CAPÍTULO II **7**

2.1 - INTRODUÇÃO 9
2.1.1 - Evolução do conceito *9*
2.1.2 - Mundo real e mundo percepcionado *10*
2.2 - DEFINIÇÃO 11
2.3 - PROCESSO PERCEPTIVO 11
2.4 - ABORDAGENS À PERCEPÇÃO 12
2.4.1 - Níveis de análise *13*
2.5 - PERCEPÇÃO DIRECTA VERSUS PERCEPÇÃO INDIRECTA 13
2.6 - FISIOLOGIA DA PERCEPÇÃO 14
2.7 - SISTEMAS SENSORIAIS E MEIO AMBIENTE 14
2.8 - ASPECTOS NEUROFISIOLÓGICOS DA PERCEPÇÃO VISUAL 15
2.8.1 - Cérebro *15*
2.8.2 - Neurónios *16*
2.8.3 - Organização cerebral *17*
2.8.4 - Codificação sensorial *18*
2.9 - SISTEMA VISUAL HUMANO 18
2.9.1 - Propriedades da luz *18*
2.9.2 - Pathway Visual Central *19*
2.10 - PROCESSAMENTO INTEGRADO DE INFORMAÇÃO VISUAL 24
2.10.1 - Topografia e funções das áreas do córtex occipital *25*
2.10.2 - Problema da Integração de Características *25*
2.11 - VISÃO COMPUTACIONAL 29
2.11.1 - Extracção de informação *29*
2.11.2 - Processsamento distribuído *29*
2.11.3 - Modelo de processamento perceptivo *29*
2.12 - SUMÁRIO 30

CAPÍTULO III **33**

3.1 - INTRODUÇÃO 35
3.2 - ORGANIZAÇÃO PERCEPTIVA 35
3.2.1 - Abordagens Teóricas à Organização Perceptiva *35*
3.2.2 - Modelo de organização perceptiva *40*
3.2.3 - Segmentação *41*
3.2.4 - Organização Figura/Fundo *49*
3.2.5 - Interpolação visual *51*
3.3 - IDENTIFICAÇÃO DE OBJECTOS 52
3.3.1 - Teorias de Identificação *53*
3.3.2 - Modelo de Identificação *54*
3.3.3 - Inteligência Perceptiva *55*
3.4 - SUMÁRIO 56

CAPÍTULO IV **59**

4.1 - INTRODUÇÃO 61
4.2 - SELECÇÃO VISUAL 61
4.2.1 - Campo visual e acuidade *61*
4.2.2 - Movimento dos olhos *63*
4.2.3 - Atenção visual *65*
4.3 - CAPACIDADE 78
4.3.1 - Limitações de performance *79*
4.4 - INTRODUÇÃO À PERCEPÇÃO DA COR, LUMINOSIDADE E MOVIMENTO 81
4.4.1 - Descrição computacional da percepção da cor *82*
4.4.2 - Mecanismos fisiológicos da cor *84*

4.4.3 - Teorias da visão da cor ... *86*
4.4.4 - Fenómenos básicos ... *87*
4.4.5 - Experiência e cor ... *91*
4.4.6 - Percepção da Luminosidade ... *91*
4.4.7 - Funções da cor ... *92*
4.4.8 - Categorização e Cor ... *93*
4.4.9 - Factores perceptivos na aplicação da cor ... *94*
4.4.10 - Uso da cor em Sistemas de Gestão de Tráfego Aéreo ... *95*
4.4.11 - Problema computacional da percepção do movimento ... *97*
4.4.12 - Funções da percepção de movimento ... *100*
4.4.13 - Mecanismos fisiológicos ... *101*
4.4.14 - Percepção de movimento e Experiência ... *103*
4.4.15 - Aplicação do Movimento na Visualização de Informação ... *104*
4.5 - SUMÁRIO ... 105

CAPÍTULO V ... 109

5.1 - INTRODUÇÃO ... 111
5.2 - PROCESSO DE ACESSO À INFORMAÇÃO ... 111
5.3 - LINGUAGEM VISUAL ... 111
5.3.1 - Poder de uma visualização ... *112*
5.3.2 - Semântica visual ... *113*
5.3.3 - Sintaxe visual ... *113*
5.4 - REPRESENTAÇÃO VISUAL DE INFORMAÇÃO ... 113
5.4.1 - Correlação ... *114*
5.4.2 - Glifos ... *114*
5.4.3 - Entidades, Relacionamentos e Atributos ... *115*
5.4.4 - Integração de informação verbal e visual ... *115*
5.5 - INTERACÇÃO HOMEM-COMPUTADOR EM SISTEMAS DE GESTÃO DE TRÁFEGO AÉREO ... 117
5.5.1 - Sistema ATM ... *117*
5.5.2 - Filosofia de design ... *121*
5.5.3 - Princípios gerais de design de interfaces ... *122*
5.5.4 - Displays Radar ... *124*
5.6 - PROBLEMAS DE DETECÇÃO E INTEGRAÇÃO DE INFORMAÇÃO VISUAL ... 130
5.6.1 - Confusão perceptiva ... *130*
5.6.2 - Procura visual ... *131*
5.6.3 - Integração visual ... *131*
5.7 - SUMÁRIO ... 132

CAPÍTULO VI ... 133

6.1 - INTRODUÇÃO ... 135
6.2 - OBJECTIVOS E HIPÓTESES ... 136
6.3 - VARIÁVEIS ... 136
6.4 - AMOSTRA ... 137
6.5 - DESIGN EXPERIMENTAL ... 137
6.6 - PROCEDIMENTOS ... 138
6.7 - IMPLEMENTAÇÃO ... 140
6.7.1 - Software ... *140*
6.7.2 - Desenho da Interface ... *140*
6.7.3 - Funcionalidades ... *141*
6.8 - RESULTADOS ... 144
6.9 - DISCUSSÃO ... 148
6.10 - SUMÁRIO ... 148

CAPÍTULO VII ... 151

7.1 - CONCLUSÕES FINAIS ... 153
7.2 - PERSPECTIVAS DE DESENVOLVIMENTO FUTURO ... 154

BIBLIOGRAFIA ... 157

Índice de Figuras

Figura 2.1 O processo perceptivo organizado de uma forma circular para que seja realçado o seu aspecto dinâmico. As setas azuis apontam para o estímulo; as verdes para o processamento; e as vermelhas para as respostas perceptivas. As setas A, B e C indicam os três relacionamentos estudados no âmbito da percepção (adaptado de [Goldstein, 2007]). 12
Figura 2.2 Os relacionamentos básicos da investigação perceptiva (adaptado de [Goldstein, 2001]). 13
Figura 2.3 Vista lateral do córtex cerebral (adaptado de [Ramachandran, 2002]). 16
Figura 2.4 Um neurónio "básico", uma vez que existem muitos tipos de neurónios (adaptado de [Arbib, 2003]). 16
Figura 2.5 O espectro de radiação electromagnética (adaptado de [Ware, 2004]). 19
Figura 2.6 Secção lateral do olho (adaptado de [Paxinos, 2003]). 20
Figura 2.7 A estrutura laminar da retina e os tipos de células nela existentes, vistos esquematicamente (a) e através de microscópio (b) (adaptado de [Gallagher, 2003]). 20
Figura 2.8 Antagonismo centro-periferia. Resposta de um campo receptivo de centro-excitatório/periferia-inibitória, em função do aumento do estímulo. As zonas a cor correspondem à área estimulada com luz. Verifica-se que a maior resposta ocorre quando toda a área excitatória é iluminada (b) (adaptado de [Goldstein, 2007]). 21
Figura 2.9 Percurso efectuado pelos sinais neuronais através do Central Visual Pathway. Depois de passarem pelo LGN os sinais seguem para o Striate Córtex, também designado por Córtex Visual Primário ou área V1 (adaptado de [Ramachandran, 2002]). 22
Figura 2.10 Dois neurónios que respondem melhor a um círculo ou quadrado ligado a uma linha (adaptado de [Tanaka, 1996]). 24
Figura 2.11 Desenho esquemático de um módulo cortical. O córtex visual primário está organizado em módulos que consistem em colunas de orientação e dominância ocular. Dentro de cada módulo todas as células respondem à mesma parte do campo visual, mas variam relativamente a qual olho respondem, sensibilidade à orientação, cor e tamanho (não representado) (adaptado de [Paxinos, 2003]). 24
Figura 2.12 Os principais pathways visuais do Macaque Monkey. V1 – V4, áreas visuais 1 – 4; PO, parieto-occipital area; MT, middle temporal area ou V5; DP, dorsal prestiate area; PP, posterior parietal complex; STS, superiotemporal sulcus complex; IT, inferotemporal cortex (adaptado de [Ware, 2004]). 25
Figura 2.13 Topografia e função de áreas visuais identificadas no lobo occipital e áreas próximas (adaptado de [Ramachandran, 2002]). 26
Figura 2.14 Os tamanhos relativos das áreas corticais envolvidas no processamento visual. Mais uma vez, a espessura das linhas refere-se ao número de projecções ascendentes entre áreas (retirado de [Lennie, 1998]). 27
Figura 2.15 Percentagem de células selectivamente activadas pela cor, disparidade, orientação e direcção. Cada círculo representa um estudo, e cada circunferência, a média (adaptado de [Lennie, 1998]). 28
Figura 2.16 Uma versão simplificada dos pathways envolvidos na visão, desde a retina até ao córtex. Note-se que existem mecanismos de feedback não representados neste modelo (adaptado de [Eysenck, 2005]). 28
Figura 3.1 Embora sejam semelhantes, o estímulo distal e o estímulo proximal são eventos distintos. O primeiro é o padrão ou a condição externa que é percepcionada, o segundo é o padrão de actividade sensorial que é determinado pelo estímulo distal (adaptado de [Levitin, 2002]. 36
Figura 3.2 Exemplo de uma figura multiestável: o cubo de Necker (retirado de [Levitin, 2002]). 37
Figura 3.3 O problema da organização perceptiva, considerando o output de um receptor retinal como um array numérico onde os valores mais baixos correspondem às zonas mais escuras e os mais altos às mais claras (a); ou como a imagem correspondente em escala cinza (b) (adaptado de [Levitin, 2002]). 38
Figura 3.4 Duas vistas em perspectiva, equivalentes, de um cubo. No entanto, em (a) a estrutura tridimensional é preferencialmente percepcionada; enquanto que em (b) é a bidimensionalidade que prevalece (adaptado de [Boff, 1986]). 39
Figura 3.5 Uma teoria computacional da organização visual. Depois da detecção de orlas, a formação de regiões conjuga-se com os princípios Figura/Fundo para dar origem a unidades de entrada. O Agrupamento e o Parsing podem então ocorrer para dar origem a unidades superiores e inferiores na hierarquia Parte/Todo (adaptado de [Healy, 2003]). 40
Figura 3.6 a) A imagem será primeiro visualizada como uma região uniforme, para depois ser segregada em duas partes: um ramo e um pássaro. b) Neste caso, ao nível de entrada, esta imagem seria dividida em oito regiões que os processos subsequentes se encarregariam de integrar, dando origem a dois objectos: um ramo e um pássaro (adaptado de [Goldstein, 2001]). 40
Figura 3.7 Em cada uma destas imagens existem certas estruturas que são mais salientes em relação ao que as circunda; e com maior tendência para serem visualizadas como figuras. As propriedades do contorno afectam a saliência percepcionada (adaptado de [Ullman, 1996]). 41
Figura 3.8 Princípios clássicos de agrupamento: a) Inexistência de agrupamento, comparativamente a b) agrupamento por proximidade, c) semelhança de cor, d) semelhança de tamanho, e) semelhança de orientação, f) destino comum, g) simetria, h) paralelismo, i) continuidade, j) fechamento, e k) região comum (adaptado de [Healy, 2003]). 42
Figura 3.9 Graus de Agrupamento. Nem todos os factores produzem agrupamento. Em a) elementos que diferem 180º na sua orientação não produzem um efeito tão pronunciado de agrupamento quanto os elementos em b), que só diferem 45º (adaptado de [Levitin, 2002]). 43

Figura 3.10 Princípio da Continuidade. Linhas curvas (a) são mais eficazes do que linhas rectas (b) no agrupamento de elementos. (adaptado de [Ware, 2004]). 43
Figura 3.11 Princípio da Região Comum. Regiões mais pequenas dominam regiões maiores (adaptado de [Levitin, 2002]). 44
Figura 3.12 Princípio da Ligação Uniforme e a sobreposição aos Princípios da Proximidade (a), Semelhança de Cor (b), de Tamanho (c), ou Forma (d) (adaptado de [Ware, 2004]). 44
Figura 3.13 Princípio de Agrupamento por Sincronia. Tudo o resto mantendo-se igual, objectos que mudam as suas características simultaneamente são percepcionados juntos (adaptado de [Healy, 2003]). 44
Figura 3.14 Resposta neuronal (d) a: (a) uma barra orientada no campo receptivo do neurónio (o quadrado); (b) a mesma barra rodeada de outras barras orientadas aleatoriamente; e (c) a barra quando passa a fazer parte de um grupo de barras verticais, devido aos princípios da Continuidade e Semelhança (adaptado de [Kapadia, 1995]). 45
Figura 3.15 Efeitos da experiência prévia na organização perceptiva (retirado de [Levitin, 2002]) 46
Figura 3.16 Uma imagem em escala cinza de um pinguim (a); uma segmentação regional utilizando o algoritmo de normalização de Malik (b); e o resultado do algoritmo de detecção de orlas de Canny (c) (retirado de [Healy, 2003]). 47
Figura 3.17 A separação é mais evidente entre os T's inclinados e os totalmente verticais (a), do que entre estes últimos e os L's; Mas relativamente à semelhança dos elementos individualmente b), é maior a diferença entre os T's e os L's (adaptado de [Healy, 2003]). 48
Figura 3.18 Princípio da concentração espacial (a): quanto maior for o número de objectos numa dada área, maior será a tendência para serem percepcionados com um aglomerado; (b) embora o ponto destacado a vermelho esteja à mesma distância dos dois pontos que estão localizados abaixo dele, é percepcionado como pertencendo ao aglomerado superior de pontos; (c), (d) pontos com densidades iguais são percepcionados juntos (adaptado de [Ware, 2004] (b); e de [Sadahiro, 1997] (a),(c),(d)). 48
Figura 3.19 A detecção de uma fronteira de textura, num contexto monocromático (a); e após a adição de cor à textura (b). Verifica-se que no segundo caso a saliência da fronteira é menor (adaptado de [Itti, 2005]) 49
Figura 3.20 Exemplos de organização Figura/Fundo e Figura/Figura. Contorno atribuído à figura negra, sendo esta vista mais perto do que o fundo branco (a); contornos partilhados (b); contornos percepcionados em perspectiva (c). O contorno crítico significa a junção de duas faces de um cubo (adaptado de [Goldstein, 2001]). 49
Figura 3.21 A robustez das regras de segregação perceptiva. Observadores que nunca tenham visto esta figura percepcionam-na como sendo seis blocos negros; no entanto, se esta organização Figura/Fundo for percepcionada para que os espaços em branco entre os blocos sejam vistos como figura, a palavra "THE" surge evidente (adaptado de [Boff, 1986]). 50
Figura 3.22 Figura ambígua em termos de organização figura/fundo (1); Princípios de organização figura fundo: envolvência (2); tamanho (3); contraste (4); convexidade (5); e simetria (6) (adaptado de [Wilson, 1999]). 50
Figura 3.23 Imagem (1a) que é percepcionada amodalmente como sendo um círculo oculto por um quadrado (b); em vez das alternativas possíveis: um quadrado e três quartos de círculo (c); ou outras formas ocultas: (d) e (e); Interacção entre o Princípio de Fechamento e a completação amodal (2) (adaptado de [Palmer, 1999] (1); e [Ware, 2004] (2)). 51
Figura 3.24 Triângulo de Kanizsa (retirado de [Pessoa, 1998]). 52
Figura 3.25 A percepção da transparência. Verifica-se (a); ou não, porque: a figura se encontra em apenas numa região (b); não verifica o principio da boa continuidade (c) e (d); e não verifica as proporções adequadas de cor (e) (retirado de [Healy, 2003]). 53
Figura 3.26 Modelo hierárquico da identificação e nomeação de objectos (adaptado de [Rapp, 2001]). 55
Figura 3.27 Ao contrário do que sugeriram os psicólogos da Gestalt com o Princípio da Pragnanz, Helmhotz atribuía a percepção desta figura determinada pelo Princípio da Probabilidade (retirado de [Palmer, 1999]) 55
Figura 3.28 Efeitos contextuais. Embora existam outras possibilidades, o sistema perceptivo geralmente identifica a frase "THE CAT", "RED" e "SPOT" (1); estímulos utilizados numa experiência para determinar a influencia contextual (2) (adaptado de [Levitin, 2002] (1); [Healy, 2003] (2)). 56
Figura 4.1 Campo visual de um observador olhando em frente: É possível identificar a zona de sobreposição (mais escura) dos campos visuais de cada olho, sendo esta irregular devido a características faciais como o nariz (adaptado de [Ware, 2004]). 61
Figura 4.2 Acuidade visual: A área correspondente a cerca de 2º a partir da fóvea corresponde à zona onde o olho humano consegue distinguir melhor o detalhe. A um ângulo de 10º em relação à fóvea já só é possível distinguir um décimo do detalhe (adaptado de [Ware, 2004]). 62
Figura 4.3 Acuidades básicas (adaptado de [Ware, 2004]) 62
Figura 4.4 Registos dos movimentos sacádicos típicos na observação de uma face (retirado de [Palmer, 1999]). 64
Figura 4.5 Efeito do conhecimento na pesquisa de cenas coerentes ou desorganizadas. Biederman verificou que a organização de uma cena visual facilitava a performance perceptiva (adaptado de [Biederman, 1973]). 65
Figura 4.6 Formas como os vários tópicos relativos à atenção se relacionam (adaptado de [Eysenck, 2005]). 66
Figura 4.7 Componentes funcionais da atenção: os processos que contribuem para a atenção estão a vermelho. A atenção voluntária envolve estes processos operando num ciclo recorrente (setas a preto) (adaptado de [Knudsen, 2007]). 67
Figura 4.8 Interferência na supressão de informação Bottom-up (adaptado de [Driver, 1989]). 69

Figura 4.9 Dois estímulos utilizados no estudo realizado por Duncan; cada estímulo consiste em dois objectos: uma linha que atravessa uma caixa (adaptado de [Duncan, 1984])..... 70
Figura 4.10 Estímulos e resultados da experiência 1 realizada por Watson e Kramer: os sujeitos procuraram por uma ponta aberta e por uma ponta dobrada; os tempos de reacção estão à direita (adaptado de [Watson, 1999]). 71
Figura 4.11 Segundo Notdurft, a saliência de um objecto não está apenas nas suas características, mas no contraste entre as suas características e as do contexto que o rodeia: assim, um mesmo objecto pode ser considerado como sendo saliente: a), c), d), ou não: b) e e) (adaptado de [Itti, 2005]). 72
Figura 4.12 Exemplo de um tipo de estímulo utilizado por Treisman e Schmidt nas suas experiências de conjunções ilusórias (adaptado de [Treisman, 1982])..... 74
Figura 4.13 Os tempos de resposta de uma tarefa de busca visual dependem da inclusão ou não de determinadas características (adaptado de [Treisman, 1986])..... 75
Figura 4.14 Características detectadas em paralelo, excepto o paralelismo e a junção (adaptado de [Ware, 2004])... 76
Figura 4.15 Busca visual de uma conjunção espacial de características onde não existem elementos detectados em paralelo (a) é influenciada pelo agrupamento espacial (b); fazendo com que a percepção da elipse cinza passe a ser detectada paralelamente, apesar de possuir a mesma forma que outros elementos circundantes (adaptado de [Ware, 2004])..... 77
Figura 4.16 A profundidade estereoscópica pode ser utilizada para destacar informação (retirado de [Ware, 2004]). 77
Figura 4.17 Estímulos usados por Trick e Enns (adaptado de [Trick, 1997])..... 78
Figura 4.18 Modelo simplificado das estruturas e processos humanos de processamento de informação (modelo de Wickens e Carswell adaptado de [Borman, 2003])..... 78
Figura 4.19 Estímulos utilizados para determinar capacidade da memória operacional visual: (a) e (c) em [Vogel, 2001]; (b) em [Xu, 2002] (adaptado de [Ware, 2004])..... 80
Figura 4.20 O espectro electromagnético: A luz visível corresponde a uma pequena parte do espectro electromagnético (entre os 400 e os 700 nm) (adaptado de [Palmer, 1999])..... 82
Figura 4.21 Distribuição espectral da luz que chega ao olho de um receptor (c) é o produto do espectro de radiância da fonte de luz (a) pelo espectro de reflectância do objecto percepcionado (b); a escala no eixo das ordenadas é arbitrária (adaptado de [Gallagher, 2003]). 83
Figura 4.22 Um espaço de cor, em termos psicológicos (b) define-se através de três coordenadas: cor, saturação e intensidade; um círculo de cor (a) corresponde a uma secção do espaço de cor, fixado um valor para a intensidade (adaptado de [Palmer, 1999])..... 83
Figura 4.23 Curvas do espectro de absorção de bastonetes e cones existentes na retina humana, baseada em medições efectuadas em onze bastonetes, três cones sensíveis ao azul; onze cones sensíveis ao verde; e dezanove cones sensíveis ao vermelho (adaptado de [Bowmaker, 1980])..... 84
Figura 4.24 Espectro de absorção dos fotopigmentos encontrados em duas espécies distintas (abelha e macaco): como é possível verificar, a abelha possui um fotopigmento com absorção máxima na parte ultravioleta do espectro, o que não acontece com os primatas (adaptado de [Gallagher, 2003])..... 85
Figura 4.25 Quatro medições das capacidades de discriminação humanas: a) Função da Sensibilidade Espectral; b) Função da discriminação de comprimentos de onda; c) Saturação espectral; d) Cores (Hues) espectrais (adaptado de [Ramachandran, 2002])..... 86
Figura 4.26 O espectro de absorção dos três tipos de cones na retina de pessoas com visão da cor normal (adaptado de [Ramachandran, 2002])..... 87
Figura 4.27 No modelo proposto por Hering os sinais processados pelos cones correspondem a três canais distintos: Vermelho-Verde; Amarelo-Azul e Branco-Preto (adaptado de [Ware, 2004])..... 88
Figura 4.28 Mistura de luzes no espaço da cor: a cor resultante da mistura de duas luzes estará sempre na linha do espaço da cor que as une (a); e a cor resultante da mistura de três luzes estará no triângulo por elas definido (adaptado de [Palmer, 1999])..... 88
Figura 4.29 Persistência de cor: ao fixar o olhar numa imagem com cores saturadas (a) durante um período suficientemente longo (30-60 segundos) é possível verificar o resultado de uma Afterimage composta pelas cores complementares dessa imagem em (b) (adaptado de [Palmer, 1999]). 89
Figura 4.30 Contraste simultâneo de cor (ou indução de cor); é possível verificar que embora o anel seja uniformemente cinza a percepção da sua cor é influenciada pelos fundos que o rodeiam: a) parece mais verde quando rodeado por vermelho; b) parece mais vermelho, quando rodeado por verde; c) parece mais azul, quando rodeado por amarelo; d) e parece mais amarelo, quando rodeado por azul (adaptado de [Palmer, 1999])..... 89
Figura 4.31 Contraste simultâneo de cor (ou indução de cor): células que respondem a uma cor em particular numa dada área inibem o mesmo tipo de neurónio numa área vizinha. Adicionalmente, uma célula que detecta uma dada cor excita células que detectam a cores complementar em áreas vizinhas do espaço. Desta forma, as orlas vermelho/verde e azul/amarelo são intensificadas (adaptado de [Ramachandran, 2002])..... 89
Figura 4.32 Adaptação cromática: ao fixar a imagem (a) durante cerca de 60 segundos, e olhando em seguida para a imagem (b) é possível verificar que a percepção das cores é diferente nas duas secções da imagem (adaptado de [Palmer, 1999])..... 90
Figura 4.33 Exemplo do efeito small field color blindness: a distinção de cores é dificultada pelo tamanho do campo. Isto verifica-se, quer no eixo amarelo-azul (a,b); quer no eixo verde-vermelho (c,d) (adaptado de [Ware, 2004]). 91

Figura 4.34 Grelha de Hermann: É possível verificar a existência de imagens fantasma cinzentas nas intersecções. Este facto resulta das características dos campos receptivos das células ganglionares (retirado de [Ware, 2004]). 92
Figura 4.35 a) White's illusion. b) Benary Cross. No caso destas figuras, a explicação dos efeitos de contraste resultantes está relacionada com as Junções em T, (c) (adaptado de (a) [Gazzaniga, 1999]; (b) de [Goldstein, 2007]; e (c) de [Wilson, 1999])..... 92
Figura 4.36 Os frutos são mais facilmente percepcionados na versão a cores (b) do que na versão em níveis de cinzento (a), o que ilustra a importância da trocromacia numa tarefa de busca visual (adaptado de [Sumner, 2000]). 92
Figura 4.37 Resultados de uma experiência de categorização onde foi solicitado aos sujeitos a nomeação de 210 cores. As linhas cinza delimitam as áreas onde cujos estímulos corresponderam à mesma categoria de cor com uma probabilidade superior a 75% (adaptado de [Ware, 2004])...... 93
Figura 4.38 Conjuntos de cores recomendadas para a codificação de informação (retirado de [Ware, 2004]). 94
Figura 4.39 Exemplo de uma combinação de cores de igual luminância que resulta numa pobre distinção de detalhe (adaptado de [Ware, 2004])...... 95
Figura 4.40 Diagramas de espaço-tempo de três eventos simples: cada gráfico representa o movimento de um único ponto ao longo de uma trajectória vertical, sendo que em (a) o ponto move-se para cima com velocidade uniforme; em (b) move-se continuamente para cima e para baixo em movimento harmónico; e em (c) move-se discretamente para cima e para baixo produzindo movimento aparente (adaptado de [Palmer, 1999])..... 98
Figura 4.41 Representação de movimento através de vectores: o tamanho do vector representa a velocidade e a sua orientação representa a direcção do movimento (adaptado de[Palmer, 1999])..... 98
Figura 4.42 O problema da correspondência do movimento aparente: se mais de que um objecto está presente numa configuração visual, o sistema perceptivo necessita determinar qual objecto corresponde a qual (c) nas duas imagens representadas em (a) e (b) (adaptado de [Palmer, 1999])...... 99
Figura 4.43 Movimento induzido: o movimento do rectângulo gera a percepção do movimento do ponto (adaptado de [Palmer, 1999])...... 99
Figura 4.44 O modelo da corollary discharge: a área motora envia o sinal motor (SM) para os músculos oculares e envia um sinal Corollary Discharge Signal (SDC) para uma estrutura chamada "comparador". Movimento na retina gera um sinal de movimento de imagem (SMI) que também é enviado para o comparador. O comparador, por sua vez, envia um sinal para o córtex visual (adaptado de [Goldstein, 2007]). 101
Figura 4.45 Respostas de um neurónio no córtex de um macaco: em (a) o neurónio dispara quando uma barra (S) se movimenta ao longo do campo receptivo do neurónio (RF) ao mesmo tempo que o macaco olha para o ponto de fixação (FP); em (b) o neurónio não dispara, quando é o olho que se movimenta, embora isso também faça a barra atravessar o campo receptivo do neurónio (adaptado de [Galletti, 2003])...... 102
Figura 4.46 Visualizações de pontos dinâmicos: criadas por computador, estas visualizações permitem estabelecer a relação entre detecção de movimento e a coerência entre pontos em movimento. Cada ponto permanece no ecrã durante cerca de 20 a 30 µsegundos, para depois serem substituídos por outros cuja correlação espacio-temporal varia entre 0 (a) e 100% (c), sendo que numa posição intermédia (b) num dado instante, metade dos pontos estão a mover-se na mesma direcção (adaptado de [Newsome, 1988])..... 102
Figura 4.47 Point Light walker (retirado de [Blake, 2007])...... 103
Figura 4.48 Estímulos utilizados numa experiência realizada por Ramachandran e Anstis: o triângulo e o quadrado inferior são primeiro apresentados, e em seguida é apresentado o quadrado superior (a); dos resultados possíveis: fusão das duas formas (a); deslocamento do quadrado com o triângulo a estar intermitente (c); e deslocamento do triângulo para trás do quadrado, apenas esta última foi vista pelos observadores...... 104
Figura 4.49 De acordo com a Limitação do Caminho mais Curto, o movimento aparente entre dois pontos, alternando rapidamente, deve ocorrer ao longo do caminho mais curto, embora outros sejam possíveis (adaptado de [Goldstein, 2007]). 104
Figura 5.1 Dois exemplos de como representar graficamente relações entre entidades (retirado de [Ware, 2004]). .. 112
Figura 5.2 O comprimento e a altura são dimensões percepcionadas de modo integrado; no caso a) B é percepcionado como sendo mais semelhante a C; b) a luminosidade e a altura não são, porém, integradas o que faz com que A seja identificado como mais semelhante a B (adaptado de [Ware, 2004])...... 114
Figura 5.3 Exemplos de conjugações de propriedades segundo o grau de integração ou de separação das propriedades utilizadas: as mais separáveis estão à esquerda, as menos, à direita (adaptado de [Ware, 2004]). 115
Figura 5.4 Técnicas de visualização de vectores: linhas orientadas; glifos 2D e glifos 3D (adaptado de [Hansen, 2005]). 115
Figura 5.5 Gramática visual baseada em elementos utilizados em diagramas entidade-relacionamento (adaptado de [Ware, 2004])...... 116
Figura 5.6 A integração de elementos texturais e visuais é possível ser realizada considerando os princípios propostos pelos psicólogos da Gestalt: (a) Proximidade, (b) Continuidade, (c) Região comum, e (d) região comum e continuidade (adaptado de [Ware, 2004])...... 117
Figura 5.7 Principais componentes de um sistema ATM/CNS (adaptado de [Kelly, 2000]). 118
Figura 5.8 Organização funcional simplificada do sistema ATM onde é possível discernir a localização no fluxo de informação da informação relativa aos planos de voo (adaptado de [Spouge, 2005])..... 119
Figura 5.9 Exemplo de um formulário para depósito de um plano de voo (retirado de [NAV, 2008])..... 120
Figura 5.10 Exemplo de uma mensagem de plano de voo (retirado de [CFMU, 2008])...... 120

Figura 5.11 Exemplo de uma fita de progresso de voo utilizada na Torre de Controlo do Aeroporto Francisco Sá Carneiro, no Porto e o plano de voo que lhe deu origem. *121*
Figura 5.12 Exemplo da fonte "Bleriot", desenvolvida para displays ATM (retirado de [Vinot, 2008]). *124*
Figura 5.13 Exemplos de símbolos utilizados em displays radar (adaptado de [EUROCONTROL, 2008b]). *125*
Figura 5.14 Tracks de voo (adaptado de [EUROCONTROL, 2008b]). *126*
Figura 5.15 Tipos de especiais de tracks e símbolos (adaptado de [EUROCONTROL, 2008b]). *126*
Figura 5.16 Três representações de etiquetas de voo (retirado de [EUROCONTROL, 2008b]). *126*
Figura 5.17 Representação da capacidade RVSM de uma aeronave: a) não equipada; b) equipada (retirado de [EUROCONTROL, 2008b]). *126*
Figura 5.18 Exemplo do conteúdo de uma etiqueta expandida, através da qual o controlador tem acesso a dados adicionais acerca do voo (retirado de [EUROCONTROL, 2008b]). *127*
Figura 5.19 Exemplo de uma alteração gráfica resultante do uso de uma ferramenta do tipo lupa (retirado de [EUROCONTROL, 2008b]). *127*
Figura 5.20 Funcionalidade Wheelie: a) desactivada; e b) activa (adaptado de [Sporer, 2007]). *128*
Figura 5.21 Exemplo de uma indicação de conflito (STCA) e as consequentes alterações nos tracks e nas etiquetas dos voos (retirado de [EUROCONTROL, 2008b]). *128*
Figura 5.22 Etiquetas com informação relativa á capacidade CPDLC: a) sem capacidade CPDLC; b) CPDLC inactivo; c) CPDLC activo (adaptado de [ICAO, 2000]). *128*
Figura 5.23 Exemplo das alterações visíveis no display aquando de uma comunicação de uma alteração de nível de voo pelo controlador e resposta positiva por parte da aeronave: a) controlador autoriza novo nível; b) visualização do nível do novo nível autorizado; c) indicação de subida (adaptado de [ICAO, 2000]). *128*
Figura 5.24 Visualização de uma resposta negativa por parte do piloto através da utilização de um rectângulo e texto de cor amarela ([ICAO, 2000]). *129*
Figura 5.25 Exemplos de como seria possível codificar informação semelhante do ponto de vista perceptivo de modo a reduzir a possibilidade de erros visuais. *131*
Figura 5.26 Exemplo da utilização da informação de profundidade como forma de gerar saliência: a) ecrã radar normal; b) funcionalidade de Blur activada para destacar um voo (adaptado de [Sporer, 2007]). *131*
Figura 5.27 Exemplo de como através da criação campos manipuláveis seria possível aceder a informação geralmente dispersa por várias fontes e sistemas. Neste caso concreto, informação relativa ao plano de voo actualizado; e informação relativa ao procedimento de descolagem previsto. *132*
Figura 6.1 Fluxograma relativo aos processos de procura de conflitos/verificação de segurança no controlo de tráfego aéreo de rota/aproximação (retirado de [Dittmann, 2000]). *135*
Figura 6.2 Exemplo de uma janela de apresentação de uma tarefa. *138*
Figura 6.3 Janela de resultados: esta janela disponibiliza informação relativa ao teste, apresentando dados relativos a cada questão individualmente, e também um grupo de estatísticas globais no final. *138*
Figura 6.4 Formulário para registo dos dados de perfil de cada sujeito. *139*
Figura 6.5 Área de trabalho e barra de ferramentas do ATCBlur. *141*
Figura 6.6 Barra de ferramentas do ATCBlur. Tal como em sistemas de visualização radar actuais, está localizada no topo do ecrã e permite ao utilizador interagir com o sistema. *141*
Figura 6.7 Detalhe de um grupo de voos durante a simulação. Cores, símbolos e fontes utilizadas tendo em conta as recomendações do EUROCONTROL. *142*
Figura 6.8 Painel de configuração. Através desta janela é possível definir vários aspectos da simulação. O acesso a esta janela é restrito, através do uso de uma palavra passe. *142*
Figura 6.9 Detalhe do ecrã durante a utilização do filtro Blur. Antes da activação (a), todos os voos são visualizados do mesmo modo; depois (b) os voos não relevantes à pesquisa são filtrados; neste caso, o voo AAF311 é mantido desfocado. *143*
Figura 6.10 Utilização do filtro baseado na cor: na primeira imagem (a) o filtro não está activo; na segunda (b) o filtro "S" é activado tendo como referência o voo TAM8610, fazendo os voos relevantes mudarem de cor. *144*
Figura 6.11 Médias calculadas a partir da variável "Tempo Médios de Resposta" de cada teste. *144*
Figura 6.12Comparação dos resultados de precisão dos testes Blur e No Filter. *146*
Figura 6.13 Comparação dos resultados de precisão relativos aos testes Blur e Colour, no cenário Blur versus Colour. *146*
Figura 6.14 Comparação entre os resultados da precisão relativa aos testes Blur e Erase. *147*

Lista de Siglas e Acrónimos

ACC	*Area Control Centre*
ADEXP	*ATS Data Exchange Presentation*
AFTN	*Aeronautical Fixed Telecommunications Network*
AIS	*Aeronautical Information Service*
APP	*Approach*
ARO	*Air Traffic Services Reporting Office*
ASM	*Airspace Management*
ATC	*Air Traffic Control*
ATFCM	*Air Traffic Flow and Capacity Management*
ATM	*Air Traffic Management*
ATS	*Air Traffic Services*
CENA	*Centre d'Etudes de la Navigation Aérienne*
CFMU	*Central Flow Management Unit*
CNS	*Communications, Navigation and Surveillance*
CPDLC	*Controller Pilot Data Link Communications*
DP	D*orsal Prestiate Area*
FAA	*Federal Aviation Administration*
FEUP	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
FPL	*Flight Plan*
GAT	*General Air Traffic*
GCL	*Ganglion Cell Layer*
HCI	*Human-Computer Interaction*
ICAO	*International Civil Aviation Organization*
IFPS	*Integrated Initial Flight Plan Processing System*
IFPZ	IFPS *Zone*
IFR	*Instrument Flight Rules*
INL	*Inner Nuclear Layer*
IPL	*Inner Plexiform Layer*
IS	*Inner Segment*
IT	*Inferotemporal Cortex*
LGN	*Lateral Geniculate Nucleus*
MT	*Middle Temporal Area*
NFL.	*Nerve FiberLlayer*
OAT	*Operational Air Traffic*
OLM	*Outer Limiting Membrane*
ONL	*Outer Nuclear Layer*
OPL	*Outer Plexiform Layer*
OS	*Outer Segment*
PP	P*osterior Parietal Complex*;
PO	*Parieto-Occipital Area*
RPL	*Repetitive Flight Plan*
RVSM	*Reduced Vertical Separation Minima*
STCA	*Short Term Conflict Alert*
STS	S*uperiotemporal Sulcus Complex*
TWR	*Tower*
VFR	*Visual Flight Rules*
UCR	*Uniform Connected Regions*

Capítulo I
Introdução à Dissertação e à sua estrutura

"All men by nature desire to know."
Aristóteles

1.1 - Enquadramento

"Um livro que não se encontra, costuma dizer-se, é um livro que não existe."
Carlos Maria Dominguez *in* A casa de papel.

"Escolha uma área de investigação, e Aristóteles trabalhou nela", [Barnes, 2000]. Esta frase de Barnes salienta a imensa contribuição que Aristóteles teve na produção de conhecimento para a humanidade. É possível imaginar que o problema que o motivava era a inexistência de informação nos mais variados domínios de investigação. Hoje, muitos séculos depois de Aristóteles, embora a procura pelo conhecimento continue a motivar a humanidade, a existência de um cada vez maior volume de informação amplificou os problemas da selecção e organização desse conhecimento, problemas estes, que esta Dissertação analisa, especificamente, no domínio das representações visuais de informação.

Em ambientes onde os recursos cognitivos são particularmente valiosos, e onde a natureza da informação é especialmente crítica, como é o caso do Controlo de Tráfego Aéreo (ATC), o problema da organização do conhecimento é ainda mais pertinente; tanto mais porque uma má interpretação da informação pode significar vidas humanas.

Vários estudos demonstram que os erros perceptivos são os mais comuns no Controlo de Tráfego Aéreo (ver, por exemplo, [Pape, 2001] e [Jones, 1996]). Shorrock, em [Shorrock, 2007], obteve resultados que indicam que os erros de detecção visual foram a maior categoria de erros identificada, sendo que a grande maioria estava directamente associada à monitorização radar.

Com o desenvolvimento tecnológico, e, consequentemente, a melhoria das capacidades de processamento, a tendência para haver um aumento no uso de visualizações será maior. A utilização de fitas de progresso de voo digitais (ver, por exemplo, [PAVET, 2006]) ou a utilização de sistemas *Controller Pilot Data Link Communications* (CPDLC) são exemplos disso. Com uma maior utilização de recursos visuais, surgem, naturalmente, novos problemas. Questões como a confusão relativa às identificações de aeronaves (*callsigns*), [EUROCONTROL, 2006a], antes um problema apenas da esfera da percepção auditiva, passa a ser também do domínio visual.

A maior capacidade de processamento trouxe consigo uma maior capacidade de automatização. Não há dúvida que os automatismos, em particular os inseridos no contexto da Gestão de Tráfego Aéreo (*Air Traffic Management*, ATM), libertam capacidade cognitiva, [ICAO, 2000]; e que, com o aumento de tráfego (estimativas prevêem uma duplicação do número de movimentos realizados em 2005 para o ano 2030, [EUROCONTROL, 2008a]) maior automatização será necessária. No entanto, não considerar a componente humana no desenvolvimento de novas formas de automatização provou ser um erro, [Healy, 2003], levando a vários problemas. Um desses problemas, a complacência, traduz-se na diminuição de capacidade, quer em termos de uma menor percepção do estado de coisas (*situation awearness*, [Endsley, 2000]), quer na detecção de problemas, [Wickens, 2003].

É neste contexto que esta Dissertação aborda as questões da detecção e integração de informação visual, baseando-se na ideia de que é possível melhorar a *performance* cognitiva através do uso de visualizações, desenhadas em função das características do sistema perceptivo humano, e de acordo com a ideia de Automatização Centrada no Homem, [Billings, 1996].

1.2 - Objectivos e Abordagem adoptada

Os principais objectivos do projecto registado nesta Dissertação foram os seguintes:

1) Identificar através de um estudo bibliográfico as principais teorias da percepção humana passíveis de serem implementadas na visualização de informação crítica;
2) Implementar um sistema de visualização de informação crítica apoiado nas teorias previamente identificadas;
3) Avaliar o sistema desenvolvido através de um estudo de caso.

Com vista a compreender adequadamente os problemas da visualização de informação, o enquadramento teórico foi dividido em três eixos de pesquisa. O primeiro desses eixos foi, naturalmente, a área da percepção humana. Através da análise dos mecanismos e fenómenos da percepção visual, procuraram-se

estabelecer os fundamentos de carácter fisiológico ao argumento da Dissertação. Ainda neste eixo, e tendo em conta a própria natureza dos processos perceptivos, foram estudados factores dos domínios da atenção e da memória; concretamente, as questões da selectividade e capacidade visuais. O segundo eixo de investigação procurou estabelecer uma relação entre as propriedades do sistema perceptivo visual e as questões da sua aplicabilidade no domínio da visualização de informação. Finalmente, a terceira área de investigação, incidiu no domínio das aplicações ATM, onde se procurou estabelecer uma relação com os outros dois eixos.

Considerando as linhas de investigação descritas, poder-se-á dizer que o primeiro objectivo da Dissertação foi o de estabelecer uma ligação entre estas três áreas de estudo; isto é, o estudo dos processos perceptivos enquanto base para as ferramentas de visualização, aplicadas no domínio dos sistemas ATM. Ao longo da pesquisa procuraram-se identificar factores de ordem perceptiva com potencial interesse para uma aplicação no domínio dos sistemas de visualização ATM. Assim, acreditava-se ser possível encontrar pontos de ligação entre mecanismos e fenómenos perceptivos, e as visualizações ATM. Por outro lado, foram também investigados os principais problemas existentes no âmbito dos sistemas ATM existentes, em particular, os relativos à visualização radar. Da análise destas duas vertentes resultou a ideia de avaliar o impacto da utilização de um filtro visual (fazendo uso do efeito da profundidade de campo, ou *Blur*) em problemas de pesquisa visual de informação crítica. Esta avaliação assentou em dois objectivos específicos:

- Medir o impacto da aplicação do filtro desenvolvido (filtro *Blur*) na gestão da atenção;
- Comparar o impacto dessa aplicação com outras estratégias de visualização já existentes.

Para atingir estes objectivos foi decidido desenvolver uma plataforma de testes que pudesse servir de base à realização de um trabalho de campo onde fosse possível obter dados concretos (quantitativos) relativamente à aplicação prática proposta. Assim, uma vez concluída a investigação teórica, deu-se início ao desenvolvimento de um simulador radar (a que se deu o nome de *ATCBlur*) cujo principal objectivo foi o de permitir a obtenção de dados relativos às *performances* dos vários tipos de filtros visuais, e relativamente a uma situação de ausência de filtros, em tarefas de pesquisa visual de informação crítica. Após a obtenção dos dados foi realizada uma análise estatística aos resultados e, finalmente, foram delineadas algumas conclusões e recomendações.

1.3 - Estrutura organizativa

Os capítulos seguintes foram organizados, considerando os eixos de investigação referidos no ponto anterior, da seguinte forma:

Capítulo 2 – Introdução à Percepção Humana: processo perceptivo e mecanismos fisiológicos visuais

Este capítulo divide-se em duas partes. Na primeira, introdutória, é descrita a evolução da percepção enquanto conceito, apresentando-se e analisando-se o problema que está na base do argumento desta Dissertação; ou seja, saber se as percepções resultam de aprendizagem ou se pelo contrário são inatas. É em seguida contextualizada a percepção enquanto processo pertencente aos domínios sensorial e cognitivo; resultando daqui, a conclusão de que é necessário ter em conta factores externos e internos (*Bottom-up* e *Top-down*) para a sua explicação.

Segue-se posteriormente o primeiro passo tendo em vista a defesa da posição adoptada por esta Dissertação; isto é, a ideia de que o sistema perceptivo se desenvolveu de acordo com determinadas propriedades do meio ambiente, criando regras (e heurísticas) de processamento, de modo a tornar-se mais eficiente, contrariamente à ideia de arbitrariedade. Este primeiro passo traduz-se na análise dos mecanismos perceptivos ao nível fisiológico e neurofisiológico, de modo a que através dessa análise se possam estabelecer bases para a justificação da existência de uma linguagem visual.

Capítulo 3 – Percepção Visual de Objectos

Este capítulo aproxima-se um pouco mais dos processos cognitivos ao focar as questões ligadas com a organização e identificação perceptiva. Analisa-se a forma como os estímulos são integrados pelo sistema

perceptivo de modo a darem origem a uma única percepção consciente; e os processos de identificação, nos quais se estabelece uma relação significativa entre a informação sensorial e o conhecimento do observador.

Capítulo 4 – Factores de *Performance* e Características Visuais

Este capítulo estabelece duas relações importantes. A primeira, desenvolvida ao longo da parte inicial do capítulo é a ligação entre a percepção e os processos denominados de alto nível. Para isso são abordados: os aspectos relacionados com a selectividade visual, e as questões relativas à capacidade visual de processamento, em particular, as limitações de memória visual. Estas duas áreas de estudo são de extrema importância no *design* de visualizações, especialmente, se se considerar que as visualizações podem servir exactamente como apoio na resolução de problemas de selectividade e de capacidade cognitiva.

A outra relação estabelecida neste capítulo é a ligação entre as bases fisiológicas dos fenómenos perceptivos (relacionados com a cor, luminosidade e movimento), e os princípios de aplicação que daí possam ser inferidos para o desenvolvimento de novas formas de visualização de informação, no âmbito dos sistemas ATM.

Capítulo 5 – Representação de informação crítica em sistemas ATM

Neste capítulo são estabelecidas outras duas pontes conceptuais. A primeira, ao interligarem-se as representações gráficas e a visualização de informação, com os sistemas ATM. Para isso, no início do capítulo, é explorada a ideia de linguagem visual e a assumpção de que as visualizações são artefactos cognitivos, uma vez que estes são os dois pilares da argumentação da Dissertação. A segunda, ao estabelecer-se a ligação entre o enquadramento teórico e as questões ATM de âmbito operacional. Assim, na segunda parte do capítulo é analisada a representação de informação crítica em sistemas ATM, em particular nos *displays* Radar e na visualização de dados de voo, sendo descritos os problemas da detecção e integração visual, enquanto tópicos de investigação experimental.

Capítulo 6 – Desenvolvimento e avaliação do uso de um filtro visual ATC baseado no efeito *Blur*

Neste capítulo, são descritas as características do *software* desenvolvido para o estudo dos objectivos de investigação e são registadas os principais aspectos relativos ao trabalho experimental realizado; nomeadamente, os objectivos de investigação, metodologia, resultados, discussão e conclusões.

Capítulo 7 – Conclusões e perspectivas futuras

Finalmente, neste capítulo são sintetizadas as principais conclusões apresentadas ao longo da Dissertação, juntamente com a descrição das possibilidades de investigação que o trabalho realizado originou.

1.4 - Principais contribuições

As principais contribuições que resultam desta Dissertação enquadram-se: por um lado, num plano teórico, onde se insere o trabalho de análise e síntese realizado a partir de investigação à bibliografia relevante às temáticas em estudo; e por outro, num plano prático, onde se insere o trabalho de âmbito experimental realizado. Destacam-se os pontos seguintes, todos eles com implicações directas na visualização de informação crítica:

- A pesquisa realizada ao processo perceptivo e aos aspectos fisiológicos da percepção visual, em particular, através do estudo das características do sistema visual humano; que se materializou no capítulo II.
- A abordagem realizada aos fenómenos de organização perceptiva, na qual foi focado um conjunto de princípios perceptivos; que deu origem ao terceiro capítulo.
- A análise das questões relativas à saliência de estímulos, limitações de capacidade e selectividade visuais; e o estudo das características, fenómenos e princípios de aplicação relativos à percepção da cor, luminosidade e movimento; da qual resultou o capítulo IV.

- O estudo dos princípios de representação visual de informação e a sua relação com as tarefas de Controlo de Tráfego Aéreo; materializado no capítulo V.
- O novo filtro ATC, criado a partir da combinação do efeito *Blur* com um conjunto de algoritmos de filtragem, e o desenvolvimento de um simulador ATC, que funciona como plataforma de testes para um conjunto de filtros visuais; que deram origem ao capítulo VI;

Capítulo II

Introdução à Percepção humana: processo perceptivo e mecanismos fisiológicos visuais

2.1 - Introdução

"*The illusion that perception is a simple process follows from the ease with which we perceive*", [Goldstein, 2001].

A afirmação de Goldstein serve de ponto de partida para este capítulo ao definir a percepção enquanto processo, complexo, apesar da aparente facilidade com que o Homem interage com o mundo através dos sentidos. Os seres humanos, possuem mecanismos preparados para os fazer movimentar, medir distâncias, localizar, identificar e descrever objectos; e de uma maneira muito simples, poder-se-ia afirmar que percepcionam o mundo. A percepção humana, contudo, embora pareça transparente e natural, reveste-se de uma grande complexidade.

2.1.1 - Evolução do conceito

No domínio científico, foi com o nascimento da psicologia enquanto ciência que se verificou um impulso importante no estudo da percepção. Antes da psicologia, contudo, o campo da percepção humana começou por ser abordado pela filosofia. Os filósofos debruçavam-se sobre os problemas da cognição e tentavam explicar como é obtido o conhecimento do mundo, [Hochberg, 1978]. A resposta a essa pergunta, e por consequência, a explicação dos fenómenos perceptivos, foi evoluindo ao longo do tempo, à medida em que aumentava também o entendimento acerca do funcionamento do cérebro.

Relativamente à fisiologia da percepção, um filósofo em particular teve um papel importante. Descartes, segundo Nicholas Pastore, em [Pastore, 1971], e as suas ideias relativamente à percepção, estiveram na base da formulação de todas as teorias perceptivas desde meados do século XVII. A sua teoria perceptiva é considerada como sendo a primeira a examinar vários aspectos da percepção em detalhe. Pastore considera particularmente significativo Descartes aceitar o postulado psicofísico, onde se estabelece uma correlação de um-para-um entre o conjunto de percepções sensoriais e o conjunto de eventos cerebrais correspondentes, [Pastore, 1971].

Na sua teoria, Descartes, define: os órgãos dos sentidos, os nervos que os ligam ao cérebro, o cérebro, os nervos que ligam o cérebro aos músculos e os (como ele os designa) "espíritos animais", como sendo as partes do corpo relevantes para a experiência perceptiva. No cérebro, Descartes afirma existir um pequeno órgão (a Glândula Pineal) onde são formadas as imagens quando os órgãos dos sentidos são estimulados. Esta visão localizada da mente era oposta à de então, que considerava que a mente circulava por todo o corpo, [Pastore, 1971].

Especialmente até 1900, grande parte da discussão teórica acerca da percepção, e da forma como temos conhecimento do mundo, estava relacionada com as ilusões. Exemplos de erros estudados dividem-se em quatro aspectos (distância relativa, solidez, forma e magnitude), e traduzem a discrepância entre as características das percepções e as características dos objectos, [Pastore, 1971]. As ilusões são ainda um aspecto importante no estudo da percepção, no entanto, com o progredir da investigação nesta área, uma divisão surgiu entre investigadores. A relação mente-corpo e o seu papel nos fenómenos perceptivos, e, nomeadamente, a questão de saber se a percepção resulta apenas de estímulos sensoriais ou se, pelo contrário, resulta de aprendizagem. Destacam-se em seguida algumas contribuições importantes.

O empirismo defendia que todo o conhecimento derivava da experiência prévia, e a percepção espacial para alguns empiristas era explicada através da associação. A ideia central era que as sensações visuais não dão conhecimento do mundo, mas uma base para o interpretar, [Rock, 1975]. Como explica Pastore, Locke, um dos seguidores desta doutrina, considera o estado original da mente como uma *tabula rasa*, sendo através da experiência que as ideias chegam à mente; em primeiro lugar através dos sentidos, e também através das faculdades da mente como a memória e o discernimento, [Pastore, 1971].

Hermann von Helmholtz, por seu turno, em 1866 direccionava as suas explicações para os fenómenos perceptivos baseando-se na aprendizagem. Para ele, as sensações são símbolos para a consciência, cabendo à inteligência compreender o seu significado. Assim, os estímulos não eram os únicos causadores das percepções, [Rock, 1975]. Philip G. Zimbardo e Richard J. Gerrig, em [Levitin, 2002], afirmam que, segundo Helmholtz, o Homem aprende a interpretar as sensações através da sua experiência com o mundo. Estes autores, em [Levitin, 2002], resumem ainda a teoria proposta por Helmholtz, dividindo-a em duas fases:

- Fase analítica: onde os órgãos dos sentidos analisam o mundo físico em sensações fundamentais;
- Fase sintética: onde ocorre uma integração e síntese dos elementos sensoriais em percepções de objectos e suas correspondentes propriedades.

Anos mais tarde, Johannes Müller adianta a hipótese de que são as estruturas neuronais ("*neural pathways*") que medeiam a experiência sensorial. Ou seja, embora o resultado da conversão dos estímulos recebidos pelos sentidos seja o mesmo, o que importa é a localização onde eles terminam no cérebro. Müller, afirma que as imagens retinais são percepcionadas na retina, assim como os sons no ouvido. Quer num, quer noutro caso, o autor, como explica Pastore, considera que os nervos actuam como prolongamentos dos sentidos ao "*sensorium*" e permitem que a acção da mente se estenda, [Pastore, 1971]. Neste ponto já se tem, portanto, uma visão do mundo enquanto construção da mente.

Algumas das descobertas feitas no campo perceptivo, foram sendo actualizadas à medida que novos conhecimentos e técnicas surgiram. O trabalho de Hering, por exemplo, que estudando os aspectos relativos à cor, explica efeitos de contraste através das interacções entre zonas adjacentes na retina. Aquilo que ele chamou de "*oposite reaction*" é hoje reconhecido como "*lateral inhibition*", [Rock, 1975].

Com a Escola da Gestalt, verifica-se um abandono das teorias relacionadas com a aprendizagem, uma vez que se assumia a percepção enquanto fenómeno directo, [Rock, 1975]. A ideia central da Teoria da Gestalt é que "o todo é maior que a soma das partes"; isto é, que a percepção é baseada numa organização de eventos no cérebro, [Levitin, 2002]. Foi aliás substancial o seu contributo no que concerne ao estudo dos fenómenos de organização perceptiva, que serão analisados posteriormente.

A Teoria Ecológica de Gibson merece, também, um destaque. Na linha da convicção dos nativistas, James Gibson não crê que seja necessário recorrer a aspectos internos para explicar os fenómenos perceptivos. No entanto, na sua Teoria Ecológica, afirma que os fenómenos perceptivos devem ser explicados exclusivamente tendo em conta o meio ambiente, sem qualquer necessidade de estudo da estrutura de quem percepciona. Como explicam Zimbardo e Gerrig, em [Levitin, 2002], a teoria de Gibson preocupa-se essencialmente com o estímulo percepcionado e não com os mecanismos através dos quais ele é percepcionado.

2.1.2 - Mundo real e mundo percepcionado

Irvin Rock em 1975 descrevia o estudo da percepção distinguindo-o das restantes ciências, na medida em que, ao contrário delas, a percepção interessa-se com a aparência das coisas e não com a realidade objectiva. O autor afirmava que os factos a serem explicados através desse estudo eram as impressões sensoriais que os seres humanos registavam através dos sentidos; e a tarefa, a de dar conta dessas impressões, independentemente de serem reais ou não, [Rock, 1975]. Este aspecto (realidade *versus* ilusão) é crucial para fazer notar a importância que tem sido dada ao estudo da percepção. A afirmação de que existe um mundo real e um mundo perceptivo levanta vários problemas no âmbito filosófico. Desde logo, a questão metafísica acerca de qual a derradeira natureza do ser: o universo material ou a consciência subjectiva? Esta pergunta está intimamente ligada à definição de experiência perceptiva e ao problema corpo-mente: qual a relação entre os eventos mentais (percepções, dor, desejos) e os eventos físicos (actividade cerebral)? Palmer, em [Levitin, 2002], revê a este respeito as posições possíveis de adoptar: Dualismo, Monismo, Funcionalismo e Behaviorismo.

A divisão entre Dualismo e Monismo resulta da aceitação ou não da mente e do corpo como duas entidades diferentes. Descartes, pode caracterizar-se como um Dualista. Foi explícito em relação ao problema corpo-mente afirmando que existiam dois reinos: o mental e o material. Para o filósofo, o que caracterizava a mente era o pensamento racional. O papel da mente na relação que tem com as sensações do mundo exterior é importante para Descartes, na medida em que para ele, entre as ideias que temos, existem algumas que são inatas, como as ligadas às propriedades da forma e do tamanho, [Rock, 1975]. Os Dualistas argumentam que eventos mentais não são apenas eventos neuronais, uma vez que nem todos os eventos no cérebro correspondem a estados mentais conscientes. Alguns Dualistas (os psicofísicos paralelistas) afirmam que existem dois domínios paralelos; ou seja, a cada evento cerebral corresponde um estado mental ou experiência consciente simultânea. Ainda dentro da categoria dos Dualistas, há outros que afirmam que os estados cerebrais causam os estados mentais, mas que os dois domínios têm pesos diferentes. Assim, ainda que haja eventos

cerebrais que não se traduzam em estados mentais conscientes, é seguro dizer que não é possível existir um estado mental sem um correspondente estado cerebral, [Sekuler, 1990]. Dentro dos Monistas existe uma divisão fundamental entre: Idealistas – que acreditam que apenas existem eventos cerebrais, e, portanto, o mundo físico não existe; e Materialistas – que afirmam que o que existe é o mundo dos objectos físicos e eventos, onde a consciência não é mais do que uma propriedade do cérebro (sendo que o cérebro é um objecto), [Levitin, 2002].

Em termos perceptivos, o antigo problema filosófico: "se uma árvore cair na floresta e não lá estiver ninguém é produzido algum som?" é, de acordo com a visão adoptada por Sekuler e Rock, fácil de resolver. Não só a arvore cai, como também a sua queda produz energia acústica sob a forma de ondas de pressão de ar. Quanto ao ser produzido "som", aí ambos concordam que apenas se um ser humano (ou outra criatura com um sistema auditivo semelhante ao do humano) estivesse presente é que se poderia dizer que o som existia, considerando que o som é uma experiência perceptiva, [Rock, 1975; Sekuler, 1990].

Dependendo da linha teórica que é seguida, várias são as abordagens que são possíveis ter na resolução das questões da percepção. Nesta Dissertação, considera-se a ideia de que o processo perceptivo resulta da interacção entre o mundo real e o mundo perceptivo. Como é sintetizado em [Sekuler, 1990]: o mundo real e o mundo percepcionado não são a mesma coisa. São, contudo, correlacionados. Mais, a visão do mundo, do ponto de vista de quem o percepciona, é necessariamente incorrecta uma vez que o sistema sensorial não só pode aumentar como também limitar a informação que está disponível ao observador, [Sekuler, 1990].

2.2 - Definição

É comum, na introdução de uma determinada área de estudo, começar por uma definição. Embora seja um ponto de partida aceitável; se não explorado, pode ser bastante redutor. Para a palavra percepção, uma das definições encontradas indica que se trata de uma "função de captação de informação dos acontecimentos do meio exterior, ou do meio interno, pela via dos mecanismos sensoriais,"[Doron, 2001]. Irvin Rock apresenta o conceito afirmando que o campo da percepção se situa entre o domínio dos processos sensoriais e o domínio dos processos cognitivos, [Rock, 1975].

Partindo destas duas definições, pode-se já identificar duas áreas de grande interesse no estudo da percepção humana, e cujo aprofundamento depende directamente do tipo abordagem dada ao tema: a dos processos sensoriais e da interacção com o meio externo; e a dos processos cognitivos, portanto, internos. Doron & Parot clarificam isso mesmo na sua explicação do conceito: por um lado existem factores, "que estão ligados às características dos estímulos, aos constrangimentos dos receptores, e às condições neurofísicas da transmissão da informação para os centros nervosos; e os que, de natureza mais cognitiva, resultam de processos conceptuais superiores e da integração das experiências do sujeito, [Doron, 2001].

2.3 - Processo perceptivo

A palavra percepção não se refere a um acontecimento isolado. Vários autores descrevem a percepção como um processo integrado. São apresentados a seguir dois exemplos. Sekuler & Blake, em [Sekuler, 1990], quando introduzem o conceito, explicam-no como um elemento final de uma cadeia de eventos. O início da cadeia de acontecimentos refere-se à existência de estímulos. Estes estímulos são de vários tipos porque a estimulação assume várias formas de energia física: térmica, electromagnética, mecânica e acústica. A segunda etapa é a conversão destes estímulos pelo sistema nervoso humano em acontecimentos neuronais. Este processo designa-se por Transdução Sensorial. E, finalmente, a percepção. Os autores referem que é necessário ter ainda em conta a descrição da experiência consciente neste processo.

Goldstein, em [Goldstein, 2007], desenha um modelo onde se explica mais em pormenor o processo, Figura II.1. Tal como Sekuler & Blake, Goldstein começa por descrever os estímulos presentes no ambiente como ponto de partida para o processo perceptivo; no entanto, a forma circular do gráfico é escolhida pelo autor para reforçar a ideia de continuidade na sequência de etapas. Este autor explica que, embora o processo perceptivo seja composto por várias fases, que começam com o estímulo ambiental e terminam com a percepção, o reconhecimento e a acção, todo o processo é tão dinâmico que na realidade não é possível afirmar que existe um início e um fim, [Goldstein, 2007].

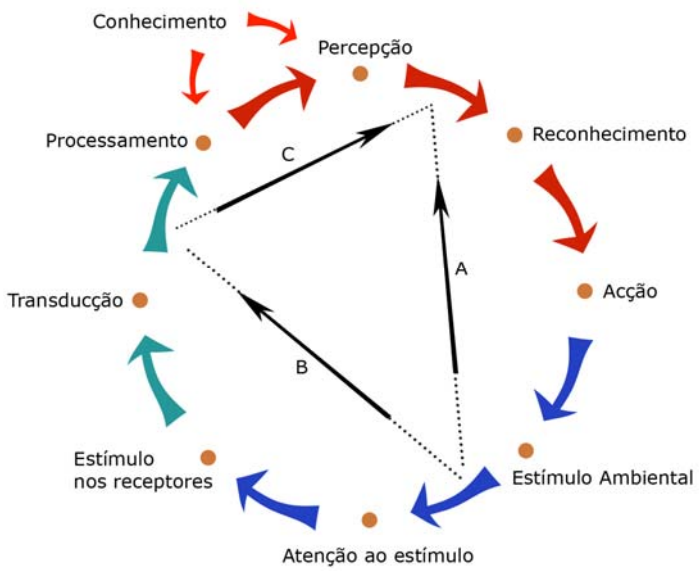


Figura II.1 O processo perceptivo organizado de uma forma circular para que seja realçado o seu aspecto dinâmico. As setas azuis apontam para o estímulo; as verdes para o processamento; e as vermelhas para as respostas perceptivas. As setas A, B e C indicam os três relacionamentos estudados no âmbito da percepção (adaptado de [Goldstein, 2007]).

No total, existem oito fases e uma referência aos factores relacionados com o conhecimento, [Goldstein, 2007]:

1. Estímulo Ambiental: são todas as sensações capazes de ser percepcionadas pelos sentidos, com as limitações associadas, independentemente do foco de atenção do observador;
2. Atenção ao Estímulo: Focar a atenção num dado estímulo provoca uma diferenciação entre a percepção desse estímulo em relação aos restantes;
3. Estímulo nos receptores: No caso de um estímulo visual, por exemplo, a observação de um determinado objecto, passa a corresponder a uma imagem desse objecto na retina;
4. Transdução: A transdução refere-se a uma mudança de uma forma de energia para outra. No caso da imagem existente na retina, corresponde a uma passagem de energia luminosa para energia eléctrica. Depois deste processo, todos os objectos e eventos são representados como impulsos neuronais;
5. Processamento Neuronal: Uma vez transformada a imagem em sinais eléctricos, esses sinais activam os neurónios existentes no cérebro;
6. Percepção: A percepção corresponde à experiência sensorial consciente; ou seja, ocorre quando os sinais eléctricos se transformam na experiência de visualizar o objecto;
7. Reconhecimento: Esta fase corresponde à identificação do objecto por parte do indivíduo. É a capacidade de o catalogar e de o dar significado. Goldstein salienta que embora seja tentador agrupar a percepção com o reconhecimento doenças como a agnosia visual mostram que são processos separados;
8. Acção: Esta fase corresponde a acções motoras desenvolvidas pelo indivíduo. Gibson assume a acção como sendo o objectivo último da percepção. Para ele o Homem percepciona o mundo para poder agir no mesmo, [Levitin, 2002].

Finalmente, é explicado, tal como Sekuler & Blake referem, em [Sekuler, 1990], que o papel do conhecimento do indivíduo interfere no processo perceptivo. Este tipo de informação, que é acrescentada ao processo perceptivo, difere da informação sensorial porque provêm do próprio indivíduo.

2.4 - Abordagens à Percepção

Não caracterizar a percepção enquanto um acontecimento isolado e defini-la enquanto processo é um passo importante no seu estudo. No entanto, a percepção enquanto experiência individual, não pode ser medida directamente; uma vez que não é possível observar a experiência individual de cada um, [Goldstein, 2007]. Para

resolver este problema é necessário, antes de tudo decidir a que nível os eventos perceptivos devem ser explicados.

2.4.1 - Níveis de análise

Irvin Rock, em [Rock, 1975], explica o fenómeno perceptivo em três níveis de análise:

1) Objectos e eventos no mundo real;
2) Órgãos dos sentidos, que geram sinais para o cérebro;
3) Eventos cerebrais, resultando na experiência perceptiva.

Para a percepção da cor, por exemplo, uma explicação do tipo 1 seria, segundo este autor, isolar a energia do ambiente que resulta numa experiência sensorial. Eventos fisiológicos (ao nível do que acontece no olho) são uma explicação de segundo nível. Eventos explicados em termos neurofisiológicos serão uma explicação de nível 3.

No estudo da percepção humana, Goldstein, em [Goldstein, 2007], distingue essencialmente duas abordagens possíveis através da ideia de níveis de análise. O autor esclarece que existem duas formas de abordar a investigação na área da percepção humana que diferem na escala de análise: Um nível psicofísico que procura responder a perguntas acerca de como a percepção está relacionada com os estímulos ambientais; e outro fisiológico, que considera os processos internos que ocorrem em cada indivíduo, [Goldstein, 2007]. A partir destes níveis é possível encontrar três tipos de relações, Figura II.2. Investigações ao nível psicofísico focam-se na relação ψ: Estímulo/Percepção, onde se incluem medições de, por exemplo, os tempos de reacção, identificação e reconhecimento. Investigação ao nível fisiológico foca a relação φ: Estímulo/Fisiologia. É mostrado um estímulo e mede-se a resposta fisiológica. Na relação L: Fisiologia/Percepção são medidas respostas fisiológicas e perceptivas ao mesmo estímulo, [Goldstein, 2001].

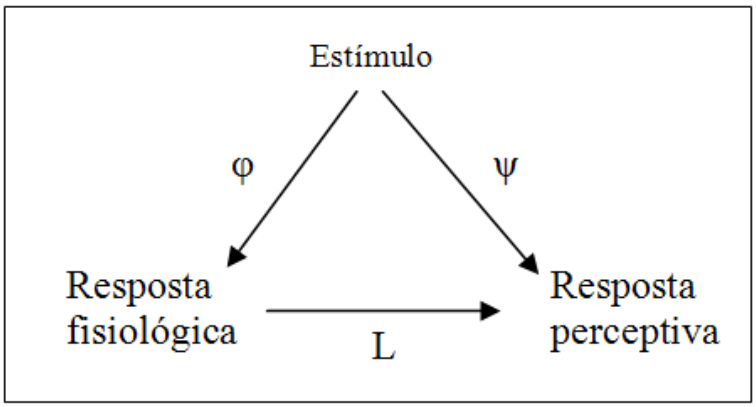


Figura II.2 Os relacionamentos básicos da investigação perceptiva (adaptado de [Goldstein, 2001]).

Goldstein afirma ainda que é do cruzamento de informação entre estas abordagens que surge um ganho importante na investigação perceptiva, o que é um benefício para o progresso do conhecimento em geral, [Goldstein, 2007].

Zimbardo e Gerrig, em [Levitin, 2002], propõem três níveis de análise através de três perguntas:

1) Quais os mecanismos fisiológicos envolvidos na percepção?
2) Qual é o processo da percepção?
3) Quais são as propriedades físicas do mundo que permitem a sua percepção?

2.5 - Percepção directa *versus* Percepção indirecta

Independentemente da investigação se basear numa abordagem psicofísica ou fisiológica, existe a questão do estudo dos factores cognitivos e a sua influência na percepção. Este estudo divide por sua vez a investigação da percepção em duas correntes teóricas. Por um lado, as indirectas ou construtivistas que definem a percepção como um processo activo dependente de processos internos (*Top-down processing*); por outro, as teorias directas ou ecológicas propõem que os estímulos visuais são suficientes para explicar o fenómeno perceptivo sem o envolvimento do conhecimento (apenas *Bottom-up processing*). Exemplos destas duas

correntes são as investigações de J.J. Gibson, com a sua teoria ecológica, e de R. L. Gregory, como explica Joel Norman, em [Norman, 2003]. Este autor tenta conciliar estas duas abordagens através de uma Teoria da Percepção de processamento dual, afirmando que ambas as teorias, as construtivistas e as directas explicam aspectos diferentes da percepção. Ainda que, como sugere Norman, estas duas abordagens à percepção possam ser conciliadas de algum modo; actualmente, existe um maior consenso na caracterização dos fenómenos perceptivos como sendo indirectos; ou seja, apesar da percepção do meio ambiente parecer directa, a verdade é que essa percepção resulta de várias transformações. Em todos os casos a informação é criada através dos receptores sensoriais que a transformam em estímulos eléctricos, que eventualmente no cérebro criam as impressões sensoriais do ambiente, [Goldstein, 2007].

Esta problemática remete exactamente para a definição expressa no ponto 2.2 -, onde a percepção é explicada pela interacção entre estes dois tipos de processamento; ou seja, é uma interacção entre o processamento *Bottom-up*, que se inicia com a imagem nos receptores retinais; e o *Top-down* (influência do conhecimento dos observadores).

2.6 - Fisiologia da percepção

A percepção é encarada por Sekuler & Blake como um processo biológico, onde toda a informação acerca dos eventos percepcionados é registada pelo sistema nervoso sensorial, [Sekuler, 1990]. Uma vez que são os processos sensoriais e perceptivos que permitem interagir com o mundo, facilitando o planeamento e execução de comportamentos apropriados a uma determinada circunstância, é importante analisar seu funcionamento para mais facilmente identificar suas limitações.

2.7 - Sistemas sensoriais e meio ambiente

Como é explicado em [Ramachandran, 2002], os sistemas sensoriais são responsáveis pela detecção de alterações no ambiente que rodeia o indivíduo. Segundo este autor existem três tipos de sistemas sensoriais:

1) *Exteroceptives*: responsáveis pelo ambiente exterior;
2) *Interoceptives*: responsáveis pelo ambiente interior;
3) *Proprioceptives*: responsáveis por monitorizar as posições do corpo.

É de tal forma eficaz o funcionamento destes sistemas, que o ser humano geralmente ignora que os julgamentos perceptivos são relativos e não absolutos. Existem, contudo, inúmeros exemplos que mostram essa relatividade, como é o caso das Ilusões. Uma explicação para estas limitações é dada por Sekuler e Blake, em [Sekuler, 1990], ao caracterizarem o processo perceptivo como um processo computacional. Uma computação caracteriza-se pelas suas instruções de processamento e pelos dados que recebe. No caso da percepção, essa "computação" pode ser adequada conforme a qualidade da informação recebida pelos sentidos, e nas instruções existentes no cérebro para processar essa mesma informação. Uma vez que por vezes acontecem "erros de processamento", como as Ilusões, os autores afirmam que somos obrigados a questionar a qualidade das instruções existentes nos cérebro, já que à partida eles não deveriam existir. A explicação dada baseia-se na premissa de que os nossos sistemas sensoriais se desenvolveram em função de determinadas características físicas circundantes que definem o mundo em que vivemos; ou seja, tal como optimizamos um programa de computador para ser mais eficiente com um determinado tipo de operações (geralmente as mais comuns) também o nosso sistema perceptivo foi optimizado tendo em conta estas constâncias ambientais. Citando Snyder e Barlow, em [Snyder, 1988], os mesmos autores, em [Sekuler, 1990], explicam que a informação que é processada pelos receptores sensoriais está organizada em padrões previsíveis, não se tratando de meros *inputs* aleatórios; padrões esses, que têm origem nas propriedades físicas do mundo:

- Os objectos tendem a ser compactos;
- Os vários pontos de um objecto tendem a estar próximos uns dos outros;
- As cores tendem a mudar gradualmente;
- A luz[1] "vem" de cima;

[1] A luz visível para o homem é uma banda de energia contida no espectro electromagnético e é através dela que a informação relativa ao meio ambiente chega ao sistema visual (ver pontos 2.9.1 - e 4.4.1.1 -).

- Os objectos contrastam com os fundos, e, como resultado disso, tendem a ser definidos por uma fronteira, uma mudança da intensidade da luz.

Para se tornar mais eficiente, o cérebro definiu as suas instruções de processamento tendo em conta essas regularidades. Essas instruções, que são executadas numa fase inicial da percepção, podem dizer-se ligadas directamente (*hardwired*) ou de "baixo nível"; e estão codificadas de vários modos. A luminância e a cor são codificadas ao nível da retina, ao passo que a codificação de características mais complexas como o movimento, formas complexas e informação de profundidade, emergem ao nível do córtex, [Gallagher, 2003].

A este respeito, Geislser, em [Geisler, 2008], faz uma revisão das várias abordagens de análise estatística das regularidades ambientais, argumentando que o seu estudo auxilia a compreensão do processo perceptivo.

2.8 - Aspectos neurofisiológicos da percepção visual

São em seguida analisadas as transformações que ocorrem ao longo do processo perceptivo, a partir do estímulo até à percepção. São focados os componentes e mecanismos que definem o sistema visual como forma de tornar explicitas as características perceptivas passíveis de ser integradas em princípios de visualização de informação. Uma vez que parte desta análise envolve o sistema nervoso humano, será efectuada também uma abordagem ao funcionamento dos mecanismos neuronais, bem como da organização cerebral.

2.8.1 - Cérebro

O cérebro é o mais complexo de todos os tecidos biológicos na natureza. Essa complexidade deriva do facto de ser um tecido extremamente heterogéneo e com muitas partes constituintes. No entanto, e apesar dessas partes possuírem características muito diferentes, funcionam de um modo coordenado, o que contribui para que o funcionamento do cérebro possa ser entendido como o de um único órgão, [Ramachandran, 2002].

Descodificar e interpretar informação sensorial estão entre as funções mais importantes do cérebro, [Goldstein, 2001]. Sekuler e Blake, em [Sekuler, 1990], afirmam que a cada percepção está associada uma determinada actividade característica no cérebro. Assim, os estados perceptivos são produzidos por estados cerebrais. Esta ligação entre a percepção e os eventos cerebrais tem vindo a ser cada vez melhor compreendida, face à evolução das técnicas de imagiologia e visualização. Embora o funcionamento do cérebro ainda seja um problema longe de estar compreendido, muito já se aprendeu desde Aristóteles, que colocava no coração o seio da mente humana.

2.8.1.1 - Córtex Cerebral

O córtex cerebral é uma camada extensa de matéria cinzenta que cobre a superfície superior do cérebro e está dividido em quatro áreas principais, ou Lobos. A sua superfície é em larga medida aumentada pelas extensas dobras que possui; designando-se por fissuras, as duas maiores, e por sulcos, as mais pequenas. As separações entre os sulcos, por sua vez, chamam-se *gyri*, Figura II.3, [Ramachandran, 2002].

Muita da investigação que liga a percepção e o cérebro desenvolveu-se no estudo da actividade do córtex cerebral, uma vez que é ele o responsável por receber e processar a informação proveniente dos ambientes externos e internos do organismo, [Ramachandran, 2002].

Como já foi referido, os sistemas sensoriais são responsáveis por detectar mudanças no ambiente envolvente de um organismo, existindo vários sistemas sensoriais no córtex cerebral, como o auditivo, o olfactivo e o visual. Dentro de cada um desses sistemas existe uma organização hierárquica no processamento da informação. O *input* proveniente dos receptores sensoriais na periferia passa pelo tálamo em direcção a três áreas:

1) Em primeiro lugar, o córtex sensorial primário (encarregue de detectar, discriminar e localizar as diferentes propriedades de um estímulo);
2) Em seguida, o córtex sensorial secundário (onde essa informação é integrada com memórias prévias do estímulo para auxiliar na sua identificação); e, finalmente,
3) As áreas de associação corticais (encarregues de integrar a informação das várias modalidades sensoriais de modo a gerar a percepção consciente do estímulo e preparar a resposta adequada), [Ramachandran, 2002].

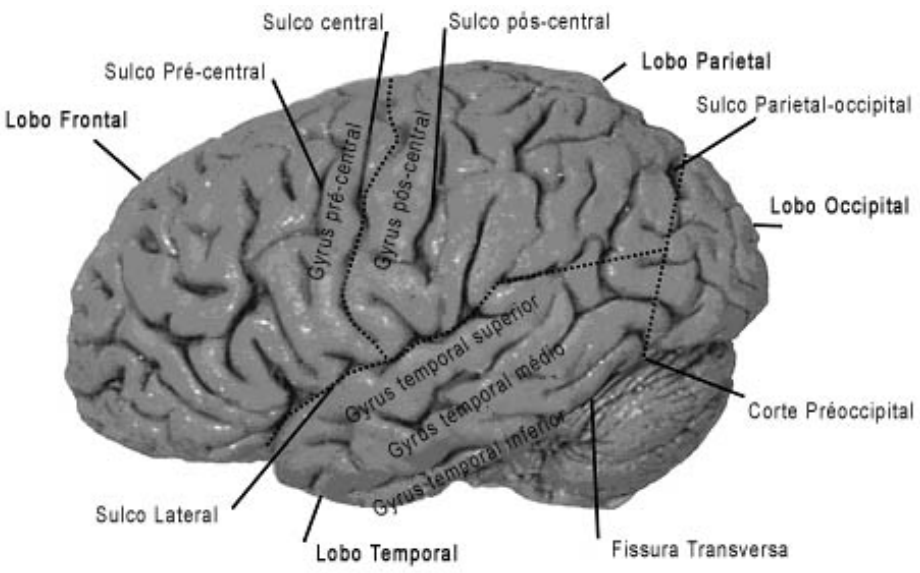


Figura II.3 Vista lateral do córtex cerebral (adaptado de [Ramachandran, 2002]).

2.8.2 - Neurónios

"*All perception is neural activity*", [Goldstein, 2001].

Os neurónios são responsáveis pela comunicação e pelo processamento de informação no sistema nervoso. Um neurónio é constituído por um corpo celular, que no caso de neurónios receptores é substituído por um receptor; dendrites, e um axónio ou fibra nervosa por onde passam sinais eléctricos, Figura II.4.

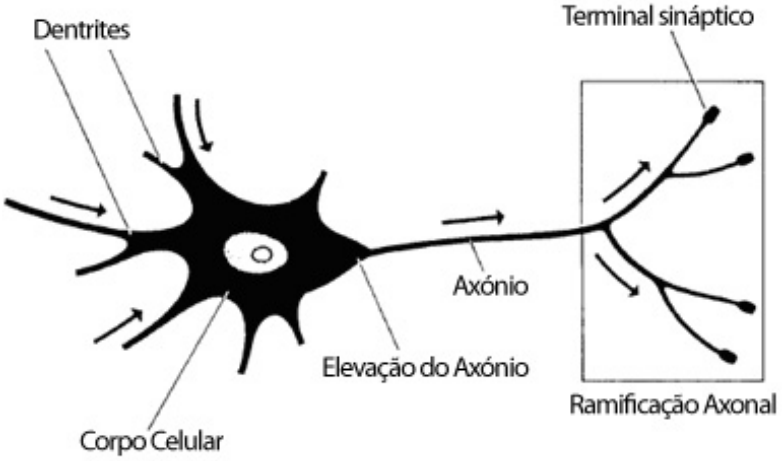


Figura II.4 Um neurónio "básico", uma vez que existem muitos tipos de neurónios (adaptado de [Arbib, 2003]).

A resposta eléctrica mais importante para a percepção é o impulso nervoso, ou *action potential*, [Goldstein, 2007]. Estes impulsos nervosos permitem aos neurónios comunicar entre si e com as fibras musculares. Uma característica importante dos impulsos nervosos é serem respostas propagadas, ou seja, não diminuem de amplitude ao longo da transmissão. Assim estes sinais podem percorrer grandes distâncias sem perca de qualidade. Outra propriedade importante é a que um aumento na intensidade no estímulo não aumenta a intensidade do impulso nervoso, mas sim a sua frequência. Existe contudo um limite superior entre impulsos (500-800 impulsos/s) acima do qual um aumento de intensidade no estímulo não provoca mais repetições. Isto deve-se a um período refractário que é uma propriedade do axónio. Outra característica importante é que existem disparos espontâneos, mesmo quando não existe estímulo, [Ramachandran, 2002].

Os ritmos de disparo transportam informação acerca da intensidade do estímulo que ao ser transmitida para outros permite o processamento dessa mesma informação. O mecanismo de transmissão dessa informação é chamado de sinapse. Consiste numa mudança de voltagem que pode ser positiva (excitatória) ou negativa

(inibitória), e onde participam dois neurónios: o pré-sináptico (de onde provem o impulso) e o pós-sináptico (para onde vai o impulso).

Os neurónios não operam sozinhos. Em vez disso estão interligados em rede havendo cerca de 1000 ligações a cada um deles. Estes grupos de neurónios (circuitos neuronais) têm a capacidade de processar a informação através de sinapses excitatórias e inibitórias.

Importante referir que a representação cortical do estímulo não necessita de ser semelhante ao estímulo, tem apenas que conter informação que o "represente".

2.8.2.1 - Propriedades neuronais aplicadas: Adaptação selectiva

Não há dúvida que a evolução modelou o funcionamento dos sentidos, como aconteceu com outras características físicas. No entanto, exemplos de como as redes neuronais se adaptam em função dos estímulos que recebem, são dados em seguida.

A adaptação selectiva é um fenómeno que ocorre ao nível neuronal e que se caracteriza pela adaptação dos neurónios ao estímulo a que respondem. Se esse estímulo for contínuo e frequente, sabe-se que eventualmente a frequência de impulsos nervosos gerada pelo neurónio em função do estímulo, baixa; permanecendo os restantes inalterados, [Goldstein, 2007].

Tendo por base esse conhecimento é possível estabelecer uma relação entre a resposta neuronal e a experiência perceptiva. Particularmente ao nível da visão, Helen J. Neville e Daphne Bavelier, em [Gazzaniga, 1999], afirmam que diferentes subsistemas visuais demonstram diferentes graus de modificação da sua organização cortical.

Uma forma encontrada para provar esta adaptabilidade neuronal é o chamado *selective rearing*. Utilizando esta metodologia em experiências com gatos, Blakemore e Cooper encontraram provas da existência de adaptação selectiva, relativamente ao tamanho e à orientação, em [Blakemore, 1970]. A técnica consiste em condicionar o ambiente de um sujeito para que predominem determinados estímulos; neste caso, manter o ambiente dos gatos só com riscas verticais ou horizontais. Os resultados demonstraram que as áreas de associação visual se desenvolveram anormalmente, em função dos estímulos que receberam.

Mais recentemente, e relativamente ao processamento de informação visual em concreto, Gutnitsky, em [Gutnisky, 2008], examinou como a adaptação a um estímulo breve influencia a estrutura das correlações interneuronais, e a precisão da codificação nas células no córtex de macacos. Os resultados do seu estudo apontaram para a existência de uma reorganização da distribuição das correlações na rede neuronal, através de uma redução na sua média e variabilidade, após a adaptação a um estímulo breve. Os mesmos resultados sugerem que a adaptação a um estímulo breve melhora a precisão da codificação populacional para que seja optimizada a performance durante a visualização natural.

2.8.3 - Organização cerebral

Sabe-se hoje que a complexidade das redes neuronais é tal que existem neurónios especializados em objectos tão complexos como a face. Isto foi demonstrado para humanos, com é referido em [Wilson, 1999], bem como através de investigações em macacos, [Tanaka, 1996]. Este tipo de especialização não é, de todo, a única estratégia utilizada pelo cérebro no processamento de informação. Pelo contrário, novas técnicas visualização mostram cada vez mais o cérebro como um sistema distribuído, [Ramachandran, 2002]. São várias as formas de organização cerebral:

- Mapas: A superfície da retina encontra-se mapeada ao córtex cerebral, de tal forma que pontos adjacentes na retina correspondem a pontos adjacentes no córtex. [Ramachandran, 2002] Além disso, sabe-se também que existe um factor de ampliação entre superfícies (retina e córtex) de tal modo que a pequena área correspondente à fóvea tem mais espaço dedicado no córtex do que outras áreas maiores no campo de visão, [Paxinos, 2003];
- Colunas: Hubel e Wisel mostraram que os neurónios estão organizados em colunas. Estas colunas podem ser de localização; orientação ou de dominância ocular, [Hubel, 1978];
- Streams: Ou pathways. Este tipo de organização corresponde a ligações (caminhos de comunicação) entre a área primária (V1) e outras áreas no cérebro. Investigações de Ungerleider e Mishkin em

1982, em [Mishkin, 1983; Ungerleider, 1986], mostraram que a identificação dos objectos e a sua localização é explicada através deste tipo de organização neuronal;

- Módulos: Investigações mostram que existem áreas do cérebro que respondem especificamente a faces, [Kanwisher, 2002]. As faces são aliás um caso especial de processamento visual, na medida em que, ao contrário de muitos outros objectos que são processados analiticamente, são processadas configuralmente. As respostas neuronais às faces por neurónios situados no sulco temporal superior estão ligadas com a existência ou não dos olhos na face, [Itier, 2007]. Este é um exemplo de modularidade. Um módulo é uma estrutura que é especializada em processar informação acerca de um tipo particular de estímulo, [Goldstein, 2001].

2.8.4 - Codificação sensorial

Existem duas abordagens em relação à forma como a informação que representa o que percepcionamos é codificada no cérebro. A primeira é a ideia proposta por Jerzy Konorsky e Jerry Lettvin (1967) de célula avó, em [Gross, 2002]. Para estes autores estas células são altamente especializadas e respondem individualmente a um determinado estímulo. O problema com esta ideia é que existem objectos no ambiente em tão grande número que não é possível atribuir a cada um deles um neurónio específico. Por outro lado, embora existam neurónios que respondam a um determinado estímulo como as faces, eles também respondem a várias caras e não apenas a uma única.

A explicação globalmente aceite para explicar a codificação é a chamada codificação distribuída. Ou seja, uma face não é reconhecida apenas por um neurónio individualmente mas sim por um grupo de neurónios. Deste modo, a quantidade de neurónios necessária à codificação de um determinado estímulo depende da complexidade desse estímulo. Esta ideia, considerada de um modo mais abrangente pode ser aplicada ao cérebro como um todo. Determinados estímulos fazem disparar áreas específicas do cérebro. No entanto, a ideia de modularidade não pode ser levada a um extremo, uma vez que há áreas que disparam com vários estímulos. Para além disso, há determinadas propriedades do estímulo que produzem reacções em determinadas áreas em particular. A cor e a localização, por exemplo, [Goldstein, 2007].

Um outro desenvolvimento surgiu das investigações de Quiroga e seus colaboradores, em [Quiroga, 2005], que demonstra que existem neurónios que respondem a vários estímulos relacionados. Um neurónio em particular respondeu a fotos, desenhos, nome e imagens de indivíduos famosos. Estes neurónios estavam localizados no hipocampo, área associada à memória, daí que reforcem a ideia da comunicação bilateral entre várias zonas do cérebro.

Actualmente, defende-se a ideia de que a percepção será o resultado da interconectividade entre as várias áreas corticais do cérebro e não resultado de uma organização superior. Destas explicações surge também a evidência de que existe comunicação bilateral entre áreas, [Goldstein, 2007].

2.9 - Sistema visual humano

"*Vision is perhaps our most important sensory process. About 80% of the information we receive about the external world reaches us through vision",* [Sekuler, 1990].

A nossa percepção do ambiente não depende apenas das propriedades dos objectos mas também das características do nosso sistema visual: *"We perceive what is out there as filtered through the properties of the visual system"*, [Goldstein, 2007]. É efectuada em seguida uma descrição das propriedades anatómicas e funcionais do sistema visual, tendo em conta a sua relevância no processo perceptivo.

2.9.1 - Propriedades da luz

A luz é o estímulo para a visão. A luz visível para o homem é uma banda de energia contida no espectro electromagnético. Este espectro contínuo mostra os tipos de energia existentes no ambiente, onde se enquadra a luz visível entre os 400 e os 700 nm, Figura II.5

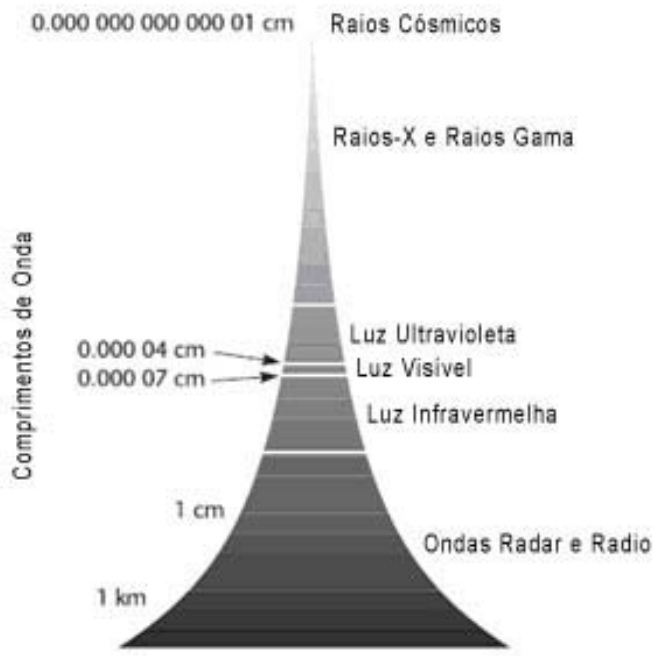


Figura II.5 O espectro de radiação electromagnética (adaptado de [Ware, 2004]).

A luz é estruturada pelo ambiente. Uma propriedade da luz é que ela é reflectida pelos objectos, e é esta propriedade que permite percepcioná-los. Ou seja, é através da luz que a informação do ambiente chega ao sistema visual, para que, através das acções combinadas da córnea e da lente, seja criada uma representação focada do ambiente no olho, [Goldstein, 2007]. A percepção é assim baseada numa representação do ambiente criada pela luz que é reflectida pelo ambiente, e é esta representação que entra no olho sob a forma de uma imagem na retina.

2.9.2 - *Pathway* Visual Central

Ao encarar a percepção (e em particular a percepção visual) como um processo biológico, a descrição da anatomia e função das áreas envolvidas no processamento de informação visual assume-se como um aspecto importante, sendo suporte para a explicação dos vários fenómenos perceptivos considerados relevantes para a visualização de informação crítica. Evidentemente, e tendo em conta os objectivos desta Dissertação, esta não deixa de ser, todavia, uma análise simplificada.

O principal "caminho" (*pathway)* pelo qual a informação visual é processada é o denominado *Retina-Geniculate-Striate Pathway*, ou apenas *Pathway* Visual Central (*Central Visual Pathway).*

2.9.2.1 - Olho

O olho humano é constituído por duas partes fundamentais: um mecanismo de focagem (lente e córnea) e num mecanismo de recepção (retina), Figura II.6. Anatomicamente, é um globo aproximadamente esférico rodeado por uma fibra nervosa branca (Esclera).

As várias partes do olho contribuem de modos diferentes para que se forme uma imagem nítida na retina. Até chegar às células ganglionares na retina, a luz passa pela córnea, pela câmara anterior, pelo cristalino e pelo humor vítreo. O ponto de focagem localiza-se cerca de 17 mm depois da lente e resulta de uma refracção de 43 dioptrias (dpt) na córnea e de 20 dpt na lente (em estado de relaxamento). A lente, ou cristalino é um corpo elástico suspenso pelas fibras zonulares que têm origem no músculo ciliar. É através da contracção deste músculo que a lente ajusta o seu poder de focagem. Numa situação de relaxamento a lente está ajustada para focar objectos ao longe (mais de 10 m), mas consegue contrair-se de forma a focar objectos mais perto até um máximo de cerca de 8 dpt, [Gallagher, 2003]. À frente da lente existe a íris que é responsável por controlar a quantidade de luz que entra na pupila.

A actuação destes vários componentes do olho tem como objectivo para a visão a projecção de uma imagem, focada e invertida, para processamento na retina.

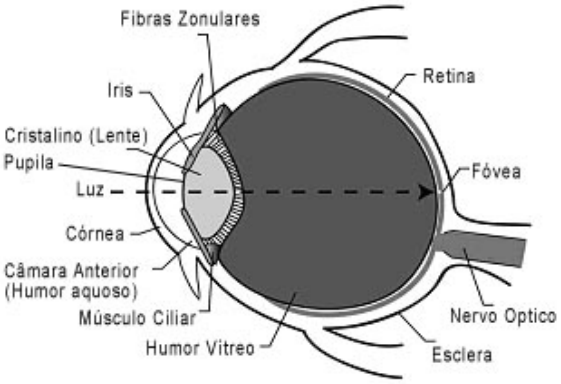


Figura II.6 Secção lateral do olho (adaptado de [Paxinos, 2003]).

2.9.2.2 - Retina

Apesar de ser confundida como uma estrutura periférica, pertencendo ao olho; a retina é na realidade uma extensão do sistema nervoso, [Gallagher, 2003], tendo em conta o seu desenvolvimento embriológico e a sua organização, [Paxinos, 2003].

A retina possui duas partes: a fóvea e a retina periférica, Figura II.6, e possui uma estrutura em camadas, representadas esquematicamente na Figura II.7.a); e através de uma imagem microscópica, Figura II.7b).

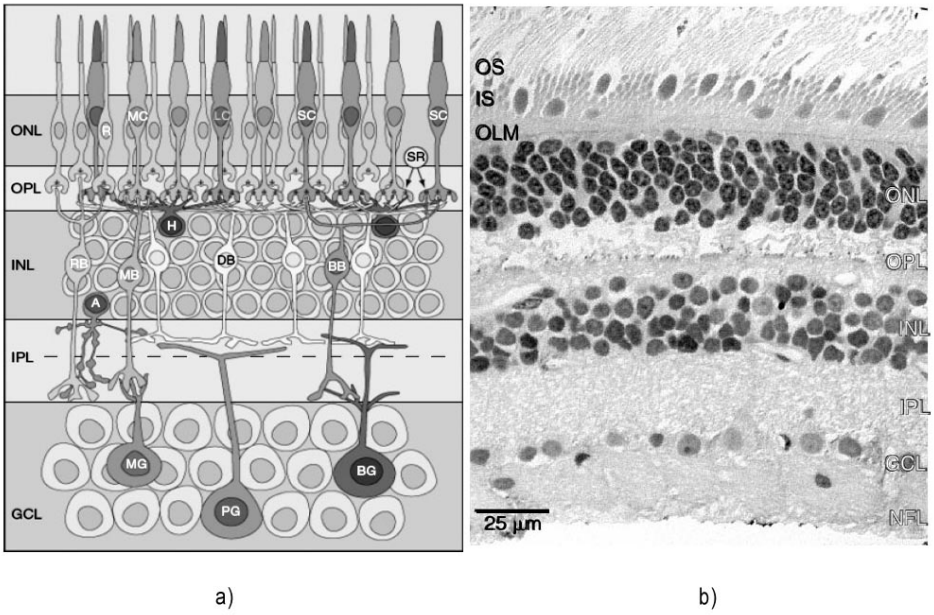


Figura II.7 A estrutura laminar da retina e os tipos de células nela existentes, vistos esquematicamente (a) e através de microscópio (b) (adaptado de [Gallagher, 2003]).

Através das imagens da referida figura, é possível identificar as várias células existentes na retina; nomeadamente: fotoreceptores (bastonetes (R) e cones sensíveis a comprimentos de onda médios (MC), curtos (SC), e longos (LC)); células amacrinas (A); células horizontais (H); células bipolares (RB, MB, DB, BB); e células ganglionares (MG, PG, BG). É também possível identificar as várias camadas existentes:

- *Outer segment* (OS) e *inner segment* (IS) dos fotoreceptores;
- *Outer limiting membrane* (OLM) – separa o corpo celular dos fotoreceptores;
- *Outer nuclear layer* (ONL) – contém o corpo celular dos fotoreceptores;
- *Outer plexiform layer* (OPL) – recebe os terminais axonais dos fotoreceptores, estabelecendo contacto com os processos pós-sinápticos das células horizontais e bipolares;

- *Inner nuclear layer* (INL) – contém os corpos celulares das células horizontais, das células amacrinas e das células bipolares;
- *Inner plexiform layer* (IPL) – recebe os processos axonais das células existentes na *inner nuclear layer* para a onde estes comunicam entre si, e entre as dendrites das células ganglionares;
- *Ganglion cell layer* (GCL) – contém os corpos celulares das células ganglionares e de algumas células amacrinas;
- *Nerve fiber layer* (NFL) – contém os axónios das células ganglionares que seguem em direcção ao nervo óptico.

- ***Fototransdução***

A luz ao chegar à retina sofre um processamento que tem o nome de transdução, neste caso, fototransdução, que consiste na sua transformação em código neuronal, ou sinais neuronais. Para que este processo ocorra, a arquitectura da retina necessita de dois tipos de estruturas fundamentais: elementos de entrada (os fotoreceptores), que transformam a luz absorvida em actividade eléctrica; e elementos de codificação (as células ganglionares), que encaminham os sinais resultantes para processamento subsequente, [Gallagher, 2003]. Adicionalmente, outras células (amacrinas, horizontais e bipolares) colaboram na modulação das sinapses, [Paxinos, 2003], através de mecanismos de excitação e inibição, realizados utilizando dois tipos de circuitos (*feed-forward* ou *feedback*), [Gallagher, 2003].

- ***Organização centro-periferia***

As células ganglionares possuem campos receptivos circulares que se dividem num centro e numa periferia, podendo ser dois tipos: centro-excitatório/periferia-inibitória; e centro – inibitório/periferia-excitatória. Esta organização centro-periferia é uma propriedade fundamental que permite detectar variações de luminância ou contraste cromático, [Gallagher, 2003]. Na Figura II.8 está representada a resposta de uma destas células a um estímulo luminoso.

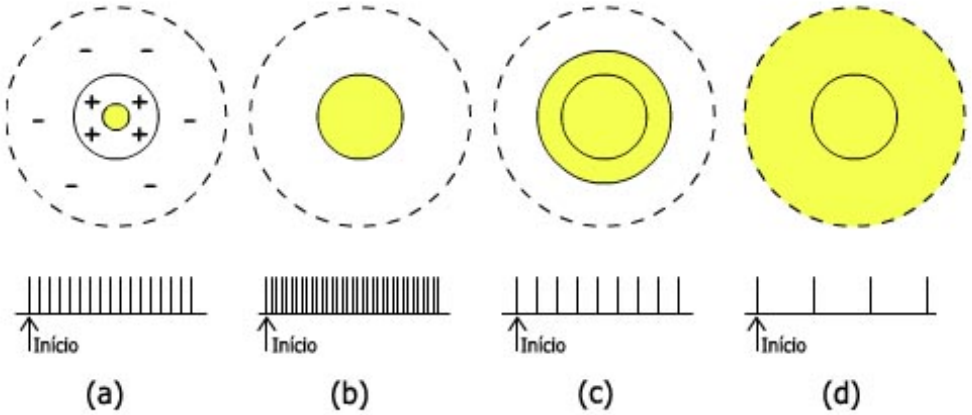


Figura II.8 Antagonismo centro-periferia. Resposta de um campo receptivo de centro-excitatório/periferia-inibitória, em função do aumento do estímulo. As zonas a cor correspondem à área estimulada com luz. Verifica-se que a maior resposta ocorre quando toda a área excitatória é iluminada (b) (adaptado de [Goldstein, 2007]).

Através deste exemplo é possível verificar que, do ponto de vista do processamento do estímulo, já desde a retina, o sinal neuronal sofre transformações.

- ***Fotoreceptores***

Os fotoreceptores são de dois tipos: cones e bastonetes, cada um com propriedades diferentes. No entanto, quer os cones, quer os bastonetes possuem químicos chamados pigmentos visuais que são reactivos à luz e que a transformam em sinais eléctricos; são eles os responsáveis por iniciar a visão, [Goldstein, 2007]. Resumidamente, sabe-se que os cones são cerca de 6 milhões e estão distribuídos por toda a retina, sendo que na fóvea existem 1% deles e não existem bastonetes. São responsáveis pelo "detalhe" na imagem e pela cor. Por

outro lado, os bastonetes são cerca de 120 milhões, possuem uma maior sensibilidade em relação aos cones e são responsáveis pela visão em condições de baixa iluminação e pela detecção de movimento.

Relativamente à percepção, é possível sistematizar dois aspectos relacionados com a sensibilidade à luz. Rushton, em [Rushton, 1961], estudou a regeneração visual dos pigmentos e a adaptação ao escuro. Este autor demonstrou que:

- A sensibilidade humana à luz depende da concentração de um químico (os pigmentos visuais);
- A velocidade com que a sensibilidade é ajustada depende de uma reacção química: a regeneração dos pigmentos visuais.

Nesta fase do processo é, portanto, possível identificar que a percepção depende directamente da informação a que tem acesso e também das propriedades dos receptores.

- ***Propriedades neuronais aplicadas: convergência.***

Do ponto de vista perceptivo, a forma de comunicação entre diferentes neurónios é relevante. Ao nível do processamento retinal, os circuitos neuronais conseguem determinar não só a intensidade de um estímulo, mas também a duração e o tamanho de um estímulo, [Goldstein, 2007]. Um mecanismo particularmente importante é o da convergência. Ou seja, vários neurónios enviarem informação para um neurónio.

Uma diferença relevante entre bastonetes e cones é que eles convergem de maneira distinta. Uma vez que existem cerca de 120 milhões de bastonetes e apenas cerca de 6 milhões de cones, cada célula ganglionar recebe impulsos de 120 bastonetes e 6 cones. É por este facto que se explica maior sensibilidade para os bastonetes e maior acuidade para os cones, [Goldstein, 2007], e por conseguinte as diferentes capacidades perceptivas que existem em função das condições de luminosidade.

2.9.2.3 - Lateral Geniculate Nucleus

Passada a primeira fase de processamento, os sinais gerados são processados em paralelo e projectados em direcção ao cérebro através do nervo óptico. Do nervo óptico seguem para o quiasmo, onde se dividem para cruzar o hemisfério (esta configuração é necessária para que exista a fusão entre as duas imagens retinais), em seguida para o *Lateral Geniculate Nucleus* (LGN), que faz parte do Tálamo, de onde seguem para a área V1, Figura II.9, [Paxinos, 2003].

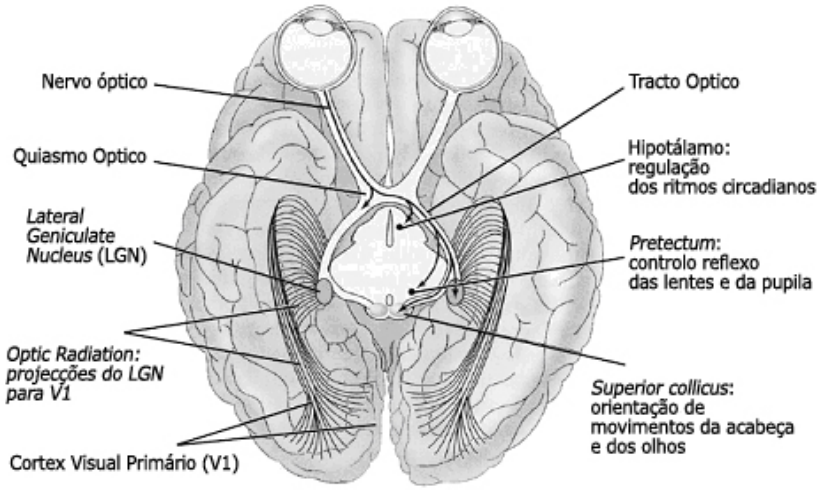


Figura II.9 Percurso efectuado pelos sinais neuronais através do *Central Visual Pathway*. Depois de passarem pelo LGN os sinais seguem para o *Striate Córtex*, também designado por Córtex Visual Primário ou área V1 (adaptado de [Ramachandran, 2002]).

O LGN pode ser dividido em seis camadas:

- As camadas 1 e 2 correspondem ao *Magnocelular Pathway;* Este *pathway* estabelece a ligação com as células ganglionares de tipo M (anãs). Tem como principais características ser mais sensível à cor e ao detalhe, uma vez que grande parte do seu *input* é proveniente da fóvea, onde só existem cones;

- As camadas 3 a 6 estabelecem o *Parvocelular Pathway,* recebendo os sinais das células ganglionares de tipo P (*parasol*). Este *pathway* caracteriza-se por ser mais sensível a informação relativa ao movimento, já que o seu *input* é maioritariamente proveniente de bastonetes, [Eysenck, 2005].

Outros dois aspectos importantes nesta ligação entre as células na retina e as existentes no LGN são que, em primeiro lugar, existe uma correspondência entre ambas; ou seja, estão mapeadas umas às outras. Em segundo lugar, a fóvea recebe uma representação desproporcional (factor de ampliação), [Paxinos, 2003].

2.9.2.4 - Córtex Visual Primário

O córtex visual primário é vulgarmente conhecido por área V1, ou *striate cortex*, e é a primeira área cortical onde a informação visual converge após o seu processamento em separado, na retina e no LGN. Esta área pode ser vista como uma primeira porta para as áreas visuais superiores e está envolvida em várias tarefas de processamento. Crê-se também que nesta região a unidade da informação necessária para uma reconstrução do mundo visual é ainda preservada, o que não sucede no processamento paralelo noutras áreas corticais, [Paxinos, 2003], como foi referido em 2.2.1.1.

As projecções dos neurónios dos *pathways* P e M prosseguem essencialmente para esta zona, sendo que o *pathway* P se divide em duas áreas em função da sua actividade metabólica *Blobs* (elevada) e *Interblobs* (reduzida). As células nestes três *pathways* respondem intensamente ao contraste; as células no *pathway* M respondem fortemente ao movimento; as células na região *blob* respondem fortemente à cor; e as células na região *interblob* respondem fortemente à localização e orientação, [Eysenck, 2005].

De uma maneira geral, é possível afirmar que as células no *striate cortex* demonstram selectividade ao contraste; à orientação e direcção; e a estímulos definidos por diferenças de cor e luminância, [Gallagher, 2003]. Do ponto de vista perceptivo, são as propriedades funcionais destes neurónios que permitem a detecção de fronteiras de cor; já que eles não só retêm informação da cor proveniente do LGN, como também adicionam a essa informação selectividade espacial, [Johnson, 2001].

As células na área V2, possuem características semelhantes às existentes em V1. São também selectivas à orientação e à direcção, disparando quando o estímulo se move numa direcção em particular. No entanto, são também sensíveis à disparidade binocular o que faz com que sejam capazes de codificar informação de profundidade, [Gallagher, 2003].

- ***Detectores de Características***

Aos neurónios especializados em responder a determinados aspectos do estímulo (orientação, movimento, tamanho) dá-se o nome de *Detectores de Características*. O estudo destas células especializadas e a sua resposta aos segmentos lineares teve origem no trabalho de Hubel e Wisel, em [Hubel, 1978]. Estes investigadores descobriram que nesta zona do córtex existiam neurónios eram capazes de responder apenas a uma determinada orientação no ambiente; células que designaram de *simple cells*. Do mesmo modo, existem mais dois tipos de células programadas para uma determinada propriedade do estímulo: as *complex cells* (respondem a uma barra de luz movendo-se numa direcção específica); e as *end-stopped cells,* que respondem a linhas ou cantos de tamanho específico ou a ângulos.

Segundo Goldstein, em [Goldstein, 2007], estas descobertas foram importantes porque:

- Mostram que os neurónios não respondem apenas à luz, mas a padrões específicos de luz;
- Foi um passo importante para o entendimento de como os neurónios respondem a objectos mais complexos.

Continuando a linha de investigação de Hubel, Tanaka, em [Tanaka, 1996], descobriu que existem neurónios capazes de disparar preferencialmente em função de determinadas formas, como um círculo unido a um rectângulo, Figura II.10.

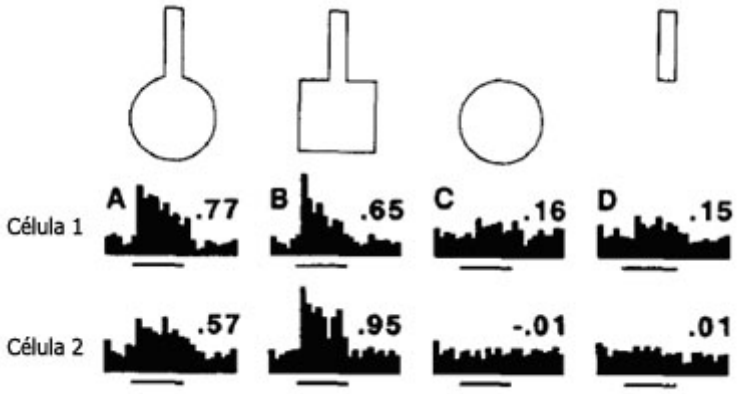


Figura II.10 Dois neurónios que respondem melhor a um círculo ou quadrado ligado a uma linha (adaptado de [Tanaka, 1996]).

Este tipo de estudos sugere que um dos motivos para a resposta preferencial a um determinado padrão seja o da aprendizagem, isto é, da adaptação por parte dos neurónios a um determinado estímulo, [Gallagher, 2003].

- ***Organização cortical***

No que diz respeito à organização cortical da zona V1, como já foi referido anteriormente, Hubel e Wiesel descreveram a estrutura cortical desta zona como sendo constituída por módulos nos quais existem colunas de neurónios organizados por orientação, Figura II.11.

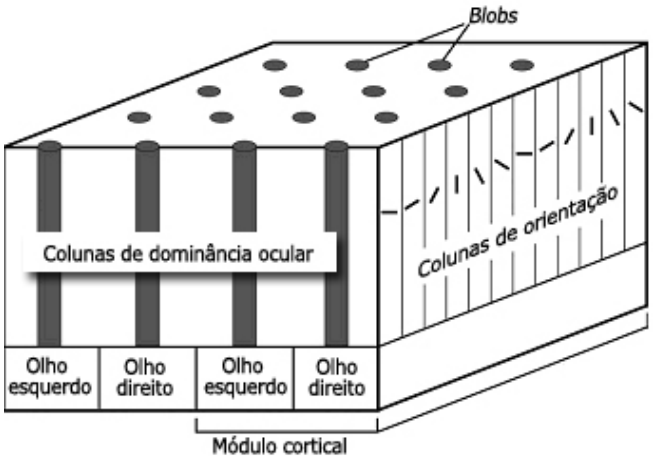


Figura II.11 Desenho esquemático de um módulo cortical. O córtex visual primário está organizado em módulos que consistem em colunas de orientação e dominância ocular. Dentro de cada módulo todas as células respondem à mesma parte do campo visual, mas variam relativamente a qual olho respondem, sensibilidade à orientação, cor e tamanho (não representado) (adaptado de [Paxinos, 2003]).

Adicionalmente, sabe-se que outro princípio de organização no córtex visual primário é os mapas. Sendo que o mais importante destes mapas é o mapa retinotópico, a que está associado o efeito de ampliação, já referido em 2.3.2.2. Este mapa baseia-se nas projecções existentes entre a retina e as camadas da área LGN, e entre estas últimas e as camadas na área V1, [Paxinos, 2003].

2.10 - Processamento integrado de informação visual

Para além da área V1 foram já identificadas outras áreas intervenientes no processamento de informação visual e que são abordadas com maior pormenor nos pontos seguintes. Muitas destas regiões são especializadas em processar aspectos específicos da visão, tal como a cor, o movimento e a forma, e designam-se por *extrastriate córtex*. Foi graças à investigação efectuada em primatas e às novas técnicas não invasivas utilizadas em humanos, que foram estudadas muitas destas zonas. Através da utilização de técnicas ressonância

magnética funcional (fMRI), é hoje possível estabelecer uma relação entre a organização funcional do córtex cerebral humano e a percepção visual, [Grill-Spector, 2004]. De notar também que é geralmente aceite a equivalência entre os cérebros de outros primatas e o cérebro humano, nesta matéria, [Zeki, 1991; Paxinos, 2003]. No entanto, existem exemplos de diferenças importantes entre os sistemas visuais humanos e de primatas não humanos, nomeadamente na organização do córtex visual primário, [Eysenck, 2005].

2.10.1 - Topografia e funções das áreas do córtex occipital

Na Figura II.12 estão representadas as várias áreas corticais envolvidas no processamento de informação visual, abordadas nos pontos seguintes, bom como a sua interligação. A espessura das linhas representa o número de projecções ascendentes entre estas áreas.

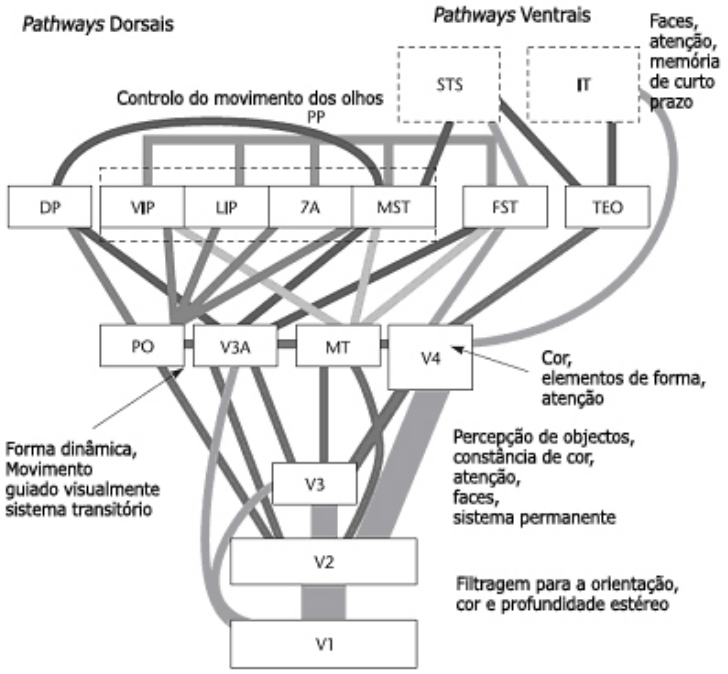


Figura II.12 Os principais *pathways* visuais do *Macaque Monkey*. V1 – V4, áreas visuais 1 – 4; PO, *parieto-occipital area*; MT, *middle temporal area* ou V5; DP, *dorsal prestiate area*; PP, *posterior parietal complex*; STS, *superiotemporal sulcus complex*; IT, *inferotemporal cortex* (adaptado de [Ware, 2004]).

Na Figura II.13 é apresentada a Topografia e função de áreas visuais identificadas no lobo occipital, e áreas próximas, através de imagens tridimensionais e de representações planas do córtex occipital. No topo estão representadas as características anatómicas e tipografia das áreas visuais conseguidas através de modelo 3D. A imagem à direita mostra o plano usado para obter a secção do lobo occipital, e o asterisco marca o centro seu pólo. No fundo, ao centro está representado um plano do córtex occipital mostrando a topografia das áreas visuais. Nesta representação, as fronteiras delimitadas a contorno cheio são relativamente bem definidas, embora a sua posição exacta varie entre pessoas; as setas a cinza representam os meridianos visuais; e áreas circunscritas por linhas a tracejado são zonas cujas fronteiras apresentam maior incerteza, ao momento do artigo. Finalmente, à direita e esquerda: são ilustradas áreas (pontos coloridos) que estudos de neuroimagiologia demonstraram responder preferencialmente a algum aspecto: movimento visual (i), faces (ii), cor (iii) ou espaço (iv).

2.10.2 - Problema da Integração de Características

O Problema da Integração de Características (*Binding Problem)*, refere-se à forma como os diferentes aspectos da informação visual recebida são processados de modo a dar origem a uma representação unificada do mundo. Embora este problema não esteja ainda hoje satisfatoriamente compreendido, existem, duas abordagens relevantes à sua resolução: a visão da especialização funcional, proposta por Zeki, em[Zeki, 1992; Zeki, 1993], e uma visão hierárquica proposta por Lennie, em [Lennie, 1998].

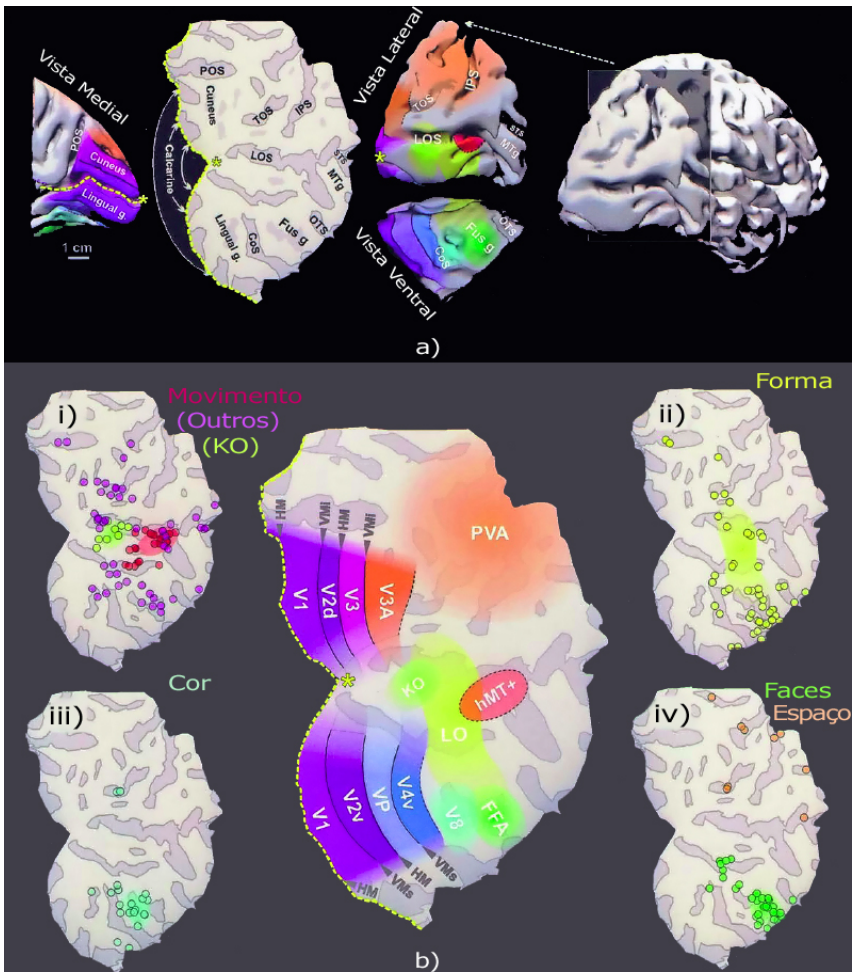


Figura II.13 Topografia e função de áreas visuais identificadas no lobo occipital e áreas próximas (adaptado de [Ramachandran, 2002]).

2.10.2.1 - Teoria da especialização Funcional

De acordo com esta teoria, diferentes partes do córtex cerebral são especializadas em diferentes funções visuais, e é a conjugação dos resultados de cada área de processamento que dá origem a um resultado perceptivo coerente.

As principais funções identificadas por Zeki, em [Zeki, 1992], dividem-se em quatro grupos. As áreas V1 e V2 estão envolvidas num processamento inicial da cor e da forma; as áreas V3 e V3a respondem à forma, mas não à cor; a Zona V4 responde à cor e à orientação de linhas; e a área V5 responde ao movimento.

Embora exista algum apoio a esta abordagem, actualmente sabe-se que existe muito menos especialização que a proposta por Zeki. Adicionalmente, o processamento visual nas áreas V1 e V2 é bastante mais abrangente do que o proposto por Zeki, [Eysenck, 2005], como é de resto descrito em 2.3.3.

- ***Processamento da cor, forma e movimento***

Células na área V4 mostraram ser especializadas no processamento da cor, [Lueck, 1989]. No entanto, também as áreas V1 e V2 intervêm neste tipo de processamento, como foi demonstrado em [Wade, 2002]. Embora existam de facto zonas mais sensíveis à cor, existem resultados que apontam para que a análise da cor não possa ser separada da codificação de outros atributos como a forma e o movimento, sendo a percepção da cor o resultado de processamento neuronal em várias áreas do córtex, [Gegenfurtner, 2003].

Várias zonas estão envolvidas no processamento da forma, influindo as áreas V3, V4 e a área IT (Córtex Inferotemporal), existindo mais estudos relativos a esta última, [Eysenck, 2005].

O Córtex Inferotemporal subdivide-se em duas áreas: uma posterior (TEO) que projecta para a área TE, mais anterior. Em termos funcionais, a área TEO parece agregar informação proveniente da área V4 para produzir uma separação modular relativamente à cor e à selectividade da forma; quanto à porção TE, sabe-se que existe uma preferência na resposta neuronal a uma variedade de estímulos mais complexos.

Uma questão que se coloca relativamente às áreas cerebrais que processam as várias características do estímulo é saber se operam de forma independente ou não. Cant e os seus colaboradores, em [Cant, 2008], afirmam que as regiões cerebrais identificadas no processamento da forma, textura e cor operam independentemente. Estes resultados vão ao encontro de estudos de neuroimagiologia que demonstraram a existência de *pathways* separados para o processamento da forma e superfície *no extrastriate córtex,* sendo que a cor é extraída relativamente cedo na análise visual, comparativamente com a extracção da informação relativa à textura, [Cant, 2007].

Estudos sugerem que as áreas MT/V5, MST, FST estão ligadas à detecção de movimentos, [Paxinos, 2003]. Estudos efectuados em doentes com lesões na área V5 demonstraram que os objectos que se moviam tornavam-se invisíveis, como, por exemplo, em [Zihl, 1983].

2.10.2.2 - Modelo hierárquico

Uma visão alternativa à posição adoptada por Zeki foi proposta por Lennie, em [Lennie, 1998]. Este autor argumenta que, em vez de cada área visual apenas processar um parte do estímulo, o córtex está organizado de modo a que a informação relevante possa ser recuperada em cada nível da hierarquia, e, havendo apenas uma excepção no caso do processamento da informação de movimento, (que é assumida como sendo processada de modo independente pela área V5/MT), todas as dimensões da imagem permanecem acopladas ao longo de todas as etapas de análise.

Este modelo hierárquico sugere que ao longo das etapas de análise da informação visual o processamento vai sendo sucessivamente refinado. Esta visão é suportada pela identificação dos tamanhos relativos entre as áreas do córtex, Figura II.14.

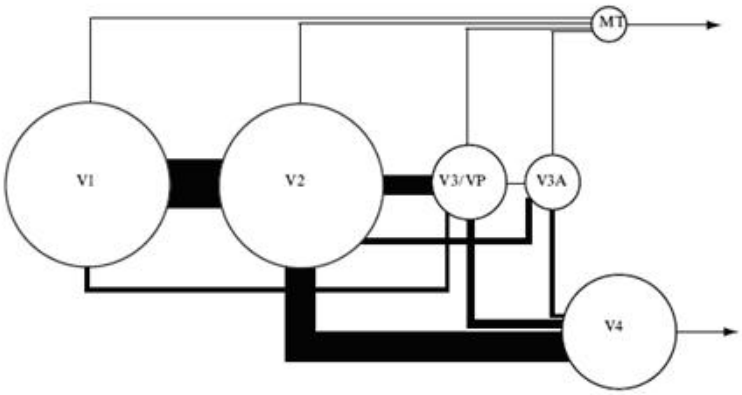


Figura II.14 Os tamanhos relativos das áreas corticais envolvidas no processamento visual. Mais uma vez, a espessura das linhas refere-se ao número de projecções ascendentes entre áreas (retirado de [Lennie, 1998]).

Como é possível verificar as áreas V1 e V2 são significativamente maiores que as restantes o que, segundo Lennie, sugere que a quantidade de informação processada vai diminuindo ao longo das etapas de análise; o que por sua vez implica a tomada de decisões perceptivas, [Lennie, 1998].

A teoria de Lennie é também suportada pela distribuição neuronal representada na Figura II.15. Através desta figura pode-se verificar que as áreas V1 e V2 contêm efectivamente muitas células que respondem selectivamente à cor, à orientação e à disparidade.

2.10.2.3 - Sistemas "what and where" ou "what and how"

A organização hierárquica do *extrastriate cortex* do macaco em dois Streams (Ventral e Dorsal) foi proposta por Ungerleider, em [Ungerleider, 1986], e Mishkin, em [Mishkin, 1983]. Utilizando técnicas de ablação nos lobos parietal e temporal, estes autores propuseram a existência de um Sistema Ventral, ou *"What" Pathway,* responsável pelo reconhecimento de objectos; e de um sistema Dorsal, ou *"Where" Pathway*, responsável pela visão espacial e pelas acções guiadas visualmente.

A transposição destas conclusões para a organização humana é globalmente aceite, também graças a estudos como o de Milner, em pacientes com lesões cerebrais, em [Milner, 1998], que confirmaram a existência destes dois sistemas.

Em 1990, Peter Schiller e os seus colaboradores, em [Schiller, 1990], demonstraram que existia uma relação entre a informação processada nas camadas *parvo* e *magno* do LGN e os sistemas Dorsal e Ventral, propondo que estes percursos eram estabelecidos a partir das células ganglionares do tipo P e M. Um esquema destas ligações está representado na Figura II.16.

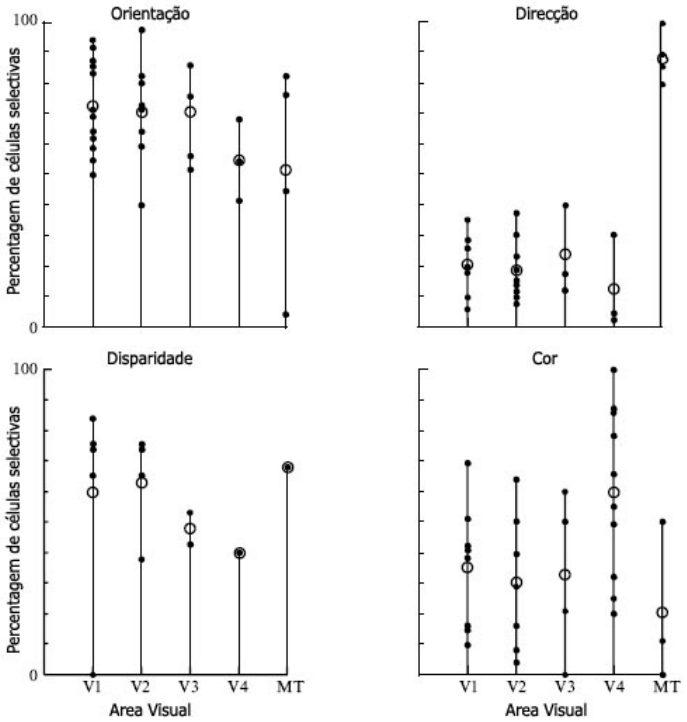


Figura II.15 Percentagem de células selectivamente activadas pela cor, disparidade, orientação e direcção. Cada círculo representa um estudo, e cada circunferência, a média (adaptado de [Lennie, 1998]).

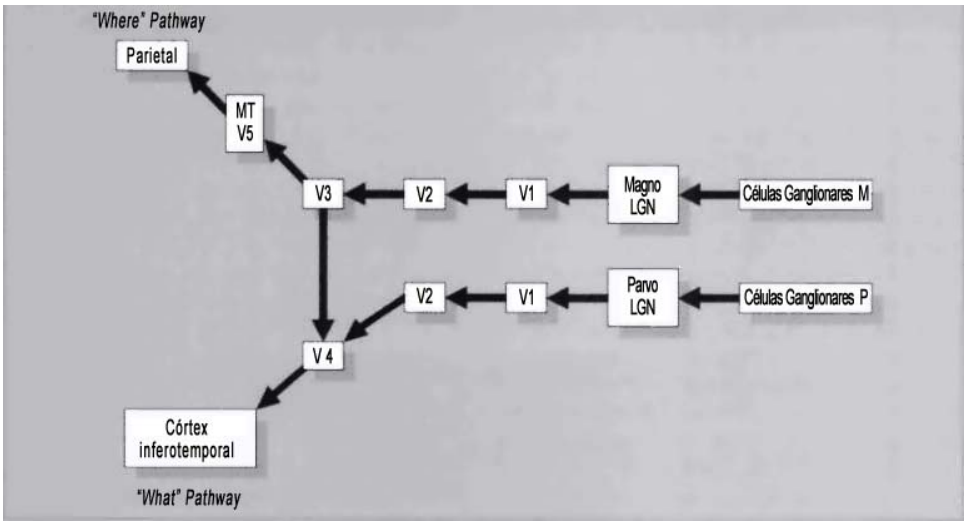


Figura II.16 Uma versão simplificada dos *pathways* envolvidos na visão, desde a retina até ao córtex. Note-se que existem mecanismos de *feedback* não representados neste modelo (adaptado de [Eysenck, 2005]).

2.10.2.4 - Modelo Percepção-Acção e a Abordagem Dual

Milner, em [Milner, 1998], também propõe que o "Where" *Pathway* seja antes entendido como um "How" *Pathway*, na medida em que, adicionalmente à informação relativa à localização dos objectos, também é necessário ter em consideração a informação relativa à acção. Assim, juntamente com Goodale, como é explicado em [Paxinos, 2003], faz a distinção entre Visão para a Percepção e Visão para a acção.

No que concerne à função de ambos, Goodale explica que o *ventral pathway* transforma a informação visual em representações perceptivas, tendo em conta as características mais permanentes dos objectos e das

suas relações; e que o *dorsal pathway* encarrega-se de tratar informação instantânea acerca da localização e disposição dos objectos, mediando o controlo visual de acções sobre eles, [Gazzaniga, 1999].

Norman, em [Norman, 2003], tenta conciliar as visões ecológica e construtivista da percepção, estabelecendo um paralelismo entre estas e os sistemas ventral e dorsal. Na sua análise propõe que a percepção se divide essencialmente em dois processos: o ecológico/dorsal, inconsciente; e o constructivista/ventral, consciente.

2.11 - Visão Computacional

Embora não exista uma resposta completa e definitiva relativamente ao envolvimento do córtex cerebral na visão, actualmente, é possível sistematizar as linhas gerais desse envolvimento, segundo o paradigma da teoria da informação; isto é, como se caracteriza a tarefa computacional da visão. São, em seguida sintetizados alguns aspectos mais importantes.

2.11.1 - Extracção de informação

Os padrões de luz que atingem a retina são a fonte de informação perceptiva que permite ao cérebro percepcionar o meio ambiente, em conjunto com o conhecimento do indivíduo. Esses padrões variam espacialmente, temporalmente, e no seu comprimento de onda. A tarefa inicial do sistema visual é a de extrair vários tipos de informação que servirão para eliminar a ambiguidade existente no estímulo e permitir inferir os vários atributos da cena visual.

Na extracção de informação várias pistas visuais contribuem para a computação de atributos específicos do estímulo, como a distância e a forma. A este respeito, um exemplo importante é a disparidade retinal e a sua influência na percepção da tridimensionalidade, [Ramachandran, 2002].

De facto, para cada região da imagem, a extracção de significado só é possível se informação de outras regiões for tida em conta, particularmente através das pistas que revelam a oclusão de superfícies e as condições de iluminação, [Albright, 2002].

Outro aspecto importante é o facto de estas pistas colaborarem na extracção de características. De um modo geral, as pistas visuais especificam um atributo de forma redundante. Por outro lado, uma pista visual pode contribuir para a identificação de várias características, como é o caso das pistas de movimento, que contribuem quer para a forma tridimensional de um objecto que para a definição da sua trajectória no espaço.

Também na percepção de movimento rotativo, ao serem retiradas as pistas de movimento numa experiência, utilizando círculos opticamente neutros, foram as pistas contextuais que despoletaram a percepção de movimento ilusório de rotação, sugerindo, assim, que o sistema visual utiliza pistas contextuais para computar a percepção de movimento de rotação, [Oh, 2008].

Esta relação entre pistas sensoriais e atributos inferidos expressa bem a ideia de processamento concorrente entre os vários *pathways* existentes no córtex visual, [Ramachandran, 2002].

2.11.2 - Processsamento distribuído

Embora seja vantajoso entender as computações visuais como ocorrendo em etapas é ainda difícil definir essas etapas numa rede neuronal real que possua interligações e mecanismos de *feedback*. A ideia da existência de um tipo de processamento distribuído no córtex é, contudo, suportada pela forma como a informação é combinada ao longo das várias etapas de processamento; ou seja, na obtenção dos vários níveis de representação ao longo das várias fases de processamento, em cada fase subsequente, diferentes tipos de informação disponibilizados pela fase anterior são combinados de diferentes modos para que seja atingido o nível seguinte de representação, facto este que aponta para um processamento distribuído, [Ramachandran, 2002].

2.11.3 - Modelo de processamento perceptivo

Analisa-se, em seguida, um modelo de processamento simplificado proposto por Ware, em [Ware, 2004], onde o processo perceptivo é dividido em três etapas distintas.

Na primeira etapa ocorrem os processos descritos anteriormente, quer ao nível retinal, quer do *striate córtex*. Segundo o modelo, esta primeira etapa é caracterizada como sendo uma fase de processamento *Bottom-up* onde:

- Ocorre um tipo de processamento paralelo rápido através do qual são extraídas propriedades de baixo nível da imagem (orientação, cor, textura e padrões de movimento);
- A natureza da informação é transitória, sendo armazenada brevemente num *buffer* icónico; e
- O processamento paralelo que a caracteriza acontece independentemente dos mecanismos da atenção (*preattentive processing)*.

Na segunda etapa, que designou de *Pattern Perception*, o campo visual é segmentado em regiões e padrões, ocorrendo os processos de organização das características detectadas na fase anterior (regiões de cor, textura; grupos, contornos). Nesta etapa já está presente interactividade entre processos *Top-down* e *Bottom-up*. As suas características são:

- Processamento em série lento;
- Envolvimento quer da memória operacional, quer da memória de longo prazo;
- Maior ênfase nos aspectos arbitrários dos símbolos.

Finalmente, a terceira etapa é caracterizada por um processamento sequencial dirigido. Ou seja, é nesta fase que se processam os mecanismos de escolha em relação ao que é percepcionado. São efectuadas consultas visuais (*visual queries*) que orientam selectivamente o que percepcionamos, de modo a que os objectos sejam reconhecidos, [Ware, 2004].

2.12 - Sumário

No estudo da percepção, o problema da discrepância entre a realidade e o que os sentidos percepcionam, que começou por mover filósofos, levou eventualmente ao estudo do cérebro e a sua relação com o processo perceptivo. Da análise dessa relação resultaram novas perguntas, nomeadamente, a de saber se as percepções do mundo são inatas ou aprendidas. Esta é uma questão que está na base do problema da arbitrariedade contido no argumento desta Dissertação; e expressa também a ideia que é introduzida por este capítulo: a da definição da percepção enquanto interacção entre processos sensoriais e cognitivos.

Neste capítulo estabeleceu-se que a percepção é um processo que envolve uma transformação de informação onde interagem:

- No sentido *Bottom-up* – características dos estímulos; constrangimentos dos receptores e a neurofisiologia do sistema perceptivo.
- No sentido *Top-down* – o estudo dos processos conceptuais superiores; e da integração das experiências do sujeito.

Desta concepção resulta que para explicar a percepção é necessário ter em conta factores externos e internos (*Top-down* e *Bottom-up*); e que as características do sistema sensorial tanto podem aumentar ou limitar a informação disponível durante o processo perceptivo.

Estabeleceu-se também a base para a justificação da existência de uma linguagem visual; ou seja, a ideia de que o sistema perceptivo se desenvolveu de acordo com determinadas propriedades do meio ambiente, criando regras (e heurísticas) de processamento, de modo a tornar-se mais eficiente. Esta aprendizagem decorre da organização em padrões previsíveis dos estímulos. As ilusões indicam a existência dessas regras, uma vez que demonstram a preferência por determinadas respostas perceptivas face a um determinado estímulo. Essas instruções, que são executadas numa fase inicial da percepção, podem considerar-se de "baixo nível"; e estão codificadas através de vários mecanismos, a vários graus.

Apresentaram-se aqui evidências fisiológicas que corroboram o argumento que a Dissertação explora. Em primeiro lugar, estabeleceu-se que a cada percepção está associada a uma determinada actividade característica no cérebro; o que significa que os estados perceptivos são produzidos por estados cerebrais. E em segundo lugar, identificou-se o percurso e transformações sofridas pelo estímulo ao longo das várias etapas de processamento preceptivo visual: olhos e retina, LGN, córtex sensorial primário, córtex sensorial secundário e áreas de associação corticais.

Através da análise das várias fases de processamento perceptivo visual, foi salientada a ideia de que o sistema perceptivo não só limita como também aumenta a informação. Exemplos desses factos foram apresentados, ao nível:

- Das características do processamento neuronal:
  - Disparos espontâneos, mesmo quando não existe estímulo;
  - Período refractário; que sugere uma ligação às limitações de processamento atencional;
  - Adaptação selectiva.
- Retinal e ao nível do LGN:
  - Diferentes formas de organização, e diferentes mecanismos originam diferenças na resposta perceptiva; nomeadamente, as características dos fotoreceptores e a sua influência na visão em diferentes condições de iluminação, no processamento do detalhe, cor, sensibilidade e acuidade.
- Das formas de organização cerebral:
  - A existência de células especializadas que respondem de forma selectiva ao movimento; cor; à localização e orientação, ao contraste; à orientação e direcção; e à disparidade binocular. Também são as propriedades funcionais destes neurónios que permitem, codificar informação de profundidade e detectar fronteiras de cor;

Os factos apresentados vão ao encontro do argumento inicial, ao mostrar que os neurónios não respondem apenas à luz, mas a padrões específicos de luz, como um círculo unido a um rectângulo, por exemplo. Mais, foram apresentados resultados de estudos que sugerem que um dos motivos para a resposta preferencial a um determinado padrão seja o da aprendizagem, isto é, da adaptação por parte dos neurónios a um determinado estímulo.

Outro facto importante salientado foi o de que através da utilização de técnicas de ressonância magnética funcional (fMRI), é hoje possível estabelecer uma relação inequívoca entre a organização funcional do córtex cerebral humano e a percepção visual. A existência desta relação entre características fisiológicas e fenómenos perceptivos fundamenta a base do argumento da Dissertação, e possibilita prosseguir para a identificação de princípios de visualização baseados nas características do sistema perceptivo humano.

Antes da última parte do capítulo foram apresentadas as características da Teoria da especialização Funcional e do Modelo hierárquico, enquanto modos de explicação do *Binding Problem*; isto é, o problema da integração dos estímulos em percepções. Foi focado o papel das pistas visuais como indicadoras de processamento distribuído e de efeitos de contexto:

- Na extracção de informação, várias pistas visuais contribuem para a computação de atributos específicos do estímulo, como a distância e a forma;
- Estas pistas colaboram na extracção de características o que sugere a existência de mecanismos de processamento distribuído;

Finalmente, de modo sistematizar às várias etapas da percepção foi apresentado um modelo de processamento perceptivo simplificado de 3 fases:

1) Processamento paralelo rápido – através do qual são extraídas propriedades de baixo nível da imagem (orientação, cor, textura e padrões de movimento);
2) Segmentação e organização das características detectadas na fase anterior (regiões de cor, textura; grupos, contornos);
3) Processamento sequencial dirigido – consultas visuais (*visual queries*) orientam selectivamente a percepção.

Capítulo III
Percepção Visual de Objectos

"A major purpose of our sensory systems is perception, which means organizing a comprehensible internal representation of the external world".

[Goldstein, 2001]

3.1 - Introdução

É através do estudo da percepção de objectos que se analisa a forma como são extraídas as características do estímulo visual, bem como os aspectos relacionados com o reconhecimento de entidades visualizadas. Como sublinha Mary A. Peterson, em [Goldstein, 2001], o termo "*object perception*" é utilizado por investigadores e filósofos de maneira que pode ser mais ou menos vasta. Para os psicólogos da área da percepção este termo inclui processos que:

- Integram e segregam elementos no estímulo visual;
- Conferem forma e estrutura tridimensional a alguns desses elementos;
- Permitem reconhecer entidades previamente visualizadas;
- Determinam a forma como a atenção está focada nas entidades construídas.

A mesma autora salienta ainda que os objectos não podem ser percepcionados sem esforço a não ser que as suas características críticas consigam ser extraídas prontamente através do *display*, [Goldstein, 2001]. A identificação dessas características críticas, bem como da forma como são processadas e organizadas pelo sistema perceptivo, é o objecto principal deste capítulo.

Neste capítulo sobe-se um nível no processo perceptivo; isto é, enquanto que no capítulo anterior se caracteriza com maior detalhe o percurso dos estímulos até ao córtex cerebral; nos pontos seguintes são focadas as questões ligadas à organização e identificação perceptiva, e os mecanismos que o sistema perceptivo dispõe para as resolver. Questões essas que se enquadram, na sua maioria, com os processos definidos na segunda etapa do modelo perceptivo apresentado no capítulo anterior.

3.2 - Organização perceptiva

Quando se fala de organização perceptiva está-se a tentar responder a uma pergunta fundamental: como é feita a transição desde a informação recebida pelos receptores dos sistemas sensoriais até à percepção do mundo? Está-se preocupado em saber como é processada a informação sensorial *num determinado contexto.* Ou seja, face às várias organizações possíveis das partes que constituem um estímulo, como é que é seleccionada uma em particular, [Boff, 1986].

Stephen E. Palmer, em [Healy, 2003], explica que o principal problema encontrado pelo sistema nervoso visual, em termos organizacionais, é o da determinação da estrutura dos objectos. Isto é, que partes da informação processada na retina correspondem, ou se correlacionam, aos objectos existentes no ambiente. Neste sentido, o problema da organização perceptiva deverá ser entendido como a da determinação das relações entre as várias partes constituintes da imagem, ou seja, como um processo de construção de uma hierarquia Parte/Todo *(Part/Whole Hierarchy)*. E essa construção pode ser dividida em dois problemas:

1) Saber qual a estrutura parte-todo que é percepcionada numa dada cena e como é que pode ser caracterizada;
2) Como é que é determinada pelo sistema visual.

Ainda o mesmo autor, explica que o segundo problema divide-se, conceptualmente, em três partes, fazendo um paralelismo entre três tipos de análises propostas por Marr, em [Marr, 1982]:

1) Análise computacional – compreender a natureza do estímulo que o sistema visual utiliza para organizar as imagens, e isto inclui: a identificação das variáveis críticas no estímulo; e porque motivo são importantes na organização da estrutura hierárquica parte-todo;
2) Análise algorítmica – saber que operações de processamento estão envolvidas na extracção dessa informação;
3) Análise de implementação – saber que mecanismos fisiológicos estão envolvidos nas operações executadas no sistema nervoso visual.

3.2.1 - Abordagens Teóricas à Organização Perceptiva

Em função da abordagem teórica dada à percepção como um todo, existem também várias formas de encarar a questão da organização perceptiva. A visão contemporânea de Palmer do problema assume à partida a existência de uma diferença entre o estímulo proveniente do ambiente e a percepção gerada por esse estímulo.

Essa premissa está directamente ligada à questão, já abordada no capítulo 2, de saber se percepção é um processo directo ou indirecto; e nomeadamente, saber se o estímulo contém em si mesmo toda a informação necessária à percepção.

3.2.1.1 - Ambiguidade de estímulos: estímulo distal e proximal

A primeira dificuldade com que o nosso sistema perceptivo se depara é a ambiguidade dos estímulos que recebe. A actual distinção entre sensação e percepção deve-se a contribuições de vários investigadores, nomeadamente de Hermann von Helmholtz, em [Helmholtz, 2005], ao introduzir o conceito de inferência inconsciente; mecanismo no qual os indivíduos "derivam" os objectos do ambiente utilizando o conhecimento prévio. Helmholtz, ao admitir o envolvimento do indivíduo no processo perceptivo, coloca assim, a possibilidade de um mesmo estímulo poder dar origem a diferentes percepções.

Esta questão foi também abordada por Adelbert Ames Jr, ver por exemplo [Ames, 1952], sendo que Ames estava mais preocupado em demonstrar que o estímulo sensorial não era uma representação fidedigna do mundo exterior. As suas investigações abordaram o facto de a imagem retinal ser inerentemente ambígua, [Freedheim, 2003]. Esta dificuldade tem o nome de problema da projecção inversa e resulta do facto de uma determinada imagem poder ser causada por inúmeros objectos. De facto, um único padrão de luz (por exemplo, um quadrado) na retina pode ter sido causado por um número infinito de padrões diferentes, a uma infinidade de distâncias. Mais, a mesma imagem de um quadrado pode também ser causada, por exemplo, por figuras trapezoidais inclinadas. Deste modo, a forma, o tamanho e a distância, que são elementos fundamentais à construção de uma imagem consciente, não estão codificados no estímulo sensorial de maneira inequívoca, [Freedheim, 2003].

Estes factos fizeram com que o conceito de estímulo sensorial passasse a ser entendido não como um, mas como dois estímulos diferentes. Assim, apesar de ter sido até agora usada a palavra "estímulo" para referir a informação que chega aos receptores sensoriais, será mais adequado distinguir dois tipos de estímulos: o estímulo distal e o estímulo proximal. O primeiro refere-se à informação do objecto que pretendemos percepcionar; e o segundo, à informação que efectivamente chega aos nossos receptores, Figura III.1.

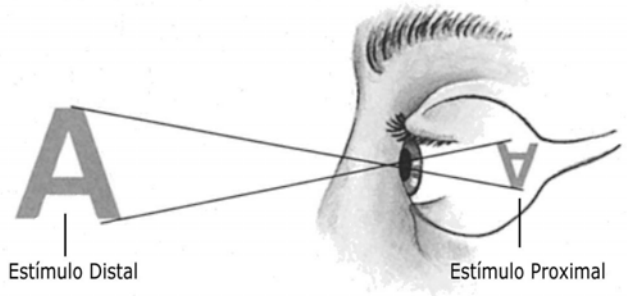


Figura III.1 Embora sejam semelhantes, o estímulo distal e o estímulo proximal são eventos distintos. O primeiro é o padrão ou a condição externa que é percepcionada, o segundo é o padrão de actividade sensorial que é determinado pelo estímulo distal (adaptado de [Levitin, 2002].

A necessidade de processos organizacionais aumenta quando o estímulo proximal não permite especificar de uma maneira completa o estímulo distal. Nestas situações, o sistema perceptivo pode recorrer a heurísticas para a interpretação do estímulo. Estas heurísticas, como o próprio nome indica, são soluções aproximadas, baseadas em flutuações dos processos relativos à atenção e a variações no peso atribuído às várias regras existentes no sistema perceptivo, [Boff, 1986]. É por essa razão que é necessário falar de erros de percepção, cujo estudo é também feito através das ilusões: discrepâncias entre o estímulo distal e proximal.

- ***Exemplo: O Problema da multiestabilidade***

Um exemplo de como a informação contida no estímulo pode não ser suficiente para uma percepção sem ambiguidade são as chamadas figuras multiestáveis. Estas figuras recebem esse nome porque, quando confrontado com elas, o sistema perceptivo, não consegue encontrar uma única interpretação do estímulo que elas produzem, Figura III.2.

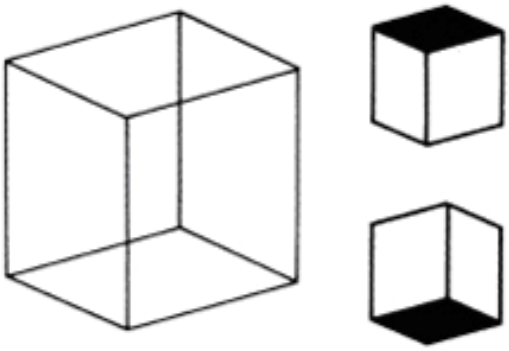


Figura III.2 Exemplo de uma figura multiestável: o *cubo de Necker* (retirado de [Levitin, 2002]).

O fenómeno da Multiestabilidade é um problema importante porque demonstra duas coisas: por um lado, que as regras existentes no nosso sistema perceptivo não são rígidas, em vez disso, permitem alternar entre interpretações diferentes de um mesmo estímulo; por outro, demonstram que percepcionamos sempre, num dado instante, uma organização do estímulo única, e internamente consistente, em vez de um compromisso entre várias componentes concorrentes do mesmo estímulo, [Boff, 1986].

Embora este fenómeno seja considerado automático, Leopold e os seus colaboradores, em [Leopold, 2002], afirmam que é possível abrandar e até mesmo parar esta alternância perceptiva.

3.2.1.2 - Abordagem Estruturalista

A visão Estruturalista argumenta que o problema da organização perceptiva simplesmente não existe, na medida em que para integrar as partes constituintes de um dado estímulo não são necessários processos globais. Os defensores desta abordagem explicam que as sensações produzem "imagens de memória" (*memory images*) que depois serão invocadas aquando de novas apresentações do estímulo. Defendem uma visão de *tabula rasa* da mente em que as percepções vão sendo progressivamente aprendidas através de associações: ligações entre as *memory images,* [Boff, 1986].

Para os Estruturalistas, a percepção visual é apenas uma concatenação de "átomos" sensoriais; onde cada "átomo" é inicialmente definido por uma posição retinal e é independente de todos os outros "átomos". Esta visão da percepção é, portanto muito local, [Levitin, 2002]. A proposta Estruturalista é de que as percepções mais complexas são construídas a partir desses "átomos" de cor e sensações, unificados por associações devidas à contiguidade espacial e temporal, [Wilson, 1999].

3.2.1.3 - Abordagem de Hemholtz

Em 1866, Hermann von Helmholtz, afirma que as sensações são o ponto de partida para a percepção e que são combinadas com as associações adquiridas (*memory images*). Helmholtz defende a existência daquilo que designou por Princípio da Probabilidade. Este princípio traduz a ideia de que os elementos sensoriais irão organizar-se no objecto mais provável ou evento no ambiente, consistente com os dados sensoriais, [Boff, 1986].

A sua teoria deu importância aos processos mentais na interpretação da ambiguidade dos estímulos. Para Helmholtz, é utilizando o conhecimento prévio que tem do ambiente que um observador deduz hipóteses acerca da forma de como as coisas realmente são. Neste sentido, a percepção é um processo indutivo, onde se parte de imagens específicas para inferências acerca de uma classe de objectos ou eventos que as imagens podem representar. A este processo, deu o nome de inferência inconsciente, [Levitin, 2002].

3.2.1.4 - Abordagem da Gestalt

A Escola da Gestalt difere em quase todos os aspectos fundamentais da teoria Estruturalista, incluindo a estrutura e funções do cérebro. Comparativamente com as propostas de Helmholtz, abandonam a ideia de que a aprendizagem é uma causa das percepções, vendo-a enquanto consequência; e defendem que as percepções resultam de regras inscritas directamente (*hard-wired*) no cérebro, [Boff, 1986].

Para a teoria da Gestalt a estrutura e a organização são produtos de interacções espontâneas no cérebro, e o estímulo óptico é um constrangimento que funciona para determinar a solução de um dado estímulo, [Healy, 2003].

É com a Escola da Gestalt e com Max Wertheimer, ver por exemplo [Wertheimer, 1938], que nasce, verdadeiramente, a expressão "organização perceptiva". Este investigador interrogou-se acerca de como as pessoas eram capazes de percepcionar um mundo visual coerente e organizado em objectos com significado, em vez de uma justaposição caótica de cores que estimulavam os receptores na retina. A sua abordagem ao problema traduziu-se, considerando o *output* proveniente da retina para uma dada imagem como sendo um vector numérico estruturado, [Wilson, 1999].

A Figura III.3a) representa a resposta neuronal de apenas um receptor retinal. Nesta forma é muito difícil conseguir entender qual a estrutura e organização presentes na imagem. Mais do que isso, existem inúmeras possibilidades de organização numa imagem, das quais apenas uma é geralmente percepcionada. E este é o problema com que se debate o sistema visual. No entanto, ao transformar os valores presentes na Figura III.3a) em valores de luminância e cor, obtêm-se a imagem ilustrada na Figura III.3b). Neste caso, o sistema visual não tem dificuldade em interpretar a estrutura da imagem, embora ambas a imagens contenham a mesma informação. Isto acontece porque o sistema visual humano evoluiu a sua capacidade de detectar contornos, regiões, grupos, padrões, através da estrutura de luminância e cor, [Levitin, 2002].

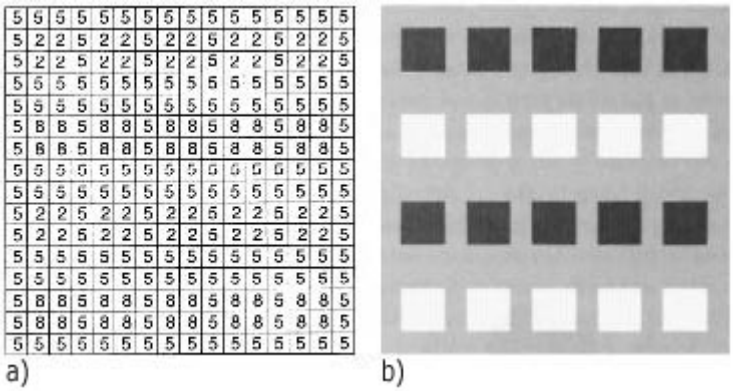


Figura III.3 O problema da organização perceptiva, considerando o *output* de um receptor retinal como um *array* numérico onde os valores mais baixos correspondem às zonas mais escuras e os mais altos às mais claras (a); ou como a imagem correspondente em escala cinza (b) (adaptado de [Levitin, 2002]).

Para os psicólogos da Gestalt a regra central subjacente à organização perceptiva é a de que o "todo é diferente da soma das partes", ver, por exemplo, [Koffka, 1922]. Esta ideia traduz a noção de que é o arranjo particular (o *patterning*), ou organização das partes em todos perceptivos, que determina a aparência e identidade de um determinado estímulo. Na defesa desta ideia usaram dois argumentos: por um lado o fenómeno da camuflagem: que funciona enganando os processos de organização perceptiva ao agrupar partes de um objecto com as partes do ambiente à sua volta, impedindo que formas familiares fossem identificadas; e por outro, argumentaram que a organização perceptiva podia ser demonstrada em animais muito jovens, [Levitin, 2002].

Os Gestaltistas argumentaram que o cérebro está estruturado para lidar directamente com as propriedades do estímulo, tais como a configuração, simetria, e fechamento de uma forma visual; e que organizou as suas representações dos estímulos para torná-las melhores.

O critério de organização que defenderam ficou conhecido por Princípio da Pragnanz (geralmente traduzido como "boa figura"). Segundo este princípio, de todas as organizações possíveis que um estímulo pode gerar, a que será percepcionada será a mais simples; ou seja, o estímulo organizar-se-á de forma consistente com o estímulo distal do modo mais simples possível, [Boff, 1986].

Várias tentativas de quantificação desta propriedade foram sendo efectuadas pelos investigadores ao longo do tempo. Hochberg e McAlister, em [Hochberg, 1953], comparando duas figuras em perspectiva de um cubo, Figura III.4, propuseram um modelo que explica porque uma delas é preferencialmente vista a três dimensões e a outra não.

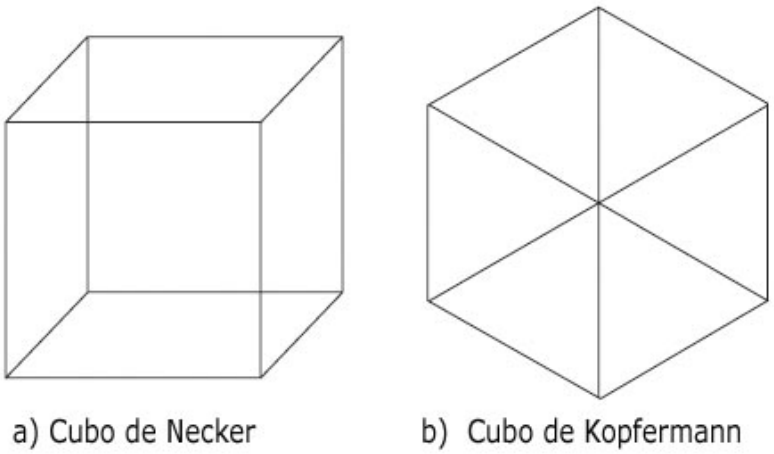


Figura III.4 Duas vistas em perspectiva, equivalentes, de um cubo. No entanto, em (a) a estrutura tridimensional é preferencialmente percepcionada; enquanto que em (b) é a bidimensionalidade que prevalece (adaptado de [Boff, 1986]).

Garner (1962), em [Garner, 1962], expressa o conceito de *Pragnanz* através do conceito de redundância. Ou seja, "bons padrões" provêm de uma classe pequena, enquanto que os "maus" provêem de grandes classes. Quanto menos possibilidades de variação determinada *pattern* tiver, melhor é. A teoria da Codificação de Leeuwenberg, em [Buffart, 1981], traduz o Princípio da *Pragnanz* através de Unidades de Informação. Segundo esta teoria, a Figura III.4a) contém 2 unidades de informação para uma interpretação bidimensional e 4 para a tridimensional. No caso da Figura III.4b), acontece o inverso com 9 e 4 unidades de informação, respectivamente. Em ambos os casos é escolhida a interpretação mais simples.

A principal dificuldade apontada à Teoria da Gestalt é que não é mecanicista. Ou seja, é uma teoria estrutural sem processos. William Chase, em [Boff, 1986], esclarece que não faz sentido descrever as estruturas mentais sem também descrever os processos a elas subjacentes. A metodologia que os Gestaltistas seguiam era a de, para cada padrão, explicar como é que era percepcionado. Goldstein partilha da opinião de Chase e afirma que as leis da Gestalt devem ser consideradas heurísticas: bons palpites que funcionam quase sempre, [Goldstein, 2007]. Esta limitação remete também para a ideia de que o sistema perceptivo desenvolveu um conjunto de regras de processamento dos estímulos em função das características do meio ambiente, expressa no Capítulo II .

3.2.1.5 - Abordagem de Gibson

A ideia proposta por Gibson é a de que a percepção é um processo directo; ou seja, não mediada por imagens retinais, neuronais ou mentais. Considera que a percepção é a actividade de extracção de informação a partir daquilo a que chamou de "*ambient array of light*"; é uma actividade exploratória que envolve os processos de procura visual e movimentação no meio ambiente, [Gibson, 1986].

Segundo este autor, as percepções estão organizadas de modo a serem paralelas com o ambiente. Rejeita ambas as hipóteses adiantadas, quer pela visão Helmotzeana, quer pela Gestaltista, e afirma que a organização reside no estímulo, e que nenhum processo organizacional existe, seja por inferência ou por automatismo cerebral. Em vez disso, propôs a ideia de que o sistema perceptivo se relaciona através de "*affordances*": funções que são oferecidas ao organismo e que são características estruturais do ambiente, [Wilson, 1999].

Gibson propôs que o *array* óptico contém toda a informação necessária à correcta percepção do ambiente. No entanto, a estrutura óptica não são as estruturas nem os objectos, mas sim a *ordem adjacente* da estrutura. Mais importante que isso, a ordem que caracteriza a estrutura óptica corresponde à ordem ambiental. A percepção é especificada assim em termos de uma estimulação ordinal, específica do ambiente, [Rogers, 2003].

A visão de Gibson contribuiu para frisar a ideia de que, em certas circunstâncias (quando a informação acerca da função do objecto é visível), existem dados suficientes no estímulo para uma organização perceptiva verídica, [Healy, 2003].

3.2.2 - Modelo de organização perceptiva

Palmer e Rock, em [Palmer, 1994b, 1994a] propuseram um modelo de organização perceptiva, Figura III.5. Neste modelo, os autores propõem a existência de regiões uniformemente ligadas ("*Uniform Connected Regions*", UCRs) ou partições, que funcionam como unidades de entrada para os processos de integração e segregação, nomeadamente, o Agrupamento e o *Parsing*. Estes autores argumentam que é o Princípio da Ligação Uniforme o responsável pela definição dessas unidades fundamentais.

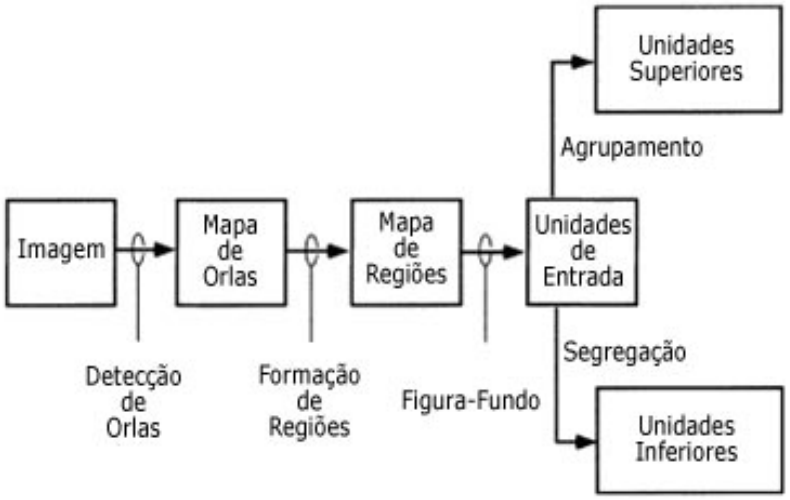


Figura III.5 Uma teoria computacional da organização visual. Depois da detecção de orlas, a formação de regiões conjuga-se com os princípios Figura/Fundo para dar origem a unidades de entrada. O Agrupamento e o *Parsing* podem então ocorrer para dar origem a unidades superiores e inferiores na hierarquia Parte/Todo (adaptado de [Healy, 2003]).

Segundo Palmer e Rock, uma vez isoladas as UCRs no *array* visual, os processos subsequentes podem criar divisões dentro delas (*Parsing*), Figura III.6a), onde uma imagem homogénea é vista como um pássaro e um ramo; ou integrá-las (G*rouping*); no caso da Figura III.6b), regiões de várias luminosidades são conjugadas num pássaro.

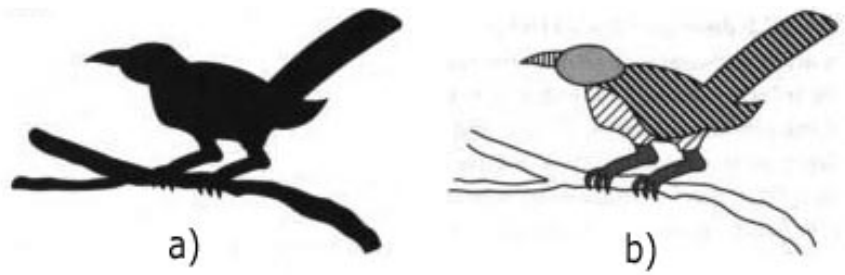


Figura III.6 a) A imagem será primeiro visualizada como uma região uniforme, para depois ser segregada em duas partes: um ramo e um pássaro. b) Neste caso, ao nível de entrada, esta imagem seria dividida em oito regiões que os processos subsequentes se encarregariam de integrar, dando origem a dois objectos: um ramo e um pássaro (adaptado de [Goldstein, 2001]).

Embora a Ligação Uniforme, seja certamente um dos factores intervenientes na segmentação/integração, utilizados pelo sistema visual, não é certo que seja o factor fundamental, como é proposto por Palmer e Rock, [Goldstein, 2001]. De facto, em [Peterson, 1994, 1999], por exemplo, argumenta-se no sentido de que os princípios da Ligação Uniforme e os propostos pela Gestalt talvez façam parte de um conjunto maior de factores, todos eles importantes na organização visual.

Descritos neste modelo estão os quatro processos organizacionais básicos: Segmentação de Regiões, Organização Figura/Fundo, Agrupamento e *Parsing*, necessários à construção de uma hierarquia rudimentar Parte/Todo.

Em seguida, são focados com maior pormenor os princípios de organização que derivam da segregação e do agrupamento perceptivos. Ou seja: como o sistema perceptivo determina a separação entre os objectos; e como agrupa partes do estímulo para dar origem aos objectos.

3.2.3 - Segmentação

Desde a representação analógica da imagem na retina, e no córtex, até a representação simbólica dos objectos e das superfícies como são percepcionadas, dá-se uma grande transformação. Na retina e na zona V1 parece existir um mapa analógico de luminosidade e cores da imagem, no entanto, essa representação é substancialmente diferente da percepção das superfícies e dos objectos, [Goldstein, 2001].

No contexto da análise da cena visual, a segmentação é o primeiro de dois processos perceptivos; sendo o segundo o reconhecimento de padrões memorizados, [Arbib, 2003]. Engloba (e também no sentido de diferenciação) os processos pelos quais o campo visual é dividido em contornos, regiões e grupos, [Goldstein, 2001].

Do ponto de vista da compreensão da imagem, corresponde à divisão da cena visual num conjunto de padrões (objectos), efectuada através do agrupamento dos contornos que pertencem a um objecto e segregação dos contornos que pertencem a outros objectos e ao fundo, [Itti, 2005].

3.2.3.1 - Contornos

Apesar de os contornos físicos dos objectos serem contínuos, para o sistema visual são provavelmente descontínuos. Assim, para determinar a qual região é que cada contorno pertence, é necessário que o sistema visual integre os segmentos dos contornos, [Goldstein, 2001]. Essa integração dos contornos que constituem um objecto fazem-no emergir do ambiente que o rodeia. Ullman, em [Ullman, 1996], propôs que a segregação de contornos ocorre mais rapidamente para contornos mais "salientes"[2], Figura III.7.

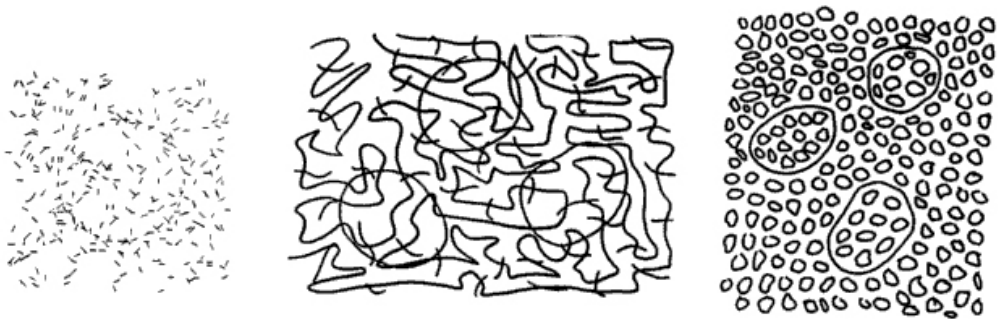


Figura III.7 Em cada uma destas imagens existem certas estruturas que são mais salientes em relação ao que as circunda; e com maior tendência para serem visualizadas como figuras. As propriedades do contorno afectam a saliência percepcionada (adaptado de [Ullman, 1996]).

De facto, a Escola da Gestalt propôs que certas características das imagens, como a continuidade e a contiguidade tornam os contornos salientes. Ullman implementou no seu modelo o Princípio da Continuidade, [Goldstein, 2001].

O atributo da continuidade de um contorno é baseado na sua posição relativa e orientação dos segmentos que o compõem. Quando segmentos são colocados mais próximos uns dos outros e com orientações semelhantes, o contorno torna-se mais saliente, [Arbib, 2003]. Mas se a separação ou a diferença na orientação aumentam entre segmentos, os contornos tornam-se difíceis de distinguir do que os rodeia, [Kapadia, 1995]. Evidencias destes factos foram encontradas, por exemplo, em [Tanskanen, 2008], onde foi demonstrado que o

[2] Os aspectos relacionados com a saliência serão abordados com maior pormenor posteriormente, no âmbito dos processos atencionais.

processamento de elementos tangenciais originou tempos de reacção mais pequenos em comparação com o processamento de elementos mais espaçados.

Do ponto de vista neurofisiológico, vários estudos têm demonstrado que as células na área V1 desempenham um papel importante na integração e segregação de contornos, como em [Li, 2006].

3.2.3.2 - Grupos

O agrupamento perceptivo é um dos fenómenos mais importantes de organização perceptiva. Refere-se ao facto de o observador ter a percepção de que alguns elementos no campo visual são agrupados preferencialmente de um determinado modo, [Healy, 2003].

- ***Princípios de Agrupamento***

Os psicólogos da Escola da Gestalt propuseram um conjunto de "leis" de organização perceptiva em resposta à concepção Estruturalista. Como já explicado no ponto 3.2.1.4 -, estas "leis" não especificam processos, sendo melhor definidas como heurísticas, ou princípios. Além do Princípio da *Pragnanz*, outros com pertinência directa para a área da visualização foram propostos, nomeadamente alguns dos ilustrados na Figura III.8.

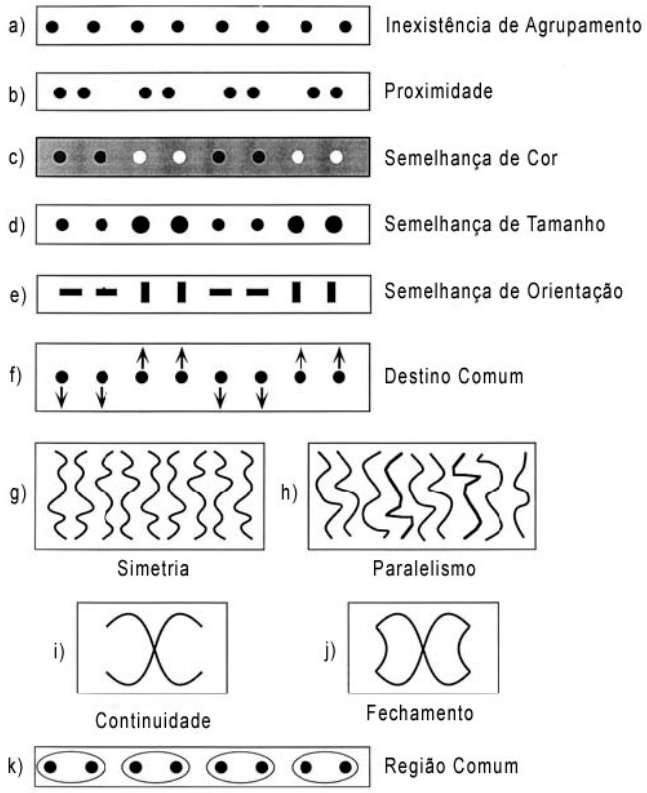


Figura III.8 Princípios clássicos de agrupamento: a) Inexistência de agrupamento, comparativamente a b) agrupamento por proximidade, c) semelhança de cor, d) semelhança de tamanho, e) semelhança de orientação, f) destino comum, g) simetria, h) paralelismo, i) continuidade, j) fechamento, e k) região comum (adaptado de [Healy, 2003]).

Tomando como ponto de partida o facto de que elementos igualmente distribuídos são vistos como um todo, Figura III.8a), pode ser feita a comparação com os Princípios de Organização Perceptiva propostos por Wertheimer, em [Wertheimer, 1938]. O primeiro dos quais se traduz numa alteração da distância entre os pontos, Figura III.8b), a que deu o nome de agrupamento por proximidade.

Nos casos seguintes, Figura III.8c), d), e), ilustram-se três variantes do Princípio de Agrupamento por Semelhança. Ou seja, tudo o resto mantendo-se igual, os elementos mais semelhantes tendem a ser agrupados.

É necessário referir que nem todas as propriedades geram um efeito de agrupamento notório. No caso da Figura III.9a), existe uma variação de 180º nas figuras; no entanto, a percepção de agrupamento é significativamente inferior à resultante de uma variação de 45º, ilustrada na Figura III.9b), [Levitin, 2002].

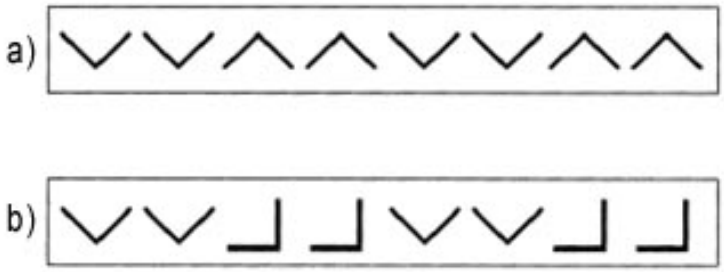


Figura III.9 Graus de Agrupamento. Nem todos os factores produzem agrupamento. Em a) elementos que diferem 180º na sua orientação não produzem um efeito tão pronunciado de agrupamento quanto os elementos em b), que só diferem 45º (adaptado de [Levitin, 2002]).

Outro factor é o do destino comum, Figura III.8f): estando tudo o resto inalterado, os elementos que se movem na mesma direcção tendem a ser percepcionados juntos. De notar que os princípios Destino Comum e Proximidade podem ser considerados casos especiais do agrupamento por semelhança em que as propriedades relevantes são a velocidade e a posição, [Healy, 2003].

Outros princípios envolvendo formas mais complexas são os da Simetria, Paralelismo, Continuidade (ou Boa Continuação), e Fechamento, Figura III.8g), Figura III.8h), Figura III.8i) e Figura III.8j), respectivamente. No caso da Continuidade, os observadores têm a tendência para percepcionar duas linhas que se cruzam, contrariamente a dois ângulos que se tocam num ponto. Para além disso, outro aspecto interessante é que o Princípio de Fechamento se sobrepõe ao da Continuidade, já que ao fecharmos o contorno da figura presente na parte (i), obtendo a representada na parte (j), verificamos que os observadores passam a percepcionar duas formas e não duas linhas que se cruzam, [Healy, 2003].

Ainda relativamente ao Princípio da Continuidade, há que salientar a diferença existente entre continuidade curvilínea e rectilínea, Figura III.10a) e Figura III.10b), havendo uma maior eficácia na percepção de agrupamento para a primeira, como é explicado em [Strother, 2006].

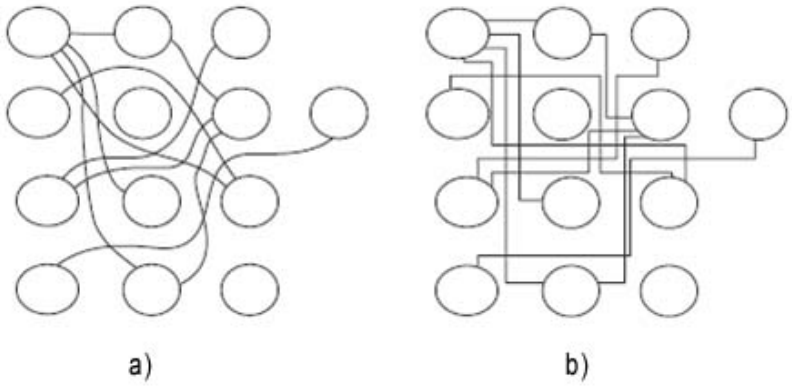


Figura III.10 Princípio da Continuidade. Linhas curvas (a) são mais eficazes do que linhas rectas (b) no agrupamento de elementos. (adaptado de [Ware, 2004]).

Mais recentemente, outros factores de agrupamento, como o Princípio da Região Comum, foram propostos, Figura III.8k), [Palmer, 1992]. Este princípio refere-se ao facto de que, mantendo-se tudo o resto inalterado, os elementos que estão dentro da mesma região fechada de espaço são agrupados juntos. Palmer sugere ainda que regiões mais pequenas dominam áreas maiores, Figura III.11.

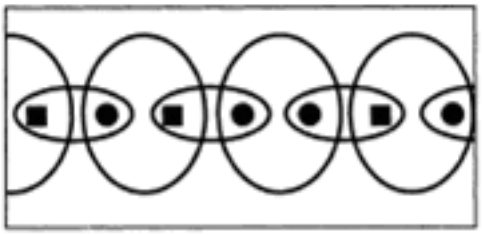


Figura III.11 Princípio da Região Comum. Regiões mais pequenas dominam regiões maiores (adaptado de [Levitin, 2002]).

O Princípio da Ligação Uniforme, [Palmer, 1994b], afirma que regiões ligadas por propriedades visuais como a luminosidade, a cor, a textura ou o movimento, são percepcionadas como uma única unidade. Pode-se verificar através dos exemplos ilustrados na Figura III.12 que este princípio prevalece em relação ao da Proximidade (a), da Semelhança de Cor (b), de Tamanho (c), ou da Forma (d).

Chen argumenta, contudo, em [Han, 1999], que embora o agrupamento obtido através do Princípio da Ligação Uniforme seja percepcionado mais rapidamente do que o por semelhança, o agrupamento por proximidade pode ser igualmente rápido e eficiente.

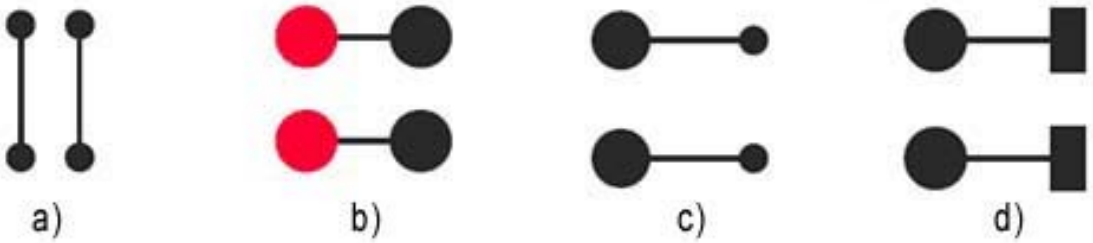


Figura III.12 Princípio da Ligação Uniforme e a sobreposição aos Princípios da Proximidade (a), Semelhança de Cor (b), de Tamanho (c), ou Forma (d) (adaptado de [Ware, 2004]).

Uma diferença importante entre princípios de Proximidade e os de Ligação sugere que os Princípios de Agrupamento podem não ser um conjunto homogéneo, na medida em que deles resultam duas situações:

- Agregação de elementos; e
- Formação de unidades.

A primeira situação engloba os casos em que os princípios de Proximidade, Semelhança, Região Comum, e até em algumas situações o Princípio do Destino Comum, provocam agregações de elementos onde estes mantêm um determinado grau de independência perceptiva, uns em relação aos outros. No segundo caso, outros Princípios de Agrupamento (como a continuidade, a ligação uniforme, e outros casos do Princípio do Destino Comum) podem gerar a percepção de objectos unificados segundo uma estrutura mais coerente, [Levitin, 2002].

Outro factor proposto por Palmer foi o Princípio da Sincronia, Figura III.13, em [Palmer, 2002].

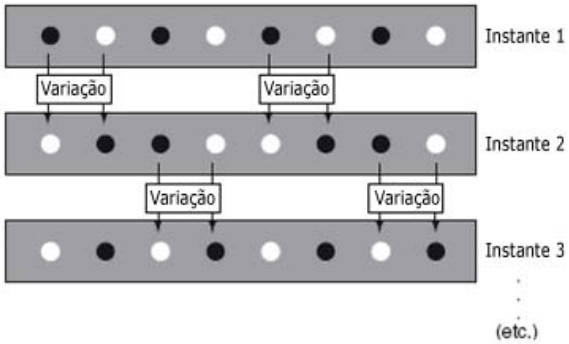


Figura III.13 Princípio de Agrupamento por Sincronia. Tudo o resto mantendo-se igual, objectos que mudam as suas características simultaneamente são percepcionados juntos (adaptado de [Healy, 2003]).

De acordo com o Princípio da Sincronia, mantendo-se tudo o resto igual, eventos visuais que ocorram simultaneamente são percepcionados como estando agrupados juntos. O interessante neste fenómeno, e que o diferencia do Princípio do Destino Comum, é que os elementos são associados apesar de mudarem variáveis diferentes. Ou seja, alguns pontos podem variar a sua luminosidade, outros o seu tamanho, mas se essas variações acontecerem em sincronia, eles são percepcionados juntos.

Apesar dos Princípios de Agrupamento poderem parecer meras curiosidades, Palmer afirma que devem ser considerados muito importantes, na medida em que são eles que determinam os objectos e partes que percepcionamos no ambiente, [Healy, 2003].

O Fenómeno da Camuflagem, que serviu de argumento aos psicólogos da Gestalt para a sua teoria, demonstra o *rationale* ecológico para estes princípios: distinguir os objectos. A camuflagem funciona quando os mesmos processos de agrupamento que fariam um objecto se distinguir do seu ambiente são usados para o tornar invisível: quando cor, textura, forma e tamanho de um objecto são agrupados com o que o circunda. Na natureza, contudo, a camuflagem falha geralmente quando, por exemplo, o animal se move validando o Princípio do Destino Comum, [Levitin, 2002].

- ***Resposta neuronal ao Agrupamento***

Do ponto de vista neurofisiológico, investigadores verificaram que existem neurónios que respondem melhor a imagens que verificam estes Princípios de Agrupamento, Figura III.14.

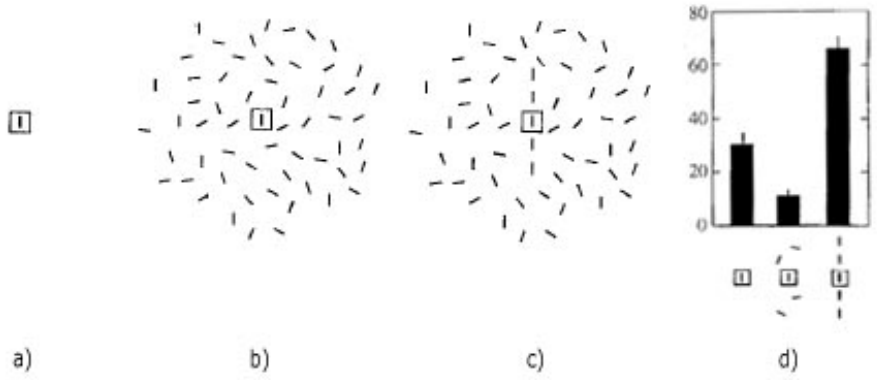


Figura III.14 Resposta neuronal (d) a: (a) uma barra orientada no campo receptivo do neurónio (o quadrado); (b) a mesma barra rodeada de outras barras orientadas aleatoriamente; e (c) a barra quando passa a fazer parte de um grupo de barras verticais, devido aos princípios da Continuidade e Semelhança (adaptado de [Kapadia, 1995]).

Kapadia e os seus colaboradores, em [Kapadia, 1995], demonstraram que as respostas neuronais em situações onde uma barra vertical se alinhava com outras eram substancialmente maiores do que quando envolvida por outras barras aleatoriamente dispostas à sua volta, devido aos princípios da Semelhança e da Continuidade.

Sabe-se hoje que os circuitos corticais, que convertem as medidas locais do contraste da imagem, efectuadas ao nível da retina e do Lateral Geniculate Nucleus[3] (LGN), em representações de orlas orientadas segundo um contexto, são cruciais ao processo da organização perceptiva, [Ross, 2000a]. Embora ainda não seja possível descrever com exactidão como a interacção celular ao nível do córtex visual gera as percepções, está-se a tentar modelar o funcionamento das camadas corticais e as suas relação com os Princípios de Agrupamento. Por exemplo em [Grossberg, 1997; Ross, 2000a], é definido um modelo cortical onde é sugerido como as estruturas laminares, colunares e de mapas, nas áreas V1 e V2, estão organizadas com o propósito do agrupamento perceptivo.

- ***Integração de Múltiplos Princípios de Agrupamento***

Da forma como foram formulados pelos psicólogos da Gestalt, estes Princípios de Agrupamento são regras *ceteris paribus;* ou seja, só prevêem o agrupamento quanto tudo o resto se mantêm igual. Tal também

[3] Ver ponto 2.9.2.3 -.

acontece para os restantes princípios apresentados. A dificuldade destas regras é que não providenciam um esquema geral de integração de conflitos entre factores, isto é, um modo para prever as suas forças combinadas. Daqui resulta que quando dois ou mais factores influenciarem a percepção, o tipo de agrupamento que será percepcionado pode variar, [Healy, 2003].

Na tentativa de quantificar a influência destes princípios, Kubovy e os seus colaboradores têm vindo a desenvolver trabalho nesta área, utilizando malhas de pontos. Os seus resultados, em [Kubovy, 1995], demonstraram que a atracção entre dois pontos diminui em função da distância:

$$f(v) = e^{-\alpha(v/a-1)};$$

onde, *f(v)* é a atracção entre dois elementos em função da distância, *v*, entre eles, *α* é uma constante, e *a* é a distancia mais pequena possível entre um par de elementos.

Em [Boyer, 2000], o mesmo autor propôs que a regra pela qual os vários factores de agrupamento se combinavam era multiplicativa. Já em [Kubovy, 2008], em três experiências, também utilizando malhas de pontos, Kubovy e os seus colaboradores demonstraram que o efeito conjunto dos Princípios de Agrupamento por Proximidade e por Semelhança era igual à soma dos seus efeitos em separado. Estes resultados começam, portanto, já a especificar regras pelas quais podem ser medidos os efeitos dos Princípios de Agrupamento.

Estes princípios também diferem no que concerne à velocidade com que são percepcionados. Apesar destes Princípios de Agrupamento poderem ser considerados processos automáticos, a sua percepção não é uniforme, [Goldstein, 2001]. Bem-Av e Sagi, em [Ben-Av, 1995], demonstraram que o agrupamento por proximidade domina a performance e é mais rápido a ser percepcionado em condições de breve exposição; enquanto que o agrupamento por semelhança é percepcionado mais lentamente e domina a performance durante exposições mais longas.

- ***Níveis a que o Agrupamento opera***

Segundo Palmer, em [Healy, 2003], a proposta feita pelos psicólogos da Gestalt de que o agrupamento perceptivo era um processo que ocorria relativamente cedo no processamento de informação visual tem sido validada por estudos mais recentes, como os de Nessier, em [Neisser, 1967], e de Marr, em [Marr, 1982]. No entanto, resultados experimentais mostraram que o agrupamento é fortemente influenciado pela percepção da profundidade, luminosidade, completação amodal e figuras ilusórias. Estes factos sugerem que, pelo menos uma parte dos processos de agrupamento deverá ocorrer numa fase posterior do processamento de informação visual, [Palmer, 2003].

Adicionalmente, segundo este autor, outros indícios de que os processos de agrupamento ocorrem numa fase mais avançada do processamento da informação visual estão relacionados com a interacção da experiência prévia, Figura III.15.

Figura III.15 Efeitos da experiência prévia na organização perceptiva (retirado de [Levitin, 2002]).

Observadores que nunca tenham visto a imagem da Figura III.15 geralmente vêem-na como um conjunto desorganizado de manchas. No entanto, após terem identificado o Dálmata com a cabeça baixa na rua, dá-se uma reorganização das manchas que, em visualizações posteriores, irá prevalecer. Ou seja, em subsequentes tentativas de agrupamento, o sistema perceptivo terá em conta a informação que dispõe em memória.

Esta visão opõe-se assim à ideia de que os processos de agrupamento apenas ocorrem numa fase de processamento de baixo nível, e defende que, pelo contrário, eles estão presentes durante as várias fases da percepção: primeiro numa fase baseada na imagem, depois ao nível das superfícies e dos objectos, e finalmente, na fase onde está envolvida a categorização, [Levitin, 2002].

3.2.3.3 - Segmentação de Regiões

A segmentação de regiões consiste na partição de uma imagem num conjunto exaustivo de áreas mutuamente exclusivas; e sendo o objectivo da organização perceptiva o de construir uma hierarquia de partes, objectos e grupos, a partir de uma imagem, então este processo tem de ser um dos primeiros processos a ser realizado, [Healy, 2003].

Como descrito no ponto 3.2.2 -, Rock e Palmer sugerem que a segmentação é determinada pelo Princípio Organizacional da Ligação Uniforme. No entanto, outra abordagem possível à segmentação de regiões é a que se inicia pela detecção de orlas de luminosidade. Sempre que estas orlas definam um contorno fechado, elas formam uma região. Esta ideia vai ao encontro do que se sabe relativamente às primeiras etapas do processo perceptivo, e que corresponde à extracção de características a partir de padrões de luz, nomeadamente, o funcionamento das células ganglionares, e a existência de detectores de características no córtex visual.

A Figura III.16 é uma ilustração destas duas abordagens implementadas através de dois algoritmos de segmentação de imagem.

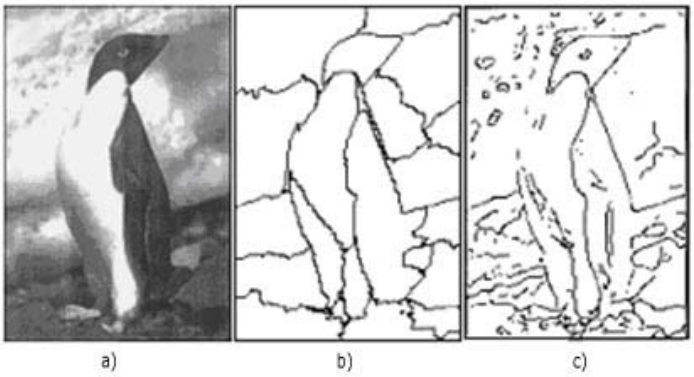


Figura III.16 Uma imagem em escala cinza de um pinguim (a); uma segmentação regional utilizando o algoritmo de normalização de Malik (b); e o resultado do algoritmo de detecção de orlas de Canny (c) (retirado de [Healy, 2003]).

No caso do algoritmo de "cortes normalizados" de Malik, em [Malik, 2001], Figura III.16b), são obtidas regiões fechadas. Sendo que a imagem foi dividida num possível conjunto de regiões uniformemente ligadas. Na Figura III.16c), a imagem obtida representa uma segmentação da imagem obtida a partir de um algoritmo de detecção de orlas de luminosidade, [Canny, 1986].

- ***Segmentação de Texturas***

Um caso especial de segmentação de regiões é a segmentação de texturas. Este tipo de segmentação não distingue duas regiões pelos valores da sua luminância, mas pelas diferenças nas suas texturas.

Um aspecto importante, relativamente a esta segmentação é que as regiões determinadas não têm necessariamente origem nas semelhanças individuais dos elementos que as constituem, Figura III.17. Embora exista uma maior semelhança entre os T's (há entre eles apenas uma rotação), comparativamente aos L's, é entre eles que se gera uma separação mais evidente. Tendo em conta este facto, pensa-se que a segmentação de texturas resulta da detecção de diferenças na densidade de características, ou seja, o número de

características por unidade de área, para atributos simples como a orientação, luminosidade, cor, forma e movimento, [Healy, 2003].

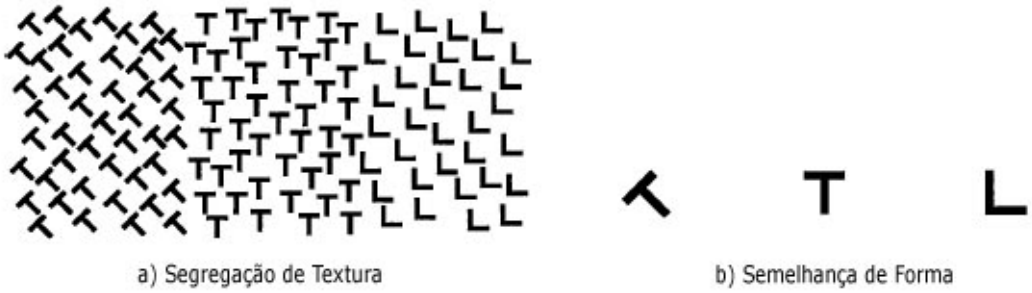


Figura III.17 A separação é mais evidente entre os T's inclinados e os totalmente verticais (a), do que entre estes últimos e os L's; Mas relativamente à semelhança dos elementos individualmente b), é maior a diferença entre os T's e os L's (adaptado de [Healy, 2003]).

Na Figura III.18 estão representados dois exemplos directamente ligados a esta noção de densidade. O primeiro, Figura III.18a), e Figura III.18b), proposto por Slocum, em [Slocum, 1983], designa-se por Princípio da Concentração Espacial. Segundo este princípio, quanto maior for o número de objectos numa dada área, maior será a tendência para serem percepcionados como um aglomerado (*cluster*). Assim, os aglomerados 1 e 2 terão uma maior tendência a ser percepcionados juntos, em comparação aos indicados pelos números 3, 4 e 5. Note-se que este princípio difere do Princípio da Proximidade, proposto pela Gestalt. No caso da Figura III.18b), o ponto circunscrito pelo círculo vermelho está à mesma distância dos que lhe estão abaixo e no entanto é percepcionado como pertencente ao aglomerado superior de pontos.

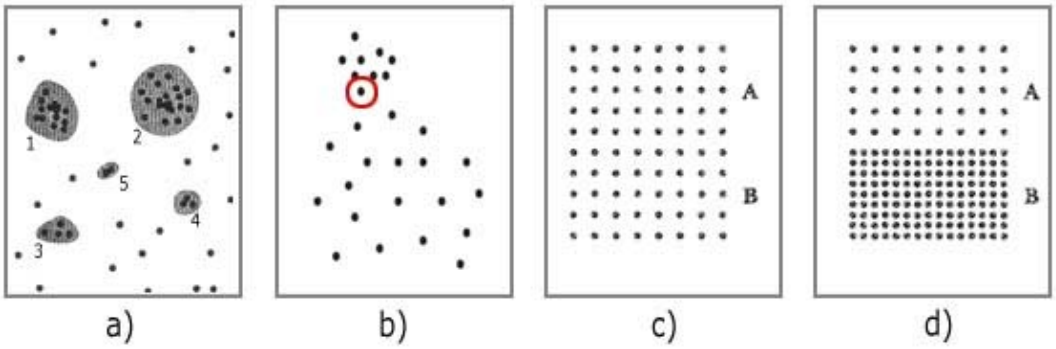


Figura III.18 Princípio da concentração espacial (a): quanto maior for o número de objectos numa dada área, maior será a tendência para serem percepcionados com um aglomerado; (b) embora o ponto destacado a vermelho esteja à mesma distância dos dois pontos que estão localizados abaixo dele, é percepcionado como pertencendo ao aglomerado superior de pontos; (c), (d) pontos com densidades iguais são percepcionados juntos (adaptado de [Ware, 2004] (b); e de [Sadahiro, 1997] (a),(c),(d)).

O segundo factor está representado nas partes (c) e (d) da Figura III.18 e é um exemplo de como a densidade espacial provoca discriminação entre grupos de pontos, [Sadahiro, 1997]. Este aspecto da densidade foi estudado por Beck, em [Beck, 1972], e também mais tarde por Julesz, em [Julesz, 1981, 1986], que propôs a existência de determinadas características texturais simples a que chamou de *textons*, cujas propriedades seriam detectadas de um modo pré-attentivo.[4] Mais recentemente, Ware articulou esta ligação entre unidades texturais e a neurofisiologia, com o conceito de grafema (*grapheme*), em [Ware, 2004]. Segundo este autor, um grafema é uma unidade primitiva em termos visuais, suportada pela noção de que determinados neurónios no córtex visual respondem melhor ao estímulo ou padrão para o qual estão programados, [Ware, 1995].

Do ponto de vista neurofisiológico, Julesz afirmou que os *textons* eram semelhantes às características para as quais as células do córtex visual estavam preparadas para responder. De facto, estudos electrofisiológicos em macacos e em humanos mostraram que os mecanismos relativos à segmentação de

[4] Ver ponto 4.2.3.9 -.

texturas estão provavelmente ligados a uma fase inicial do processamento cortical, [Kastner, 1997; Gallagher, 2003]. Mais concretamente, estes neurónios possuem determinadas características de filtragem da orientação e do tamanho, em cada ponto do campo visual; e apenas respondem a mudanças de luminância, [Ware, 2004].

Um fenómeno que demonstra as propriedades destes neurónios são as alterações verificadas na tarefa de segmentação de texturas devido à utilização da cor, Figura III.19.

Figura III.19 A detecção de uma fronteira de textura, num contexto monocromático (a); e após a adição de cor à textura (b). Verifica-se que no segundo caso a saliência da fronteira é menor (adaptado de [Itti, 2005]).

Ao introduzir cor na textura representada na Figura III.19a), provoca-se um aumento da resposta nas células que estão programadas para responder à cor. Esta resposta submerge a reacção das células afinadas para a orientação, daí que a tarefa de segmentação seja mais difícil de efectuar na Figura III.19b), porque, como é possível verificar, a saliência da fronteira é muito menos evidente do que no contexto monocromático, [Itti, 2005].

3.2.4 - Organização Figura/Fundo

A integração e segregação de contornos, grupos e regiões não são suficientes para a percepção da forma, porque algumas regiões são percepcionadas como sendo fundos transparentes, [Goldstein, 2001]. Assim, e uma vez que os objectos estão fisicamente delimitados por contornos, o sistema visual precisa extrair do estímulo informação que permita organizar as relações entre os objectos existentes na imagem.

Determinar quais regiões são figura e quais são fundo é um importante processo visual, porque as cenas visuais quotidianas contêm vários objectos que se sobrepõem e que se ocultam frequentemente, [Vecera, 2002]. Deste modo, aquilo que se pode chamar de uma ordenação em profundidade deve ser considerada como um factor chave na organização perceptiva, [Ramachandran, 2002].

Sempre que duas regiões partilham um contorno, dois resultados são possíveis: ou o contorno é atribuído a uma das regiões, ficando a outra sem contorno, e neste caso temos um caso de segregação Figura/Fundo; ou, o contorno é atribuído a ambas as regiões, e temos um caso de segregação Figura/Figura. Na primeira situação a região à qual é atribuído o contorno (a figura) é percepcionada como estando mais próxima e ocultando partes do fundo, Figura III.20a); no segundo caso, ou ambas as figuras aparecem no mesmo plano, Figura III.20b); ou são vistas estando inclinadas em profundidade, Figura III.20c), [Goldstein, 2001].

Figura III.20 Exemplos de organização Figura/Fundo e Figura/Figura. Contorno atribuído à figura negra, sendo esta vista mais perto do que o fundo branco (a); contornos partilhados (b); contornos percepcionados em perspectiva (c). O contorno crítico significa a junção de duas faces de um cubo (adaptado de [Goldstein, 2001]).

Relativamente à caracterização destas duas entidades, Rubin, em [Yantis, 2001], afirma que a figura prevalece em vários aspectos sobre o fundo. Refere que a figura, sendo mais impressionante, domina a consciência, resultando deste facto que, para atitudes naturais imediatas, a figura e as suas características são melhor recordadas. Segundo o autor, esta situação ocorre devido ao facto de os observadores estabelecerem

mais rapidamente relações de significado com a figura do que com o fundo. Estas relações, afirma ainda, são geralmente baseadas na semelhança entre a figura e algo em particular, como por exemplo, objectos conhecidos.

- ***Princípios de organização figura fundo***

Exemplos criados em laboratório, como os da Figura III.21, mostram que o nosso sistema perceptivo usa determinadas regras para resolver problemas relativos à distinção de fronteiras. A dificuldade que é colocada ao sistema perceptivo humano é também ilustrada pela Figura III.22(1), onde a organização da região central é ambígua.

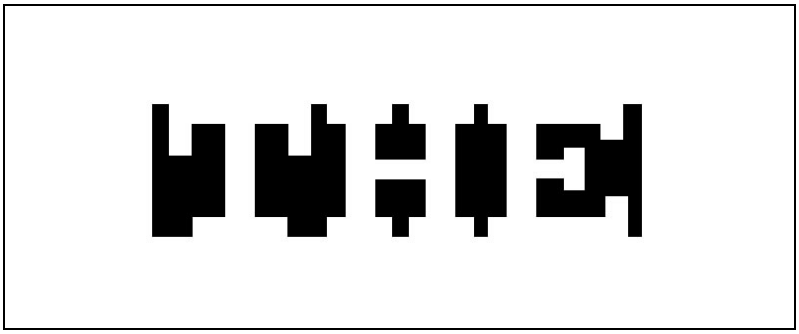


Figura III.21 A robustez das regras de segregação perceptiva. Observadores que nunca tenham visto esta figura percepcionam-na como sendo seis blocos negros; no entanto, se esta organização Figura/Fundo for percepcionada para que os espaços em branco entre os blocos sejam vistos como figura, a palavra "THE" surge evidente (adaptado de [Boff, 1986]).

O sistema visual possui preferências nítidas no que concerne à percepção de determinadas regiões como sendo figuras, [Healy, 2003]. Relativamente a este tipo de problemas, os psicólogos da Gestalt também identificaram vários factores determinantes, Figura III.22. Estes princípios são, tal como os Princípios de Agrupamento, regras *ceteris paribus*, não conseguindo prever resultados perceptivos quando dois factores entram em conflito, [Wilson, 1999]. Assim, mantendo-se tudo o resto inalterado, as áreas: envolvidas, mais pequenas, com maior contraste, mais convexas, ou simétricas, tendem a ser vistas como figura. Quanto a estas duas últimas sabe-se inclusive que a convexidade suplanta a simetria, [Bertamini, 2008].

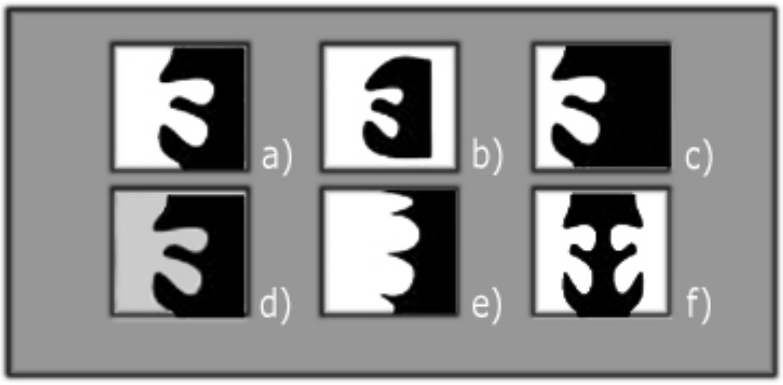


Figura III.22 Figura ambígua em termos de organização figura/fundo (1); Princípios de organização figura fundo: envolvência (2); tamanho (3); contraste (4); convexidade (5); e simetria (6) (adaptado de [Wilson, 1999]).

Vários estudos mais recentes têm vindo a mostrar a relevância destes factores, bem como a existência de outros; nomeadamente: orientação vertical-horizontal, região inferior, em [Vecera, 2002]; contornos paralelos e significância, [Peterson, 1991]; e atenção voluntária, [Driver, 1996].

Do ponto de vista fisiológico, neurónios que respondem às características Figura/Fundo têm sido encontrados em várias áreas do córtex, [Zhou, 2000]. Em particular na zona V1. Segundo Goldstein, em [Goldstein, 2007], o facto de os neurónios existentes nesta zona não possuírem grandes campos receptivos não os faria candidatos a este tipo de processamento de contexto. Daí que seja sugerido que este feito seja conseguido com o auxílio de mecanismos de *feedback*, onde impulsos provenientes de outras zonas do córtex influenciam a resposta dada em V1. A este mecanismo dá-se o nome de modelação contextual e, como é referido em [Lamme, 2000], traduz-se numa alteração das propriedades de sintonia dos neurónios devido a informação

de processamento recebida de outras áreas. O estudo de Peterson, em [Peterson, 1994], aliás, demonstra que as memórias relativas a objectos interferem na detecção Figura/Fundo.

Recentemente, um modelo computacional foi proposto por Domijan e Šetić, em [Domijan, 2008], baseando-se na interacção dos sistemas ventral e dorsal. De acordo com os autores, este modelo explica como os processos *Bottom-up* e *Top-down* são combinados numa percepção unificada de figura e fundo, distinguindo correctamente a figura do fundo, verificando os princípios de maior contraste, convexidade, tamanho mais pequeno, frequência espacial mais elevada, região inferior, e também a influência dos processos atencionais.

3.2.5 - Interpolação visual

Um outro conjunto de mecanismos incluídos no processamento de informação visual são os mecanismos através dos quais o sistema visual infere acerca organização da cena visual.

Pessoa, em [Pessoa, 1998], faz uma revisão destes fenómenos, dividindo-os em duas categorias: exemplos de completação de orlas (contornos ilusórios), e completação de características (cor, luminosidade, movimento, textura e profundidade).

Do ponto de vista da interacção com processos de alto nível, Barsalou clarifica que, apesar de alguns fenómenos serem em grande medida independentes da memória, sendo explicados por mecanismos de processamento sensorial de baixo nível, outros dependem dela de forma substancial, [Barsalou, 1999].

3.2.5.1 - Completação Amodal

A completação amodal ocorre quando duas linhas ou orlas, ocultas por uma superfície, são percepcionadas com estando ligadas, [Goldstein, 2001]. Diz-se amodal uma vez que não existe experiência directa da parte oculta por nenhuma modalidade sensorial, [Healy, 2003].

Ao visualizar os elementos ilustrados na Figura III.23a) o que é percepcionado é um círculo negro inteiro, Figura III.23b). Note-se que a percepção desta configuração é logicamente indeterminada, uma vez que outras configurações seriam possíveis: Figura III.23c), d) e e). Também na Figura III.23(2) é possível verificar a ocorrência deste fenómeno, desta vez interagindo com o Princípio de Fechamento.

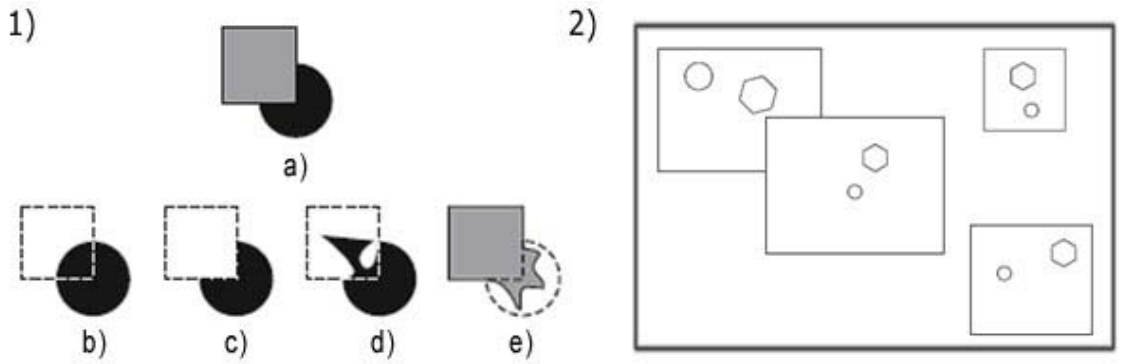


Figura III.23 Imagem (1a) que é percepcionada amodalmente como sendo um círculo oculto por um quadrado (b); em vez das alternativas possíveis: um quadrado e três quartos de círculo (c); ou outras formas ocultas: (d) e (e); Interacção entre o Princípio de Fechamento e a completação amodal (2) (adaptado de [Palmer, 1999] (1); e [Ware, 2004] (2)).

O sistema perceptivo parece assim ter fortes preferências acerca de como completar objectos parcialmente oclusos. Segundo Palmer, em [Healy, 2003], as explicações para este facto baseiam-se em pelo menos três argumentos distintos: frequência de experiência prévias; simplicidade; e provas ecológicas.

A primeira possibilidade é que o sistema visual responde tendo em conta a familiaridade das formas visualizadas. Uma vez que os círculos são provavelmente mais frequentes que quartos-de-círculo é possível que expliquem a preferência do sistema visual por essa configuração.

A segunda hipótese é baseada na ideia de *Pragnanz* proposta pelos psicólogos da Gestalt. Segundo esta ideia, a configuração escolhida pelo sistema perceptivo será a que resulte da interacção das figuras mais simples.

Uma terceira explicação é a que apela directamente a provas ecológicas da existência de oclusões. A este respeito Kellman, em [Kellman, 1991], propôs uma teoria de relacionamento de contornos; Nakayama, em

[Kosslyn, 1995], propôs uma teoria baseada em superfícies; e Tse, em [Tse, 1999]; propôs uma abordagem baseada em volumes, que explica situações que as duas primeiras não conseguem explicar.

3.2.5.2 - Contornos ilusórios

Contornos Ilusórios, ou subjectivos, são contornos que são percepcionados apesar de não existir nenhum contorno definido explicitamente, [Goldstein, 2001]. O triângulo de Kanizsa é um exemplo clássico deste tipo de fenómeno, Figura III.24.

Figura III.24 Triângulo de Kanizsa (retirado de [Pessoa, 1998]).

Relativamente este tipo de fenómenos, Grosseberg propôs que os contornos são completados por um processo automático, pré-attentivo, rápido, que por sua vez interage numa segunda fase com factores aprendidos, [Grossberg, 1985].

3.2.5.3 - Transparência

A percepção da transparência depende de condições espaciais e de cor. Em *displays* simples a transparência depende da boa continuidade e do rácio de tons de cinza dos diferentes elementos da imagem, [Ware, 2004]. Quando isto acontece, um fenómeno denominado "divisão da cor" ocorre e as cores da superfície translúcida são percepcionadas como sendo a combinação da cor do fundo com a da superfície translúcida, Figura III.25a), [Healy, 2003].

A divisão de cor não ocorre, contudo, se a superfície translúcida estiver localizada apenas numa região, Figura III.25b); se for violada/enfraquecida a sua unidade, Figura III.25c) e d); ou se não cumprir com as proporções adequadas de cor, Figura III.25e). A este respeito Metelli, em [Metelli, 1974], definiu de forma precisa as condições necessárias à percepção da transparência.

Do ponto de vista da utilização da transparência na visualização de dados, Ware alerta para o facto de o conteúdo das diferentes camadas interferir na sua percepção, podendo mesmo resultar na sua fusão perceptiva. A utilização de diferentes canais visuais (cor, textura, movimento e informação estereoscópica de profundidade) pode minimizar estes efeitos, [Ware, 2004].

3.3 - Identificação de objectos

Como é referido no ponto 2.3 -, onde são descritas as fases do processo perceptivo, a etapa que sucede à percepção consciente propriamente dita, é a etapa de identificação, ou reconhecimento, do objecto perceptivo. São abordados em seguida apenas alguns aspectos relativos a esta fase, tendo em conta a sua relevância para o estudo subsequente da visualização de informação crítica. O objectivo, neste momento, é somente o de identificar o contexto onde ocorrem os processos de mais alto nível descritos posteriormente.

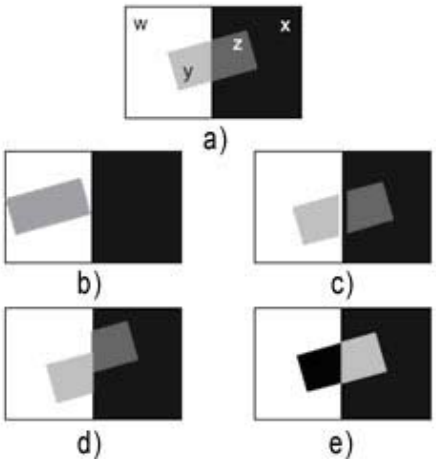


Figura III.25 A percepção da transparência. Verifica-se (a); ou não, porque: a figura se encontra em apenas numa região (b); não verifica o principio da boa continuidade (c) e (d); e não verifica as proporções adequadas de cor (e) (retirado de [Healy, 2003]).

3.3.1 - Teorias de Identificação

Após uma imagem ter sido organizada numa hierarquia Parte/Todo e as superfícies ocultas completadas, os objectos perceptivos definidos terão que ser identificados ou categorizados, com o provável objectivo de lhes ser atribuída uma função, [Healy, 2003]. O processo de identificação de um objecto consiste, neste sentido, em estabelecer uma relação entre a informação sensorial e o conhecimento do observador, [Levitin, 2002]. Ou seja, é a fase onde ocorre a atribuição de significado.

Segundo Uttal, em [Ramachandran, 2002], a questão do reconhecimento, enquadrada no domínio da percepção visual, subdivide-se em duas etapas:

1) Transformação e representação da imagem numa forma adequada à segunda fase;
2) Comparação ou análise que permita que um conceito, nome ou categoria seja associado a essa imagem.

Desta forma, é portanto possível identificar dois problemas: o da representação e o da associação.

Conceptualmente, a resolução destes problemas por teorias de identificação de objectos, segundo Palmer, em [Healy, 2003], requer quatro componentes básicos:

1) Representação do objecto – onde as características relevantes do objecto têm de ser necessariamente representadas.
2) Representação de categoria – onde cada uma das categorias possíveis deve ser representada em memória;
3) Processo de Comparação – onde são associadas as representações dos objectos com as categorias possíveis;
4) Processo de Decisão – que usando os resultados do processo de comparação, determina a que categoria um dado objecto pertence.

As teorias de identificação de objectos procuram, assim, explicar de que forma os objectos são percepcionados como pertencendo a classes funcionais conhecidas. Várias abordagens têm sido dadas a este problema, ver, por exemplo, [Peissig, 2006].

Particularmente complexos são os aspectos relativos à representação da forma. Quanto a este aspecto, de uma maneira geral, as teorias de identificação de objectos dividem-se em três categorias principais, [Palmer, 1999]:

1) Modelos;
2) Listas de características;
3) Descrições estruturais.

São aqui apenas descritas as características gerais de cada uma dessas teorias, uma vez que uma análise mais exaustiva não se enquadra nos objectivos deste trabalho.

As teorias de Modelos (*Template Theories*) afirmam que a identificação de objectos é efectuada através de uma correspondência entre o estímulo sensorial e representações armazenadas em memória, sob a forma de

modelos indexados. Estas teorias nunca foram consideradas seriamente porque, antes sequer de serem levantados outros problemas, não parece logicamente possível que a memória consiga reter modelos para todos os padrões que podemos normalmente reconhecer, [Ramachandran, 2002].

As Teorias de Características (*Feature Theories*) postulam que o sistema visual analisa e representa informação sensorial em abstracto, através de unidades de informação primitivas chamadas atributos. Representam uma abordagem mais realista ao reconhecimento de objectos porque vão ao encontro das provas que o trabalho de Hubel e Wisel, em [Hubel, 1978], ao especificarem os detectores de características, [Boff, 1986]. A maior dificuldade destas teorias é o facto de não definirem a estrutura do objecto. Um objecto não é apenas um conjunto de atributos, mas sim um conjunto *organizado* de atributos. Foi exactamente isso que a teoria da Gestalt demonstrou: ao atribuir importância à organização da informação e não apenas ao conteúdo como factor determinante da experiência perceptiva, [Boff, 1986].

As descrições estruturais são representações que podem ser consideradas uma extensão das listas de características. Geralmente contém três tipos de informação, [Healy, 2003]:

1) Propriedades;
2) Partes;
3) Relações entre as partes.

Os modelos de descrição estrutural propõem que o reconhecimento visual é baseado em partes tridimensionais centradas no objecto. Deste modo, a performance visual é essencialmente independente do ponto de vista. Surgiram, no entanto, ainda modelos baseados em vistas como uma alternativa a estes modelos descrição estrutural. Estes modelos propõem que os objectos são representados a partir das condições de visualização originais, [Peissig, 2006].

3.3.2 - Modelo de Identificação

No Capítulo II foi também referido que seria tentador agrupar as fases "percepção" e "identificação" numa única etapa, mas que tal não corresponderia à realidade, uma vez que actualmente é possível afirmar a existência destas duas fases; nomeadamente, através de estudos em pessoas com agnosia visual. Na realidade, estudos sugerem que a organização perceptiva envolve uma multiplicidade de processos, alguns dos quais mais simples, como a colinearidade; e outros mais complexos, como o fechamento e a formação de formas, [Behrmann, 2003]. A agnosia visual traduz-se na incapacidade de um indivíduo reconhecer objectos visualmente, ainda que o seu sistema perceptivo visual, a sua inteligência, e articulação de linguagem, se encontrem relativamente normais. Ou seja, apesar de não conseguir atribuir um nome aos objectos, consegue distinguir a sua estrutura. Esta desordem divide-se, tradicionalmente, em dois tipos, [Eysenck, 2005]:

1) Agnosia Aperceptiva – o reconhecimento de objectos está limitado devido a défices no processamento perceptivo;
2) Agnosia Associativa – os processos perceptivos estão intactos, mas existem problemas no acesso ao conhecimento existente em memória.

Riddoch e Humphreys, em [Rapp, 2001], propuseram um modelo hierárquico de reconhecimento de objectos, baseado nos diferentes tipos de agnosia, Figura III.26. Através deste modelo podem ser identificados cinco processos distintos:

1) Agrupamento de orlas por colinearidade: fase inicial de processamento em que as orlas dos objectos são processadas;
2) Agregação de características em formas: as características extraídas dos objectos são combinadas em formas;
3) Normalização de vistas: processo onde é resolvido problema da invariância de ponto de vista, isto é, a capacidade que o sistema perceptivo tem de reconhecer um mesmo objecto visto de diferentes ângulos de observação;
4) Descrição estrutural: fase onde o indivíduo acede ao conhecimento acerca da descrição estrutural dos objectos;
5) Sistema semântico: fase final do processo de reconhecimento que envolve o acesso à informação semântica relevante a um dado objecto.

Embora seja um modelo simplificado, na medida em que não contempla as ligações de *feedback* entre os vários sistemas, descreve adequadamente as principais etapas envolvidas na identificação de objectos, [Eysenck, 2005].

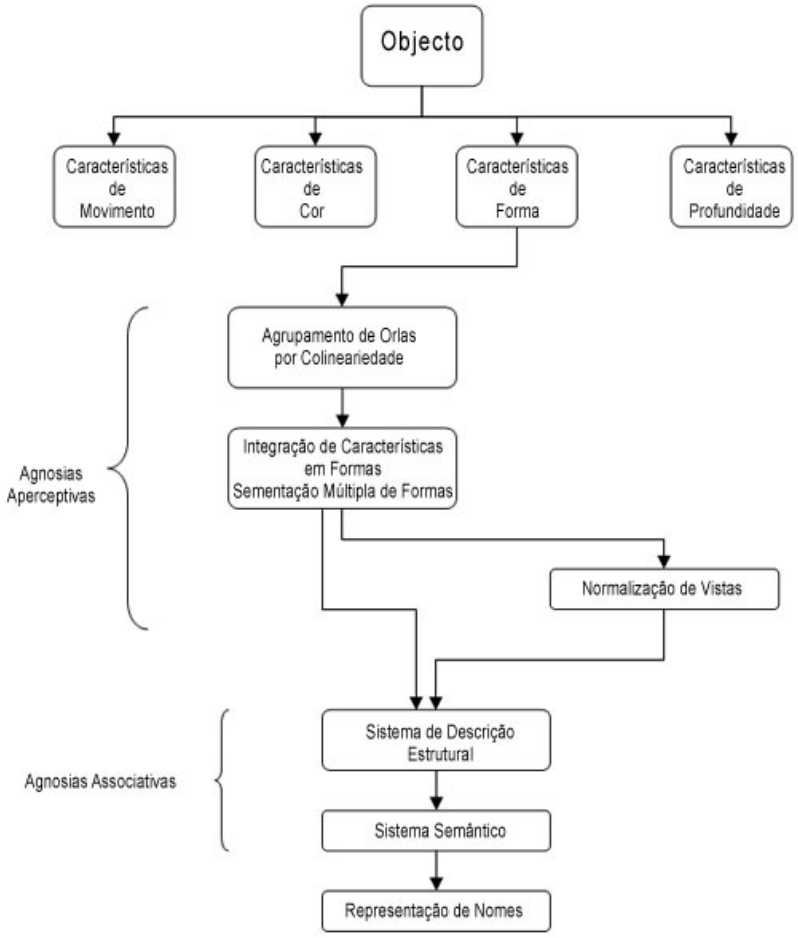


Figura III.26 Modelo hierárquico da identificação e nomeação de objectos (adaptado de [Rapp, 2001]).

3.3.3 - Inteligência Perceptiva

Antecipando a descrição mais pormenorizada das relações entre os fenómenos perceptivos e o conhecimento, que será efectuada subsequentemente, far-se-á neste ponto uma breve referência à inteligência perceptiva.

3.3.3.1 - Princípio da probabilidade

A noção de inteligência perceptiva não é recente. Hemholtz, e a sua teoria da inferência inconsciente, já abordada no ponto 3.2.1.3 -, focam exactamente este aspecto perceptivo. Segundo o corolário dessa teoria, a percepção da Figura III.27 é determinada pelo Princípio da Probabilidade (*Likelihood Principle*). Este princípio afirma que o que é percepcionado pelo observador é o objecto que é mais provável causado o padrão de estímulos recebido pelo sistema sensorial, [Goldstein, 2007].

Figura III.27 Ao contrário do que sugeriram os psicólogos da Gestalt com o Princípio da Pragnanz, Helmhotz atribuía a percepção desta figura determinada pelo Princípio da Probabilidade (retirado de [Palmer, 1999]).

3.3.3.2 - Efeitos contextuais

De acordo com McClelland *et al,* em [Levitin, 2002], o que torna os humanos particularmente eficientes no processamento de informação natural é o facto de o cérebro humano possuir uma arquitectura computacional optimizada para lidar com a ambiguidade. As tarefas naturais requerem o tratamento simultâneo de muitas partes de informação, cada uma delas, ambígua e especificada de modo imperfeito. No entanto, cada parte é determinante para o resultado final do processamento; e uma dessas partes é a informação de contexto.

Um fenómeno de inteligência perceptiva, directamente relacionado com a identificação objectos, é o efeito da informação contextual. Embora a identificação de um objecto seja influenciada por vários efeitos relacionados mais especificamente com a visão tridimensional (tipicalidade, perspectiva, tamanho, posição, orientação e partes visíveis) também pode ser influenciada por factores contextuais: o *array* espacial de objectos que rodeia o objecto alvo, [Healy, 2003].

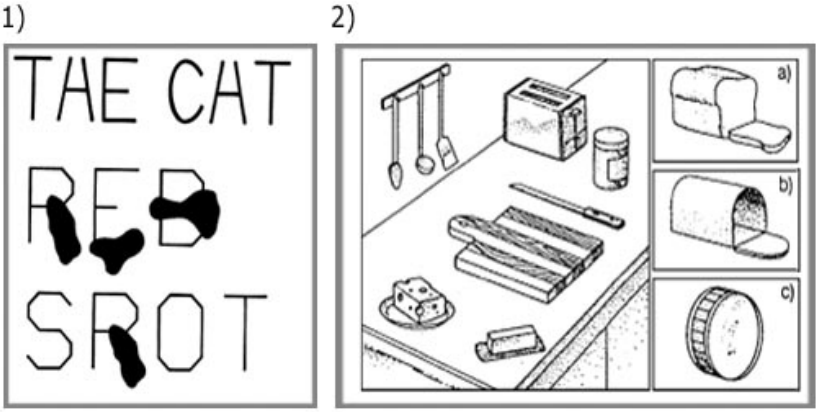


Figura III.28 Efeitos contextuais. Embora existam outras possibilidades, o sistema perceptivo geralmente identifica a frase "THE CAT", "RED" e "SPOT" (1); estímulos utilizados numa experiência para determinar a influencia contextual (2) (adaptado de [Levitin, 2002] (1); [Healy, 2003] (2)).

A Figura III.28 ilustra dois exemplos de como o sistema perceptivo é afectado pela informação de contexto. No primeiro caso, Figura III.28(1), estão representadas três sequências de letras ambíguas. Verifica-se que o sistema perceptivo tem a tendência a percepcionar determinadas palavras apesar de existirem outras possibilidades perceptivas equivalentes, em [Levitin, 2002].

No segundo caso, Figura III.28 (2), estão representados os estímulos utilizados por Palmer num conjunto de experiências, em [Palmer, 1975]. Uma das experiências consistia na apresentação da imagem onde está representado um balcão de cozinha, seguida de três estímulos possíveis: (a) um estímulo apropriado (um pão de forma); (b) um estímulo ambíguo (uma caixa de correio); e (c) um estímulo inapropriado (um tambor). Verificou-se que, quando são previamente visualizados contextos apropriados, ocorre mais facilmente uma correcta categorização dos objectos.

3.4 - Sumário

Neste capítulo analisaram-se os problemas da organização e identificação perceptiva. O problema da organização perceptiva diz respeito à forma como os estímulos são integrados pelo sistema perceptivo de modo a darem origem a uma percepção consciente do meio ambiente e dos objectos que o constituem; ou seja, como é seleccionada uma organização, face às várias possíveis. No estudo deste problema, procurou-se seguir a proposta de Palmer, em [Healy, 2003], de que devem ser analisadas:

- As variáveis críticas do estímulo;
- A importância dessas variáveis na organização perceptiva;
- As operações de processamento que estão envolvidas na extracção dessas variáveis;
- Os mecanismos fisiológicos estão envolvidos nessas operações.

Começou-se por estabelecer que o problema da organização perceptiva tem origem na ambiguidade do estímulo visual, constatada, por exemplo pelas figuras multiestáveis. A multiestabilidade permite não só verificar que existem regras perceptivas como também permite demonstrar a sua flexibilidade.

Foram apresentadas as principais teorias de organização perceptiva e salientaram-se os Princípios da Probabilidade (o estímulo organizar-se-á no objecto mais provável ou evento no ambiente, consistente com os dados sensoriais); e *Pragnanz* (o estímulo organizar-se-á do modo mais simples possível). Foi sublinhada a ideia, proposta pelos Gestaltistas, de que o cérebro está estruturado para lidar directamente com as propriedades do estímulo, e que organizou as suas representações dos estímulos para torná-las melhores; concepção expressa no argumento da Dissertação.

Destacaram-se duas formas de quantificar a ideia de *Pragnanz*: através do conceito de redundância: "bons padrões" provêm de uma classe pequena, traduzindo-se em pouca variabilidade de interpretação; e através do conceito de Unidades de Informação: quanto menor o número de unidades, melhor a figura.

Foi descrito um modelo de organização perceptiva onde se incluem os quatro processos organizacionais básicos: Segmentação de Regiões, Organização Figura/Fundo, Agrupamento e *Parsing*.

Analisaram-se os fenómenos de Agrupamento Perceptivo; nomeadamente, os Princípios de Proximidade, Semelhança, Paralelismo, Continuidade (ou Boa Continuação), e Fechamento. Também são focados o Princípio da Ligação Uniforme, e o Princípio da Região Comum, propostos por Palmer e Rock, que sugerem a existência de uma diferença importante entre princípios de Proximidade e os de Ligação, na medida em que deles resultam duas situações:

1) Agregação de elementos; e
2) Formação de unidades.

Estas regras de agrupamento surgiram a partir da constatação de que alguns elementos no campo visual são agrupados preferencialmente de um determinado modo. O estudo destas regras ou princípios é de extrema importância para a visualização de informação, na medida em que são eles que vão permitir a definição de estratégias de representação de informação compatíveis, ou não, com o funcionamento do sistema perceptivo humano. Salientou-se, no entanto, o facto dos Princípios de Agrupamento serem regras *ceteris paribus,* acontecendo o mesmo para os restantes princípios apresentados. O que resulta na dificuldade de prever o efeito da combinação destes princípios. Apresentam-se algumas tentativas de resolução deste problema:

- Relativamente ao Princípio da Proximidade, por exemplo, existem indicações que a atracção entre dois pontos diminui em função da distância; e relativamente à Proximidade e Semelhança estudos indicam que a sua combinação é igual soma dos seus efeitos em separado.
- Relativamente à velocidade de percepção – o agrupamento por proximidade domina a performance e é mais rápido a ser percepcionado em condições de breve exposição; enquanto que o agrupamento por semelhança é percepcionado mais lentamente e domina a performance durante exposições mais longas.

Quanto à fase em que estes processos ocorrem, existem evidências de que pelo menos uma parte dos processos de agrupamento deverá ocorrer numa fase posterior do processamento de informação visual, em particular em interacção com processos de memória.

Foram também focadas a segmentação de regiões e texturas, sendo introduzindo o conceito de Densidade de Características e o Princípio da Concentração Espacial enquanto factores de agrupamento.

Destacou-se a explicação ao nível neurofisiológico de um fenómeno de interferência através de um exemplo de como a interacção de características visuais provoca interferência nas respostas neuronais, resultando, em termos perceptivos, numa dificuldade em detectar fronteiras texturais.

Foram também focados os Princípios de organização Figura/Fundo: igualmente regras *ceteris paribus* que determinam que as áreas: envolvidas, mais pequenas, com maior contraste, mais convexas, ou simétricas, tendem a ser vistas como figura, sendo que quanto a estas duas últimas sabe-se inclusive que a convexidade suplanta a simetria.

Relativamente à completação amodal, sublinhou-se que o sistema perceptivo também parece ter fortes preferências acerca de como completar objectos parcialmente oclusos.

Foi apresentada, recorrendo ao uso da transparência na visualização de dados como exemplo, a ideia de que devem ser utilizados diferentes canais visuais (cor, textura, movimento e informação estereoscópica de profundidade) como forma de minimizar efeitos de interferência. Conceito extremamente importante e que será

explorado na fase de implementação reccorendo a um canal visual que não é actualmente utilizado na visualização de informação radar.

Afastando o foco dos processos sensoriais, foi abordado o problema da identificação perceptiva. Foram sinteticamente apresentadas as principais teorias de identificação de objectos (Modelos, Características e Descrições estruturais) já que é através delas que se tenta explicar de que forma os objectos são percepcionados como pertencendo a classes funcionais conhecidas. Esse processo de identificação de um objecto consiste em estabelecer uma relação significativa entre a informação sensorial e o conhecimento do observador, sendo possível identificar dois problemas: o da representação e o da associação. Foi também apresentado um modelo de identificação de objectos que permite definir as várias etapas do processo de identificação de objectos.

Finalmente, no último ponto, foi abordada a temática da inteligência perceptiva no qual foi salientada a influência dos factores contextuais na percepção.

Capítulo IV

Factores de Performance e Características Visuais

4.1 - Introdução

A premissa principal sobre a qual assenta esta Dissertação é a de que os recursos cognitivos são limitados e que o custo cognitivo do conhecimento deve ser minimizado através da utilização de visualizações adequadas. Esta ideia pode ser expressa através do conceito de compatibilidade, numa perspectiva do *design* de sistemas, centrada nos factores humanos.

Segundo Ware, em [Ware, 2004], existem fundamentalmente duas formas através das quais as visualizações podem servir de suporte cognitivo: na execução de buscas visuais e como extensão de memória. No primeiro caso, é importante que as visualizações facilitem as estratégias de pesquisa; no segundo, devem permitir que seja evocada rapidamente informação não visual necessária à tarefa em execução, quer seja através da utilização de símbolos, imagens ou padrões. Colocando a questão noutros termos, dir-se-á que as visualizações podem servir de apoio na resolução de problemas de selectividade e de capacidade cognitiva.

4.2 - Selecção visual

A percepção visual é inerentemente selectiva. Na observação do meio ambiente existem determinados objectos aos quais são atribuídos mais recursos visuais, o que resulta numa maior informação acerca dos mesmos. Quais os objectos escolhidos, depende essencialmente da tarefa em causa, [Palmer, 1999].

De particular importância para a visualização de informação crítica, os actos de selecção visual dividem-se em dois tipos:

- Abertos – externos e observáveis por outras pessoas;
- Fechados – internos e não observáveis por outros, [Palmer, 1999].

Estes dois tipos de actos podem ser encarados como mecanismos de filtragem a dois níveis. Abertamente, o movimento dos olhos determina que informação óptica é disponibilizada ao sistema visual através de fixações que podem ser:

1) Globais, fixando o "todo" de uma dada cena visual; um conjunto de objectos; ou um objecto em particular;
2) Locais, fixando uma parte em particular de um objecto; ou ainda, uma propriedade desse objecto, como por exemplo a sua cor.

De um modo fechado, e agindo como um filtro subsequente, a atenção determina que subconjunto dessa informação receberá total processamento, [Palmer, 1999]. Para além destes dois mecanismos de filtragem, a selecção de informação visual começa por acontecer, desde logo, ao nível anatómico e fisiológico, como é abordado seguidamente.

4.2.1 - Campo visual e acuidade

Um facto importante em relação à selecção na visão é que só é possível aos seres humanos verem o que está à sua frente, o que não acontece com a audição, por exemplo, que é quase omnidireccional, [Palmer, 1999].

Embora a retina seja capaz de detectar estímulos num campo visual relativamente amplo (cerca de 240º), como é ilustrado pela Figura IV.1, a maior acuidade visual está limitada à fóvea.

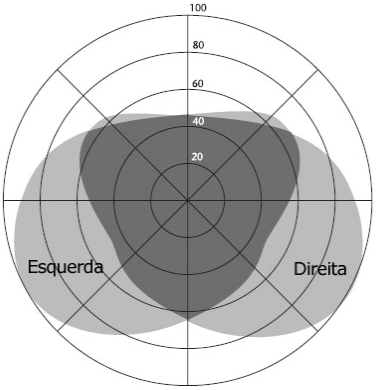


Figura IV.1 Campo visual de um observador olhando em frente: É possível identificar a zona de sobreposição (mais escura) dos campos visuais de cada olho, sendo esta irregular devido a características faciais como o nariz (adaptado de [Ware, 2004]).

A direccionalidade da visão é uma forma de selecção da informação, uma vez que os observadores humanos podem controlar o que é seleccionado visualmente, movimentando os seus olhos para situações ou objectos com relevância. A maior acuidade visual corresponde a cerca de 2º de ângulo visual a partir do centro da fóvea, o que para uma distância normal de leitura corresponde a cerca de seis a oito letras.

À medida que a distância aumenta em relação à fóvea a acuidade visual decresce dramaticamente (Figura IV.2) o que torna muito mais difícil a visualização de letras e palavras, [Healy, 2003].

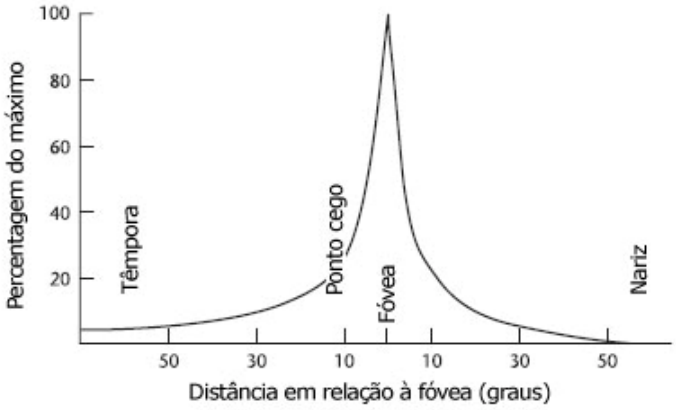


Figura IV.2 Acuidade visual: A área correspondente a cerca de 2º a partir da fóvea corresponde à zona onde o olho humano consegue distinguir melhor o detalhe. A um ângulo de 10º em relação à fóvea já só é possível distinguir um décimo do detalhe (adaptado de [Ware, 2004]).

Esta diferença na capacidade de distinguir o detalhe está directamente relacionada com a densidade de fotoreceptores na retina e, provavelmente, com a integração nas células ganglionares, [Wilson, 1999], que possibilitam super acuidades: capacidades de distinguir detalhes com maior precisão baseada apenas num modelo de um único receptor, [Ware, 2004]. Um exemplo destas super acuidades é a acuidade de Vernier, indicada junto com outras acuidades básicas na Figura IV.3.

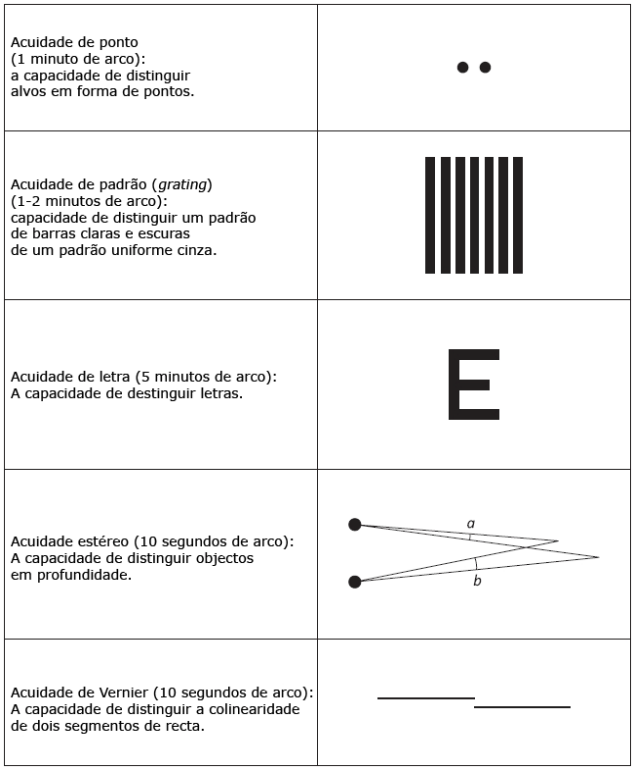


Figura IV.3 Acuidades básicas (adaptado de [Ware, 2004]).

Quer as limitações na capacidade de transmissão de informação visual, (uma estimativa de 40K é avançada em [Stark, 1996]) quer o facto da informação visual ser apenas adquirida pela fóvea têm implicações na selecção visual, [Landry, 2001]. Estes dois aspectos estão também directamente relacionados com os mecanismos de movimento ocular.

4.2.1.1 - Aplicações: posicionamento da informação

Experiências de perseguição de movimento ocular mostraram que a atenção espontânea de uma pessoa ao olhar para um ecrã não se distribui uniformemente. Dividindo o ecrã em duas áreas superiores e duas áreas inferiores, a parte superior esquerda recebe 40%; a parte superior direita 20%; a parte inferior esquerda 25%; e a parte inferior direita 15%. Em função disso, informação importante deverá ser colocada em áreas onde existe maior tendência para dirigir a atenção, [Diehl, 2007].

De notar que a influência cultural neste tipo de dados deve ser tida em conta, uma vez que para as culturas ocidentais a leitura é feita da esquerda para a direita e de cima para baixo, [Diehl, 2007].

4.2.2 - Movimento dos olhos

Salientado já o facto de que a selectividade visual começa com constrangimentos de ordem física, como a impossibilidade de olhar em todas as direcções num dado momento, foca-se em seguida o primeiro mecanismo de filtragem utilizado pelo sistema visual: o movimento dos olhos.

As funções dos movimentos dos olhos estão ligadas às características da acuidade visual. Uma vez que é na fóvea que o sistema visual é capaz de processar a informação com maior detalhe, a movimentação dos olhos realiza-se com o objectivo de centrar os objectos nessa área da retina, [Osherson, 1995]. Assim, segundo Palmer, em [Palmer, 1999], as funções do movimento dos olhos são duas:

- Fixação – posicionamento dos objectos com interesse na fóvea onde a acuidade é maior;
- Busca – manutenção dos objectos na fóvea, compensando movimentos do objecto ou da cabeça do observador.

A informação proveniente de uma cena visual não é, assim, toda processada simultaneamente. Depois de processar um objecto como um todo, podem ser focadas várias partes sequencialmente para analisá-las mais de perto, tendo o sistema que integrar essas fixações numa representação unificada tridimensional. Essas várias focagens devem-se à pouca resolução periférica existente na retina, que leva a que, no caso de ser necessário adquirir informação de vários locais do ambiente visual, isso só seja conseguido através de movimentos oculares que posicionem sequencialmente a informação na retina, [Palmer, 1999].

Relativamente à movimentação dos olhos propriamente dita, embora pareça que eles se movimentem continuamente, tal não acontece. Para cumprir com os dois objectivos referidos acima, os olhos, na verdade, dão pequenos "saltos" ao percorrer a cena visual. Mais especificamente, a movimentação ocular caracteriza-se por dois tipos de eventos: os movimentos sacádicos, saltos discretos rápidos de uma localização para outra; e as fixações, situações onde os olhos permanecem relativamente estáveis durante períodos de cerca de um quarto de segundo, [Healy, 2003].

Além dos movimentos sacádicos, existem outros tipos de movimento ocular, sendo geralmente efectuada uma divisão entre eles, em função da existência ou não de movimento da cabeça do observador. Assim, tem-se que, os movimentos de vergência, sacádicos, e de perseguição suave são usados para colocar a imagem do objecto alvo quando a cabeça está imóvel; os movimentos opto cinécicos e vestibulares possuem a mesma função para quando a cabeça se movimenta, [Osherson, 1995].

4.2.2.1 - Movimentos sacádicos

Os seres humanos movimentam os olhos em intervalos de cerca de 3 vezes por segundo. A esses movimentos, como foi referido acima, dá-se o nome de movimentos sacádicos ou *saccades,* sendo que a informação relativa aos padrões da imagem só é adquirida durante os períodos de fixação, [Henderson, 2003]. Durante o movimento sacádico (que pode atingir os 900º por segundo, [Palmer, 1999]) a sensibilidade visual é

reduzida a uma imagem desfocada, cuja percepção não se dá devido a um mecanismo de supressão, [Healy, 2003].

O movimento sacádico caracteriza-se por ser, essencialmente, um movimento balístico, ou seja: uma vez iniciado, a sua trajectória não é alterada. Uma questão que se coloca relativamente a este tipo de movimentos é saber qual o comportamento sacádico em função de uma dada imagem, [Palmer, 1999]. Isto é, saber se existem regras ou estratégias na determinação das áreas de interesse numa dada cena visual.

4.2.2.2 - Padrões de fixação

Segundo Palmer, em [Palmer, 1999], o psicólogo Russo, Yarbus, em [Yarbus, 1965], foi o pioneiro no estudo da exploração sacádica de imagens complexas. Utilizando equipamento pouco sofisticado conseguiu determinar que aspectos numa imagem eram mais informativos através do registo dos movimentos sacádicos, Figura IV.4.

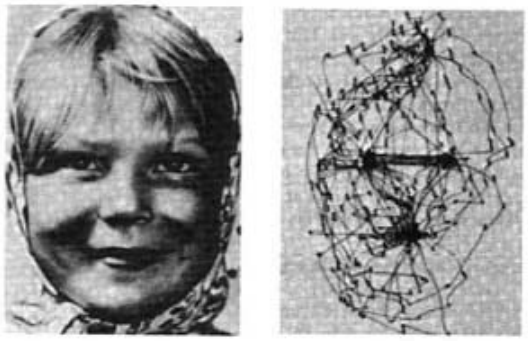


Figura IV.4 Registos dos movimentos sacádicos típicos na observação de uma face (retirado de [Palmer, 1999]).

A exploração de uma imagem complexa pelos olhos não é, no entanto, prevista somente pelo estímulo, embora os registos dos movimentos sacádicos ilustrados na Figura IV.4 correspondam quase um esboço da face, e possam de algum modo sugerir isso. É também necessário ter em conta a tarefa a realizar pelo observador em perante determinada imagem.

Do ponto de vista neuronal, sabe-se actualmente que existe uma classe de neurónios sensíveis a estímulos visuais que codificam a relevância comportamental, considerando quer os factores *Top-down* quer os *Bottom-up*. Estes neurónios produzem um mapa de saliência da cena visual que prevê a latência e a localização do movimento sacádico, [Bichot, 1996], independentemente de este acontecer ou não, [Itti, 2005].

Noton e Stark, em [Noton, 1971], analisaram também a questão relativa às sequências de movimentos sacádicos em função de uma determinada imagem e chegaram à conclusão que existiam padrões de fixação, a que chamaram de percursos de procura (*scan paths*), em função do observador. Nas suas experiências verificaram que, embora existisse variação entre observadores, percursos sacádicos com elevada semelhança aconteciam com uma frequência de cerca de 65%, para um mesmo observador, que analisasse uma imagem em instantes temporais distintos. Esta ideia, que viria a se estabelecer como Teoria do *Scanpath* opõe-se assim à noção de que os padrões de fixação são determinados pelas características da imagem, sendo antes reflexo de um modelo interno idiossincrático. Resultados em, por exemplo, [Brandt, 1989] confirmam esta hipótese.

Por outro lado, Krieger, em [Krieger, 2000], analisa a estratégia subjacente às fixações sacádicas, considerando as propriedades estatísticas das regiões fixadas. A sua análise sugere que propriedades da imagem não redundantes como os contornos, as orlas de intensidade e oclusões são factores importantes na selecção de pontos de fixação. Este autor conclui que a estratégia por trás da fixação sacádica está em certa medida relacionada com as regularidades estatísticas das cenas.

4.2.2.3 - Efeito do conhecimento

O facto dos padrões de fixação serem determinados pela tarefa faz com que os comportamentos possam ser alvo de aprendizagem. Em [Van Gompel, 2007], Van Gompel analisa alguns aspectos dessa aprendizagem e refere que os observadores aprendem:

- A estrutura e as propriedades dinâmicas do meio ambiente de modo a fixar regiões essenciais no momento exacto;
- Como dedicar atenção e focagem, de modo a satisfazer várias tarefas simultaneamente.

Utilizando um teste já conhecido dos sujeitos, Takahashi, em [Takahashi, 2008], procurou investigar se a familiaridade influenciava os movimentos de pesquisa dos sujeitos numa tarefa de busca visual. Verificou que apesar de terem sido introduzidas alterações nos parâmetros do teste, os sujeitos mantiveram a tendência de procura nas localizações já conhecidas, concluindo assim que o conhecimento influencia as movimentações oculares.

Outro exemplo de como o conhecimento interage com a percepção foi conseguido através de uma experiência de Biederman, em [Biederman, 1973], na qual foi pedido aos sujeitos que procurassem objectos (uma bicicleta, por exemplo) numa fotografia normal, ou dividida em partes iguais. Biederman verificou que os sujeitos demonstraram melhor *performance* na tarefa que utilizava a fotografia normal, Figura IV.5.

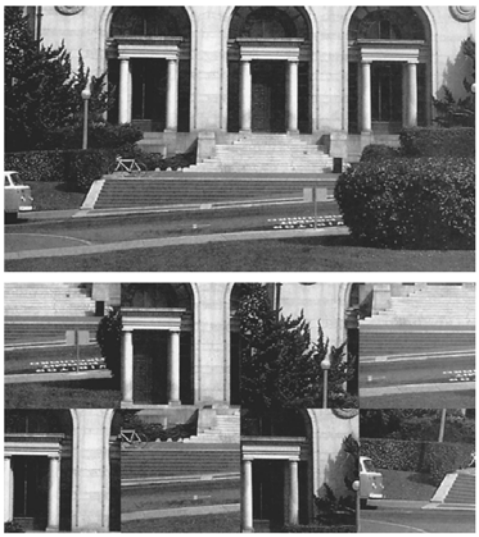


Figura IV.5 Efeito do conhecimento na pesquisa de cenas coerentes ou desorganizadas. Biederman verificou que a organização de uma cena visual facilitava a performance perceptiva (adaptado de [Biederman, 1973]).

4.2.3 - Atenção visual

Para organizar cenas complexas, o sistema visual necessita de localizar rapidamente pontos de interesse. Os mecanismos atencionais desempenham um papel fundamental nessa procura, permitindo reconhecer rapidamente vários tipos de informação saliente numa dada cena visual, [Itti, 2005].

A atenção de um modo geral, e a atenção visual em particular, estão tipicamente associadas à selectividade de processamento, [Eysenck, 2005]. A atenção pode ser entendida como o conjunto de processos que determinam quais os estímulos que recebem processamento e que, adicionalmente, estabelecem as correspondências entre *inputs* de diferentes modalidades sensoriais, [Ramachandran, 2002].

Por um lado, sabe-se que apesar de num dado momento o sistema sensorial receber milhares de estímulos, parte deles não são processados por não serem relevantes para a tarefa em causa, [Palmer, 1999]. Nesse sentido, a selectividade atencional é um segundo filtro para a informação que chega à retina. O objectivo da atenção é, assim, o de evitar uma sobrecarga do sistema visual, [Goldstein, 2007].

4.2.3.1 - Enquadramento

Na Figura IV.6 encontram-se indicados os vários tópicos no estudo da atenção e o seu relacionamento. De uma maneira geral, é possível subdividir o estudo da atenção em função do número de estímulos ou *inputs* que são processados pelo indivíduo.

A diferença fundamental entre a atenção selectiva (ou focada) e a atenção dividida (ou distribuída) é o tipo de processamento associado a cada uma delas: em série e em paralelo, respectivamente, [Palmer, 1999]. A primeira é estudada apresentando dois ou mais estímulos ao observador e pedindo para que este se concentre em apenas um; no estudo da segunda pede-se aos observadores que se concentrem em todos os estímulos

simultaneamente. Nessa actividade, a dificuldade da tarefa, as diferenças entre tarefas e a prática do individuo são factores que influenciam a *performance*, [Eysenck, 2005].

Figura IV.6 Formas como os vários tópicos relativos à atenção se relacionam (adaptado de [Eysenck, 2005]).

4.2.3.2 - Definição

Focando em particular o domínio visual, Palmer, em [Palmer, 1999], propõe uma definição de atenção visual como sendo o conjunto de processos que permite atribuir mais recursos de processamento a determinados aspectos de uma imagem retinal em relação a outros. Segundo o mesmo autor, esta definição traduz-se num entendimento da atenção visual como sendo um mecanismo com duas funções principais: a alocação de recursos, e a utilização desses recursos em determinados aspectos da informação visual. Estas duas funções correspondem por sua vez a duas propriedades da atenção:

- Capacidade – a quantidade de recursos perceptivos disponíveis para a execução de uma determinada tarefa ou processo. Varia em função de vários factores como a motivação e a vigília, por exemplo.
- Selectividade – Mesmo em situações onde toda a capacidade está a ser utilizada há ainda a possibilidade de dividir os recursos atencionais; ou seja, a quantidade de atenção atribuída a cada tarefa. A essa flexibilidade dá-se o nome de selectividade atencional, [Desimone, 1995].

4.2.3.3 - Funções

William James, em [James, 2007], descreve a atenção como sendo o tomar posse pela mente de um objecto ou pensamento, de um modo mais claro e vívido. Esta afirmação traduz-se na ideia de que a atenção melhora a resposta perceptiva (e não apenas o tempo de resposta a um estímulo). Recentemente, os resultados de uma experiência, em [Carrasco, 2004], demonstram que numa tarefa de comparação de padrões idênticos, o padrão que recebeu atenção é percepcionado como possuindo mais contraste, dando provas experimentais que confirmam a afirmação de James.

Uma função atribuída à atenção espacial é o estabelecimento da ligação entre os vários atributos de um estímulo (*binding problem*), [Ramachandran, 2002]. Esta ideia foi também proposta por Treisman, em [Treisman, 1980], e por Rensink, em [Rensink, 2000], inserida na sua Teoria de Coerência.

4.2.3.4 - Atenção: custos e benefícios

Segundo Findlay, o objectivo da atenção é permitir uma antevisão do local onde irá se dirigir o movimento sacádico no processamento aberto, permitindo o planeamento e sendo a escolha feita com base num mapa de saliência, [Findlay, 1999; Liversedge, 2000]. Uma questão que se coloca no que concerne à relação entre o movimento dos olhos e a atenção diz respeito à ordem de ocorrência destes dois eventos. Ou seja, saber o que acontece primeiro: se o movimento dos olhos ou a alocação de atenção. A teoria que prevalece actualmente é a de que a atenção precede o movimento sacádico: Teoria Pré-motora, [Goldstein, 2007]. Esta teoria sugere que:

- Quando um observador faz um movimento sacádico para um local em particular, a atenção irá realçar a percepção de eventos que estejam a ocorrer nesse local antes do movimento do olho ser executado;
- Se o movimento é feito para uma localização, uma vez que a atenção o precede, não poderá estar alocada noutra direcção, [Hoffman, 1995; Kowler, 1995].

Estes dois pontos podem ser explicitados como sendo o custo e o benefício da atenção, [Palmer, 1999]. Através do estudo de movimentos de procura de alvos, Posner obteve resultados que demonstram isso, ver, por exemplo, [Posner, 1978]. Este autor propôs o chamado C*uing Paradigm* que descreve os ganhos e custos numa tarefa de identificação de alvos em função da pré-orientação da atenção. Os ganhos e custos são expressos em tempo de resposta e foram da ordem dos 30 milisegundos; para menos, quando existiu uma correspondência entre a pista de orientação da atenção e o estímulo subsequente; e para mais, quando ocorreu o contrário.

Outra experiência que demonstrou que a atenção potencia o processamento de informação foi a realizada por Egly, em [Egly, 1994], onde os resultados obtidos mostraram que os tempos de resposta dos observadores melhoravam quando a atenção era direccionada para um objecto.

4.2.3.5 - Processos fundamentais

Segundo Knudsen, em [Knudsen, 2007], são quatro os processos fundamentais à atenção:

- Selecção competitiva;
- Sensibilidade de controlo *Top-down*;
- Filtragem *Bottom-up* de estímulos salientes;
- Memória operacional.

Este autor, em [Knudsen, 2007], propõe uma conceptualização onde são descritos esses componentes, Figura IV.7.

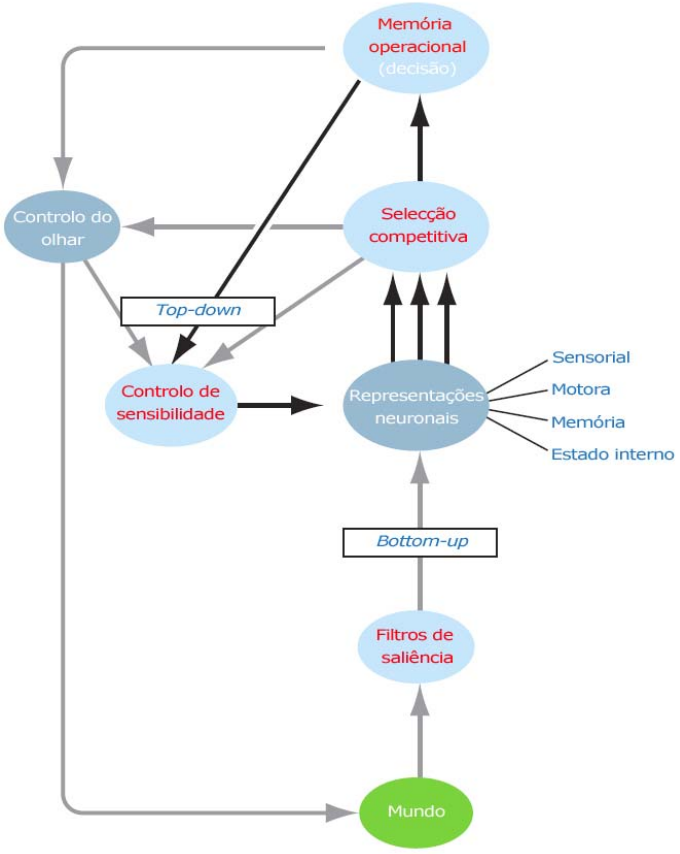


Figura IV.7 Componentes funcionais da atenção: os processos que contribuem para a atenção estão a vermelho. A atenção voluntária envolve estes processos operando num ciclo recorrente (setas a preto) (adaptado de [Knudsen, 2007]).

A selecção competitiva é o processo que determina qual a informação que tem acesso à memória operacional, [Desimone, 1995].

O controlo *Top-down* da sensibilidade é um processo que regula as intensidades dos vários canais de informação que competem pelo acesso à memória operacional, [Egeth, 1997]. Um exemplo desta modelação foi, por exemplo, verificado em [Gee, 2008], que obteve resultados neste sentido, mostrando que estímulos que surgem abruptamente podem ser suprimidos ou amplificados por via de características *Top-down*.

Os filtros de saliência intensificam automaticamente as respostas a estímulos que são: ou pouco frequentes, ou que são considerados biologicamente importantes, devido a aprendizagens ou por instinto, [Koch, 1985].

O conceito de memória operacional (*working memory*) foi proposto por Alan Baddeley e G. Hitch, em [Baddeley, 1974], tendo o modelo onde se insere vindo a ser reformulado, ver, por exemplo, [Baddeley, 2000]. Este tipo de memória opera durante períodos de tempo curtos (na ordem dos segundos) e guarda informação temporariamente para análise. Através deste modelo, Knudson, [Knudsen, 2007], descreve várias etapas do processamento da informação, incidindo nos componentes atencionais:

- No sentido *Bottom-up*, parte-se da elipse verde, onde está representada a informação acerca do meio ambiente;
- Essa informação chega ao sistema nervoso através da transdução e é processada por filtros de saliência que respondem de modo diferente a estímulos pouco frequentes ou importantes;
- Representações neuronais codificam não só a informação do meio ambiente como também a informação relativa a movimentos, memórias, e estados emocionais;
- Um processo competitivo selecciona então a representação com o sinal mais forte para que entre no circuito subjacente à memória operacional;
- A memória operacional e o processo de selecção conseguem modular a sensibilidade em relação aos sinais das representações que estão a ser processadas;
- Em conjunto com a memória operacional, a selecção competitiva direcciona os movimentos oculares e outros comportamentos que modificam os efeitos dos estímulos no sistema nervoso;
- O controlo de sensibilidade *Top-down*, a selecção competitiva e a memória operacional são os três componentes que operam ao nível da atenção voluntária. Ao passo que comportamentos atencionais automáticos dependem dos filtros de saliência.

Partindo deste enquadramento, Knudsen, [Knudsen, 2007], destaca dois aspectos de particular importância:

- É a memória operacional que identifica "alvos" e não a atenção;
- A atenção não é atribuída, sendo antes dependente de processos competitivos. Esta competição é modulada por duas vias: automaticamente (*Bottom-up*), através de filtros de saliência; e voluntariamente (*Top-down*), através de uma modulação baseada em decisões tomadas ao nível da memória operacional. Em ambos os casos o objectivo é o de manter elevada a probabilidade de uma dada informação chegar à memória operacional.

A atenção tem assim a função de seleccionar estímulos e objectos completos, em localizações específicas; e também, funções mentais, como objectivos comportamentais ou tarefas, [Ramachandran, 2002]. De facto, ao nível neurofisiológico, actualmente, é aceite a existência de dois sistemas atencionais diferentes que interagem um com o outro; um é exógeno ou dirigido pelos estímulos; e o outro orientado ao objectivo ou endógeno, [Healy, 2003]. O primeiro consiste numa rede ventral fronto-parietal e o segundo numa rede dorsal fronto-parietal, [Corbetta, 1990].

Nos pontos seguintes, são analisados em maior pormenor aspectos relativos aos quatros processos referidos por Knudsen, [Knudsen, 2007].

4.2.3.6 - Selectividade

Um das propriedades fundamentais da atenção é a sua selectividade, [Healy, 2003]; isto é, existe uma diferenciação de processamento de uma dada cena visual, na medida em que o sistema visual selecciona uma informação e ignora outra. Esta propriedade pode ser entendida através de uma comparação com um foco de luz ou uma lente, [Eriksen, 1986], o que implica que a atenção visual é baseada na localização; ou pode também, ser baseada em objectos, [Duncan, 1984].

O facto da atenção servir como filtro ao sistema visual, evitando uma sobrecarga de estímulos, não teria qualquer utilidade se a informação fosse filtrada de um modo aleatório. Neste sentido, o sistema visual necessita de um mecanismo inteligente de selecção de informação, baseando-se em critérios de importância. O paradoxo da selecção inteligente refere-se a um problema que deriva desta necessidade e que ainda divide os investigadores, [Palmer, 1999]: como é que o sistema visual determina qual a informação mais importante sem antes processar toda a informação?

No cerne deste problema está portanto saber *quando* a informação é filtrada pelo sistema atencional. Se a atenção opera muito cedo no processo perceptivo, como consegue determinar qual a informação importante? Por outro lado, se opera muito tarde, o que é relevante é fácil de determinar, mas perdem-se os benefícios da selecção, uma vez que muitos estímulos irrelevantes terão sido processados.

Três teorias, [Broadbent, 1958; Treisman, 1960; Deutsch, 1963], marcaram a abordagem deste problema, nomeadamente no âmbito auditivo, tentando caracterizar o processo de filtragem de informação e estudando quando exactamente é que ocorreriam os processos de selecção de informação. Lavie e Tsal, em [Lavie, 1994], analisou também esta problemática, propondo que a carga perceptiva poderia determinar o *locus* da selecção. Segundo estes autores, quando a tarefa não é exigente a capacidade que não é usada por essa tarefa é automaticamente direccionada para o processamento de estímulos irrelevantes.

Além da questão do *quando,* é necessário saber exactamente *o quê*: que estímulos são processados sem atenção? Ou seja, saber se a percepção existe sem atenção. Goldstein, em [Goldstein, 2007], afirma que embora seja possível concluir que alguma percepção é possível na ausência de atenção, quando se trata de determinar detalhes específicos, a atenção selectiva é necessária. Relativamente a este problema, Palmer, em [Palmer, 1999], sublinha, utilizando como exemplo a percepção da forma, que é talvez necessário estabelecer uma distinção entre *processamento* e *consciência perceptiva*, uma vez que a forma pode ser processada, mas pode não ser percepcionada conscientemente.

Um fenómeno que demonstra que existe processamento não consciente de estímulos é ilustrado através da Figura IV.8. A experiência consiste em pedir aos sujeitos que leiam as letras pretas sequencialmente de cima para baixo. Verifica-se que a segunda coluna é lida mais lentamente.

Figura IV.8 Interferência na supressão de informação *Bottom-up* (adaptado de [Driver, 1989]).

De acordo com Driver e Tiper, em [Driver, 1989], o fenómeno referido acontece porque as letras a cinza recebem processamento suficiente para interferirem na tarefa. A segunda coluna é lida mais lentamente porque as letras a cinza correspondem às letras a negro, a partir da letra H. Como a tarefa pedida é a de ler as letras a preto, os sujeitos necessitam de inibir o processamento das letras a cinza; no entanto, depois de ter inibido uma letra em particular têm de desinibir a letra para que esteja disponível para a resposta. É esse o motivo pelo qual a segunda coluna leva mais tempo a ser lida.

Mack e Rock, em [Mack, 1998], através do paradigma da desatenção (*inattention paradigm),* abordaram também este problema e obtiveram resultados que apontam para que propriedades sensoriais como a cor, a posição e o número aproximado de objectos, são percepcionadas sem atenção, mas que estímulos mais complexos não o são. Mais importante, 25% dos sujeitos afirmara não ter visto estímulo nenhum, fenómeno que os investigadores designaram por cegueira de desatenção (*inattentional blindness*).

4.2.3.7 - Atenção baseada em objectos

Um conjunto importante de estudos demonstrou que a localização é um factor que influencia a selecção atencional através da manipulação de Princípios de Agrupamento e da posição espacial. [Ramachandran, 2002].

O estudo de Egly, Driver e Rafal, [Egly, 1994], além de demonstrar que a atenção melhorava o tempo de resposta perceptiva, também permitiu concluir que essa melhoria era obtida bastando introduzir como "pista" (*cue*) uma parte do objecto (o topo, por exemplo). Neste sentido, foi considerada a possibilidade por Kahneman e Henik de os factores de organização perceptiva influenciarem a selecção visual, seleccionando objectos em vez de zonas não segmentadas de espaço, [Kahneman, 1981].

Outro estudo que influenciou a pesquisa relativa à selecção baseada em objectos foi o realizado por Duncan, em [Duncan, 1984]. Neste estudo eram apresentados aos sujeitos imagens que continham dois objectos, uma linha tracejada e uma caixa, Figura IV.9. A linha podia possuir traços ou pontos e estar inclinada para a direita ou para a esquerda; a caixa poderia ser baixa ou alta e ter uma abertura à direita ou à esquerda. A tarefa consistia em recordar propriedades dos objectos. Duncan estabeleceu que:

- Os sujeitos julgavam duas propriedades do mesmo objecto com a mesma rapidez com que discerniam apenas uma;
- Existe um decréscimo na *performance* na identificação de duas propriedades pertencentes a dois objectos diferentes.

Estes resultados demonstraram que existe uma dificuldade em dividir a atenção entres objectos que não podia ser atribuída a factores espaciais, porque os objectos partilhavam a mesma região do espaço.

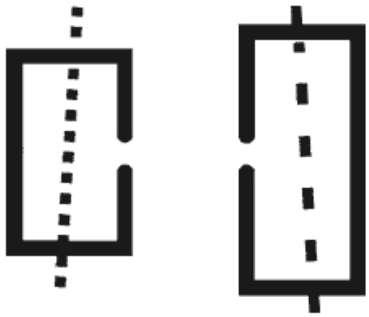


Figura IV.9 Dois estímulos utilizados no estudo realizado por Duncan; cada estímulo consiste em dois objectos: uma linha que atravessa uma caixa (adaptado de [Duncan, 1984]).

Mais recentemente, Watson e Kramer, em [Watson, 1999], tentaram especificar quais as características do estímulo que definem o objecto sob o qual recai a atenção. Baseando-se na teoria de organização perceptiva de Palmer e Rock, ver [Palmer, 1994b], estes autores propuseram uma distinção entre três níveis de representação, organizados hierarquicamente:

- Regiões uniformemente ligadas individuais (RUL) (regiões com as mesmas propriedades, como a cor e a textura);
- RUL múltiplas (RUL individuais agrupadas segundo os Princípios de Agrupamento da Gestalt),
- RUL segmentadas (RUL individuais separadas por operações de segmentação em pontos de concavidade).

Utilizando objectos conhecidos, pediram aos sujeitos para identificarem uma ou duas propriedades, como, por exemplo, a existência de uma abertura, Figura IV.10.

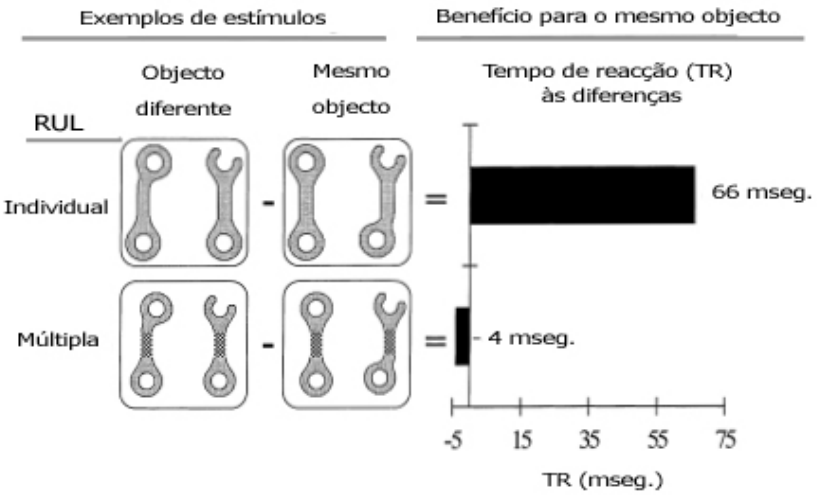


Figura IV.10 Estímulos e resultados da experiência 1 realizada por Watson e Kramer: os sujeitos procuraram por uma ponta aberta e por uma ponta dobrada; os tempos de reacção estão à direita (adaptado de [Watson, 1999]).

Os resultados demonstraram que:

- É mais fácil dividir a atenção entre duas propriedades quando estas pertencem ao mesmo objecto. Isto sugere que a organização perceptiva afecta a distribuição da atenção.
- A segmentação do campo visual em grupos perceptivos impõe restrições à selecção atencional, o que não implica que os processos de agrupamento sejam pré-atentivos, porque pelo menos uma parte dos objectos foi analisada atentivamente, [Healy, 2003].

Mais recentemente, Vecera, em [Vecera, 2000], propõe que a atenção baseada em objectos também pode ser explicada através de um modelo de competição parcial (*biased*) na medida em que, quer pistas provenientes do estímulo, quer pistas determinadas por objectivos influenciam a segregação e a atenção aos objectos.

4.2.3.8 - Controlo da atenção

Ao contrário do que propunham os primeiros investigadores da atenção, que a assumiam como um processo único, monolítico, um novo enquadramento surgiu no qual se defende que existem na realidade múltiplas formas de selecção atencional, cujos modos de controlo podem ser em série ou em paralelo, [Ramachandran, 2002]. Para James, por exemplo, em [James, 2007], a atenção divide-se em dois modos, dependendo da forma como é controlada:

- Activa, se as regiões, atributos, ou objectos que vão receber mais processamento são determinadas através dos objectivos e expectativas do indivíduo (*Top-down*);
- Passiva, se através de estímulos externos como um ruído ou um movimento (*Bottom-up*).

De facto, é actualmente possível estabelecer uma divisão entre processos *Bottom-up* e *Top-down* que, do ponto de vista perceptivo, descrevem a consciência ou não na percepção de informação, sendo que neste último caso a informação percepcionada conduz a reacções automáticas que não podem ser controladas pelo observador, [Gazzaniga, 1999].

Os aspectos relativos ao controlo atencional dividem-se, assim, em função da resposta ao problema de como é conseguida a captação da atenção espacial: através da saliência do estímulo; ou através da alteração de parâmetros de controlo induzidos por requisitos da tarefa em execução.

- ***Tipos de pista (cue)***

As tarefas de *Cuing*, utilizadas em [Egly, 1994], são um exemplo de modelação do controlo atencional. Um aspecto importante é que o tipo de pista utilizada pode favorecer factores *Bottom-up* ou factores *Top-down.* Jonides, em [Jonides, 1981], descreveu estes dois tipos de pista atribuindo-lhes o nome de *push cues* (*Top-down*) e *pull cues* (*Bottom-up*). Se a pista utilizada for (por exemplo) uma mudança de luminosidade a atenção será

capturada por um factor *Bottom-up*, automaticamente e independentemente das intenções do observador. Estas pistas externas são extremamente difíceis de ignorar e não são concorrentes com tarefas de memória. Por outro lado, se a pista é um símbolo, como uma seta que aponta para uma direcção, a atenção irá mover-se para a localização indicada apenas se o observador quiser, e quando isso acontece, acontece mais lentamente. Estas pistas podem ser ignoradas, e são perturbadas por tarefas concorrentes. O controlo da atenção, envolve assim um equilíbrio entre estes dois tipos de factores, [Ramachandran, 2002].

- ***Atenção selectiva a propriedades visuais***

Do ponto de vista evolucionário, parecem haver indícios de que o sistema visual se desenvolveu de acordo com o tipo de relações estatisticamente mais prováveis de encontrar em ambientes naturais, nomeadamente, as estruturas cocirculares e colineares, [Ramachandran, 2002]. Assim, uma questão que se coloca é a de determinar exactamente em que medida essa adaptação se traduz em fenómenos pertinentes, do ponto de vista da visualização de informação; ou seja, se o controlo visual depende das propriedades da cena visual, é importante identificar quais são exactamente essas propriedades, como se relacionam, e, em particular, a sua influência nas tarefas que envolvem a atenção.

Na investigação de quais as propriedades da cena visual que influenciam a movimentação ocular dos observadores, destacam-se duas abordagens: uma abordagem de análise estatística, ver [Mannan, 1996, 1997] e [Rosenholtz, 1999]; e outra baseada na ideia de "mapa de saliência"; ou seja, um mapa a duas dimensões que codifica a saliência do estímulo em cada localização da cena visual, funcionando como uma estratégia de controlo atencional (ver [Koch, 1985; Itti, 2000, 2001; Parkhurst, 2002]).

- ***Saliência de estímulos***

Estudos que abordaram a movimentação ocular na análise de cenas visuais demonstraram que existem determinadas regiões às quais é atribuída maior importância pelo sistema visual (regiões mais informativas), através do registo das fixações, [Henderson, 2003]. A propriedade atribuída a essas regiões, por terem essa capacidade, é chamada saliência.

A saliência refere-se à proeminência perceptiva de um objecto, [Ramachandran, 2002]. Um objecto pode ser encarado como sendo mais saliente em função da frequência com que ocorre numa imagem, [Treisman, 1985], ou em função das diferenças que possui comparativamente a outros objectos presentes na imagem, [Nothdurft, 1993]. Uma linha vertical entre linhas horizontais é facilmente identificável, porém o mesmo não acontece caso esteja entre linhas quase verticais, neste sentido, Notdurft, em [Itti, 2005], propõe que a saliência seja entendida através do conceito de *contraste*, quanto maior for a diferença entre o alvo e o seu contexto, mais saliente será. Esta diferença está ilustrada através das imagens da Figura IV.11.

a) b) c) d) e)

Figura IV.11 Segundo Notdurft, a saliência de um objecto não está apenas nas suas características, mas no contraste entre as suas características e as do contexto que o rodeia: assim, um mesmo objecto pode ser considerado como sendo saliente: a), c), d), ou não: b) e e) (adaptado de [Itti, 2005]).

Um único objecto é saliente contra um fundo vazio, Figura IV.11a), no entanto, perde essa saliência quando é rodeado por outros objectos similares, Figura IV.11b), Figura IV.11e), o que indica que variações globais também são importantes. Para que sobressaia novamente é necessário que alterar as suas propriedades ou as do ambiente que o rodeia Figura IV.11c) e d).

Várias diferenças consideram-se como sendo capazes de produzir saliência denominando-se esta propriedade de *contraste local de características*, [Itti, 2005]*:*

- Luminância;
- Cor;
- Orientação;
- Frequência espacial;
- Movimento;
- Profundidade.

O mesmo autor estudou também, em [Nothdurft, 2000], combinações de características e o seu efeito na saliência total do objecto. Os seus resultados demonstram que existe uma soma de efeitos nas diferentes dimensões, mas não linearmente; ou seja, os resultados totais de saliência não corresponderam à soma das partes individuais.

- ***Evidencias neurofisiológicas***

Em primeiro lugar, a questão de como o cérebro representa a saliência é ainda uma questão aberta, do ponto de vista neurológico. No entanto, resultados recentes, como por exemplo os de Li, em [Li, 2008], estabelecem uma relação entre saliência e os mecanismos das áreas corticais visuais como a área V1.

Em segundo lugar, a proposta de Notdurft de que o factor importante na saliência de estímulos é o contraste de características e não as características em si é suportada por dados neurofisiológicos relativos ao córtex visual do macaco, [Nothdurft, 1991]. É também congruente com os factos conhecidos relativamente à modulação das respostas de alguns neurónios visuais (organização centro-periferia, por exemplo), [Itti, 2005].

4.2.3.9 - Processamento paralelo de informação visual

Neisser, em [Neisser, 1967] distingue uma fase pré-atentiva na qual a informação sofre uma análise preliminar e superficial; e uma fase atentiva na qual a informação recebe processamento adicional. As características destas fases tem vindo a ser estudadas e é geralmente aceite, [Healy, 2003], que a fase pré-atentiva é:

- Automática;
- Despoletada por estímulos externos;
- Espacialmente paralela;
- De capacidade ilimitada;
- Por outro lado, a fase atentiva é:
- Controlada (pelos objectivos e intenções do sujeito);
- Restrita espacialmente a uma região limitada;
- Limitada na sua capacidade.

Palmer, no entanto, em [Palmer, 1999], não concorda com a terminologia de atentividade e pré-atentividade. Segundo este autor, quer a primeira fase, quando o observador espera que um alvo ocorra em qualquer lugar (atenção dividida), quer a segunda, quando escolheu um objecto perceptivo em particular (atenção selectiva) são ambas exemplos de processamento atentivo. Palmer prefere estabelecer uma diferença entre processamento atentivo paralelo, que ocorre antes da selecção visual; e processamento atentivo em série, que ocorre depois da selecção.

A terminologia de pré-atentividade e atentividade é, contudo, utilizada por Treisman e Gelade, em [Treisman, 1980], na Teoria de Integração de Características. Segundo esta teoria, apenas características simples são computadas de forma paralela pelo sistema visual, sendo a atenção necessária para ligar essas características numa representação unificada do objecto. Um fenómeno que suporta esta teoria ficou conhecido por "conjunções ilusórias". Treisman e Schmidt, em [Treisman, 1982], realizaram uma experiência cujos resultados apontaram para a existência de uma fase pré-atentiva na qual as características se mantém desorganizadas, necessitando que lhes seja alocada atenção para conjugá-las correctamente. Nas experiências realizadas eram apresentados *displays* como o ilustrado na Figura IV.12. A tarefa principal dos sujeitos era a de reportar os dígitos, e a secundária era a de reportar as formas existentes entre eles.

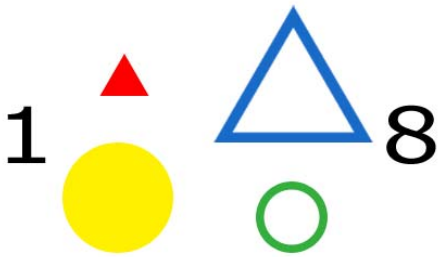


Figura IV.12 Exemplo de um tipo de estímulo utilizado por Treisman e Schmidt nas suas experiências de conjunções ilusórias (adaptado de [Treisman, 1982]).

Os resultados demonstraram que os sujeitos tendiam a misturar as cores e formas de forma errada. Mais uma vez, há que salientar que isto não significa que tenham sido extraídas sem a atenção, nem mesmo que exista uma codificação separada. Pode simplesmente significar que as representações de memória se desintegram rapidamente, [Itti, 2005].

- ***Efeito "pop-out"***

Uma das características de imagens como, por exemplo a Figura IV.11c), é a de que o elemento central com maior luminosidade é detectado automaticamente, independentemente do número de distractivos, existentes à sua volta; o mesmo acontecendo para imagens semelhantes envolvendo diferentes características capazes de produzir saliência, ver, por exemplo, [Treisman, 1980]; este efeito é tipicamente conhecido por efeito de "*pop-out*". Treisman colocou assim a hipótese de que, nos casos em que os alvos são caracterizados por apenas uma característica (*singletons*) a detecção ocorria pré-atentivamente.

Embora ainda não estejam compreendidos totalmente os seus mecanismos, [Itti, 2005], uma explicação para este efeito é a de que quando apenas uma característica define o alvo, a busca é mais rápida, sendo determinada apenas pela informação presente no estímulo; quando tal não acontece, Figura IV.11b), é necessário recorrer aos processos *Top-down* para resolver a competição entre os *inputs* sensoriais, [Ramachandran, 2002]. Por outro lado, este efeito é também descrito através do conceito de prioridade atencional (ver, por exemplo [Cave, 1990]); isto é, a capacidade que um item possui de ser processado em paralelo depende da soma dos seus níveis de activação *Bottom-up* (quão diferente o item é dos seus vizinhos) e *Top-down* (grau de correlação entre um item e o conjunto de propriedades especificadas pela tarefa). Duncan e Humphreys, em [Duncan, 1989], propõem também uma teoria alternativa a este respeito.

De notar, no entanto, que não existe consenso acerca da possibilidade de a captação de atenção ser conseguida exclusivamente através de estímulos externos; ou seja, sem a influência de factores de controlo *Top-down,* ver, por exemplo, [Folk, 1992]; e na realidade o único consenso que existe é em relação ao facto de que os *singletons* não capturam a atenção automaticamente se a tarefa não envolver a procura por um alvo *singleton,* [Itti, 2005]; consequentemente, a afirmação de Palmer, relativamente ao processamento pré-atentivo.

- ***Busca visual***

O estudo do processamento distribuído de informação visual pode ser feito através de tarefas de busca (ou pesquisa) visual. As tarefas de busca visual são actos através dos quais o observador percorre a cena visual com o objectivo de identificar um alvo com determinadas características, entre um conjunto de alvos de distracção, [Ramachandran, 2002].

Um exemplo de uma tarefa típica de procura visual é a representada na Figura IV.13, onde o objectivo do observador é encontrar o alvo que se distingue dos restantes elementos. Neste caso, determinam-se que processos são anteriores à selecção (ou pré-atentivos) através da medição dos tempos de resposta do observador.

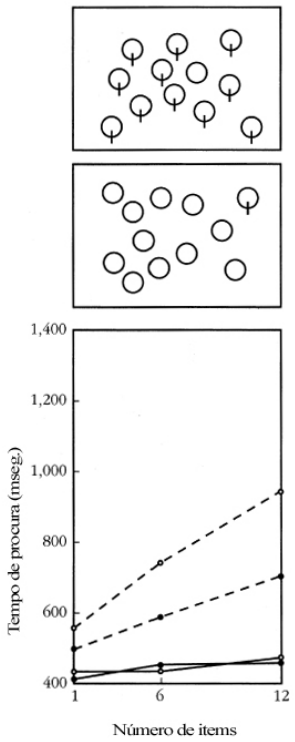


Figura IV.13 Os tempos de resposta de uma tarefa de busca visual dependem da inclusão ou não de determinadas características (adaptado de [Treisman, 1986]).

Como é possível verificar, Figura IV.13, existe uma diferença nos tempos de resposta em função da existência ou não de uma característica, neste caso, um círculo intersectado por uma linha vertical ou um círculo sem essa característica. O tempo de procura para o círculo interceptado (linha a cheio) demonstrou ser independente do número de alvos de distracção (efeito *pop-out*); no entanto, o tempo de procura para o círculo simples (tracejado) aumentou com o número de distractivos, sugerindo que se tratava de uma busca em série, [Treisman, 1986].

Do ponto de vista do controlo atencional, a eficiência numa tarefa de busca visual dependerá em primeira instância da identificação dos parâmetros que determinam o que é seleccionado. Assim, por um lado, dependerão da descrição do alvo que pode ser armazenada temporariamente na memória sob a forma de um "modelo"; e que influenciará de modo *Top-down* a procura; e por outro, dos estímulos presentes na imagem que providenciam informação a ser pesquisada. Uma busca eficiente resultará assim de uma competição parcial (*biased*), (ver ponto 4.2.3.5 -), entre estímulos sensoriais e objectivos comportamentais, [Ramachandran, 2002].

- ***Propriedades detectadas em paralelo***

Wolfe, em [Itti, 2005], encara o processamento paralelo de determinadas propriedades em função da sua capacidade de guiar atenção visual (de modo *Bottom-up*); isto é, algumas características (a cor, por exemplo) dir-se-ão processáveis em paralelo (ou simplesmente, pré-atentivas) no sentido em que a informação acerca delas fica disponível antes do acto de selecção visual.

Este autor compila uma listagem de dimensões das quais se destacam as que são prováveis guias da atenção:

- Cor;
- Variação de luminância (*fliker*) e polaridade;
- Orientação;
- Razão de aspecto;
- Tamanho;
- Curvatura;
- Movimento;
- Forma;

- Número;
- Opacidade;
- Desvio de Vernier;
- Pistas pictóricas de profundidade;
- Direcção de iluminação;
- Fechamento;
- Terminação de linha;
- Profundidade e inclinação estereoscópica.

Na linha do que sugere Notdurft, em [Nothdurft, 1993], Wolfe, [Itti, 2005], defende que capacidade que uma determinada propriedade possui de funcionar como guia da atenção depende da interacção entre o seu contexto, considerando essa interacção como um problema de detecção de sinal, [Verghese, 2001].

Ware, em [Ware, 2004], numa perspectiva directamente ligada à visualização de informação, afirma que a identificação das características que são processadas em paralelo são a maior contribuição que a ciência da visão pode dar em termos da visualização de dados. Ware apresenta, em [Ware, 2004], vários exemplos de características detectadas em paralelo, e de duas que não o são (junção e paralelismo), Figura IV.14.

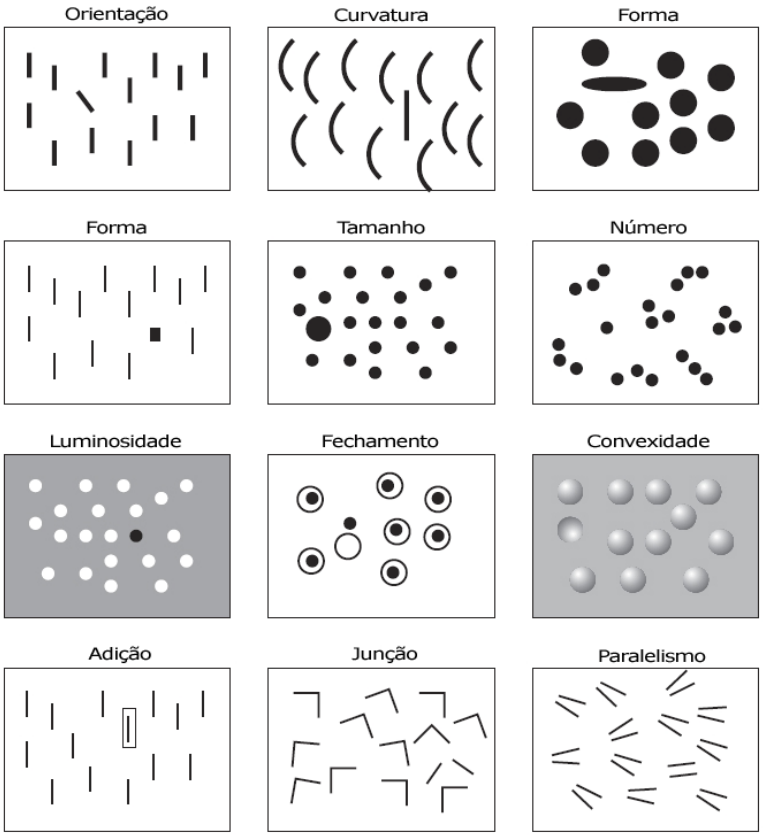


Figura IV.14 Características detectadas em paralelo, excepto o paralelismo e a junção (adaptado de [Ware, 2004]).

Segundo Ware, [Ware, 2004], o processamento em paralelo é um factor que pode e deve ser incorporado no desenho de símbolos para visualizações de dados. No entanto, como também é referido em [Hansen, 2005], há que ter em conta os factores de interferência entre as várias características.

- ***Procura de múltiplas características***

Uma questão que se coloca relativamente ao processamento paralelo é a de determinar se ele se mantém no caso de serem conjugadas características. Uma primeira questão relativamente a este problema é o facto de determinadas propriedades serem percepcionadas separadamente ou de modo integrado. Esta distinção é efectuada por Garner, em [Garner, 1974]. A cor e a forma de um objecto, por exemplo, são separáveis, porque

podem ser seleccionadas visualmente de forma independente; no entanto, a saturação e a luminosidade, não são, sendo percepcionadas em conjunto.

Uma primeira resposta aos efeitos das conjugações de características apontava para que estas não eram detectadas em paralelo. Treisman, em [Treisman, 1980], afirma que a procura por um item que se distinga dos restantes por uma conjunção de propriedades é mais lenta, uma vez que a atenção teria que ser focada em série. No entanto, vários estudos têm demonstrado que existem conjunções de características que são processadas em paralelo, ver, por exemplo, [McElree, 1999]. Duncan e Humphreys, em [Duncan, 1989], afirmam mesmo que não existe nada intrinsecamente diferente entre a procura de uma ou mais características, sendo a semelhança entre itens o factor determinante para a eficiência da pesquisa. Neste sentido, é interessante verificar que, de facto, existem situações onde conjunções de características são detectadas em paralelo: Cor e forma (Figura IV.15), ver, por exemplo, [Egeth, 1984; Treisman, 1988]; cor e movimento, [Driver, 1992]; e profundidade estereoscópica e cor, [Nakayama, 1986]. Relativamente a esta última combinação, Ware, em [Ware, 2004], salienta um exemplo de aplicação proposto em [Kosara, 2002], Figura IV.16.

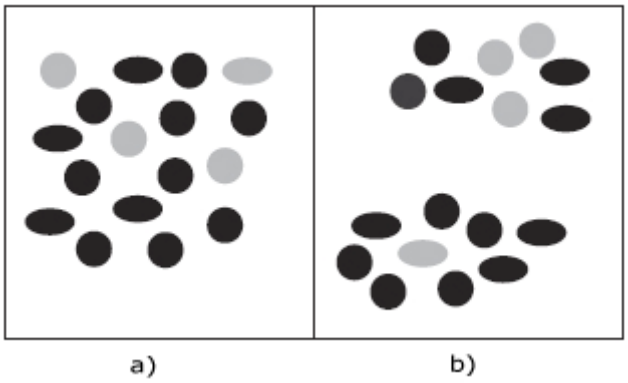


Figura IV.15 Busca visual de uma conjunção espacial de características onde não existem elementos detectados em paralelo (a) é influenciada pelo agrupamento espacial (b); fazendo com que a percepção da elipse cinza passe a ser detectada paralelamente, apesar de possuir a mesma forma que outros elementos circundantes (adaptado de [Ware, 2004]).

Figura IV.16 A profundidade estereoscópica pode ser utilizada para destacar informação (retirado de [Ware, 2004]).

Estes resultados estão de acordo com a ideia de prioridade atencional defendida por Cave e Wolfe, [Cave, 1990]. Neste sentido, os fenómenos ilustrados nas figuras Figura IV.15 e Figura IV.16 podem entender-se como exemplos de domínio de características (ver, por exemplo, Perera, Goodman e Blashki relativamente à profundidade sobre o fechamento, em [Perera, 2007]).

Ainda em relação à conjunção de características, existem evidências de que quando são utilizadas várias dimensões visuais, a discriminação dos alvos é mais rápida se no teste anterior o alvo estava definido na mesma dimensão que o subsequente, [Tollner, 2008]. Wolfe, em [Wolfe, 1990], afirma que é muito mais difícil procurar por uma conjunção de características da mesma dimensão do que por uma conjunção de características de dimensões diferentes.

- ***Agrupamento e pré-atentividade***

Relativamente ao agrupamento e a sua relação com a pré-atentividade, Trik e Enns, em [Trick, 1997], sugerem que devem ser distinguidos dois conceitos: agregação de elementos e definição de formas. Utilizando as imagens ilustradas na Figura IV.17 estes autores verificaram que numa tarefa de contagem de elementos, a utilização de pontos não diminuía a *performance*, comparativamente à utilização de contornos a cheio; no entanto, numa tarefa de discriminação, a utilização de pontos obteve melhores tempos de reacção. Estes resultados sugerem que, a agregação de elementos é processsada em paralelo, enquanto que a definição de formas não.

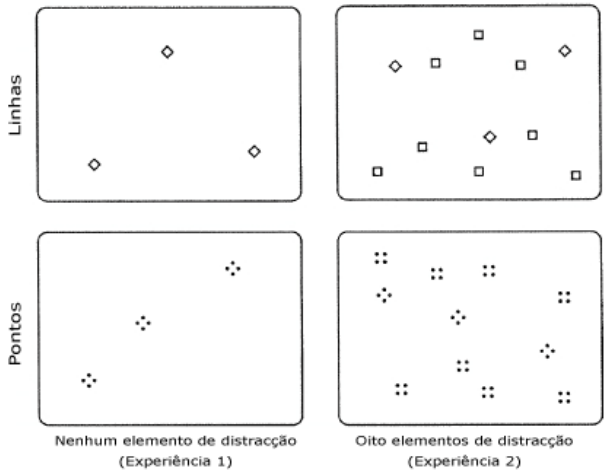


Figura IV.17 Estímulos usados por Trick e Enns (adaptado de [Trick, 1997]).

Este facto sugere por sua vez que a componente de formação de formas do processo de agrupamento fora do foco da atenção não é percepcionada. No entanto, uma vez que a variável nestes estudos era a percepção consciente do agrupamento, é possível que a incapacidade de reportar o agrupamento se deva a falhas de memória, [Itti, 2005] (ver também a distinção entre *processamento* e *consciência perceptiva,* sugerida por Palmer).

4.3 - Capacidade

Focam-se em agora alguns aspectos relativos aos limites de capacidade do sistema de processamento de informação, tendo em conta o argumento inicial de que as visualizações devem ser instrumentos desenhados de modo a promover uma utilização eficaz e eficiente dos recursos cognitivos.

O paradigma teórico que guiou a investigação destas áreas é a concepção do ser humano como um sistema de processamento de informação, Figura IV.18.

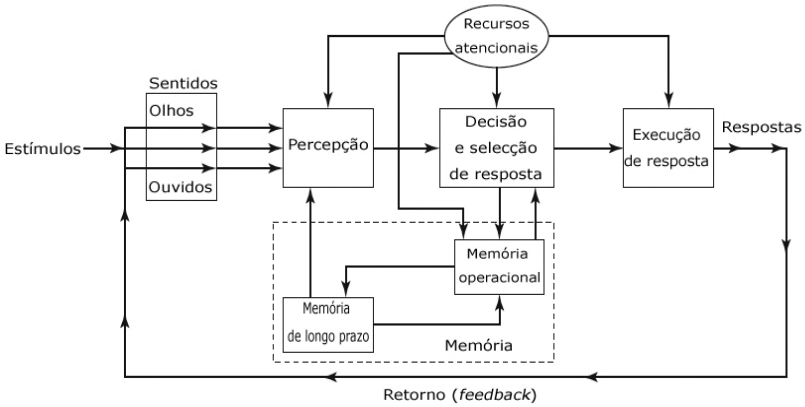


Figura IV.18 Modelo simplificado das estruturas e processos humanos de processamento de informação (modelo de Wickens e Carswell adaptado de [Borman, 2003]).

Este modelo apresentado na Figura IV.18, define as estruturas e processos subjacentes à cognição e acção humanas, bem como as relações funcionais entre eles. Como é possível verificar, a atenção influencia todos os processos cognitivos, [Borman, 2003].

4.3.1 - Limitações de performance

Abordam-se em seguida as questões relacionadas com as limitações de performance humana, referindo algumas das principais teorias e fenómenos encontrados com relevância para esta Dissertação. A análise destas questões está directamente ligada à premissa de que as visualizações, para funcionarem como instrumento de apoio à cognição, devem ter em conta os limites do sistema humano de processamento de informação visual.

4.3.1.1 - Correntes teóricas

Um modo de identificar as limitações de *performance* do sistema humano de processamento de informação é a realização de experiências onde se promove a divisão de atenção. Através deste paradigma, designado de dupla tarefa (*dual-task*), é possível encontrar pontos de colapso na capacidade humana de processamento, em particular no domínio visual, [Eysenck, 2005]. A explicação da existência desses pontos de colapso divide os investigadores em duas correntes teóricas: uma que aponta para a existência de um processador ou executivo central multi-tarefa (atenção), por exemplo, [Norman, 2000]; e outra que aponta para a existência de vários recursos de processamento, fazendo uso do conceito de interferência entre esses processos para explicar as limitações de processamento, por exemplo, [Damos, 1991]. Baddeley, ver, por exemplo, [Baddeley, 1998], por outro lado, propõe uma abordagem que é uma síntese destas duas anteriores noções através de um modelo hierárquico. Outra abordagem ainda é a chamada *central bottleneck theory*, ver [Pashler, 2001]. De acordo com esta abordagem existe um estrangulamento no sistema de processamento que impossibilita que duas decisões sejam tomadas simultaneamente em resposta a dois estímulos diferentes, o que leva a que a selecção de resposta seja efectuada em série.

4.3.1.2 - Memória operacional

A capacidade humana de processar informação é limitada. Miller, em [Miller, 1956], sugere que existe um número de elementos limitado capazes de ser mantido no que designou por memória de curto prazo. Especificamente, afirma que esse número é de sete, mais ou menos dois, "pedaços" (*chunk*): unidades básica de informação a ser tratada na memória de curto prazo.

Baddeley, em [Baddeley, 1974], propõe a existência de três componentes funcionais daquilo a que ele designa por "memória operacional", distinguindo código verbal e código visual. A memória operacional é definida como sendo uma parte importante do sistema cognitivo, tendo a capacidade de manter e manipular informação no processo de condução e execução de tarefas cognitivas complexas. No modelo proposto, Baddeley define um executivo central, que funciona como um sistema de controlo de capacidade limitada, que é responsável pela manipulação de informação dentro da memória operacional e pelo controlo de dois sistemas de armazenamento subsidiários: o *phonological loop* e um *visuospatial sketchpad*. O primeiro é responsável pelo armazenamento e manutenção de informação sob a forma fonológica, enquanto que o segundo dedica-se ao armazenamento e manutenção de informação visual e espacial. Em [Baddeley, 2000], Baddeley acrescenta um novo componente ao modelo: o *episódic buffer*, cuja função é o armazenamento limitado de informação multi-codificada, funcionando como sistema de ligação e integração de informação. Esta revisão do modelo procura explicar como é combinada informação através de modalidades diferentes.

Embora existam outras propostas de modelos, não há ainda uma definição óbvia do conceito de memória operacional. No entanto, existe consenso no facto de que é um mecanismo responsável pelo armazenamento e processamento temporário de informação e que os recursos deste mecanismo são limitados, [Ware, 2004].

Especificamente no que concerne à capacidade da memória operacional visual, Vogel, em [Vogel, 2001], demonstrou que é possível reter três ou quarto cores e orientações, combinadas, ou separadamente, num dado momento, Figura IV.19a); ou até seis cores caso as cores fossem combinadas de modo concêntrico, Figura IV.19c). Estes resultados indicam, segundo o autor, que a capacidade visual deve ser entendida em termos de objectos integrados e não de características individuais. Os resultados de Xu, em [Xu, 2002], apontam também

nesse sentido, uma vez que a complexidade dos objectos, Figura IV.19b), mostrou diminuir o número de características memorizadas.

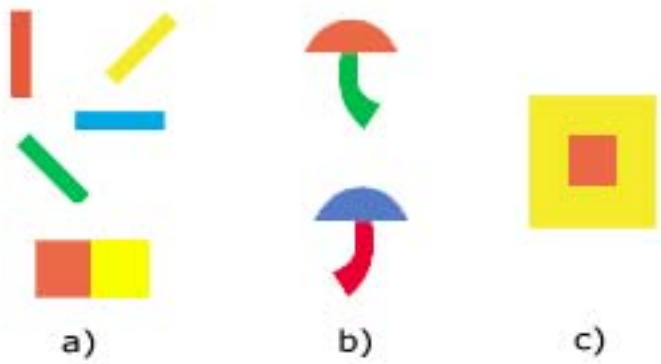


Figura IV.19 Estímulos utilizados para determinar capacidade da memória operacional visual: (a) e (c) em [Vogel, 2001]; (b) em [Xu, 2002] (adaptado de [Ware, 2004]).

4.3.1.3 - Carga perceptiva

Introduzem-se neste ponto alguns conceitos utilizados no argumento de que o objectivo de uma visualização eficiente deverá ser o de promover uma adequada gestão de recursos cognitivos.

O conceito de carga cognitiva necessita de incluir dois componentes: o número de unidades no *display* e a natureza de processamento necessária a cada unidade. Uma forma de definir essas unidades é considerar elementos existentes no *display* como diferentes identidades, [Lavie, 1994].

- ***Esforço mental***

O esforço mental pode ser relacionado com quatro aspectos: as exigências objectivas de uma tarefa; a aplicação mental individual para cumprir com essas exigências; a performance na tarefa; e a sua percepção individual subjectiva do esforço. Pode ser caracterizado como sendo um estado composto, ou conjunto de estados mentais que medeia a performance humana em tarefas perceptivas, cognitivas e motoras. Existem duas fontes de esforço mental, [Ramachandran, 2002]:

  - Endógenas: por exemplo, pela aplicação voluntária de esforço mental: reflecte a aplicação da pessoa e as estratégias por ela usadas;
  - Exógenas: através de fontes ambientais; nomeadamente, derivadas do esforço associado a uma tarefa; ou pressão do tempo.

Segundo Howell, em [Borman, 2003] o interesse no conceito de esforço mental derivou da teoria dos recursos e da verificação que ao contrário do que poderia ser esperado, a utilização de sistemas tecnologicamente avançados, e consequente facilitação de tarefas aos operadores, não tornou os sistemas menos susceptíveis ao erro humano; pelo contrário, ao diminuir o trabalho de rotina, aumentou-se o âmbito e responsabilidades do operador, aumentando assim a exigência da tarefa. Isto não significa, no entanto, que se deva procurar automatizar os vários sistemas.

- ***Teoria da carga cognitiva***

A teoria da carga cognitiva, ver, por exemplo, [Sweller, 1994; Sweller, 1998], tem como preocupação básica a facilidade com que a informação consegue ser processada na memória operacional, e o facto de as exigências cognitivas poderem sobrecarregar a memória operacional disponível. De acordo com esta teoria, existem duas formas de ultrapassar este problema:

  - Através da aprendizagem: libertando recursos de memória que por sua vez estarão disponíveis para outras tarefas;
  - Através da aquisição de esquemas. Um exemplo de processamento automático é o tratamento que um leitor faz às palavras e às frases. O processamento não é efectuado letra a letra, mas sim a conjuntos de palavras.

Esquemas são estruturas de conhecimento organizadas que aumentam a quantidade de informação que pode ser tratada simultaneamente na memória operacional. De acordo com a teoria de esquemas, o conhecimento é organizado na memória de longo prazo em esquemas, de modo a que seja acessível quando

necessário, [Kirschner, 2002]. Ou seja, um esquema permite tratar múltiplos elementos de informação como se fossem um único elemento, reduzindo o esforço da memória operacional.

Sweller, [Sweller, 1994], distingue três tipos de carga cognitiva: *intrinsic* (intrínseca); *extraneous* (extrínseca) e *germane* (relevante).

A carga intrínseca refere-se à interacção entre o tipo de tarefas e a capacidade do indivíduo; depende da interactividade entre elementos da tarefa: isto é, quanto maior for a interactividade entre elementos presentes numa dada visualização, maior será a carga cognitiva intrínseca (a interactividade refere-se ao relacionamento entre elementos e ao facto de poderem ou não ser aprendidos individualmente), [Paas, 2003].

A carga cognitiva extrínseca deriva da forma como a informação é apresentada. É uma carga que não é necessária à aprendizagem. A carga relevante é a carga que contribui de forma útil para a aprendizagem, de um modo directo.

Uma ideia particularmente importante proposta por esta teoria é a de que é possível diminuir a carga cognitiva extrínseca, e, consequentemente, os recursos exigidos à memória operacional, através da manipulação das características do *design* utilizado. Um exemplo desta possibilidade é a integração de informação (texto e gráficos, por exemplo), [Chandler, 1992].

4.3.1.4 - Fenómenos perceptivos

Vários fenómenos perceptivos suportam a ideia de que existem limites cognitivos no processamento de informação visual. São referidos em seguida alguns exemplos com relevância para os contextos de visualização em ambientes de gestão de tráfego aéreo.

- ***Attentional blink***

O fenómeno denominado por *attentional blink,* [Raymond, 1992], descreve exactamente a degradação de capacidade na detecção de objectos visuais: após a detecção de um objecto visual, a capacidade de detecção de um segundo objecto é reduzida se este surgir nos 400 ms subsequentes.

- **Cegueira de desatenção (*inattentional blindness*)**

Para determinar que características visuais podem ser detectadas sem a atenção visual, Mack e Rock, em [Mack, 1998], descobriram a existência de um fenómeno, a que chamaram cegueira de desatenção, que traduz a incapacidade de percepcionar estímulos directamente localizados no campo central da visão.

- **Cegueira de movimento**

Cegueira de repetição, ou *Change Blindness,* é um efeito se refere à incapacidade de observadores detectarem alterações que ocorrem directamente no seu campo de visão. Rensink, em [Rensink, 2002], afirma que este efeito indica que a atenção selectiva é necessária à detecção da mudança.

Este efeito pode estar relacionado com o pequeno tamanho dos campos receptivos dos neurónios no córtex visual temporal inferior [Rolls, 2008].

- **Visão em túnel (*Tunnel vision*)**

Ao contrário da cegueira de desatenção onde os indivíduos não percepcionam informação directamente localizada na fóvea, o fenómeno que ficou conhecido por visão em túnel refere-se a uma diminuição de capacidade de processamento nas áreas periféricas do campo visual. Este fenómeno, tipicamente associado a situações geradoras de elevados níveis de *stress*, [Ware, 2004], foi estudado por Williams, em [Williams, 1985], e pode ser directamente ligado a ambientes de controlo de tráfego aéreo.

4.4 - Introdução à Percepção da cor, luminosidade e movimento

A evolução dos sistemas de visualização utilizados no âmbito dos serviços de tráfego aéreo tem provocado aumento significativo do uso da cor como forma de melhorar a performance em vários tipos de

tarefas, seja funcionando como forma de destaque, inserida na visualização de alarmes, ou como ferramenta de codificação de informação de uma maneira geral[5], [Squire, 2005].

Por outro lado, a escolha por uma análise mais pormenorizada em relação à percepção do movimento justifica-se pelo natural enquadramento dos sistemas de visualização de informação crítica em ambientes dinâmicos. Nestes ambientes, a percepção do movimento, e os fenómenos a ela associados, interagem com conceitos do domínio dos processos atencionais, como a consciência situacional e a cegueira de movimento, e daí serem também abordadas alguns aspectos nesse âmbito.

Deste modo, julga-se de toda a pertinência serem identificados os principais fenómenos perceptivos relativos a estas duas propriedades. Assim, nesta secção, são, por um lado, analisados os principais fenómenos relativos à percepção da cor, luminosidade e movimento, com relevância para a visualização de informação crítica; e por outro, identificados princípios de aplicação no âmbito da visualização de informação, em particular, informação aeronáutica.

4.4.1 - Descrição computacional da percepção da cor

Marr, em [Marr, 1982], explica que a descrição de um sistema de processamento de informação deve ser feita relacionando os seus dados de entrada e saída, através dos princípios que os mapeiam. Do ponto de vista da percepção da cor, o *input* corresponde à luz reflectida pelas superfícies; o *output* são as experiências de cor que ocorrem no observador, e o mapeamento é a correspondência psicofísica entre os dois, [Palmer, 1999].

4.4.1.1 - Descrição física da luz

A luz é um tipo de radiação electromagnética. Uma vez que a velocidade da luz, *c* (cerca de 300.000 km/s), é uma constante conhecida, é possível especificar a luz em termos físicos:

$$c = f \lambda,$$

através do seu comprimento de onda (*λ)* ou da sua frequência *(f)*, sendo que o comprimento de onda é medido em nanometros (1 nm = 10^{-9} m).

Como já foi abordado, a luz visível é apenas uma pequena parte do espectro electromagnético que corresponde aos comprimentos de onda entre os 400 nm (violeta) e os 700 nm (vermelho), Figura IV.20, [Diehl, 2007].

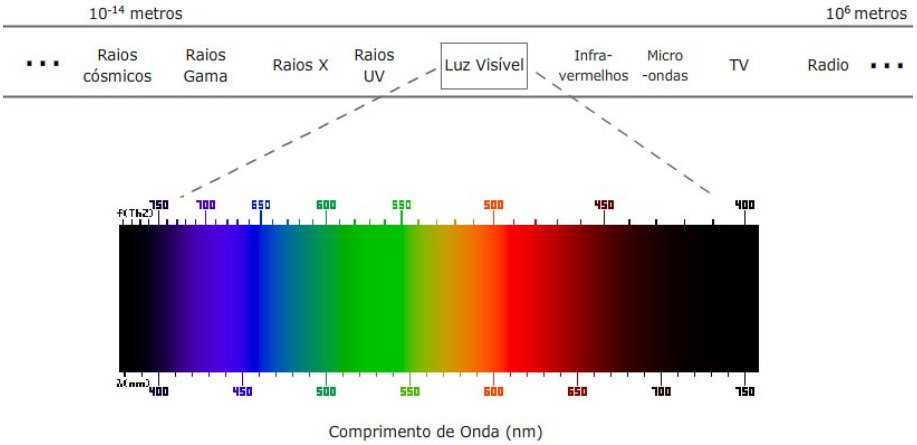


Figura IV.20 O espectro electromagnético: A luz visível corresponde a uma pequena parte do espectro electromagnético (entre os 400 e os 700 nm) (adaptado de [Palmer, 1999]).

De acordo com a teoria física prevalecente, a luz é composta por fotões (pequenas unidades de energia electromagnética) que possuem um determinado comprimento de onda. Neste sentido, é possível descrever cada porção uniforme de luz a partir do número de fotões que contém, em cada comprimento de onda. Esta descrição tem o nome de diagrama espectral e divide a luz em dois tipos: monocromática, que só contém um comprimento de onda na sua composição; e policromática, que contém vários, [Palmer, 1999].

[5] A descrição dessas implementações será efectuada no Capítulo V .

Como também foi referido, a visão do meio ambiente ocorre graças à propriedade reflectiva da luz e dos objectos. Mais concretamente, a visão não resulta da observação directa da fonte de luz, mas sim do produto do espectro da fonte de luz pelo espectro de reflexão dos objectos, Figura IV.21.

Figura IV.21 Distribuição espectral da luz que chega ao olho de um receptor (c) é o produto do espectro de radiância da fonte de luz (a) pelo espectro de reflectância do objecto percepcionado (b); a escala no eixo das ordenadas é arbitrária (adaptado de [Gallagher, 2003]).

Este facto faz com que os estímulos visuais, e em particular a percepção da cor, possam ser alterados dramaticamente através de mudanças, quer na qualidade quantidade de iluminação; quer nas propriedades reflectivas dos objectos, [Gallagher, 2003].

4.4.1.2 - Descrição psicológica da percepção da cor

A cor é a percepção humana da luz, [Diehl, 2007]. Assim, é uma experiência subjectiva que pertence ao observador, e que depende das propriedades do seu sistema de processamento visual. Embora seja possível existir luz de diferentes comprimentos de onda, independentemente do observador, o mesmo não se pode afirmar para a cor, uma vez que a cor é um fenómeno psicológico, [Palmer, 1999]. A cor é o nome que é atribuído à experiência causada por um atributo de uma superfície; nomeadamente, a sua reflectância espectral, [Arbib, 2003].

A estrutura da cor em termos psicológicos é definida através de três componentes:

- Cor (*Hue*), que corresponde à concepção comum de "cor" de um objecto;
- Saturação, que se refere à distância da cor ao cinzento de igual intensidade;
- Intensidade (*Lightness*), que corresponde à intensidade reflectida. A intensidade difere do brilho (*Brightness*) na medida em que este último refere-se a objectos luminosos.

Estas três dimensões definem o que é denominado por espaço da cor: um sistema de coordenadas tridimensional, onde cada ponto representa uma experiência possível de cor, Figura IV.22b.

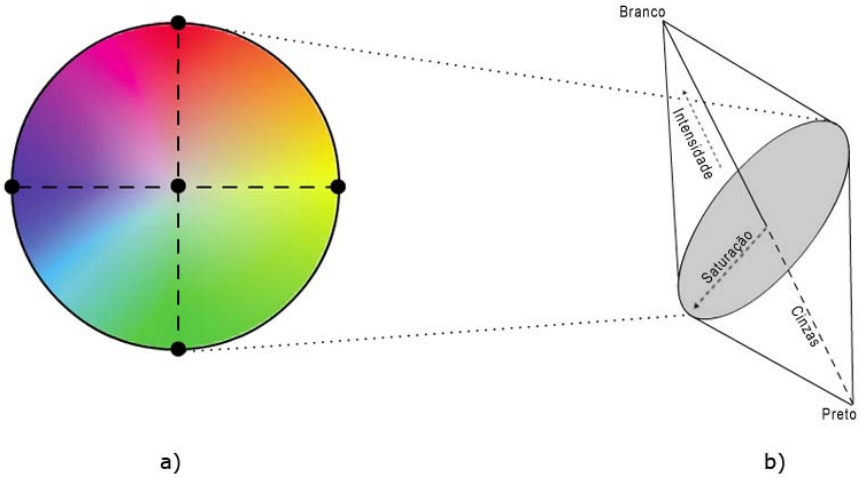


Figura IV.22 Um espaço de cor, em termos psicológicos (b) define-se através de três coordenadas: cor, saturação e intensidade; um círculo de cor (a) corresponde a uma secção do espaço de cor, fixado um valor para a intensidade (adaptado de [Palmer, 1999]).

Fixando um valor para a intensidade é possível obter uma secção do espaço de cor, ou círculo de cor, Figura IV.22. Embora existam vários espaços de cor, em função do propósito a que se destinam, [Ware, 2004], todos representam necessariamente uma amostra do espectro da luz, [Palmer, 1999].

Assim, se em termos físicos é necessário especificar um número infinito de valores para descrever o espectro de uma determinada luz; em termos psicológicos, a cor é descrita através de apenas de três componentes. Uma das implicações destes factos é que luzes fisicamente diferentes produzem as mesmas sensações de cor, [Palmer, 1999].

4.4.1.3 - Correspondência psicofísica

Apesar de possuírem estruturas significativamente diferentes, é possível estabelecer uma relação fiável entre a composição espectral da luz e as sensações de cor, [Arbib, 2003].

A especificação de como as descrições físicas se mapeiam às psicológicas é denominada correspondência psicofísica: diferenças na média espectral provocam diferenças na percepção da cor (*hue*); diferenças na área espectral produzem diferenças na percepção da intensidade; e diferenças na variância espectral produzem diferenças na percepção da saturação, [Palmer, 1999].

4.4.2 - Mecanismos fisiológicos da cor

O processamento de informação que resulta na visão da cor começa na retina com os fotoreceptores (cones e bastonetes). As propriedades destes receptores foram já abordadas; nomeadamente, o facto da sua sensibilidade se dever à presença de pigmentos visuais nos seus segmentos exteriores, [Ramachandran, 2002], aspecto particularmente importante no que concerne à visão da cor.

A Figura IV.23 ilustra as curvas do espectro de absorção dos segmentos exteriores das quatro classes de fotoreceptores existentes na retina e as suas médias: 498 nm, correspondendo à curva dos bastonetes; 420 nm, sendo a média relativa aos cones sensíveis ao azul; 534 nm, a média correspondente aos cones sensíveis ao verde; e, finalmente, 564 nm, a média dos cones sensíveis ao vermelho.

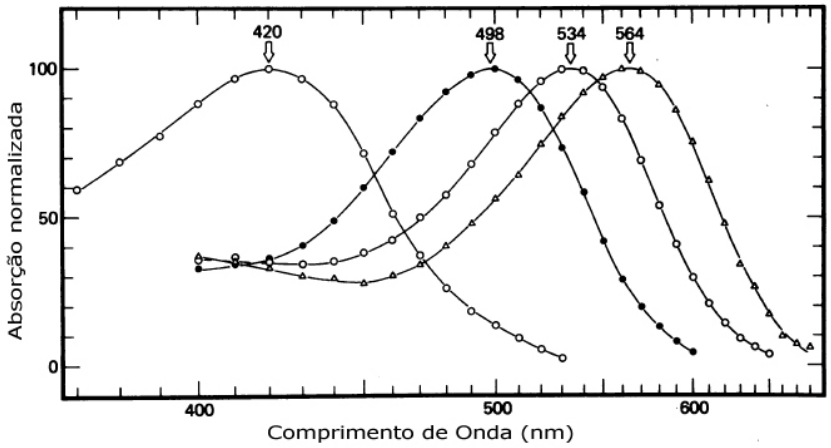


Figura IV.23 Curvas do espectro de absorção de bastonetes e cones existentes na retina humana, baseada em medições efectuadas em onze bastonetes, três cones sensíveis ao azul; onze cones sensíveis ao verde; e dezanove cones sensíveis ao vermelho (adaptado de [Bowmaker, 1980]).

4.4.2.1 - Princípio da Univariância

Um aspecto a destacar na Figura IV.23 é o facto de existir uma sobreposição significativa nos comprimentos de onda absorvidos pelos pigmentos. Efectivamente, é através da comparação da quantidade de luz absorvida que se realiza a visão da cor. A resposta dos pigmentos é proporcional ao número de fotões que cada um absorve, independentemente do comprimento de onda desses fotões, de modo a que cada um deles contribua igualmente para o sinal gerado. Isto significa que o sinal gerado por apenas um tipo de receptor não contém informação acerca do comprimento de onda absorvido. Esta propriedade é designada por Princípio da Univariância. Um resultado importante deste princípio é a incapacidade de discernir cores quando apenas os bastonetes estão operacionais, [Ramachandran, 2002], como acontece em situações de reduzida luminosidade.

O facto de existirem três dimensões no espaço da cor é também devido à existência de três tipos de receptores retinais e ao Princípio da Univariância, uma vez que numa tarefa de discernimento de cores, o observador está na realidade a ajustar as quantidades de luzes primárias de modo a que os três tipos de cones recebam o mesmo número de fotões, [Ramachandran, 2002].

4.4.2.2 - Discriminação da cor

A percepção da cor está intimamente ligada às propriedades receptivas do sistema visual do observador, havendo diferenças significativas entre espécies, como é possível verificar através da Figura IV.24. Através de gráficos é possível estabelecer uma comparação entre os espectros de sensibilidade de dois animais (abelha e macaco). É possível verificar que os primatas não possuem fotopigmentos sensíveis a comprimentos de onda localizados na parte ultravioleta do espectro electromagnético. Pelo contrário, as abelhas sim. Naturalmente, este facto tem implicações directas na discriminação de cores possível a cada observador, [Gallagher, 2003].

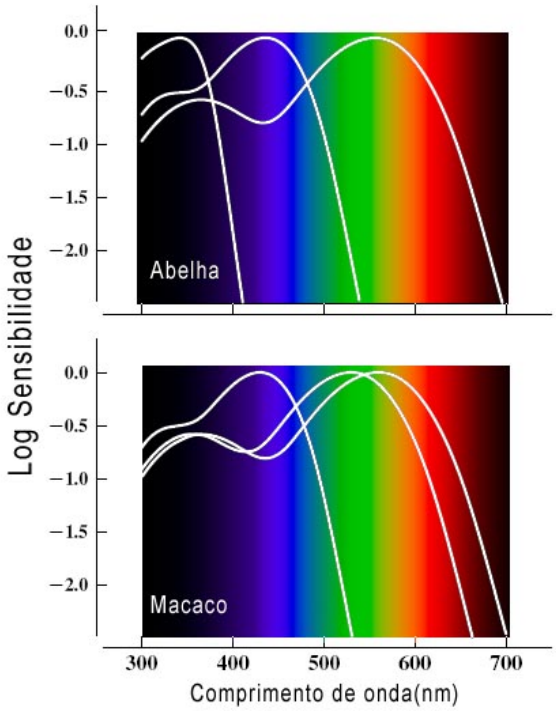


Figura IV.24 Espectro de absorção dos fotopigmentos encontrados em duas espécies distintas (abelha e macaco): como é possível verificar, a abelha possui um fotopigmento com absorção máxima na parte ultravioleta do espectro, o que não acontece com os primatas (adaptado de [Gallagher, 2003]).

Do ponto de vista evolucionário, crê-se que os animais tenham vindo a desenvolver os seus sistemas visuais, e mais concretamente, a discriminação e subsequente categorização das cores, em função de vários factores ecológicos. Uma categoria de cor pode guiar os comportamentos de várias formas: na procura de alimento, no caso dos frutos; ou nas interacções sociais, no caso da coloração; e até estar relacionada com a dimensão afectiva, [Noë, 2002].

A análise das propriedades de discriminação das cores é uma das formas de caracterizar a visão da cor nos seres humanos. Tal como com os outros animais, a sensibilidade humana à luz varia em função do comprimento de onda. As variações de sensibilidade aos vários comprimentos de onda estão ilustradas na Figura IV.25a). A existência destas variações significa que determinadas percepções de cor, originadas por comprimentos de onda de igual intensidade, variam em luminosidade, [Ramachandran, 2002].

Na Figura IV.25b) está representada a função de discriminação de comprimentos de onda. No eixo das ordenadas está a variação necessária à discriminação por um observador de um determinado comprimento de onda. É visível que existem duas áreas do espectro onde há uma maior capacidade de detecção por parte do sistema visual humano (os valores mais baixos de variabilidade encontram-se em dois pontos, um perto dos 500 nm e outro junto aos 600 nm).

A variabilidade da saturação está representada na Figura IV.25c e através dela pode-se verificar que as cores nas áreas dos vermelhos e dos azuis são percepcionadas como sendo muito saturadas ao contrário das

cores correspondendo a luzes nos comprimentos de onda entre os 570 e os 680 nm (percepcionadas como amarelo).

Estes resultados permitem concluir que os seres humanos possuem sistemas visuais capazes de distinguir com acuidade várias dimensões da cor, quando elas se apresentam separadas. Em condições de visualização normais, é estimado que quem possui visão da cor normal é capaz de discernir cerca de 2 milhões de cores de superfícies, [Ramachandran, 2002], sendo esta tarefa diferente, contudo, da categorização, ou atribuição de nome a uma dada experiência perceptiva.

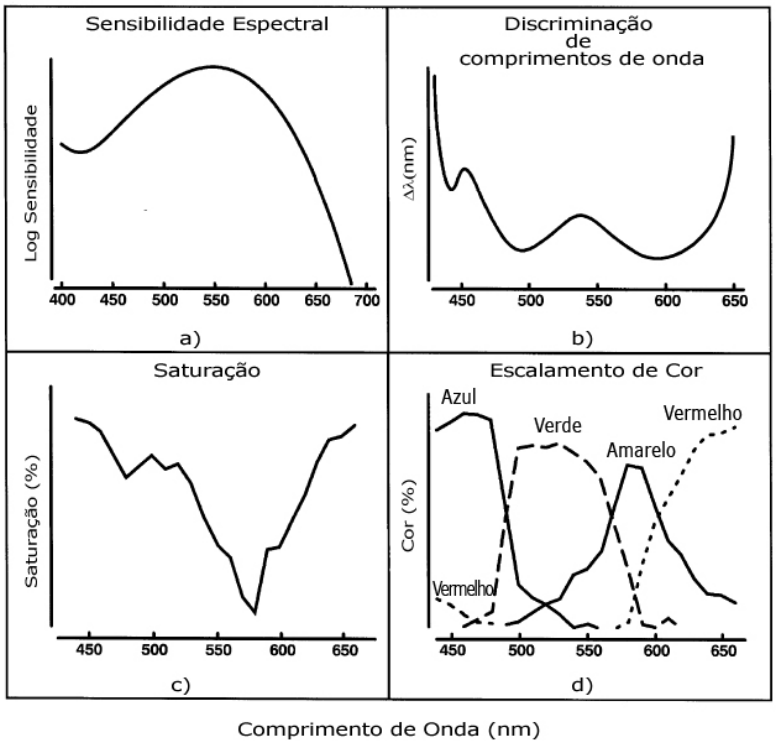


Figura IV.25 Quatro medições das capacidades de discriminação humanas: a) Função da Sensibilidade Espectral; b) Função da discriminação de comprimentos de onda; c) Saturação espectral; d) Cores (*Hues*) espectrais (adaptado de [Ramachandran, 2002]).

Em experiências de escalamento de cor, onde só são possíveis utilizar quatro cores (amarelo, azul, vermelho e verde) individualmente ou aos pares, é pedido aos participantes para classificarem os estímulos em categorias. Os resultados, Figura IV.25d), estão de acordo com a maior capacidade discriminatória ilustrada no gráfico (b). Estes resultados apontam também para um dos fenómenos abordados no em 4.4.3.2 -, que é o facto de determinados pares de cores aparentemente se excluírem mutuamente (como é o caso dos vermelhos-esverdeados), [Ramachandran, 2002].

4.4.3 - Teorias da visão da cor

São apresentadas em seguida as duas principais teorias da visão da cor, e são salientados os principais fenómenos que ambas explicam.

Embora tenham havido inúmeros debates ao longo do tempo acerca da validade destas teorias, é hoje possível afirmar que ambas explicam correctamente várias propriedades da visão da cor, complementando-se. Actualmente existe um consenso à volta de uma teoria dual que integra os vários aspectos explicados quer pela Teoria Tricromática, quer pela Teoria dos Processos Opostos. Nesta concepção teórica dual, considera-se que a Teoria Tricromática explica correctamente a operação dos receptores retinais, enquanto a Teoria dos Processos Opostos de Hering explica o funcionamento de um mecanismo mais tardio que ocorre no *Lateral Geniculate Nucleus* (LGN) e no córtex visual, combinando o *output* dos cones de um modo subtractivo, [Yantis, 2001].

4.4.3.1 - Teoria Tricromática

A Teoria Tricromática foi proposta por Young em [Young, 1802], e mais tarde desenvolvida por Helmholtz, ver [Helmholtz, 2005], motivo pelo qual é também conhecida por Teoria de Young-Helmholtz. A ideia central é a

de que a visão da cor depende dos três mecanismos receptores, cada um com sensibilidades espectrais diferentes. Estes três tipos de cones, que são mais sensíveis a um determinado comprimento de onda: curto (S, 430 nm); médio (M, 530 nm); ou longo (L, 560 nm), correspondem aos estímulos percepcionados como azul, verde-amarelo; e laranja-vermelho respectivamente, [Eysenck, 2005], Figura IV.26.

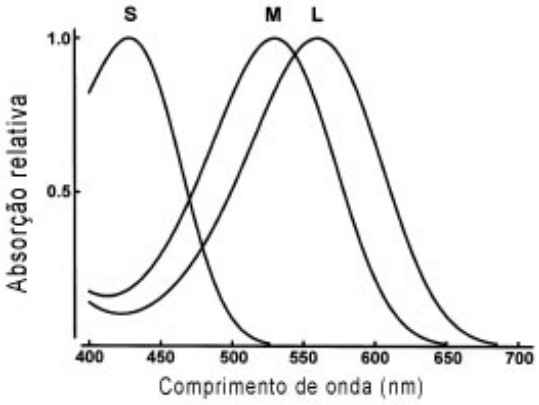


Figura IV.26 O espectro de absorção dos três tipos de cones na retina de pessoas com visão da cor normal (adaptado de [Ramachandran, 2002]).

De acordo com esta teoria, a luz com um determinado comprimento de onda estimula os mecanismos dos três receptores em níveis diferentes, sendo que o padrão de actividade em cada mecanismo resulta na percepção de uma cor. Cada comprimento de onda está assim codificado no sistema nervoso pelo seu padrão de actividade, [Goldstein, 2007].

Esta teoria explica diversos fenómenos relativos à visão da cor, nomeadamente: o facto de três cores serem suficientes para codificar todas as cores percepcionadas; e as três categorias de discromatopsia: deficiências na visão da cor, através do défice de determinados tipos de receptores, [Palmer, 1999].

4.4.3.2 - Teoria dos Processos Opostos

Embora a Teoria Tricromática explique vários fenómenos importantes relativos à visão da cor, o mesmo não acontece com alguns aspectos ligados às experiências subjectivas dos observadores, como por exemplo as *Afterimages* (ponto 4.4.4.2 -). Além disso, verificou-se que a categorização das cores básicas efectuada por observadores era dividida em quatro cores (amarelo, azul, vermelho e verde) e não três; e, finalmente, o facto de na descrição da composição das cores os tipos de cores vermelhos-esverdeados e amarelos-azulados, por exemplo, serem de difícil ou mesmo impossível concretização, [Yantis, 2001].

Hering em [Hering, 1878], tendo em conta as dificuldades da Teoria Tricromática em explicar os fenómenos referidos acima, sugere a existência de quatro cores primárias que são detectadas por pares de mecanismos opostos: um vermelho-verde; e outro amarelo-azul; e ainda um par relativo à intensidade (Preto-Branco). Segundo esta teoria são também três os tipos de receptores responsáveis pela visão da cor. No entanto, como é possível verificar na Figura IV.27, Hering, em [Hering, 1878], sugere que estes três tipos de receptores podiam responder em direcções opostas (resposta positiva ou negativa) a partir de um ponto neutro, codificando assim o sinal em canais: vermelho-verde; amarelo-azul; e branco-preto.

4.4.4 - Fenómenos básicos

São descritos em seguida alguns fenómenos ligados directamente à percepção da cor, com relevância para a visualização de informação. Alguns, como descrito no ponto seguinte, providenciam maior enquadramento à temática, outros concentram-se em aspectos mais próximos das questões de aplicabilidade da cor.

Figura IV.27 No modelo proposto por Hering os sinais processados pelos cones correspondem a três canais distintos: Vermelho-Verde; Amarelo-Azul e Branco-Preto (adaptado de [Ware, 2004]).

4.4.4.1 - Mistura de luz

Como foi referido anteriormente, existem cores cuja composição corresponde a apenas um comprimento de onda (monocromáticas), e cores às quais correspondem vários comprimentos de onda (policromáticas). Para estas últimas, que são a maioria, coloca-se a questão de saber como são combinados os comprimentos de onda.

No espaço da cor, a resultante da mistura de duas luzes (A e B) estará sempre na linha que as une, Figura IV.28a), sendo que a resultante da mistura de três luzes se encontra no triângulo por elas definido, Figura IV.28b)[6].

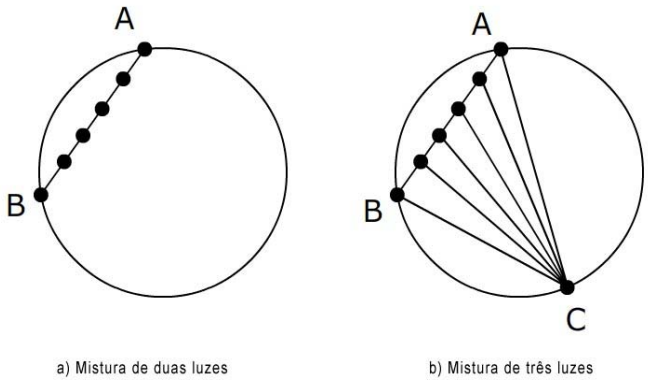


Figura IV.28 Mistura de luzes no espaço da cor: a cor resultante da mistura de duas luzes estará sempre na linha do espaço da cor que as une (a); e a cor resultante da mistura de três luzes estará no triângulo por elas definido (adaptado de [Palmer, 1999]).

A localização precisa da cor resultante depende das proporções de cada componente: cor, saturação e intensidade, [Palmer, 1999].

4.4.4.2 - Persistência de imagem

Outro fenómeno relativo à visão da cor é a persistência de imagem (*colour afterimages*), ou seja, percepções que subsistem após um período de estimulação. Um exemplo deste tipo de efeito, visível através da Figura IV.29, demonstra que a exposição a cores saturadas provoca a percepção posterior persistente de outras cores. Mais concretamente, as suas cores complementares, isto é, as cores opostas no círculo da cor ilustrado na Figura IV.22, [Palmer, 1999]. Após a visualização estável e prolongada do estímulo presente na Figura IV.29a, se o observador fixar o ponto negro em Figura IV.29b terá a percepção da bandeira Suiça (cruz branca e fundo vermelho). Este tipo de efeitos é particularmente indesejado na visualização de informação crítica como é referido em [Ahlstrom, 2001].

[6] Para cores que se encontram fora do triângulo é necessário utilizar quantidades negativas de cor (no sentido vectorial) e, nesse caso, a resultante, R, não será igual a A+B+C, mas será obtida a partir da fórmula R+C= A+B, sendo R qualquer cor fora do triângulo definido por A, B e C.

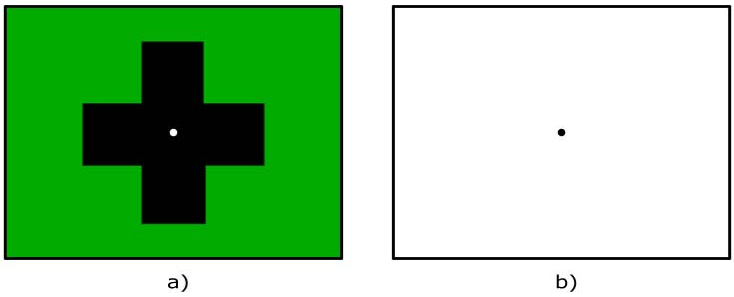


Figura IV.29 Persistência de cor: ao fixar o olhar numa imagem com cores saturadas (a) durante um período suficientemente longo (30-60 segundos) é possível verificar o resultado de uma *Afterimage* composta pelas cores complementares dessa imagem em (b) (adaptado de [Palmer, 1999]).

4.4.4.3 - Contraste de cor simultâneo

A aparência de uma cor é fortemente influenciada pelo contexto em que é visualizada, [Wilson, 1999]. Um exemplo conhecido deste facto é conhecido por Contraste de Cor Simultâneo, também chamado de Indução de Cor. Este efeito, menos evidente que os efeitos de Contrate de Luminosidade (descritos em 4.4.6 -), resulta na percepção de cores complementares, não em função do tempo, mas em função do espaço, Figura IV.30. Quando uma figura está rodeada por um fundo fortemente colorido, a sua percepção é influenciada pela cor do fundo, [Palmer, 1999].

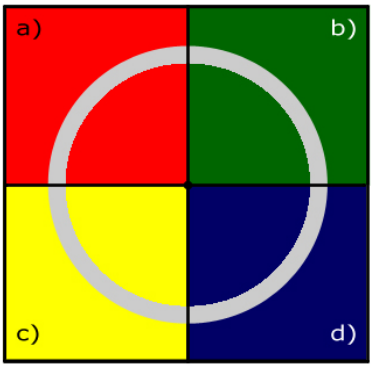


Figura IV.30 Contraste simultâneo de cor (ou indução de cor); é possível verificar que embora o anel seja uniformemente cinza a percepção da sua cor é influenciada pelos fundos que o rodeiam: a) parece mais verde quando rodeado por vermelho; b) parece mais vermelho, quando rodeado por verde; c) parece mais azul, quando rodeado por amarelo; d) e parece mais amarelo, quando rodeado por azul (adaptado de [Palmer, 1999]).

Este fenómeno é explicado pelas propriedades de células localizadas no córtex visual e por mecanismos de inibição/excitação. Neste caso em particular, orlas azul-amarelas e vermelho-verdes são intensificadas pela interacção celular descrita na Figura IV.31, [Ramachandran, 2002].

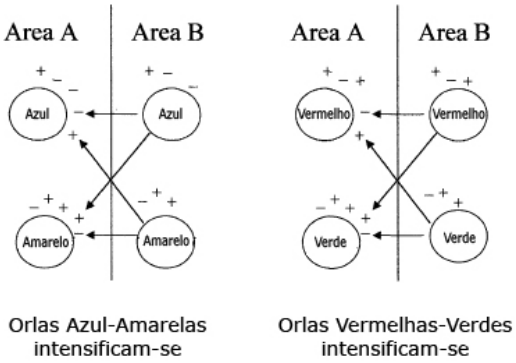


Figura IV.31 Contraste simultâneo de cor (ou indução de cor): células que respondem a uma cor em particular numa dada área inibem o mesmo tipo de neurónio numa área vizinha. Adicionalmente, uma célula que detecta uma dada cor excita células que detectam a cores complementar em áreas vizinhas do espaço. Desta forma, as orlas vermelho/verde e azul/amarelo são intensificadas (adaptado de [Ramachandran, 2002]).

4.4.4.4 - Adaptação cromática

O tópico da adaptabilidade do sistema visual não só se verifica nos casos da adaptação às condições de iluminação como também às condições de variações cromáticas. Se exposto de modo prolongado a uma determinada cor, o sistema visual demonstra uma diminuição de sensibilidade a essa mesma cor, imediatamente a seguir, [Palmer, 1999]. Um exemplo deste fenómeno está ilustrado na Figura IV.32.

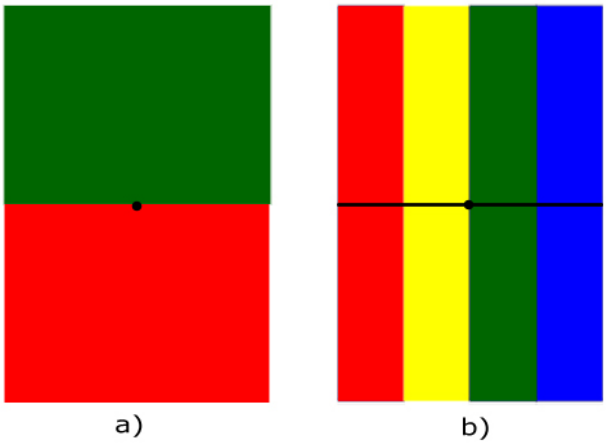


Figura IV.32 Adaptação cromática: ao fixar a imagem (a) durante cerca de 60 segundos, e olhando em seguida para a imagem (b) é possível verificar que a percepção das cores é diferente nas duas secções da imagem (adaptado de [Palmer, 1999]).

4.4.4.5 - Deficiências de cor

A Teoria Tricromática estabeleceu uma relação directa entre os fotoreceptores existentes na retina e a percepção da cor; e é através desta relação que são explicadas as diferenças existentes entre indivíduos relativamente à visão da cor. Cerca de 10% dos homens e menos de 1% das mulheres sofre de um tipo de deficiência na visão da cor, [Ware, 2004]. Esta discrepância é explicada geneticamente, uma vez que os genes que transportam a informação relativa aos pigmentos visuais sensíveis vermelho-verde estarem codificados no cromossoma X, [Ramachandran, 2002].

Do ponto de vista da fisiologia do sistema visual, as diferenças na percepção da cor não se resumem, portanto, a variações entre espécies, mas também ao nível de uma mesma espécie.

Genericamente, as deficiências na visão da cor são denominadas Discromatopsias, existindo vários subtipos em função dos graus de severidade. Os indivíduos que possuem uma visão "normal" são chamados Tricromatas, enquanto indivíduos com algum tipo de deficiência na visão da cor serão Monocromatas, Dicromatas, ou Tricromatas Anómalos, dependendo do tipo de anomalia. Os primeiros percepcionam o mundo apenas através de variações de intensidade, e o seu volume de cor concentra-se apenas no eixo central das cores acromáticas. Os Dicromatas possuem uma alteração genética que faz com que não tenham um dos três tipos de cones na retina. Dividem-se em três tipos: Protanopos - alteração genética do pigmento sensível ao vermelho; Deuteranopos - alteração ou ausência do gene relativo ao pigmento sensível ao verde; e Tritanopos - ausência ou alteração do pigmento visual azul. Finalmente os Tricromatas Anómalos são indivíduos que possuem todos os cones, mas o pigmento existente nas suas células é anormal, [Ramachandran, 2002], o que faz com que a mistura de cores seja feita em proporções diferentes das "normais", [Palmer, 1999].

- ***Small field color blindness***

Um fenómeno directamente relacionado com as deficiências de cor é o que Ware designa, em [Ware, 2004], por *small field color blindness.* Este fenómeno, ilustrado pela Figura IV.33, traduz-se por uma dificuldade acrescida na distinção de cor devida ao tamanho do campo onde está a ser utilizada a cor. A ocorrência deste tipo de dificuldade acontece quer para o eixo amarelo-azul (a,b); quer para o eixo verde vermelho (c,d).

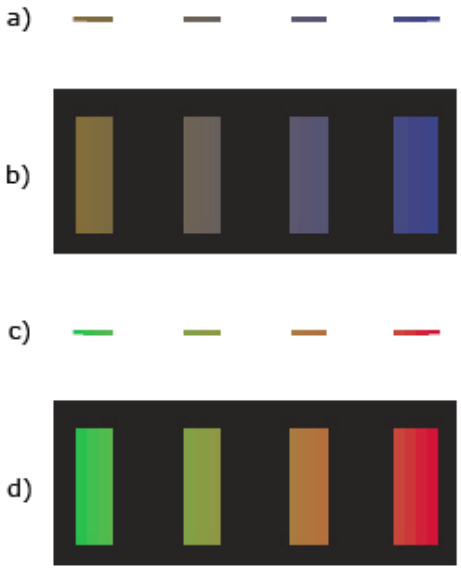


Figura IV.33 Exemplo do efeito *small field color blindness*: a distinção de cores é dificultada pelo tamanho do campo. Isto verifica-se, quer no eixo amarelo-azul (a,b); quer no eixo verde-vermelho (c,d) (adaptado de [Ware, 2004]).

4.4.5 - Experiência e cor

Como noutros domínios perceptivos, também a percepção da cor é influenciada por processos de alto nível, nomeadamente, os ligados à memória.

Um efeito importante da memória na percepção da cor é que possibilita a constância da cor; ou seja, quando um objecto é visto em diferentes condições de iluminação; por exemplo, um sinal de "STOP", é percepcionado com sendo vermelho independentemente de ser dia ou noite. Associado a este efeito está ainda o facto de as cores de objectos familiares parecem mais saturadas, ou mais vivas, [Jin, 1996]

Deste modo, pode-se afirmar que o conhecimento que um indivíduo possui acerca de um determinado objecto (a sua cor característica, por exemplo) provoca uma alteração na percepção da cor desse objecto [Goldstein, 2007].

4.4.6 - Percepção da Luminosidade

A luminosidade é a percepção da reflectância de uma superfície, isto é, a fracção de energia reflectida por uma dada superfície. Outra das tarefas do sistema visual humano é a constância de luminosidade (*lightness constancy*), ou seja, a capacidade que o sistema visual tem de percepcionar uma dada superfície acromática como tendo a mesma reflectância, independentemente das condições de iluminação, [Gazzaniga, 1999].

4.4.6.1 - Inibição lateral

A expressão *inibição lateral* refere-se a um fenómeno que ocorre ao nível neuronal quando a iluminação de um receptor influencia a resposta de outro seu vizinho. Este efeito explica alguns fenómenos perceptivos, como por exemplo o demonstrado através da Grelha de Hermann, Figura IV.34, [Ware, 2004], e deriva directamente das características receptivas centro-periferia das células ganglionares. A percepção deste efeito é, contudo, diminuída se for adicionada curvatura, [Levine, 2008]. Este é um exemplo de como o processamento de baixo nível explica um fenómeno perceptivo. Há ainda fenómenos de luminosidade que não podem ser explicados pela inibição lateral. São disso exemplos a *White's Illusion*, Figura IV.35a, e a cruz de Benary, Figura IV.35b. Estes efeitos, chamados de Assimilação, como é referido em [Arbib, 2003], são explicados por um modelo computacional proposto por Pessoa e Ross, em [Ross, 2000b]. Em termos de contraste local, o efeito deveria ser o inverso. No entanto, pensa-se que estes fenómenos também podem estar relacionados com o processamento das estruturas denominadas junções em T, [Todorovic, 1997].

As junções em T são definidas pela presença de três regiões adjacentes de diferentes intensidades. No caso da Figura IV.35c) são as áreas q, s e r/t (que formam uma região única). As partes que ocupam a área à volta do T são agrupadas para a computação da luminosidade, com a intersecção do T a servir de fronteira. Esta

acção das junções em T pode ser tão forte que sobrepõe-se a outros factores de agrupamento tradicionais, como a coplaneariedade, [Wilson, 1999].

Do ponto de vista neuronal, estas junções contêm informação relativa ao ordenamento de profundidade que, parece ser codificada pelos neurónios na zona V2, [Baumann, 1997].

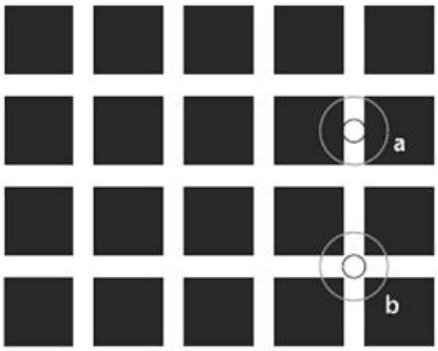


Figura IV.34 Grelha de Hermann: É possível verificar a existência de imagens fantasma cinzentas nas intersecções. Este facto resulta das características dos campos receptivos das células ganglionares (retirado de [Ware, 2004]).

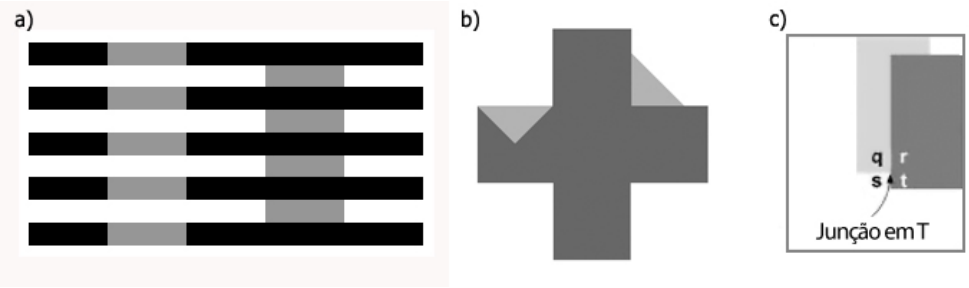


Figura IV.35 a) *White's illusion*. b) Benary Cross. No caso destas figuras, a explicação dos efeitos de contraste resultantes está relacionada com as Junções em T, (c) (adaptado de (a) [Gazzaniga, 1999]; (b) de [Goldstein, 2007]; e (c) de [Wilson, 1999]).

4.4.7 - Funções da cor

Como foi referido no início desta secção, a cor possui diversas funções no âmbito da visualização crítica. Biologicamente, no entanto, a cor começa por ser facilitadora das tarefas ligadas à identificação e detecção de alimento. Sumner, em [Sumner, 2000], analisou as posições espectrais dos pigmentos dos primatas que fizeram parte do seu estudo e concluiu que a sua localização está optimizada para esse fim, permitindo distinguir melhor alimentos maduros de alimentos verdes, Figura IV.36. Esta função de discriminação pode ser, naturalmente, transposta para contextos de visualização de informação, e para tarefas de busca visual, em particular.

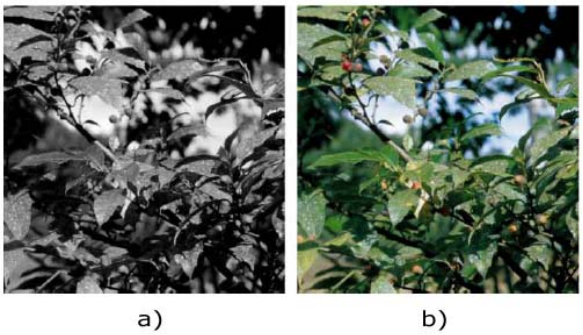


Figura IV.36 Os frutos são mais facilmente percepcionados na versão a cores (b) do que na versão em níveis de cinzento (a), o que ilustra a importância da trocromacia numa tarefa de busca visual (adaptado de [Sumner, 2000]).

Adicionalmente, a utilização da cor permite identificar melhor os objectos conhecidos, e discerni-los dos fundos que os rodeiam, facilitando assim a organização perceptiva, [Tanaka, 1999].

Uma função diferente mas talvez ainda mais importante da visão da cor (abordada com maior pormenor no ponto seguinte) é a da atribuição de categorias perceptivas com significância cognitiva, [Noë, 2002].

4.4.8 - Categorização e Cor

Como já foi abordado no ponto 3.3 -, uma vez percepcionados, os objectos são categorizados; ou seja, é lhes atribuído um rótulo linguístico e são identificados como pertencentes a um determinado conjunto. Do mesmo modo, após uma superfície colorida ser percepcionada e representada internamente, ocorre um processo de categorização. Este processo traduz-se numa transformação do espaço tridimensional contínuo de cor em categorias discretas de cor, [Palmer, 1999]. Um exemplo deste facto é a percepção do arco-íris, onde o espectro contínuo de luz é percepcionado como estando dividido em áreas de cor distinta.

Da discriminação da luz em percepções de cores distintas resulta a possibilidade de utilizar essas cores como rótulo, ou seja, enquanto codificadoras nominais de informação. E o facto dessa codificação ser nominal, significa que não necessita de existir uma ordenação, mas simplesmente a memorização dos objectos a ser rotulados, de modo a serem distinguidos uns dos outros em categorias, [Ware, 2004].

4.4.8.1 - Nomeação

A nomeação de cores traduz-se numa relação de significado entre a percepção de um determinado estímulo e o rótulo linguístico que é atribuído pelo observador. Berlin e Kay, em [Berlin, 1999], realizaram um estudo trans-cultural acerca dos nomes dados às cores e concluíram que os termos atribuídos às cores primárias são surpreendentemente consistentes entre culturas. Além disso, verificaram que os rótulos utilizados coincidiam com os eixos primários da teoria dos processos opostos (amarelo, vermelho, verde e azul). Estes resultados apontam para que a nomeação de certas cores tenha uma base neurológica. Antes destes autores, contudo, a teoria que prevalecia, e que ainda hoje possui adeptos, é conhecida por Relativismo Cultural. A ideia central desta teoria é a de que cada cultura e linguagem impõem as suas idiossincrasias na definição da estrutura das experiências cromáticas de cada indivíduo, [Palmer, 1999].

As cores, como salienta Ware, em [Ware, 2004], são percepcionadas como atributos de objectos, e este facto torna-as de particular importância para a visualização de informação crítica, uma vez que codificam informação. No entanto, apesar de os seres humanos conseguirem ver 2 milhões de cores, não possuem 2 milhões de conceitos para as organizar mentalmente. Assim, uma questão que se coloca será a de determinar em que categorias são divididos os vários estímulos, e se existe uniformidade entre indivíduos nessa categorização. Como já foi referido, existe uma relação entre as propriedades de discriminação do sistema visual e a categorização. Daí que cores próximas dos comprimentos de onda mais facilmente discriminados pelo sistema visual sejam identificadas com maior precisão, como é o caso do amarelo, [Ramachandran, 2002]. Este facto é comprovado pela Figura IV.37, onde se ilustram os resultados de uma experiência realizada por Post, em [Post, 1986], na qual o processo de categorização de cores visualizadas num ecrã de computador foi testado.

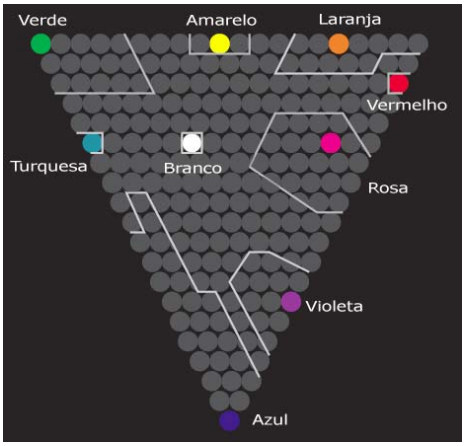


Figura IV.37 Resultados de uma experiência de categorização onde foi solicitado aos sujeitos a nomeação de 210 cores. As linhas cinza delimitam as áreas onde cujos estímulos corresponderam à mesma categoria de cor com uma probabilidade superior a 75% (adaptado de [Ware, 2004]).

Destes dados, consideram-se pertinentes para a visualização de informação dois aspectos destacados por Ware, em [Ware, 2004]:

- O facto de apenas oito cores terem sido nomeadas com consistência sugere que o número possível de cores que podem ser utilizadas como rótulos é pequeno;

- Em linha com o que foi referido, os resultados deste tipo de experiência são condicionados pelo tipo de fundos utilizado, devido a efeitos de contraste.

4.4.9 - Factores perceptivos na aplicação da cor

Como regra geral, Diehl, em [Diehl, 2007], afirma que a cor deve ser utilizada para detalhar informação, ao passo que a forma pode ser utilizada para detalhar informação acerca de um único objecto, mas também pode ser utilizada para estabelecer a relação entre objectos diferentes. No entanto, e tendo em conta os vários aspectos anteriormente descritos, são sintetizados em seguida mais alguns factores do âmbito perceptivo que devem ser considerados na aplicação da cor na visualização de informação, em particular, como ferramenta de codificação de dados.

Consideram-se dois domínios principais: por um lado, os factores externos, como, por exemplo, o facto das percepções de cor serem influenciadas por diferenças de iluminação; e, por outro, os factores internos, resultantes das particularidades do sistema perceptivo de cada observador.

4.4.9.1 - Distinção

Na aplicação da cor em contextos de visualização tem de ser tidas em conta as capacidades de discriminação do sistema visual (inclusivamente as questões relacionadas com as deficiências de cor), bem como os fenómenos perceptivos descritos nos pontos anteriores, de modo a que a escolha das cores a ser utilizadas na visualização de dados seja isenta de ambiguidade.

Ware, em [Ware, 2004], explica que uma das formas de garantir essa ausência de ambiguidade é através da utilização de espaços de cor e da regra do *Convex Hull*, [Bauer, 1996], havendo, no entanto outras formas optimizar as propriedades distintivas dos objectos, do ponto de vista da cor, ver, por exemplo, [van de Weijer, 2006], onde é proposto um algoritmo cujo objectivo é exactamente esse.

4.4.9.2 - Cores primárias

Entendem-se aqui como cores primárias as que: do ponto de vista fisiológico, estão ligadas ao modelo de processos opostos (ver 4.4.3.2 -); e as que, do ponto de vista cultural, são presentes nos vocabulários dos povos (ver 4.4.8.1 -).

Uma recomendação é proposta por Ware, em [Ware, 2004], relativamente a estas cores: uma vez que são associadas a categorias diferentes, não devem ser utilizados vários tons de uma dessas cores como forma de codificar categorias, mesmo que esses tons sejam possíveis de discriminar claramente.

4.4.9.3 - Contraste com o fundo

Devem ser minimizados ou eliminados os efeitos de contraste, nomeadamente o abordado no ponto 4.4.4.3 -através de métodos como a utilização de contornos, [Ware, 2004].

4.4.9.4 - Número

Apesar das capacidades do sistema visual possibilitarem a discriminação de um número considerável de cores (ver 4.4.2.2 -) a utilização da cor como forma de categorização deve estar limitada a um número entre os 5 e os 12 tons, como as apresentadas na Figura IV.38; ver, por exemplo, [Healey, 1996].

Figura IV.38 Conjuntos de cores recomendadas para a codificação de informação (retirado de [Ware, 2004]).

4.4.9.5 - Tamanho do campo

Relativamente à relação da cor com o tamanho dos campos onde ela será utilizada, deverá ser tido em conta, em primeiro lugar, o efeito de *Small field Colour Blindness*. Adicionalmente, recomenda-se que a saturação das cores a utilizar seja inversamente proporcional à área da região a aplicar a cor, [Ware, 2004].

4.4.9.6 - Convenções

Finalmente, o facto de existirem associações culturais em relação a determinadas cores, deve ser tido em conta na visualização de informação. Este aspecto é importante na medida em que as associações culturais não são necessariamente comuns a todas as regiões do globo, [Madden, 2000].

4.4.9.7 - Propriedades dos canais cromáticos

Do ponto de vista da visualização de informação, existem algumas propriedades destes canais destacadas por Ware, em [Ware, 2004]; em particular, a sensibilidade espacial de cada canal. Apesar de existirem diferenças entre os dois canais cromáticos (eixos verde-vermelho e azul-amarelo), são as diferenças entre estes últimos e o canal de luminância (eixo branco-preto) as consideradas mais significantes.

Relativamente à informação que cada canal consegue transmitir, verifica-se que os canais cromáticos são inferiores comparativamente ao canal de luminância. Essa inferioridade traduz-se numa diferença em termos da sensibilidade espacial de cada canal e em outros três aspectos:

- Na visualização de profundidade estereoscópica: é muito difícil de ver a profundidade estereoscópica em pares que difiram apenas em termos dos canais de cor;
- Na percepção de movimento; que parece ser baseada em informação proveniente do canal de luminância;
- Na percepção da forma.

Estas diferenças existem porque os canais cromáticos azul-amarelo e verde-vermelho só são capazes de transportar cerca de um terço da informação transportada pelo canal de luminância. Assim, informação graficamente detalhada não deve ser conseguida através apenas de diferenças cromáticas.

- ***Sensibilidade espacial***

Mullen, em [Mullen, 1985], refere que a sensibilidade ao contraste é maior para luzes monocromáticas do que para policromáticas, sendo essa diferença expressa numa menor capacidade de distinguir detalhe. Este facto é ilustrado na

Figura IV.39.

Figura IV.39 Exemplo de uma combinação de cores de igual luminância que resulta numa pobre distinção de detalhe (adaptado de [Ware, 2004]).

4.4.10 - Uso da cor em Sistemas de Gestão de Tráfego Aéreo

Como é referido no início deste capítulo, a aplicação da cor em sistemas de visualização de informação crítica é efectuada de várias formas, havendo, no contexto dos serviços de tráfego aéreo, organismos como a *International Civil Aviation Organization* (ICAO) ou a *Federal Aviation Administration* (FAA) com um papel importante na criação de normas e recomendações, como forma de regular essa aplicação.

A utilização da cor, enquanto ferramenta na visualização de dados, é analisada pela ICAO em [ICAO, 2000]. Segundo este documento, o processo de implementação da cor em sistemas de tráfego aéreo deverá ser

fundamentado em factores humanos e não baseado nas preferências individuais dos utilizadores, para que seja eliminada a variabilidade e optimizada a performance. Este processo de implementação divide-se nas seguintes etapas:

- Desenvolvimento de um esquema de codificação - fase onde é efectuada a identificação de tarefas e subtarefas em que a cor pode eventualmente vir a ser útil; como, por exemplo, na identificação de tipos de tráfego;
- Criação de uma hierarquia de informação - como a informação será codificada através da cor; esta hierarquia engloba informação a ser visualizada desde o fundo até aos avisos e alertas; Nesta fase é necessário tomar decisões acerca da cor do fundo, tendo em conta as condições de iluminação.
- Nomeação - depois de escolhido o fundo e definida a hierarquia de informação, é necessário estabelecer uma relacionar os nomes das cores a grupos específicos de informação;
- Verificação de legibilidade e de discriminabilidade dos vários textos e símbolos utilizados;
- Análise da implementação - revisão pelos utilizadores em condições operacionais; avaliação; e comparação com sistemas já em uso.

De acordo com a ICAO, em [ICAO, 2000], a cor é uma óptima ferramenta para organizar informação complexa se implementada de modo adequado. No entanto, na sua implementação devem ser tidos em consideração alguns princípios.

São, em seguida, referidas algumas regras e recomendações relativas à utilização da cor em sistemas de visualização de informação crítica, propostas em [ICAO, 2000; Yuditsky, 2004], que, como será possível constatar, estão directamente ligadas a alguns dos fenómenos abordados nos pontos anteriores, nomeadamente em relação aos seguintes aspectos:

Função

- A cor pode ser muito eficaz no destaque de informação, chamando a atenção, como forma de agrupamento de elementos semelhantes;
- Deve ser usada para designar categorias significativas de modo a facilitar a *performance,* [Yuditsky, 2004].

Codificação

- Quando for usada para codificar informação crítica tem de ser usada em conjunto com outro método de codificação (tamanho do texto, vídeo invertido, símbolos);
- Deverá existir consistência no conjunto de cores utilizadas em todos os displays usados na posição de trabalho, [ICAO, 2000];
- Devem ser tidas em conta convenções culturais, [ICAO, 2000; Yuditsky, 2004].

Número

- O número total de cores não deve exceder quatro para um único *display* e sete para *displays* relacionados; Cores adicionais devem estar reservadas para usos especiais como visualizações de mapa, [Yuditsky, 2004];
- Quando for usada para atribuir significado único, por exemplo, (vermelho, para emergências) não mais de 6 cores deverão ser usada, [ICAO, 2000].

Legibilidade e discriminação

- O uso da cor não deve reduzir a legibilidade do *display*. As cores devem portanto ser escolhidas tendo em conta a sua interacção com os fundos, [Yuditsky, 2004];
- O azul puro não deverá ser usado para texto;
- Todo o texto e símbolos deverão ser apresentados com contraste suficiente;
- Devem ser consideradas diferentes condições de iluminação;
- Deverá evitar-se o uso de cores simultaneamente saturadas e intensas, [ICAO, 2000].

Embora muitas vantagens possam advir do uso da cor em sistemas de controlo de tráfego aéreo, a sua aplicação não está isenta de riscos. Um exemplo de uma dificuldade causada pela utilização da cor nestes contextos é a aparente dificuldade em detectar conflitos entre grupos de aeronaves codificadas através da cor. Análises efectuadas em simulações de controlo de tráfego aéreo demonstram que quando a cor serve para codificar blocos de dados usados para distinguir tipo de tráfego (por exemplo, verde para partidas e azul para chegadas) existe uma tendência para não detectar conflitos entre elementos de categorias diferentes, [ICAO, 2000].

4.4.11 - Problema computacional da percepção do movimento

De um modo simples, o movimento visual pode ser entendido com uma mudança na informação óptica percepcionada no tempo e no espaço, [Goldstein, 2001].

O problema da percepção do movimento, em termos computacionais, é o de explicar como essa mudança de informação é conseguida. Ou seja, como é que é obtida uma percepção verídica da movimentação dos objectos num meio ambiente estacionário, a partir de um evento óptico na retina, [Palmer, 1999]. A resolução deste problema, ainda segundo Palmer, é feita em dois passos:

1) Um processo inicial de análise de movimento, responsável por um movimento de uma imagem em 2-D;
2) Um processo subsequente de interpretação desse movimento de imagem em termos do deslocamento de objectos 3D no espaço.

Enquanto que os mecanismos da primeira fase dizem respeito às mudanças na distribuição de luminância, e ao modo como essas mudanças podem ser detectadas ao longo do tempo; na segunda fase, considera-se a informação relativa à movimentação dos objectos no meio ambiente tridimensional. Esta segunda fase traduz-se na integração do movimento de imagem com informação acerca de como o olho se está a mover e da distância aos objectos em movimento, de modo a que, em última análise, seja possível atingir a constância de movimento: a percepção verídica do movimento dos objectos no seu meio ambiente, independentemente das variações no movimento da imagem, devidos a factores de visualização como a movimentação do olho, da cabeça ou do corpo, [Palmer, 1999].

4.4.11.1 - Movimento de imagem

O ponto de partida para a análise da percepção em geral, e da percepção do movimento em particular, é a luz existente no meio ambiente. De acordo com Gibson, em [Gibson, 1986], a percepção trata-se simplesmente da tarefa de identificação da informação disponível no meio ambiente que providencia os dados necessários à percepção; isto é, informação relativa à estrutura das superfícies, texturas e contornos do meio ambiente. Segundo a sua teoria, essa informação está contida naquilo a que designou por *array* óptico.

Ainda de acordo com Gibson, é possível distinguir vários tipos de movimento, em função das diferentes mudanças na informação óptica, [Gibson, 1986], o que, de um modo geral, produz duas situações em relação ao observador, [Goldstein, 2001]:

- Ou desloca-se no seu ambiente, e neste caso falar-se-á de fluxo óptico;
- Ou permanece estático enquanto fixa um elemento existente no ambiente, e neste caso falar-se-á de movimento de objectos.

Uma forma de conceptualizar a informação contida no *array* óptico é através de diagramas de espaço-tempo. Estes diagramas representam a estrutura da imagem enquanto varia ao longo do tempo, como por exemplo a trajectória de um ponto, [Palmer, 1999].

Na Figura IV.40 está representado o movimento de velocidade constante de um ponto, sendo que um aumento na velocidade do ponto aumentaria o declive da recta. No gráfico b) está representado o que é designado por movimento harmónico, e no gráfico c) o movimento aparente, também conhecido por movimento estroboscópico, e que é abordado mais adiante; neste caso, o ponto é apenas percepcionado como estando a mover-se. A representação deste tipo de movimento corresponde a sequências descontínuas de segmentos de recta que representam um quadro (*frame*).

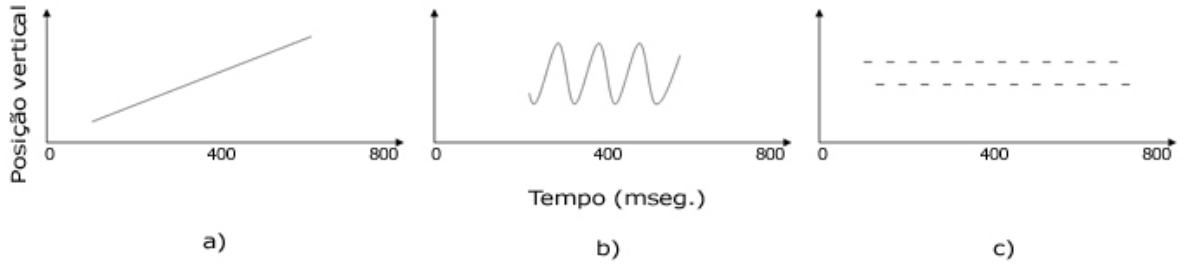


Figura IV.40 Diagramas de espaço-tempo de três eventos simples: cada gráfico representa o movimento de um único ponto ao longo de uma trajectória vertical, sendo que em (a) o ponto move-se para cima com velocidade uniforme; em (b) move-se continuamente para cima e para baixo em movimento harmónico; e em (c) move-se discretamente para cima e para baixo produzindo movimento aparente (adaptado de [Palmer, 1999]).

O problema computacional do sistema perceptivo é a conversão da informação contida num diagrama espaço-tempo na velocidade dos objectos. O seu objectivo não é o de recuperar a velocidade das imagens na retina, mas a velocidade dos objectos no mundo, [Palmer, 1999], sendo que a percepção da velocidade de um estímulo depende não apenas da velocidade dos estímulo, mas também de pistas oculares de distância envolvidas na percepção da profundidade, [Tozawa, 2008].

A velocidade é uma grandeza que expressa simultaneamente a rapidez e a direcção do movimento, e é representada matematicamente por um vector. Graficamente, é usualmente representada por uma seta que varia de tamanho e orientação, Figura IV.41.

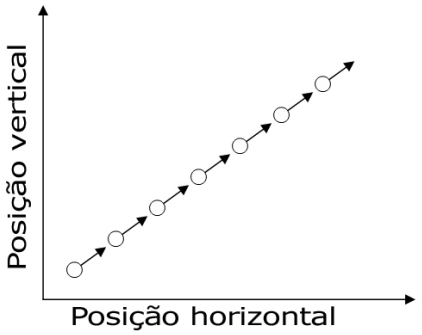


Figura IV.41 Representação de movimento através de vectores: o tamanho do vector representa a velocidade e a sua orientação representa a direcção do movimento (adaptado de[Palmer, 1999]).

- ***Movimento contínuo***

Considera-se que um objecto possui movimento se a sua posição muda ao longo do tempo. No entanto, não só existem vários tipos de movimentos percepcionados por um observador, como também, são várias as situações possíveis de movimentação, do ponto da vista da relação entre observador e meio ambiente.

As mudanças nas posições dos objectos são eventos contínuos porque eles não desaparecem num local e surgem noutro. A percepção desses eventos, contudo, nem sempre produz experiências visuais de movimento, uns são rápidos de mais e outros são lentos de mais. Por exemplo, embora se saiba que a lua se move, a confirmação do seu movimento é só feita *a posteriori*, sem que tenha havido uma experiência directa do seu movimento.

- ***Persistência de movimento***

Outro exemplo de adaptação perceptiva já abordada noutros capítulos, é a adaptação ao movimento (*aftereffects*). Quando um observador fixa uma imagem, com elementos que possuem uma dada velocidade, por um período longo de tempo, dá-se uma diminuição da sua sensibilidade aos elementos constante dessa imagem, isto é, diminui a sua resposta ao movimento, [Palmer, 1999].

O *aftereffect é* um fenómeno que resulta de uma observação de estímulos em movimento, durante um período de tempo de 30 a 60 segundos, seguida pela fixação num estímulo estacionário. Destas acções resulta a percepção de que o estímulo estacionário parece mover-se na direcção contrária à dos estímulos inicialmente

percepcionados, [Goldstein, 2007]. Um exemplo deste tipo de efeito é a experiência de fixar o movimento da água numa cascata.

Outro exemplo de um *aftereffect* é designado por movimento paradoxal. Este fenómeno sugere haver uma divisão (até um certo ponto) entre os processos de percepção da posição e do movimento. O efeito resulta também de uma observação de estímulos em movimento durante um determinado período de tempo, após a qual dá-se a percepção de um movimento oposto em qualquer objecto imóvel observado subsequentemente, [Palmer, 1999].

- ***Movimento aparente***

Este tipo de movimento é uma ilusão. Embora não haja na realidade movimento, o observador tem a percepção que os objectos estão a mover-se. Foi este tipo de movimento que Max Wertheimer observou e que o levou a colocar questões acerca da informação contida no estímulo. O movimento aparente resulta quando se apresentam dois estímulos estacionários, um seguido do outro, e é percepcionado movimento entre eles. É este efeito que possibilita a televisão ou os desenhos animados, [Goldstein, 2007]. Este tipo de movimento foi estudado por Korte, um aluno de Wertheimer, que o qualificou em função de três parâmetros que ficaram conhecidas pelas leis de Korte: Separação *versus* Intensidade; Taxa (de alternância) *versus* Intensidade; e Separação *versus* Taxa (de alternância), [Korte, 1915].

A existência de movimento aparente significa que o sistema visual infere qual a relação entre elementos de visualizações consecutivas, Figura IV.42. O factor mais importante na determinação de qual a resposta a este problema é dado pelo Princípio da Proximidade abordado no Capítulo III , [Palmer, 1999], no entanto, outros factores como a orientação, a forma e o tamanho também são relevantes, ver, por exemplo, [Mack, 1989].

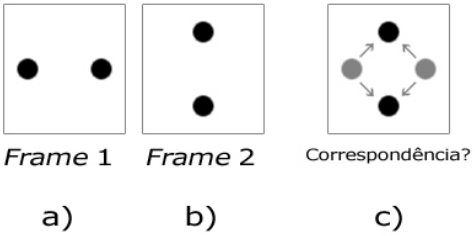


Figura IV.42 O problema da correspondência do movimento aparente: se mais de que um objecto está presente numa configuração visual, o sistema perceptivo necessita determinar qual objecto corresponde a qual (c) nas duas imagens representadas em (a) e (b) (adaptado de [Palmer, 1999]).

- ***Movimento induzido***

Este tipo de movimento é também uma ilusão, mas neste caso, é o movimento de um objecto que gera a percepção de movimento num outro objecto. Um exemplo conhecido é a percepção da movimentação da lua entre as nuvens, quando são elas que se movem.

Karl Dunker, em [Ellis, 1999], concebeu um experiência que verificou este fenómeno. Um ponto estacionário contido num rectângulo é percepcionado como estando a mover-se, Figura IV.43.

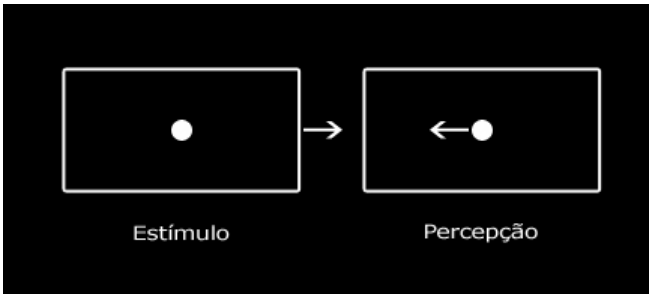


Figura IV.43 Movimento induzido: o movimento do rectângulo gera a percepção do movimento do ponto (adaptado de [Palmer, 1999]).

4.4.12 - Funções da percepção de movimento

Tal como a percepção da cor, também a percepção de movimento possui várias funções importantes, uma das quais directamente relacionada com a preservação de cada espécie. De acordo com Thomas Albright, em [Wilson, 1999], uma vez que o ambiente visual da maioria dos animais consiste em objectos que se movem em relação uns aos outros, e em relação ao observador, a detecção e interpretação desses movimentos é crucial para, por exemplo, escapar a um predador, ou para inferir a estrutura tridimensional do ambiente. Não é por isso surpreendente o facto da percepção de movimento ser uma das mais bem conservadas funções visuais.

4.4.12.1 - Sobrevivência

Os processos perceptivos, de um modo geral, e os relativos à percepção do movimento, em particular, estão associados a funções de sobrevivência da espécie, [Goldstein, 2001]. Casos de estudos realizados em pacientes com lesões cerebrais nas áreas do córtex dedicadas à detecção de movimento demonstraram que a realização de actividades quotidianas, e a própria interacção social, são severamente postas em causa quando esta capacidade não existe, ver por exemplo [Zihl, 1983].

4.4.12.2 - Organização perceptiva dinâmica

A percepção do movimento está directamente relacionada com a detecção de objectos no meio ambiente que rodeia o observador. Na tarefa de segregação Figura/Fundo, já abordada no Capítulo III , um dos principais problemas com o qual o sistema perceptivo se debate é a ambiguidade de estímulos que chega à retina. A movimentação do observador em relação aos objectos que pretende percepcionar permite a redução ou eliminação dessa ambiguidade, organizando a percepções e tornando os objectos visíveis, [Goldstein, 2007]. Blake, em [Blake, 2005], é da mesma opinião, afirmando que a estrutura temporal talvez assegure que as representações dos “componentes dos objectos” se mantenham “ligadas”.

- ***Percepção da estrutura dos objectos***

Regan, em [Regan, 1986], estabeleceu uma relação directa entre os mecanismos de detecção de movimento e a percepção da estrutura dos objectos. Segundo este autor, no contraste de movimento em cenas reais existem três parâmetros susceptíveis de provocar ambiguidade na organização Figura/Fundo: diferentes velocidades de texturas; diferença na distância de movimentação da figura e do fundo; e ocorrência alternada da textura ao longo da orla da figura. Na sua experiência, Regan eliminou os dois últimos parâmetros, garantindo assim que a segregação Figura/Fundo fosse obtida somente através de elementos neuronais sensíveis ao movimento.

Um exemplo de como a percepção de movimento acrescenta informação acerca dos objectos é o *kinetic depth effect*, no qual o movimento da sombra de um objecto bidimensional gera a percepção de um objecto tridimensional. Este é um caso de estrutura a partir de movimento, ou seja, como o movimento consegue criar uma estrutura perceptiva, [Goldstein, 2007].

Blake, em [Blake, 2005], avalia a relação entre as estrutura temporal e espacial e a organização perceptiva. Na sua análise afirma que existe um acordo generalizado acerca da relação entre a sincronização de eventos visuais e o agrupamento perceptivo, sejam estes eventos a intermitência, a mudança na direcção de movimento ou a mudança de contraste. Esta relação já tinha sido, aliás, demonstrada através do Princípio do Destino Comum, proposto pelos psicólogos da Gestalt.

4.4.12.3 - Controlo óculomotor

O facto da percepção do movimento ser tão importante para a sobrevivência, neste caso, dos seres humanos, está directamente relacionado com um outro objectivo do processamento do movimento visual: o controlo motor. Tarefas como, por exemplo, a utilização dos olhos numa tarefa de procura de um alvo em movimento o a determinação do “tempo para contacto” são cruciais para interagir no meio ambiente, [Wilson, 1999].

- ***Tempo para contacto***

Nesta tarefa em particular, o sistema visual consegue calcular o intervalo de tempo que separa dois objectos, ou um objecto e o próprio observador, de entrarem em contacto. Este cálculo é efectuado através da estimativa da distância inicial em relação ao objecto, e da velocidade do objecto. Combinando estas duas estimativas, é possível encontrar uma previsão do tempo de contacto, dividindo a distância pela velocidade, [Eysenck, 2005].

Num estudo no qual foram analisados os efeitos de objectos irrelevantes à determinação do tempo para contacto foram encontradas evidências de que existe um apesar da sua irrelevância para a tarefa, os distractivos influenciaram as respostas da tarefa estes resultados indicam assim que informação irrelevante deve ser considerada na teoria de tempo para contacto, [Oberfeld, 2008].

4.4.13 - Mecanismos fisiológicos

Como foi referido no ponto 4.4.11 -, o segundo processo em que pode ser dividida a percepção de movimento tem como objectivo a constância de movimento. A *Corollary Discharge Theory* é uma hipótese que se mantém válida actualmente, na explicação de como isso é realizado. Segundo esta teoria, o cérebro compensa a perturbação do estímulo visual com informação prévia do movimento sacádico através de uma descarga corolária gerada internamente, [Sommer, 2008]. O mecanismo dessa compensação está ilustrado na Figura IV.44. A percepção de movimento depende de três tipos de sinais: um sinal motor (SM), um C*orollary Discharge Signal* (SDC), e um sinal de movimento de imagem (SMI). A função do SDC é a de permitir ao comparador identificar quando a alteração do campo visual se deve a um movimento interno. Assim, a percepção de movimento ocorre quando apenas um destes sinais é recebido, e não quando chegam ambos, [Goldstein, 2007].

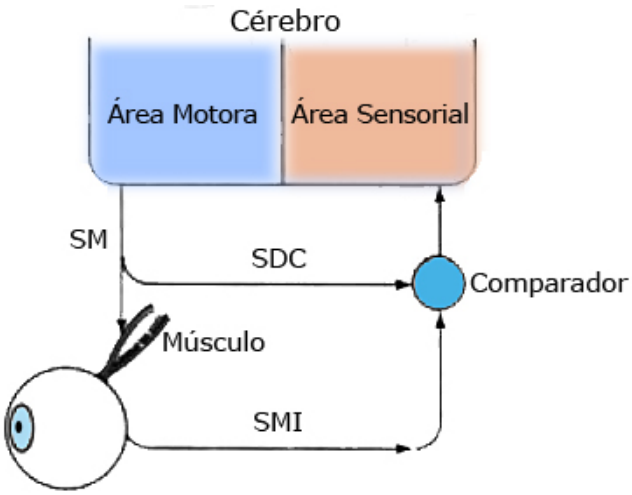


Figura IV.44 O modelo da *corollary discharge*: a área motora envia o sinal motor (SM) para os músculos oculares e envia um sinal *Corollary Discharge Signal* (SDC) para uma estrutura chamada "comparador". Movimento na retina gera um sinal de movimento de imagem (SMI) que também é enviado para o comparador. O comparador, por sua vez, envia um sinal para o córtex visual (adaptado de [Goldstein, 2007]).

Existem evidências fisiológicas desta teoria quer em pacientes com lesões cerebrais, ver por exemplo [Haarmeier, 1997]; quer em estudos realizados em macacos, ver por exemplo [Galletti, 2003], onde os resultados demonstraram a existência de neurónios no sistema visual que têm em conta os movimentos dos olhos, Figura IV.45. Esta figura demonstra que estes neurónios respondem preferencialmente quando o macaco mantém os seus olhos estacionários e uma barra é movimentada ao longo do campo receptivo da célula. Estes neurónios são designados de neurónios de movimento real, uma vez que respondem apenas quando existe movimento e não quando o olho se move. Isto significa que o sistema perceptivo é capaz de distinguir entre movimento real e movimento auto-induzido pelo deslocamento do olho, [Galletti, 2003].

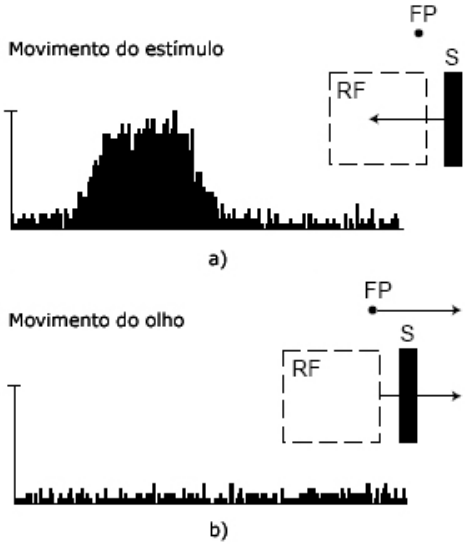


Figura IV.45 Respostas de um neurónio no córtex de um macaco: em (a) o neurónio dispara quando uma barra (S) se movimenta ao longo do campo receptivo do neurónio (RF) ao mesmo tempo que o macaco olha para o ponto de fixação (FP); em (b) o neurónio não dispara, quando é o olho que se movimenta, embora isso também faça a barra atravessar o campo receptivo do neurónio (adaptado de [Galletti, 2003]).

4.4.13.1 - Base neuronal da percepção do movimento

Existe acordo quanto ao facto de certas áreas do cérebro serem especializadas na detecção de movimento. Experiências realizadas em macacos demonstram que a área MT do córtex cerebral está muito envolvida na detecção de movimento, [Newsome, 1988].

Embora não exista uma equivalência precisa entre macacos e humanos, as zonas correspondentes no cérebro humano são denominadas por MT+ e V5, [Eysenck, 2005], existindo uma área com particular importância denominada por região KO (*Kinetic occipital*), [Dupont, 1997]. Outras áreas, contudo, parecem também estar envolvidas no processamento de informação relativa ao movimento, no córtex humano, nomeadamente zonas localizadas no sulco intraparietal, [Orban, 2003].

Além das lesões no córtex cerebral, outros dois factores estão relacionados com a percepção de movimento. William Newsome e os seus colaboradores, em [Newsome, 1989], estabeleceram uma relação entre a capacidade que um macaco possuía de detectar movimento num estímulo com diferentes graus de coerência, utilizando visualizações de pontos dinâmicos, Figura IV.46. Na sua experiência, ao aumentar a correlação entre pontos apresentados na visualização verificaram que: 1) a detecção de movimento pelos macacos torna-se mais precisa; e 2) os neurónios na área MT respondem mais rapidamente. Esta experiência, ao medir simultaneamente a resposta neuronal e o comportamento, permite estabelecer uma relação entre ambas. Neste caso, inclusive, permitindo a previsão um do outro.

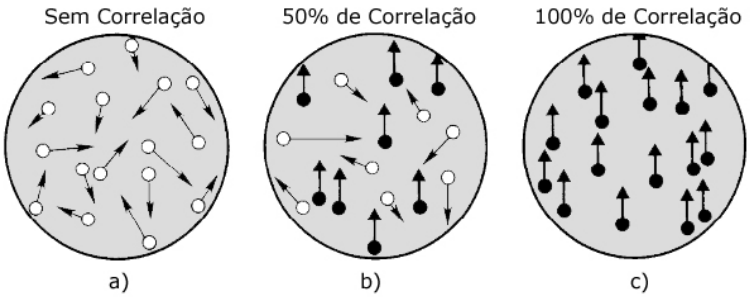


Figura IV.46 Visualizações de pontos dinâmicos: criadas por computador, estas visualizações permitem estabelecer a relação entre detecção de movimento e a coerência entre pontos em movimento. Cada ponto permanece no ecrã durante cerca de 20 a 30 μsegundos, para depois serem substituídos por outros cuja correlação espacio-temporal varia entre 0 (a) e 100% (c), sendo que numa posição intermédia (b) num dado instante, metade dos pontos estão a mover-se na mesma direcção (adaptado de [Newsome, 1988]).

Utilizando um processo de microestimulação, Cohen e Newsome, em [Cohen, 2004] demonstraram que, ao activar selectivamente neurónios na área MT do córtex, eram provocadas alterações na percepção de movimento. Mostraram, assim, a ligação desses neurónios com a percepção de movimento.

4.4.14 - Percepção de movimento e Experiência

Apesar de na percepção de movimento estarem envolvidos processos automáticos, desencadeados ao nível da retina, também estão envolvidos processo de mais alto nível. São referidos em seguida três exemplos de como a experiência do observador pode influenciar a percepção do movimento.

4.4.14.1 - Movimento Biológico

Considera-se Movimento Biológico ao conjunto de movimentos associados à movimentação humana ou de outro organismo vivo, como por exemplo, correr e andar.

Através da colocação de pontos luminosos numa pessoa (*point-light walker),* Figura IV.47*,* é possível criar o estímulo correspondente ao movimento biológico, [Johansson, 1975]. Verifica-se que, enquanto os pontos de luz estão fixos, são percepcionados como um conjunto aleatório, no entanto, assim que há movimento são organizados numa percepção de uma pessoa a andar. A estrutura do corpo humano é rapidamente descodificada a partir de 10 a 13 pontos de luz, a partir de mecanismos de baixo nível, [Bertenthal, 1994].

O facto deste tipo de movimento ser rapidamente percepcionado é devido ao facto de as acções humanas facilmente comunicarem intenções, ao ponto de os seres humanos percepcionarem características humanas noutros animais que se lhes assemelham, [Blake, 2007].

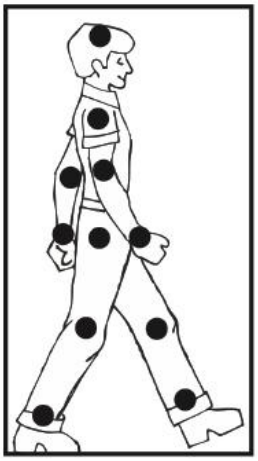


Figura IV.47 *Point Light walker* (retirado de [Blake, 2007]).

Sabe-se hoje que, do mesmo modo que existe uma área do cérebro, especializada no reconhecimento de faces, existe uma área que responde a este tipo de movimento. Esta área é chamada Sulco Temporal Superior (STS), localizada no córtex temporal, responde preferencialmente a este tipo de estímulo. Este facto foi comprovado por Grossman e Blake, em [Grossman, 2001], onde também concluíram que a percepção do movimento biológico é dependente da orientação.

4.4.14.2 - Heurística da Oclusão

A heurística da Oclusão é uma regra proposta por Ramachandran e Anstis, em [Ramachandran, 1986], que estabelece o tipo de organização preferencial dada pelos observadores em face de estímulos como os presentes na Figura IV.48. Segundo esta heurística, quando um objecto oculta outro, o objecto ocultado continua a existir.

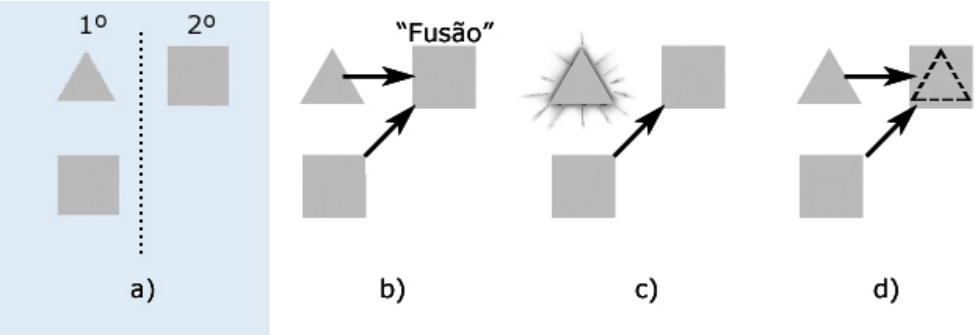


Figura IV.48 Estímulos utilizados numa experiência realizada por Ramachandran e Anstis: o triângulo e o quadrado inferior são primeiro apresentados, e em seguida é apresentado o quadrado superior (a); dos resultados possíveis: fusão das duas formas (a); deslocamento do quadrado com o triângulo a estar intermitente (c); e deslocamento do triângulo para trás do quadrado, apenas esta última foi vista pelos observadores.

4.4.14.3 - Limitação do caminho mais curto

Outra demonstração de como o conhecimento afecta a percepção do movimento é um fenómeno que se designa por Limitação do Caminho mais Curto. Segundo este princípio o movimento aparente tende a ocorrer ao longo do caminho mais curto entre dois estímulos, apesar de outras possibilidades existirem, [Goldstein, 2007], Figura IV.49.

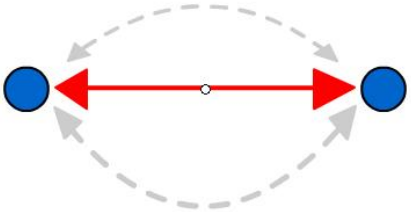


Figura IV.49 De acordo com a Limitação do Caminho mais Curto, o movimento aparente entre dois pontos, alternando rapidamente, deve ocorrer ao longo do caminho mais curto, embora outros sejam possíveis (adaptado de [Goldstein, 2007]).

4.4.15 - Aplicação do Movimento na Visualização de Informação

O movimento é considerado como um dos mecanismos mais poderosos na comunicação. Ainda que as características do movimento não sejam completamente conhecidas, é já claro que é perceptivamente eficaz e possui mesmo melhores propriedades de agrupamento que outras variáveis estáticas como a forma ou a cor, [Saulnier, 2005].

O sistema visual possui uma grande sensibilidade ao movimento. Um exemplo dessa sensibilidade foi demonstrado em experiências onde contornos e orlas de regiões puderam ser percepcionadas com precisão em aglomerados de pontos, [Regan, 1989]. De acordo com Ware, este facto sugere que o movimento pode ser ainda mais utilizado como método de representação de padrões, na visualização de dados, devendo ser entendido como um atributo de um objecto visual, da mesma forma que são considerados a cor, o tamanho e a posição espacial, [Ware, 2004]. A este respeito, Diehl, em [Diehl, 2007], considera que o movimento pode ser usado, de uma maneira geral, para:

- Estabelecer a relação entre objectos distantes; e
- Estimular a periferia do campo visual, como forma de atrair a atenção.

Saulnier, em [Saulnier, 2005], encara também o movimento enquanto variável, propondo uma extensão à teoria apresentada por Bertin em [Bertin, 1967]. Saunier, em [Saulnier, 2005], refere que o facto do movimento possuir a particularidade de gerar uma descontinuidade em termos perceptivos, captando a atenção do observador, em detrimento das variáveis estáticas, torna-o extremamente útil à visualização de informação. No entanto, o facto de não existirem muitos estudos acerca da forma como usar o movimento, faz com que seja largamente sub explorado nos sistemas de visualização, sendo possível explicitar as seguintes tarefas onde é utilizado:

- Transição das mudanças de vistas;

- Execução de processos;
- Afixação de uma variação espacial ou temporal;
- Descrição do comportamento de um objecto;
- Sinalização (alerta ou afixação de uma selecção).

De notar que, nos quatro primeiros casos nem é a natureza do movimento que é significativa, mas apenas o objecto que está em movimento assim o movimento é sub explorado porque não é utilizado pelas suas capacidades de codificação. Bartram, em [Bartram, 2001], é da mesma opinião e refere que embora tenha havido interesse em utilizar o movimento como "guia cognitivo", não têm sido considerados os seus atributos como códigos gráficos.

Do ponto de vista da implementação do movimento em sistemas de visualização de informação, Saulnier refere ainda, em [Saulnier, 2005], que pelo facto de não ocupar mais espaço nem perturbar a visualização estática, o movimento acrescenta uma dimensão à visualização, sem sobrecarregar a sua densidade. Neste sentido, pode melhorar a legibilidade de uma visualização complexa ou colocar em evidência elementos difíceis de distinguir [Saulnier, 2005]. Também Bartram, [Bartram, 2001], refere que embora as representações gráficas possam reduzir a carga cognitiva associada à compreensão, as interfaces actuais sofrem de uma utilização exagerada desse tipo de técnicas o que excede a capacidade perceptiva humana. Pelo contrário, o movimento é eficiente perceptivamente; rico do ponto de vista da interpretação; computacionalmente barato; e as suas características não estão sobreutilizadas.

Salientam-se em seguida algumas conclusões importantes do seu trabalho. De uma maneira geral, os resultados que encontrou demonstram que os estímulos de movimento são superiores às pistas perceptivas da cor e da forma, embora certos tipos de movimento sejam mais distractivos que outros. No entanto, uma vez que os sinais de movimento são igualmente percepcionados por todo o campo de visão e porque consomem poucos recursos temporais e espaciais, podem ser utilizados como pistas atencionais em ambientes computacionais onde a consciência perceptiva (*awearness*) ou as limitações de interface sejam um problema; em particular, em *displays* com grandes quantidades de informação, como é o geralmente o caso dos *displays* dos sistemas de controlo de tráfego aéreo.

Do conjunto de experiências que realizou, conclui que os movimentos simples podem ser utilizados quer como filtro perceptivo, quer como ligação entre objectos espacialmente distribuídos; ou seja, podem ser úteis para dois tipos de problemas no desenho de interfaces de visualização de informação: sinalização e integração; em particular a sinalização, dada a capacidade de atrair a atenção a todo o campo visual como ferramenta de promoção da consciência perceptiva (*awearness*).

Mais recentemente, Ware, em [Ware, 2006], utiliza o movimento como variável de codificação e conclui que, dos vários parâmetros possíveis de modelar: a frequência, a fase e a amplitude da oscilação sinusoidal, os observadores são mais sensíveis a padrões mapeados à fase e menos sensíveis à frequência de oscilação. Adicionalmente, a cor demonstrou ser de uma eficácia razoável para glifos[7] grandes.

4.5 - Sumário

Na primeira parte do capítulo foram abordados aspectos relacionados com a selectividade e capacidade visuais. Foram, em primeiro lugar, caracterizados os actos de selecção visual e abordadas também as questões da acuidade e capacidade de transmissão, focando-se em particular as diferenças na capacidade de distinguir o detalhe e a sua aplicação no posicionamento da informação. Foram também descritas as funções do movimento dos olhos enquanto mecanismo de filtragem utilizado pelo sistema visual.

Foi analisada a questão da existência ou não de regras ou estratégias na determinação das áreas de interesse numa dada cena visual. Relativamente a este assunto estabeleceu-se que a exploração de uma imagem complexa pelos olhos não é prevista somente pelo estímulo, mas também tendo em conta a tarefa a realizar pelo observador em perante determinada imagem. Assim, quer a existência de um modelo interno idiossincrático (Teoria do *Scanpath)*; quer as propriedades da imagem não redundantes como os contornos, as orlas de intensidade e oclusões, são factores importantes na selecção de pontos de fixação. Foi também estudada a forma como o conhecimento influencia as movimentações oculares.

[7] Ver ponto 5.4.2 -

Analisou-se em pormenor as questões relacionadas com a atenção visual, nomeadamente: os principais processos envolvidos; a influência que os factores *Bottom-up*, e *Top-down* possuem, em particular, na modulação do controlo da atenção; e os principais aspectos ligados ao processamento paralelo de informação dos quais se sublinham alguns aspectos:

- A distinção entre *processamento* e *consciência perceptiva*, uma vez que a forma pode ser processada, mas pode não ser percepcionada conscientemente. Propriedades sensoriais como a cor, a posição e o número aproximado de objectos, são percepcionadas sem atenção, mas estímulos mais complexos não o são.
- A localização é um factor que influencia a selecção atencional. Resultados demonstraram que existe uma dificuldade em dividir a atenção entre objectos que não pode ser atribuída a factores espaciais.
- A organização perceptiva afecta a distribuição da atenção;
- O tipo de pista visual utilizada pode favorecer factores *Bottom-up* (*pull cues*) ou factores *Top-down* (*push cues*).
- A saliência refere-se à proeminência perceptiva de um objecto. Pode ser entendida através do conceito de *contraste*, quanto maior for a diferença entre o alvo e o seu contexto, mais saliente será.
- Contraste Local de Características. Pode ser obtido através de várias dimensões.
- Estabelece-se uma relação entre saliência e os mecanismos das áreas corticais visuais como a área V1.
- Efectua-se a distinção entre processamento atentivo paralelo, que ocorre antes da selecção visual; e processamento atentivo em série, que ocorre depois da selecção.
- Descreve-se a Teoria de Integração de Características. Segundo esta teoria, apenas características simples são computadas de forma paralela pelo sistema visual.
- Efeito de "*pop-out*": nos casos em que os alvos são caracterizados por apenas uma característica (*singletons*) a detecção ocorre pré-atentivamente.
- Capacidade que um item possui de ser processado em paralelo depende da soma dos seus níveis de activação *Bottom-up* e *Top-down*. Uma busca eficiente resultará assim de uma competição parcial entre estímulos sensoriais e objectivos comportamentais.
- Enumeram-se as dimensões com maior probabilidade de actuarem como guias da atenção.
- Relativamente ao agrupamento e a sua relação com a pré-atentividade, sugere-se que devem ser distinguidos dois conceitos: agregação de elementos e definição de formas.

Finalmente, foram focadas as questões relativas à capacidade de processamento visual, em particular, as limitações de memória visual, através dos pontos seguintes:

- Correntes teóricas – partindo da concepção do ser humano como um sistema de processamento de informação, foram analisadas as correntes teóricas que tentam explicar o porquê das limitações de *performance* do sistema humano de processamento de informação.
- Memória operacional – foram analisadas, em especial, as propriedades da memória operacional visual, em particular a sua capacidade, estabelecendo-se que esta deve ser entendida considerando a integração de objectos e não apenas as características individuais, uma vez que a complexidade dos objectos diminui o número de características memorizadas.
- Carga perceptiva – Introduziu-se neste ponto o conceito de esforço mental e caracterizou-se a Teoria da Carga Cognitiva, considerando que o objectivo de uma visualização eficiente deverá ser o de promover uma adequada gestão de recursos cognitivos.
- Fenómenos perceptivos – Vários fenómenos perceptivos suportam a ideia de que existem limites cognitivos no processamento de informação visual. Foram referidos: o *Attentional blink; a* Cegueira de desatenção (*inattentional blindness*); a Cegueira de movimento; e a Visão em túnel (*Tunnel vision*), como exemplos com pertinência directa para ambientes de visualização ATM.

Através da análise da percepção da cor e dos seus mecanismos, na segunda parte do capítulo foi, em primeiro lugar, salientada mais uma vez a ideia de que, por um lado, a percepção visual depende de factores externos: qualidade de iluminação, propriedades reflectivas dos objectos, por exemplo; e por outro, por ser uma

experiência subjectiva que pertence ao observador, depende de factores internos, como as propriedades sistema visual. Foram apresentados exemplos dessa relação entre factores pertencentes ao domínio dos estímulos, e ao domínio individual, sendo que, do ponto de vista das características do sistema visual, procurou-se destacar as suas limitações e especificidades em termos práticos. Assim, é possível sistematizar alguns dos principais pontos focados:

- Incapacidade de discernir cores em situações de reduzida luminosidade (Princípio da Univariância).
- Capacidade de discriminação de cores – Do ponto de vista evolucionário, crê-se que os animais tenham vindo a desenvolver os seus sistemas visuais, e mais concretamente, a discriminação e subsequente categorização das cores, em função de vários factores ecológicos. Essas capacidades têm implicações directas na escolha de quais e quantas cores utilizar em visualizações, por exemplo.
- Deficiências de cor – as diferenças na percepção da cor não se resumem a variações entre espécies, mas também ao nível de uma mesma espécie.
- Persistência de imagem – percepções que subsistem após um período de estimulação. Este tipo de efeitos é particularmente indesejado na visualização de informação crítica.
- Contraste de Cor Simultâneo – A aparência de uma cor é fortemente influenciada pelo contexto em que é visualizada.
- Adaptabilidade – o sistema visual não só se adapta às condições de iluminação como também às condições de variações cromáticas.
- *Small field color blindness* – a percepção da cor depende do tamanho do campo onde é aplicada.
- Conhecimento – o conhecimento que um indivíduo possui acerca de um determinado objecto, nomeadamente da sua cor característica, provoca uma alteração na percepção da cor desse objecto.
- Inibição lateral e Assimilação – dois exemplos de fenómenos com implicação directa na percepção da luminosidade.
- Junções em T – Do ponto de vista neuronal, estas junções contêm informação relativa ao ordenamento de profundidade que pode sobrepõe-se a outros factores de agrupamento tradicionais, como a coplaneariedade.

Estes fenómenos e características do sistema visual foram apresentados, inseridos na descrição das duas principais teorias da visão da cor.

Um segundo aspecto destacado foi a função da cor. Como regra geral, considera-se que a cor deve ser utilizada para detalhar informação e para estabelecer a relação entre objectos diferentes. Foi também focada, em especial, a sua utilização enquanto ferramenta de codificação nominal de informação; ou seja, como rótulo, e foram descritos alguns princípios de aplicação, relativamente a vários aspectos:

- Distinção;
- Contraste com o fundo;
- Número;
- Tamanho do campo;
- Convenções.

Salientou-se também algumas diferenças relativamente à informação que cada canal visual consegue transmitir, verificando-se que os canais cromáticos são inferiores comparativamente ao canal de luminância. Este facto faz com que informação graficamente detalhada não deva ser representada através apenas de diferenças cromáticas.

Relativamente aos sistemas de visualização de Gestão de Tráfego Aéreo (ATM) foram apresentados os vários passos de implementação da cor:

- Desenvolvimento de um esquema de codificação;
- Criação de uma hierarquia de informação;
- Nomeação;
- Verificação de legibilidade e de discriminabilidade;

- Análise da implementação.

Foram também apresentadas algumas recomendações relativas à utilização da cor em sistemas de visualização ATM, estabelecendo uma ligação com alguns dos fenómenos abordados no capítulo.

Relativamente ao movimento, começou-se por descrever o problema da percepção do movimento numa perspectiva computacional, referindo os principais tipos de movimento existentes e fenómenos associados à sua percepção, nomeadamente, os efeitos de adaptação ao movimento e os *aftereffects.* Quanto ao movimento aparente, foi estabelecida uma relação com o Princípio da Proximidade abordado no Capítulo III .

Foram identificadas as funções associadas à percepção de movimento e identificados os mecanismos fisiológicos conhecidos, relativamente à percepção visual de informação de movimento. Tal como a cor, à percepção do movimento estão associadas a funções de sobrevivência da espécie. A percepção do movimento está também directamente relacionada com a detecção de objectos no meio ambiente, uma vez que a movimentação no espaço permite reduzir a ambiguidade do estímulo, ao aumentar a quantidade de informação disponível para processamento. Este processo de movimentação funciona assim como elemento agregador das várias partes que constituem os objectos, tendo portanto uma relação directa com a percepção da estrutura dos objectos. Ao nível fisiológico foi analisada a base neuronal da percepção do movimento e a *Corollary Discharge Theory.*

Foram também descritas algumas interacções com processos de mais alto nível cognitivo, sendo referidos três exemplos de como a experiência do observador pode influenciar a percepção do movimento:

- Movimento Biológico,
- A heurística da Oclusão;
- Limitação do Caminho mais Curto.

A última parte do capítulo abordou as questões da aplicação do movimento na visualização de informação, de onde se descata que movimento é considerado como um dos mecanismos mais poderosos na comunicação: é perceptivamente eficaz e possui mesmo melhores propriedades de agrupamento que outras variáveis estáticas como a forma ou a cor.

Considerando que o movimento pode ser entendido como um atributo de um objecto visual, da mesma forma que são considerados a cor, o tamanho e a posição espacial, é possível afirmar que pode ser usado, de uma maneira geral, como forma de sinalização e integração de informação. Finalmente, foram apontadas algumas vantagens da utilização do movimento na visualização de informação; nomeadamente, o facto de não ocupar mais espaço nem perturbar a visualização estática, acrescentando assim uma dimensão à visualização, sem sobrecarregar a sua densidade.

Capítulo V

Representação de informação crítica em Sistemas de Gestão de Tráfego Aéreo

5.1 - Introdução

Os principais objectivos deste capítulo são 5: em primeiro lugar, enquadrar os *displays* gráficos utilizados em sistemas ATM no domínio das representações gráficas e da visualização de informação. Para cumprir este objectivo explora-se a existência de uma linguagem visual e a assumpção de que as visualizações são artefactos cognitivos; isto é, a ideia de que é tirando partido das propriedades do sistema perceptivo que é possível desenhar representações de informação que sejam mais eficientes em termos cognitivos, [Tergan, 2005]. Assim, são abordados os aspectos relativos ao processo de acesso à informação e ao papel das visualizações, enquanto auxílio cognitivo.

Os restantes quatro objectivos estão directamente relacionados com os sistemas ATM:

2) Identificar as tarefas perceptivas, em particular ao nível visual, realizadas utilizando sistemas de visualização ATM;
3) Identificar as formas de representação de informação para suporte a essas tarefas;
4) Estabelecer uma relação entre essas representações e os factores perceptivos estudados;
5) Identificar as limitações/melhorias dessas representações e sugerir alternativas baseadas no estudo realizado.

Para cumprir com esses objectivos, na segunda parte do capítulo, é analisada a representação de informação crítica em sistemas ATM, em particular a utilização de *displays* Radar e de dados de voo, sendo descritos os problemas da detecção e integração visual enquanto tópicos de investigação, assim como também algumas sugestões para posterior desenvolvimento e teste.

5.2 - Processo de acesso à informação

Segundo Ware, em [Ware, 2004], o processo de visualização de dados divide-se, em quatro fases:

1) Recolha e armazenamento dos dados;
2) Transformação dos dados em algo inteligível;
3) Geração de uma imagem no ecrã por *hardware* e algoritmos gráficos;
4) Envolvimento dos sistemas cognitivo e perceptivo.

O mesmo autor, em [Tergan, 2005], propõe também que o processo de visualização de informação seja entendido através do conceito de Consultas Visuais; ou seja, um processo de construção de um conjunto de consultas ao *display,* onde as partes do problema podem ser formuladas através de perguntas ou hipóteses cuja resposta resulta da análise de padrões. Entendidas desta forma, estas consultas visuais são na realidade padrões de procura visual e estão relacionadas com a ideia da existência de uma linguagem visual.

5.3 - Linguagem visual

A motivação subjacente a esta Dissertação é baseada na ideia de que é possível melhorar a performance cognitiva através do uso de visualizações desenhadas de acordo com as características do sistema perceptivo humano. Negar esta possibilidade é, como afirma Ware, em [Ware, 2004], transformar o problema da visualização de informação no estabelecimento de uma notação consistente; ou seja, seguindo o Princípio da Arbitrariedade, a representação da informação é dependente apenas da aprendizagem de convenções da linguagem utilizada. Ware, em [Ware, 2004], salienta, no entanto, que existem representações visuais mais eficazes do que outras, pelo facto de os seus elementos estarem construídos de tal modo que, por motivos de ordem perceptiva, são mais fáceis de interpretar. Poder-se-á, por exemplo, argumentar que a Figura V.1a) é mais eficaz, na representação de relacionamentos entre entidades, que a Figura V.1b), porque existem mecanismos no córtex cerebral especificamente sensíveis à detecção de contornos.

Com efeito, uma representação dir-se-á mais eficaz se um maior número de informações pode ser assimilado e compreendido mais rapidamente ou com menos erros, [Saulnier, 2005]. Assim, do ponto de vista do custo cognitivo, esta eficácia de representação é tanto mais importante de garantir quanto menores forem os recursos cognitivos disponíveis para uma data tarefa, como é o caso das tarefas inseridas no controlo de tráfego aéreo.

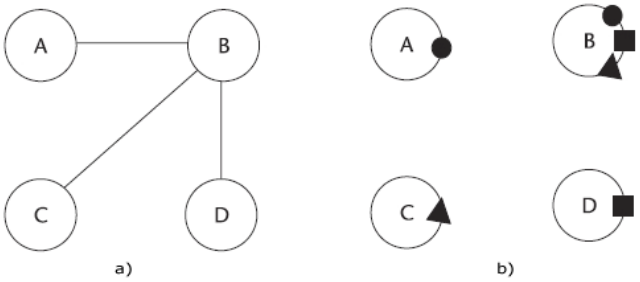


Figura V.1 Dois exemplos de como representar graficamente relações entre entidades (retirado de [Ware, 2004]).

Scaife e Rogers, em [Scaife, 1996], fazem uma análise desta problemática e afirmam que é necessário considerar vários aspectos na determinação da eficácia de diferentes formas de representação de informação:

- Nível de experiência com a representação gráfica em questão;
- Conhecimento do domínio em estudo;
- Tipo de tarefa.

Estes autores, em [Scaife, 1996], identificam também três características que consideram ser centrais como base para a explicação dos fenómenos que relacionam as representações gráficas à cognição externa, nomeadamente, o ilustrado na Figura V.1:

- Diminuição da carga computacional;
- Re-representação;
- Constrangimentos gráficos.

A primeira destas três características refere-se ao grau de diminuição de esforço cognitivo que as representações gráficas externas produzem na resolução de um determinado problema. Larkin e Simon, em [Larkin, 1987], abordam esse mesmo aspecto ao argumentar que no caso da resolução de problemas de geometria os diagramas permitem um mais rápido e directo reconhecimento perceptivo das características do problema a resolver, diminuindo assim o esforço cognitivo.

A re-representação refere-se ao modo como estruturas gráficas externas que tenham o mesmo conceito abstracto subjacente podem ser mais difíceis ou não, [Scaife, 1996].

Finalmente, o constrangimento gráfico refere-se à forma com uma determinada representação gráfica pode reduzir o número e o tipo de inferências a realizar na resolução de um determinado problema, [Scaife, 1996].

5.3.1 - Poder de uma visualização

O poder de uma visualização deriva do facto de ser possível representar externamente, através de um *display* visual, uma estrutura de conceitos muito mais complexa, do que seria possível representar através das memórias verbal e visual. Assim, as técnicas de visualização de informação permitem a apresentação e a manipulação de quantidades de dados que de outro modo nunca poderiam ser processados, [Tergan, 2005].

Scaife e Rogers argumentam que, por exemplo, os diagramas providenciam pistas de memória, na medida em que guardam na sua estrutura informação simultânea dos seus componentes. Este facto possibilita o acompanhamento do progresso dos objectos e das suas relações, funcionando como memórias externas, uma vez que fazem com que exista um menor número de informação a ser retida mentalmente, [Scaife, 1996]. A este respeito, Ware afirma, em [Ware, 2004], que existem fundamentalmente duas formas através das quais as visualizações podem servir de suporte cognitivo:

- Na execução de buscas visuais;
- Como extensão de memória.

Keller e os seus colaboradores sugerem que as visualizações podem ser utilizadas, não só como suporte à extracção de informação, mas também bem como auxílio na obtenção de conhecimento; isto é, na memorização e compreensão de grandes estruturas abstractas de dados, [Keller, 2006]. Esta divisão é também entendida como sendo a diferença entre os conceitos de *visualização de informação* (arranjo espacial dos dados) e *visualização de conhecimento* (estruturação dos dados), [Tergan, 2005].

Sintetizando, Ware, em [Ware, 2004], refere cinco vantagens das visualizações:

1) Capacidade de representar grandes quantidades de dados;

2) Possibilitam percepcionar propriedades que de outro modo não seriam facilmente identificadas;
3) Maior facilidade de detecção de erros nos dados;
4) Facilitam a compreensão de características de grande e pequena escala dos dados;
5) Facilitam a dedução de hipóteses.

5.3.2 - Semântica visual

Assumindo que a representação visual de informação não obedece ao Princípio da Arbitrariedade e é, pelo contrário, possível de ser caracterizada como eficaz ou não eficaz, segundo princípios perceptivos, então, do ponto de vista da visualização de informação, uma questão que se coloca é a de determinar como melhor transformar os dados em algo que promova a optimização do processo de decisão, [Ware, 2004].

Neste ponto, será conveniente recordar que a última fase do processo de identificação de objectos prende-se com o acesso à informação semântica. Ou seja, o último passo no estabelecimento de uma relação entre a informação visual sensorial e o conhecimento do indivíduo.

Quer a visualização de informação quer a visualização de conhecimento funcionam fazendo com que o espaço de informação visual reduza o esforço cognitivo. Esta relação evidencia a necessidade de providenciar um enquadramento cognitivo e não apenas perceptivo na representação de informação, isto é, uma forma de estruturar e organizar a informação. Assim, para que uma visualização funcione é necessário que capture o *significado* subjacente aos dados, e neste sentido é necessário que a visualização de informação e visualização de conhecimento estejam ligadas, [Tergan, 2005].

5.3.2.1 - Valor cognitivo

O conceito de *valor cognitivo* foi já abordado no ponto 3.2.4 -, relativamente à problemática Figura/Fundo, mas é aqui recordado com o objectivo de sublinhar a importância do estabelecimento de significados entre o observador e a representação gráfica. Nesse ponto é referido que a figura prevalece em vários aspectos sobre o fundo por ser mais impressionante e daí dominar a consciência. Desse facto resulta que a figura e as suas características são melhor recordadas. Segundo Rubin, em [Yantis, 2001], esta situação ocorre devido ao facto de os observadores estabelecerem mais rapidamente relações de significado com a figura, geralmente baseadas na semelhança entre a figura e algo em particular, como por exemplo, objectos conhecidos.

Norman, em [Norman, 1986], de um modo mais geral, e referindo-se à construção de *interfaces*, salienta também uma ideia relativa às relações de significado, afirmando que é necessário criar uma ponte entre a compreensão do utilizador relativamente às tarefas e às representações que são disponibilizadas pela *interface* para as realizar. Segundo Norman isto pode ser conseguido através da construção de *interfaces* desenhadas tendo por base unidades de tarefa significativas, [Norman, 1986]. Bower e os seus colaboradores, em [Bower, 1975], também sublinham que é importante que a informação visual seja significativa, e capaz de ser incorporada num enquadramento cognitivo.

Outro aspecto, desta vez relacionado, não com a tarefa, mas com a experiência do indivíduo, diz respeito à familiaridade dos símbolos de uma representação: símbolos conhecidos excitam automaticamente conceitos correspondentes, fazendo com que sejam carregados na memória operacional, [Tergan, 2005].

5.3.3 - Sintaxe visual

Ware, em [Ware, 2004], defende a existência de uma gramática visual, utilizando como exemplo diagramas de entidade-relacionamento (ver ponto 5.4.3 -). Embora o papel das convenções não seja negligenciável, este autor argumenta que é possível definir essa gramática de objectos visuais através de representações gráficas básicas como, por exemplo, os contornos circulares que, a um determinado nível no sistema visual, são entendidos como objectos.

5.4 - Representação visual de informação

Para conseguir representações eficientes é necessário determinar que propriedades devem ser comunicadas. Trata-se, antes de mais, de escolher o domínio de dados que está associado a essas propriedades e correlacionar esses dados às propriedades de uma forma visual, de modo a que informação relevante seja visível directamente ao utilizador, [Marciniak, 2002].

5.4.1 - Correlação

A correlação (*mapping*) refere-se a uma relação entre os dados e a forma gráfica de os representar. As correlações podem ser de três tipos, [Chen, 2007]:

- Um-para-um – onde cada atributo de dados se corresponde a um único atributo gráfico distinto;
- Um-para-muitos – correlações redundantes onde são utilizados vários atributos gráficos para representar um atributo de dados de modo a melhorar a visualização;
- Muitos-para-um – onde vários ou todos os atributos de dados se correlacionam a um tipo de atributo gráfico, sendo separados no espaço, através de diferenças de orientação, ou outra transformação.

5.4.2 - Glifos

Glifos (*gliphs*) são objectos (geométricos, conjuntos de dados, ou gráficos) que são afectados pelos os dados que recebem. Podem ser considerados ícones parametrizados que representam dados através da sua forma, cor, textura, localização, etc., [Hansen, 2005].

Esta classe de técnicas de visualização tem como maior força a capacidade de representar múltiplas dimensões de dados de um modo facilmente perceptível. As características do sistema perceptivo, contudo, fazem com que a sua utilização seja limitada, adequados para principalmente análise qualitativa de conjuntos de dados pequenos, [Chen, 2007]. Um exemplo dessa limitação diz respeito à integração (ou separação) de propriedades visuais pelo sistema perceptivo: a altura e o comprimento são percepcionados de modo integrado, ao passo que a luminosidade e a altura não são, Figura V.2, [Ware, 2004].

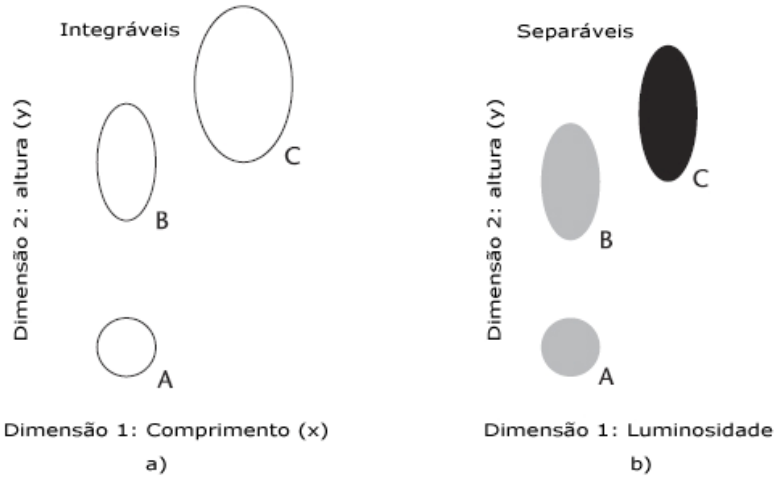


Figura V.2 O comprimento e a altura são dimensões percepcionadas de modo integrado; no caso a) B é percepcionado como sendo mais semelhante a C; b) a luminosidade e a altura não são, porém, integradas o que faz com que A seja identificado como mais semelhante a B (adaptado de [Ware, 2004]).

Ware conclui a partir destes factos que a utilização de dimensões integráveis se adequa a situações de identificação holística, cuja resposta depende da combinação das duas variáveis; ao passo que a utilização de dimensões separáveis é mais adequada a julgamentos analíticos baseados nos valores de cada variáveis independentemente, [Ware, 2004]. A Figura V.3 ilustra a utilização destas dimensões, estando as mais separáveis à esquerda e as menos à direita.

Ainda que sejam utilizadas variáveis separáveis, existe sempre, contudo, um grau de interferência na utilização de vários atributos gráficos para a representação de um objecto visual como um glifo, o que faz com que o número efectivo de representações facilmente distinguíveis seja de 32, para oito dimensões: movimento, textura, orientação, forma, cor, posição espacial e intermitência, [Ware, 2004].

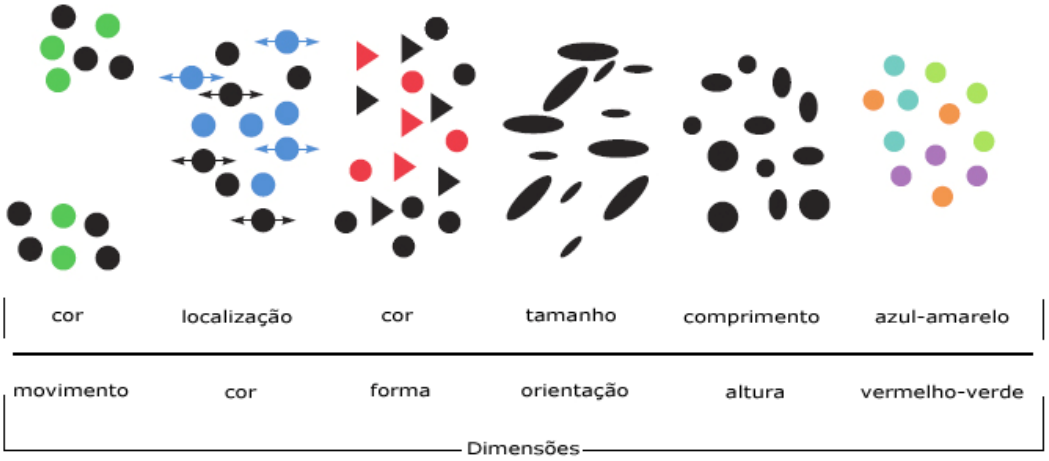


Figura V.3 Exemplos de conjugações de propriedades segundo o grau de integração ou de separação das propriedades utilizadas: as mais separáveis estão à esquerda, as menos, à direita (adaptado de [Ware, 2004]).

5.4.2.1 - Glifos orientados

Um tipo particular de glifos é o conjunto de objectos utilizados para representar vectores em alternativa a linhas orientadas, Figura V.4.

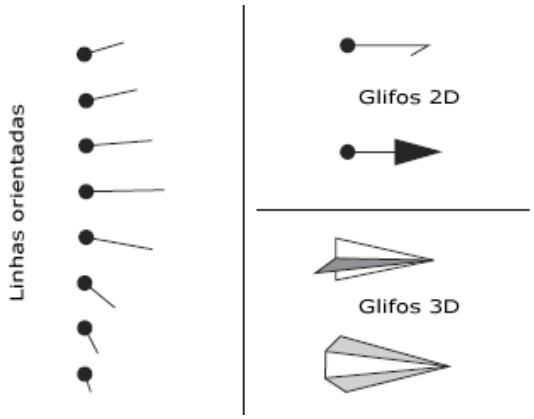


Figura V.4 Técnicas de visualização de vectores: linhas orientadas; glifos 2D e glifos 3D (adaptado de [Hansen, 2005]).

5.4.3 - Entidades, Relacionamentos e Atributos

Ware argumenta, em [Ware, 2004], de que certos elementos gráficos possuem um valor semântico intrínseco, perceptivamente estável, e agrupa esses elementos numa gramática visual, Figura V.5. Através dessa gramática definem-se representações, perceptivamente adequadas à representação de dados, tais como: relacionamentos entre entidades; entidades; atributos, etc.

5.4.4 - Integração de informação verbal e visual

Uma vez que a linguagem natural escrita é ubíqua, sendo o sistema simbólico comunicacional humano por excelência, [Ware, 2004], a questão da sua integração e interacção com outras formas de representação de informação é da maior importância. Do ponto de vista prático, trata-se de, em primeira instância, de identificar as condições em que determinada informação é melhor representada através de texto.

Como foi referido no ponto 5.3 -existem vantagens segundo um ponto de vista da economia cognitiva na utilização de representações gráficas nos processos de comunicação, tendo sido avançadas algumas explicações para esse facto. Porém, a dicotomia texto/imagem tem a sua origem em diferenças de processamento cortical.

5.4.4.1 - Teorias duais

Paivio, em [Paivio, 1990], desenvolve uma teoria que propõe dois códigos de memória independentes. Esta teoria possibilitou uma importante fundação para o desenvolvimento de outras arquitecturas cognitivas pela sua distinção entre codificação verbal e visual. O mesmo autor argumentou que existem essencialmente duas

formas de processar informação: uma enfatiza associações verbais em que uma palavra pode ter muitas associações que a distinguem de outras palavras; outra é a criação de uma imagem visual que represente uma imagem ou uma palavra. Assim, o motivo pelo qual as imagens são eficientes na sua memorização é que a imagem possibilita um segundo código de memória, independente do verbal; isto é: ter dois códigos para representar um item, cada um deles podendo resultar em memorização, é melhor do que ter apenas um.

Da ideia de código dual de Paivio surgiram várias teorias e princípios, entre as quais a teoria cognitiva da aprendizagem multimédia de Mayer, ver por exemplo, [Mayer, 2005]; que, em particular para os contextos de instrução, estabelecem algumas linhas de orientação relativamente à integração de várias formas de representação de informação.

Código gráfico	Instanciação visual	Semântica
1. Contorno fechado		Entidade, objecto, nó
2. Forma de um contorno fechado		Tipo de entidade
3. Cor de uma região fechada		Tipo de Entidade
4. Tamanho de uma região fechada		Valor de uma entidade Maior <=> mais valor
5. Linhas divisórias dentro de uma região fechada		Partições de uma entidade
6. Formas ligadas		Entidades ligadas Relações "parte-de"
7. Formas ligadas por um contorno		Entidades contidas
8. Formas ordenadas espacialmente		Sequência
9. Linha ligada		Relacionamento entre entidades
10. Qualidade de linha		Tipo de relacionamento entre entidades
11. Espessura de linha		Força de um relacionamento entre entidades
12. Conector de elementos		Compatibilidade entre componentes
13. Proximidade		Grupos de componentes

Figura V.5 Gramática visual baseada em elementos utilizados em diagramas entidade-relacionamento (adaptado de [Ware, 2004]).

5.4.4.2 - Imagens *versus* palavras

De um modo geral, a informação pictórica parece ser processada holísticamente, ao contrário da informação verbal, que é processada de forma mais sequencial. Para além disso, é geralmente aceite que a informação transmitida através de imagens é recordada e reconhecida mais facilmente que a informação textual, [Spielberger, 2004].

A memória espacial é geralmente melhor para elementos icónicos do que para elementos verbais. Através de registos de movimentos oculares, Cattaneo e os seus colaboradores verificaram, numa tarefa de memorização da localização espacial de imagens e palavras, que as imagens receberam menos, mas mais longas fixações oculares, sugerido uma maior atribuição de recursos atencionais às imagens, [Cattaneo, 2008]. Associado a este facto está a ideia de que para tempos de visualização curtos, representações mais simples são mais adequadas, [Ware, 2004].

Ware, em [Ware, 2004], resume alguns princípios relativamente à utilização de imagens e texto em visualizações:

- Imagens são melhores para representar – Estruturas espaciais, localização, detalhes e aparência; relacionamentos estruturais (ligações entre entidades e grupos de entidades); tarefas envolvendo informação de localização;
- Texto é melhor para representar – informação procedimental; condições lógicas; conceitos verbais abstractos.

5.4.4.3 - Efeito da divisão da atenção

O efeito da divisão da atenção é aqui considerado uma vez que se relaciona com a interacção entre informação visual e verbal. Este efeito, analisado no domínio da apresentação de conteúdos de instrução, ver, por exemplo [Chandler, 1992], assenta na ideia de código dual de Paivio, [Paivio, 1990], e traduz-se numa dificuldade em manter focada a atenção em mais do que uma fonte de informação. Quando essas fontes são ininteligíveis por si só, é necessário integrá-las primeiro para as compreender. Essa integração de informação geralmente envolve guardar pequenos pedaços de informação verbal na memória operacional enquanto se procura pelo elemento gráfico correspondente. Quando o *design* da visualização não promove a coordenação entre os elementos verbais e visuais, a integração pode ser difícil porque a atenção tem de ser dividida pelos dois elementos de informação, impondo uma carga cognitiva extrínseca grande, especialmente quanto menor a experiência do indivíduo no domínio em questão, e quanto maior for a interactividade entre os elementos verbais e visuais. A solução para esta dificuldade passa pela integração física dos elementos (texto e um diagrama, por exemplo), [Sweller, 1998; Kalyuga, 1999].

A proposta de integração de elementos visuais como forma de reduzir a carga cognitiva, tornando assim mais eficaz a percepção da informação contida numa dada visualização, é também consistente com os princípios especificados pelos psicólogos da Gestalt, [Ware, 2004]. Este facto é aliás possível de verificar através da Figura V.6.

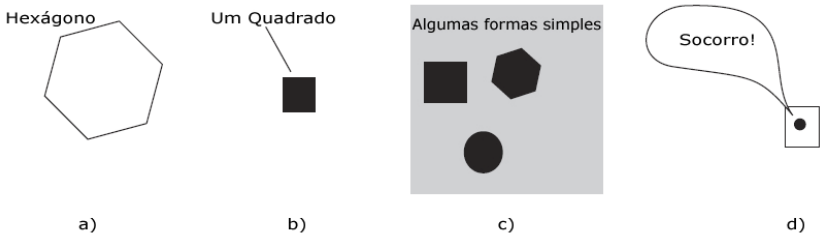


Figura V.6 A integração de elementos texturais e visuais é possível ser realizada considerando os princípios propostos pelos psicólogos da Gestalt: (a) Proximidade, (b) Continuidade, (c) Região comum, e (d) região comum e continuidade (adaptado de [Ware, 2004]).

5.5 - Interacção Homem-Computador em Sistemas de Gestão de Tráfego Aéreo

No universo da Gestão de Tráfego Aéreo (ATM) existem inúmeros exemplos da utilização de visualizações como ferramenta de apoio à realização de tarefas cruciais à segurança dos voos, e, paralelamente, vastas áreas de trabalho no domínio da Interacção Homem-Computador (HCI). Tendo em conta os objectivos desta Dissertação, escolheu-se, no entanto, focar os problemas de integração e detecção visual de informação em *displays* de dados ATM, nomeadamente, através da análise dos *displays* Radar e *displays* de Dados de Voo.

5.5.1 - Sistema ATM

Resumidamente, os sistemas ATM são todos aqueles que contribuem para o movimento seguro do tráfego aéreo, o que inclui também os sistemas de Comunicações, Navegação e Vigilância (*Communications, Navigation and Surveillance* - CNS) e equipamento ATC existente nas aeronaves, [Spouge, 2005].

Um sistema ATM é composto por uma rede complexa de subsistemas que em conjunto pretendem garantir que o fluxo de tráfego aéreo se processe de modo seguro, ordenado e expedito, [Kelly, 2000]. Os principais componentes desse sistema e o seu relacionamento estão representados na Figura V.7.

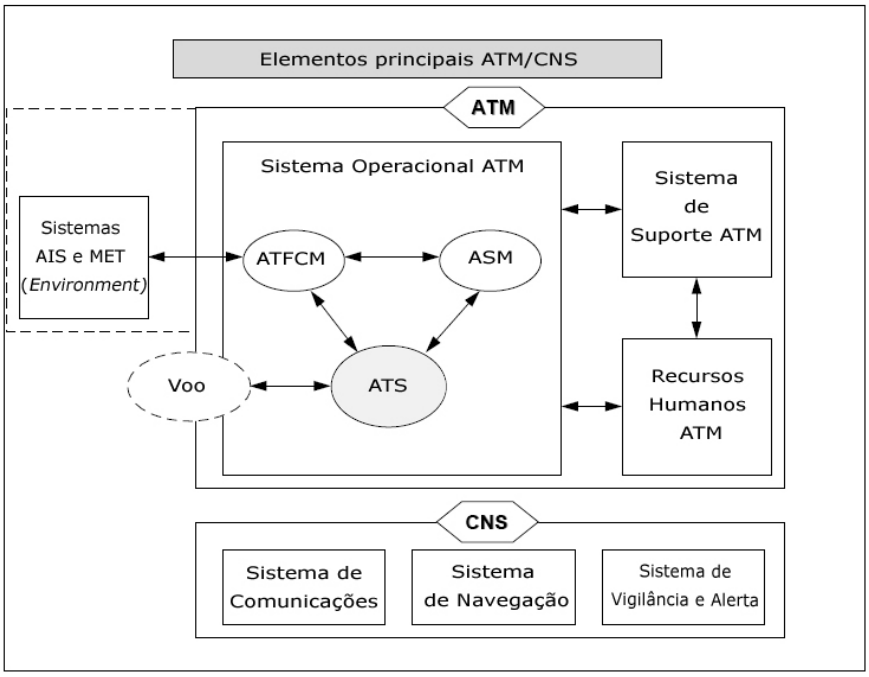


Figura V.7 Principais componentes de um sistema ATM/CNS (adaptado de [Kelly, 2000]).

Em interacção com o Sistema de Ambiente e com os voos, os principais componentes funcionais ATM são: do lado terra – os Serviços de Tráfego Aéreo (ATS); o Sistema de Gestão de Espaço Aéreo (ASM); e os Serviços de Gestão de Fluxo e Capacidade de Tráfego Aéreo (*Air Traffic Flow and Capacity Management* - ATFCM). Os Serviços de Tráfego Aéreo são, contudo, o componente em interacção directa com o tráfego (os voos), [Kelly, 2000].

5.5.1.1 - Sistema de Comunicações, Navegação e Vigilância

Como é possível verificar através da Figura V.7, o sistema ATM é complementar de um outro, designado por Sistema de Comunicações, Navegação e Vigilância, onde estão inseridos, por exemplo, os processos relativos às ajudas à navegação e equipamentos rádio, bem como os relativos à prestação dos serviços Fixo e Móvel de Comunicações.

5.5.1.2 - Sistema de Informação Aeronáutica

O Sistema de Informação Aeronáutica (AIS) engloba todos os serviços responsáveis por centralizar, tratar arquivar e difundir a informação aeronáutica necessária ao adequado desempenho das tarefas operacionais de planeamento dos voos, do pessoal das operações de voo, das companhias aéreas/pilotos, (incluindo a necessária aos simuladores), nomeadamente: o serviço de Publicações Aeronáuticas e o *Pré-flight Information Service.* Têm como responsabilidade assegurar o fluxo de informação necessário aos órgãos dos serviços de tráfego aéreo responsáveis pela prestação do serviço de informação antes e durante o voo, [ICAO, 2004].

5.5.1.3 - Sistema de Informação Meteorológica

Como o próprio nome indica, abrange os serviços responsáveis por recolher e disponibilizar a informação meteorológica essencial aos voos, [ICAO, 2007].

5.5.1.4 - Sistema de Gestão de Espaço Aéreo

O Sistema de Gestão de Espaço Aéreo (*Airspace Management System* - ASM) subdivide-se em três áreas fundamentais: gestão de espaço aéreo; desenvolvimento da rede de rotas; e modelação de espaço aéreo. Os seus processos desenvolvem-se em três momentos distintos, usualmente designados por fase estratégica (sete dias ou mais antes do voo), pré-táctica (seis dias antes do voo) e táctica (dia da operação), com o objectivo de tornar mais eficiente o uso do espaço aéreo, [EUROCONTROL, 2003].

5.5.1.5 - Sistema de Gestão de Fluxo e Capacidade de Tráfego Aéreo

O Sistema ATFCM foi estabelecido com o objectivo de optimizar a capacidade ATC de modo a esta seja utilizada ao seu máximo (capacidade ATC é o número máximo de aeronaves que podem ser aceites durante um determinado período de tempo por um aeródromo ou centro de controlo). Para atingir esse objectivo são aplicadas estratégias de regulação ao fluxo de tráfego de modo a que o volume de tráfego seja compatível com as capacidades das várias unidades ATS relevantes. Estes processos também se desenrolam ao longo das fases estratégica, pré-táctica e táctica.

No caso particular da zona ICAO EUR, onde Portugal se encontra inserido, foi criado um serviço central de processamento e distribuição de planos de voo sob a autoridade da Unidade Central de Gestão de Fluxo do EUROCONTROL (*Central Flow Management Unit* - CFMU). Este serviço é providenciado pelo sistema de processamento integrado de planos de voo (*Integraded Initial Flight Plan Processing System* - IFPS) que cobre parte da Região EUR designada por Zona IFPS (IFPZ), [CFMU, 2008].

5.5.1.6 - Sistema dos Serviços de Tráfego Aéreo

A expressão Serviços de Tráfego Aéreo é utilizada para designar um conjunto de serviços que se organizam em três partes, [ICAO, 2001a]:

- Controlo de Tráfego Aéreo – tem como objectivos principais evitar colisões (entre aeronaves, e entre aeronaves e obstáculos) e manter um fluxo ordenado e expedito de tráfego;
- Informação de Voo – cujo objectivo é o de fornecer informações e sugestões úteis à condução segura e eficiente dos voos;
- Alerta – alertar os organismos apropriados, sempre que uma aeronave necessite dos serviços de busca e salvamento.

- ***Controlo de Tráfego Aéreo***

O serviço de controlo de tráfego aéreo divide-se em três tipos: controlo de aeródromo (TWR), controlo de aproximação (APP) e controlo de área (ACC); estes dois últimos geralmente associados ao serviço Radar. Estes tipos de controlo correspondem às três fases de um voo, e são prestados em função de vários critérios como a densidade e o tipo de tráfego, [ICAO, 2001a].

Embora uma explicação em detalhe dos vários processos operacionais ATS esteja fora do âmbito deste trabalho, clarificam-se em seguida alguns conceitos importantes à compreensão das tarefas realizadas no controlo de tráfego aéreo; nomeadamente, no que concerne ao fluxo de informação.

Na Figura V.8. estão representados os vários fluxos de informação que concorrem para a gestão de tráfego aéreo. Entre eles encontra-se representado o fluxo relativo à informação de carácter operacional geralmente designada por informação de plano de voo.

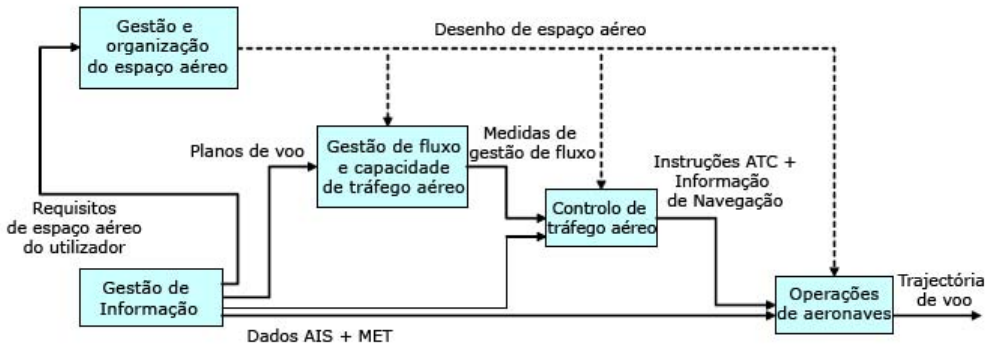


Figura V.8 Organização funcional simplificada do sistema ATM onde é possível discernir a localização no fluxo de informação da informação relativa aos planos de voo (adaptado de [Spouge, 2005]).

Um plano de voo é submetido com o objectivo de obter o serviço controlo de tráfego aéreo ou o serviço de informação de voo. Esta submissão é efectuada através do preenchimento de um formulário, em papel ou

formato digital[8], Figura V.9. É através da submissão de um plano de voo que entram na rede de comunicações aeronáutica (*Aeronautical Fixed Telecommunications Network* - AFTN) os dados operacionais relativos a um dado voo, [ICAO, 2001b].

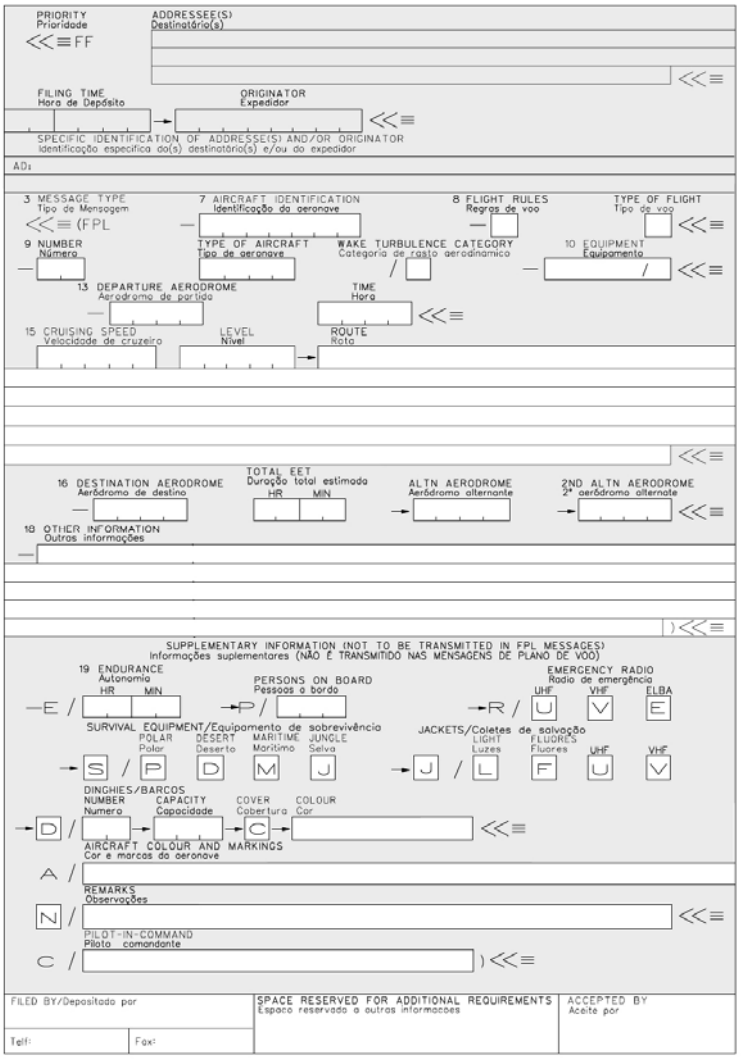


Figura V.9 Exemplo de um formulário para depósito de um plano de voo (retirado de [NAV, 2008]).

O depósito de um plano de voo dá origem a uma mensagem ATS. Estes tipos de mensagens possuem um formato específico (*ATS Data Exchange Presentation* - ADEXP) e são uma forma de comunicação entre os vários agentes existentes nos sistemas ATM, nomeadamente, unidades ATS e operadores de aeronaves, [CFMU, 2008]. A mensagem apresentada na Figura V.10 é um exemplo de uma mensagem FPL.

```
(FPL-ABC225-IS
-B772/H-SRXWY/S
-KDEN0240
-N0479F330 YELLO3 HANKI J148 ONL J114 GEP J21 DLH J533 YQT DCT YMO DCT YKL
DCT HO/M080F370 DCT LOACH DCT 55N050W 55N040W 55N030W 55N020W DCT
MASIT/N0458F370 UN546 DEVOL UL975 WAL UL10 HON BNN3A
-EGLL0850 EGKK
-EET/CZWG0139 CZYZ0154 CZUL0229 50N050W0431 50N040W0511 EGGX0549
51N020W0627 MASIT0659 EISN0700 EGTT0728 REG/GCHGS SEL/EHJK OPR/ABC
DOF/040503 RALT/CYQX LPLA EGFF RMK/TCAS)
```

Figura V.10 Exemplo de uma mensagem de plano de voo (retirado de [CFMU, 2008]).

[8] No entanto, para a esmagadora maioria das companhias aéreas que operam voos regulares, o depósito de plano de voo é feito através de *Repetitive Flight PLans* (RPLs), ou planos de voo repetitivos, gerados automaticamente. Este facto não impede contudo que alterações subsequentes ocorram a esses planos de voo.

A difusão das mensagens ATS/ATFCM através da rede AFTN permite às várias unidades ATS obterem informação relevante relativamente ao tráfego que lhes diz respeito. De forma a melhor gerir essa informação são geralmente utilizados sistemas de dados de voo, cuja especificidade varia entre unidades ATS. É a partir das mensagens FPL, e de outros tipos de mensagens, que são posteriormente geradas as fitas de progresso de voo.

A fita de progresso de voo, Figura V.11, filtra e reorganiza os dados existentes no plano de voo, de modo a auxiliar as tarefas dos controladores de tráfego aéreo. De acordo com Dekker, em [Dekker, 2005], as fitas de progresso de voo:

- Reduzem a complexidade, através do uso de notação simbólica;
- Suportam a coordenação entre controladores;
- Funcionam como elemento de antecipação e planeamento.

Figura V.11 Exemplo de uma fita de progresso de voo utilizada na Torre de Controlo do Aeroporto Francisco Sá Carneiro, no Porto e o plano de voo que lhe deu origem.

A utilização de fitas de progresso de voo no Controlo de Tráfego Aéreo envolve inúmeros tópicos de investigação, sendo o problema da sua substituição, por outro tipo de ferramentas gráficas, um dos mais debatidos. Estudos acerca do seu papel, vantagens e desvantagens têm vindo a ser realizados (ver, por exemplo, [Durso, 2008]), tendo a própria ICAO recomendado, que, a serem substituídas, os sistemas alternativos devem conseguir capturar a "essência" por trás das várias funções que desempenham, [ICAO, 2000].

Embora exemplos de integração de informação de voo num único *display* já existam, como verificado no ponto 5.5.4.1 -, através da utilização de etiquetas expansíveis; e embora também outras estratégias híbridas estejam em desenvolvimento, como por exemplo as "*e-strips*", ou fitas digitais (ver, por exemplo, [PAVET, 2006]), a realidade é que ainda são utilizadas as fitas de progresso de voo em papel, em muitas unidades de controlo de tráfego aéreo.

5.5.2 - Filosofia de *design*

Na secção 2.6 -, os processos sensoriais e perceptivos foram descritos como processos que permitem *interagir com o mundo, facilitando o planeamento e execução de comportamentos apropriados a uma determinada circunstância*. Num ambiente ATM, essa interacção é frequentemente mediada por *interfaces* computacionais. À área da ciência que estuda o desenho, a implementação, e o uso dessas interfaces, dá-se o nome de Interacção Homem-Computador (ou *Human-computer interaction* - HCI). Neste paradigma, as interfaces são considerados artefactos cognitivos; ou seja, ajudas cognitivas externas, [Wilson, 1999]. Restringindo a análise ao domínio visual estes artefactos inserem-se no domínio da visualização de informação; ou seja, *"the use of computer-supported, interactive, visual representation of abstract nonphysically based data to amplify cognition*, [Card, 1999].

No que concerne especificamente ao desenho das *interfaces,* Baeza-Yates e Ribeiro-Neto, afirmam que deve ser executado de modo a que estas sejam uma ajuda no processo de compreensão e expressão das necessidades informativas, [Baeza-Yates, 1999], devendo, para isso, [Shneiderman, 1992]:

- Proporcionar *feedback* informativo;

- Providenciar um foco de controlo interno, permitindo ao utilizador controlar como e quando o *feedback* é disponibilizado;
- Permitir a redução do esforço cognitivo, em particular, no que concerne à memória operacional;
- Considerar a experiência dos utilizadores (simplicidade *versus* poder).

O mesmo autor, em [Shneiderman, 1992], afirma que um sistema computacional bem desenhado, e, portanto, eficaz, deve ser transparente aos utilizadores, permitindo-lhes concentrarem-se na sua tarefa, e gerando sentimentos de mestria, competência, sucesso e clareza.

5.5.2.1 - *Design* centrado no Homem

Como é salientado em [ICAO, 2000], considerando os contextos de ATM em particular, não há dúvida que os automatismos, especialmente os promovidos pela utilização de visualizações, libertam capacidade cognitiva; e que, com o aumento de tráfego (estimativas prevêem uma duplicação do número de movimentos realizados em 2005 para o ano 2025, [EUROCONTROL, 2006b]) maior automatização será necessária. A questão fundamental está antes, na escolha do paradigma a adoptar no desenvolvimento dos sistemas, [ICAO, 2000]:

- Centrado na tecnologia – colocação do operador no papel de vigilante da automação com a responsabilidade de "cuidar e alimentar" o computador, sendo a sua performance nas tarefas gerida pela maquinaria computacional;
- Centrado no homem – o operador é assistido pela automação e a sua performance nas tarefas é apoiada pela maquinaria computacional.

Esta Dissertação procura basear-se no paradigma centrado no humano. Neste sentido, defende-se que, se, como salienta Ware, em [Tergan, 2005], os mais poderosos e flexíveis sistemas cognitivos derivam da interacção entre interfaces visuais e ferramentas computacionais, o desenvolvimento desses sistemas deverá ser fundamentado nas capacidades cognitivas humanas. Esta abordagem concretiza-se através de um mapeamento sistemático dos requisitos do utilizador às soluções tecnológicas, em particular em questões de usabilidade, onde, por exemplo, se sublinha a necessidade de localizar com facilidade itens específicos no *display* visual:

"*Usability is a function of measurable ease-of-use outcomes, [...] such as the ease of locating specific items on a visual display*", [ICAO, 2000].

Segundo Norman, em [Norman, 1986], a eficiência deste paradigma de interacção depende facilidade relativa da percepção do estado de coisas (avaliação) e da implementação de uma acção (execução).

5.5.3 - Princípios gerais de *design* de interfaces

Com o desenvolvimento dos Interfaces de Utilizador Gráficos (*Graphical User Interfaces* - GUIs) a interacção com o computador deixou de ser realizada através do uso de "comandos" textuais para passar a ser realizada através da manipulação directa de objectos e símbolos apresentados graficamente no ecrã do computador, através de um rato. Este tipo de interfaces (*Window, Icon, Menu, Pointer*, WINP), embora tenha facilitado a interacção com o computador, através da utilização de apenas um conjunto simples de destrezas mão-olho, trouxe consigo um maior custo de desenvolvimento e *design*, uma vez que a sua concepção exige um conhecimento das características de performance humanas, [Jackson, 2004].

Para que o desenho de interfaces não dependesse de critérios subjectivos, surgiu a necessidade de se desenvolverem documentos de referência que estruturassem princípios e recomendações de *design* para as interfaces. Através destes documentos, geralmente designados por "guias de estilo", é possível enumerar três grandes áreas de estudo sobre as quais é necessário tomar decisões:

- Princípios de interacção;
- Princípios de gestão de *inputs*;
- Princípios de apresentação visual.

Tópicos usuais incluem: o modelo de *input*; navegação; gestão de janelas; menus; tamanho e espaçamento dos elementos na interface, fontes, cores, comportamento interactivo, mensagens de erro e alerta e normas de etiquetagem, [Cook, 2003].

5.5.3.1 - Princípios de apresentação visual

O problema de uma adequada representação da informação não é novo, e está certamente longe de estar resolvido. Em função, contudo, do conhecimento acerca das capacidades perceptivas e cognitivas humanas vários princípios e algumas linhas orientadoras têm vindo a ser propostos, em particular no desenho de *displays*.

Embora seja possível sistematizar vários princípios gerais de apresentação visual, transversais a vários tipos de aplicações, focam-se em seguida alguns com aplicáveis em espacial aos *displays* ATM.

- ***Estilo visual***

É importante que para que a interacção seja melhorada, a interface gráfica apresente um estilo visual consistente. Neste sentido, segundo [Jackson, 2004] um bom estilo visual significa:

  - Compreender as funcionalidades da interface;
  - Considerar as características perceptivas humanas;
  - Basear-se num adequado sentido de estética e no conhecimento de princípios de *design* gráfico.

De acordo com [Jackson, 2004], isto é conseguido de várias formas:

  - Apresentando a informação de modo claro e legível;
  - Reforçando a metáfora interactiva de modo preciso;
  - Melhorando a previsibilidade, ajudando a antecipação, e convidando a acções;
  - Simplificando a apresentação e minimizando a complexidade visual;
  - Suportando um sentido de qualidade, exclusividade e pertença.

- ***Princípios perceptivos***

Em [Wickens, 2003], são apresentados 13 princípios de *design* de *displays* baseados em quatro categorias: percepção, modelos mentais, atenção e memória. Embora a sua aplicação não seja linear e existam possibilidades de interferência entre estes princípios, [Wickens, 2003], individualmente, são uma ferramenta a ter em conta no desenvolvimento de *displays*.

Os princípios perceptivos propostos são quatro, [Wickens, 2003]:

  - Evitar julgamentos absolutos de limites – Não deve ser pedido ao operador julgar o nível de uma variável representada através de uma única variável sensorial: cor, tamanho, por exemplo, que contenha mais de que 5 a sete níveis possíveis;
  - Processamento *Top-down* – Devem ser tidas em conta as expectativas do operador. No caso de um evento contrário às expectativas como um alarme, devem ser reforçadas as evidências físicas desse evento;
  - Ganho de Redundância – Quando uma mensagem é expressa mais do que uma vez existe maior probabilidade de ser entendida correctamente, em particular através de formas físicas diferentes;
  - Discriminabilidade – *Sinais* semelhantes serão provavelmente confundidos.

- ***Princípios de apresentação de dados para displays ATM***

Especificamente tendo em conta as particularidades dos *displays* ATM, vários princípios de apresentação de dados foram propostos pelos investigadores do Centro Experimental do Eurocontrol ao longo de um conjunto de simulações envolvendo as novas tecnologias de visualização de informação (ver, por exemplo [Graham, 1994]):

  - Principio da informação mínima: a interface não deve apresentar informação que já não é considerada pelo controlador como necessária;
  - Principio do acesso à informação: Deve permitir ao controlador aceder toda a informação relevante com um nível de esforço inversamente proporcional, relativamente à sua importância operacional imediata. O esforço de acesso é usado não só na busca visual, bem como na interacção com objectos e com níveis de menus;

- Principio da intermitência: A intermitência pode ser usada como forma de atrair a atenção, mas não deve ser um atributo do texto que tenha de ser processado visualmente, [Jackson, 2004].

- ***Legibilidade***

A legibilidade do texto é naturalmente um factor importante quando no que toca à apresentação visual de informação. Em [Wickens, 2003], são apresentadas algumas recomendações:

- Deve ser evitada a utilização de fontes pequenas e de espessura reduzida;
- Maximização do contraste através do uso de letras pretas em fundos claros (contraste negativo) uma vez que existe a tendência das letras brancas "irradiarem" contra um fundo preto;
- Fontes típicas, mais familiares são preferíveis a fontes que geram letras em bloco como por exemplo *block letters*;
- A utilização de maiúsculas deve ser restringida a palavras pequenas ou isoladas; para várias palavras adjacentes A UTILIZAÇÃO DE MAIUSCULAS TORNA MAIS DIFÍCIL A LEITURA. Isto acontece porque o texto em minúsculas ou misto oferece maior variedade de formas, o que facilita o processamento paralelo.

Na Figura V.12 está representada um tipo de letra especificamente desenvolvido para *displays* de controlo de tráfego aéreo, [Vinot, 2008]. Este tipo vem substituir um outro (ORLY) também desenvolvido pelos investigadores do *Centre d'Etudes de la Navigation Aérienne* (CENA) de modo a cumprir com os requisitos de legibilidade.

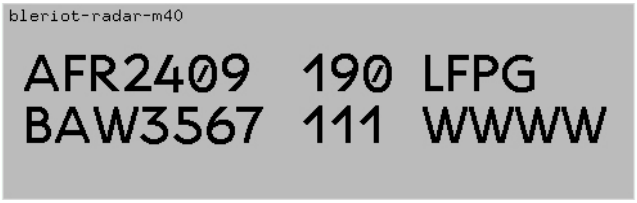


Figura V.12 Exemplo da fonte "Bleriot", desenvolvida para *displays* ATM (retirado de [Vinot, 2008]).

5.5.4 - Displays Radar

Os *displays* radar fazem parte do conjunto de elementos que compõem um sistema radar. Estes sistemas são geralmente utilizados na prestação dos serviços de tráfego aéreo e, segundo as normas da ICAO, não só devem possuir um nível muito elevado de fiabilidade, disponibilidade e integridade, como devem ser também capazes de ser integrados noutros sistemas de modo a providenciar, [ICAO, 2001b]:

"an appropriate level of automation with the objectives of improving the accuracy and timeliness of data displayed to the controller and reducing controller workload and the need for verbal coordination between adjacent control positions and ATC units".

Os *displays* radar são usualmente parte integrante dos HCI utilizados na prestação do serviço de controlo de tráfego aéreo. Apesar de existirem diferenças entre unidades ATS nas formas de representação e nas ferramentas utilizadas nestas interfaces, e, em particular, nos *displays* radar, alguns elementos são comuns.

A informação estática é geralmente apresentada tirando partido da capacidade que os sistemas actuais têm de disponibilizar os dados em camadas (*layers*), permitindo assim aos operadores visualizarem informação em função das suas necessidades. Fronteiras geográficas, rios, rotas, áreas perigosas, entre outras, bem como os aeródromos e pontos significativos, Figura V.13, estão entre os dados representados.

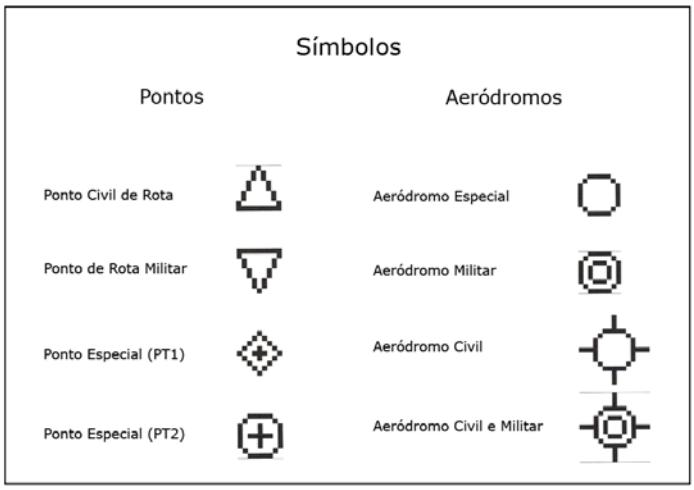


Figura V.13 Exemplos de símbolos utilizados em *displays* radar (adaptado de [EUROCONTROL, 2008b]).

5.5.4.1 - Símbolos e Etiquetas

A representação de informação relativa aos voos (informação dinâmica) num *display* radar é feita através da utilização de símbolos e etiquetas. A identificação de uma aeronave (*callsign,* em radiotelefonia) é um conjunto alfanumérico de não mais que sete caracteres cuja composição corresponde, [ICAO, 2001b]:

- À matrícula da aeronave (por exemplo, CSDCO) se esta é a forma de identificação em radiotelefonia ou a aeronave não está equipada com rádio; ou
- Ao designador da agência operadora da aeronave seguido da identificação do voo (por exemplo, TAP1981, KLM511, IBE31GK).

Para que cada aeronave seja identificada sem ambiguidade nos *displays* radar é necessário que lhe seja atribuído um código *transponder* (*sqwak*). Esse código (de quatro dígitos) permite que vários dados relativos à aeronave sejam processados pelo sistema radar. Uma das informações captada pelo radar é, naturalmente, a posição no espaço da aeronave, representada através de um símbolo (*track)*. Como é possível verificar através da Figura V.14, os *tracks* gerados no *display* variam em função de vários parâmetros, nomeadamente, tipo de cobertura radar disponível (radar primário ou secundário); tipo de tráfego (tráfego civil: GAT; ou operacional: OAT).

Na Figura V.15 estão representadas outras variações possíveis para os *tracks* bem como alguns símbolos especiais: representações para caso do voo não ser um voo por instrumentos (*Instrument Flight Rules*, IFR) e seguir as regras de voo visual (*Visual Flight Rules*, VFR); símbolos indicando problemas de correlação entre os sistemas; e símbolos para indicar falhas, emergência ou interferência ilegal (*highjack*).

Para além do *track* e do *callsign* existem outras informações relativas ao voo que são visualizadas nos *displays* radar. Graficamente, os sistemas radar podem disponibilizar um vector de rumo (permitem visualizar a posição onde a aeronave se vai encontrar num intervalo de tempo configurável: 2, 5 ou 10 minutos, por exemplo) e rastos (permitem visualizar posições anteriores). Associado ao *track* (usualmente através de uma linha) está a etiqueta do voo, onde se encontram, entre outros, os dados relativos à altitude. Exceptuando-se a altitude, o conteúdo destas etiquetas é variável, dependendo não só dos sistemas de radar utilizados, das especificidades locais da área de controlo, como também como do equipamento das aeronaves. A Figura V.16 apresenta três variações de etiquetas utilizadas no centro de controlo de Maastricht. Na Figura V.16a) a informação disponibilizada indica que a aeronave está a uma altitude de 27400 pés; tem uma velocidade solo de 376 nós e está a subir (terceira linha: ↑) a uma velocidade de 500 pés por minuto (terceira linha: R05). Adicionalmente, existem dados relativos à altitude planeada de 35000 pés (↑ 35) para esse voo.

Na Figura V.16b) e na Figura V.16c), a terceira linha contém o código (2002) e modo *transponder* (A); e o aeródromo de destino, respectivamente. Na Figura V.17 é ilustrada a forma de representação da capacidade RVSM (*Reduced Vertical Separation Minima*) de uma aeronave.

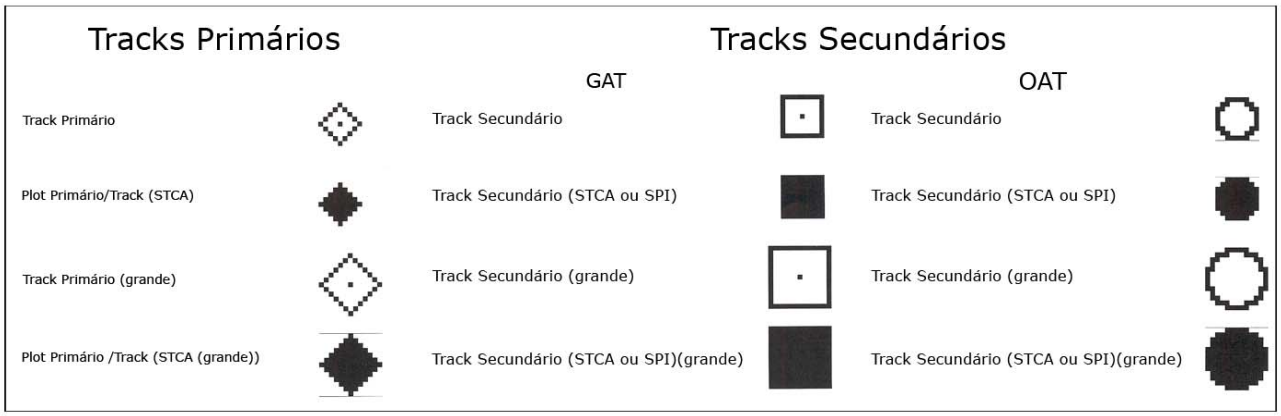


Figura V.14 *Tracks* de voo (adaptado de [EUROCONTROL, 2008b]).

Figura V.15 Tipos de especiais de *tracks* e símbolos (adaptado de [EUROCONTROL, 2008b]).

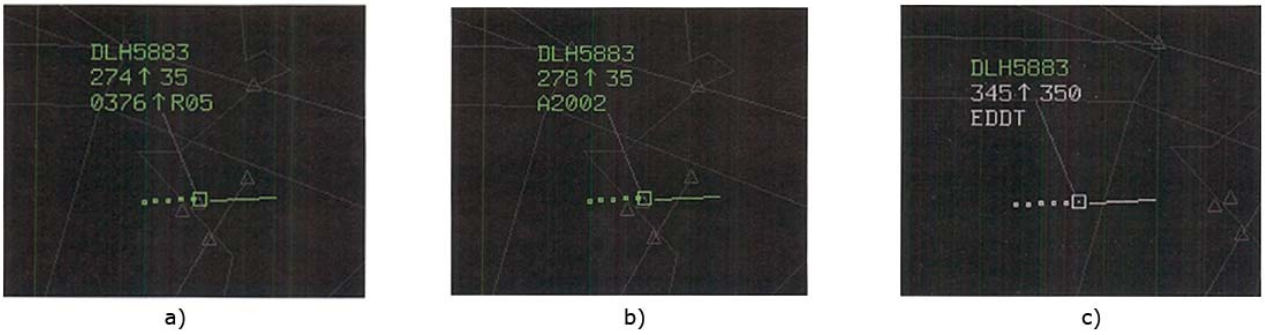


Figura V.16 Três representações de etiquetas de voo (retirado de [EUROCONTROL, 2008b]).

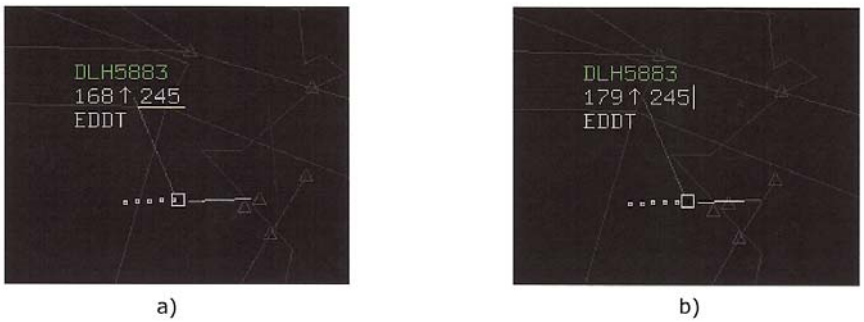


Figura V.17 Representação da capacidade RVSM de uma aeronave: a) não equipada; b) equipada (retirado de [EUROCONTROL, 2008b]).

Embora ainda subsista a utilização de fitas de progresso de voo em papel, alguns dos sistemas ATM, em particular as interfaces para controlo de tráfego aéreo em rota, adoptaram a digitalização da informação de voo. A aplicação do principio da apresentação mínima de informação revelou obter bons resultados, nomeadamente, através da utilização de etiquetas dinâmicas, que variam a apresentação de conteúdo, [Graham, 1994]. Um exemplo dessa alteração de formato é a variação entre o modo de etiqueta normal e expandida, Figura V.18. Esta etiqueta providencia ao controlador a informação que seria dada por uma fita de progresso de voo.

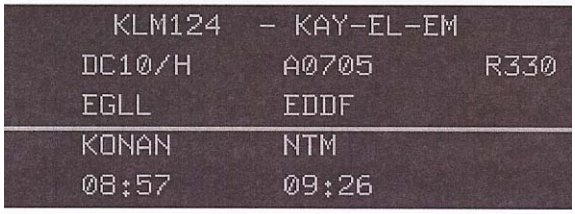
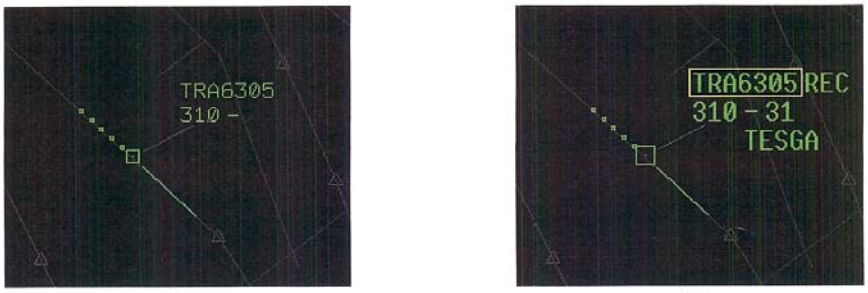


Figura V.18 Exemplo do conteúdo de uma etiqueta expandida, através da qual o controlador tem acesso a dados adicionais acerca do voo (retirado de [EUROCONTROL, 2008b]).

Não só o tipo de informação disponibilizada num *display* radar varia, mas também as funcionalidades do sistema e o modo de representação dessas funcionalidades. Ainda tomando como exemplo o sistema utilizado em Maastricht, não só o tamanho (Figura V.19, ferramenta de zoom) das etiquetas e *tracks*, como também as cores sofrem alterações (Figura V.21), ferramenta de detecção de conflitos: *Short Term Conflit Alert* - STCA).



a) b)

Figura V.19 Exemplo de uma alteração gráfica resultante do uso de uma ferramenta do tipo lupa (retirado de [EUROCONTROL, 2008b]).

Um outro exemplo da alteração das propriedades gráficas dos *tracks* é conseguido através de uma funcionalidade designada por "*Wheelie*", [Sporer, 2007]. Através da movimentação da roda do rato, é o sistema destaca quais os voos numa determinada altitude, Figura V.20.

Finalmente, um outro aspecto a focar relativamente ao uso de etiquetas prende-se com as implicações do uso de sistemas *Data Link*; isto é, sistemas que permitem a comunicação entre controladores e aeronaves sem recurso a comunicações de voz. Nestes sistemas a comunicação é estabelecida directamente entre os computadores de bordo e os do ATC, [ICAO, 2000]. Esta mudança de estratégia (designada por *Controller-Pilot Data Link Communications* - CPDLC) tem implicações directas na apresentação de informação visualmente, uma vez que um novo conjunto de situações, que antes pertenciam à esfera dos processos das comunicações verbais, tem de ser agora efectuado a partir do *display*. Este facto é exemplificado através das figuras seguintes, onde é está representado o estado CPDLC da aeronave, Figura V.22; e uma atribuição de altitude pelo controlador com duas possíveis respostas da aeronave, Figura V.23 e Figura V.24, respectivamente.

5.5.4.2 - Análise da Complexidade perceptiva

Encarando as visualizações como artefactos cognitivos, impõe-se a definição dos factores e métricas de complexidade perceptiva inerentes às tarefas associadas ao uso dessas mesmas visualizações.

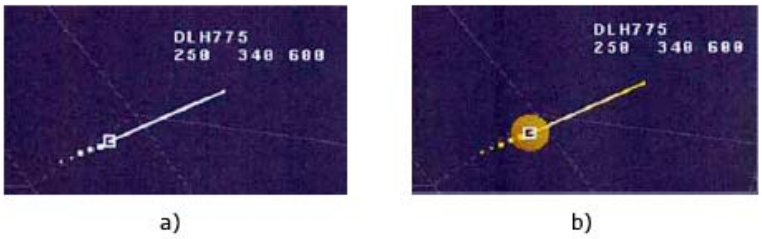


Figura V.20 Funcionalidade *Wheelie*: a) desactivada; e b) activa (adaptado de [Sporer, 2007]).

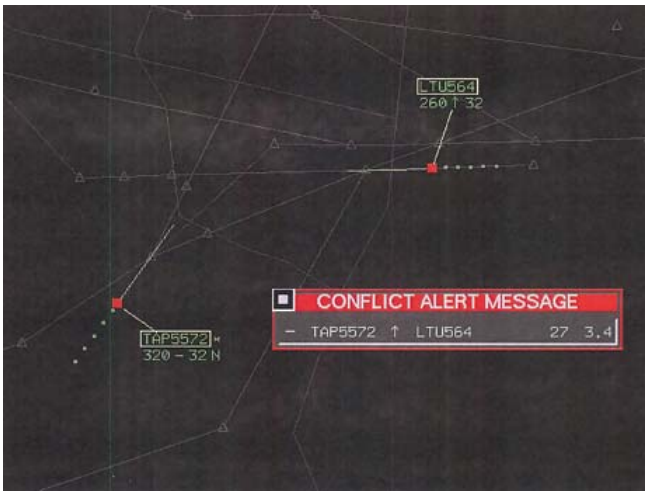


Figura V.21 Exemplo de uma indicação de conflito (STCA) e as consequentes alterações nos *tracks* e nas etiquetas dos voos (retirado de [EUROCONTROL, 2008b]).

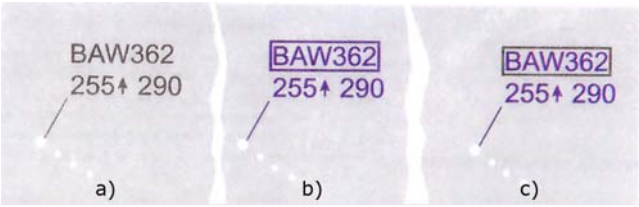


Figura V.22 Etiquetas com informação relativa á capacidade CPDLC: a) sem capacidade CPDLC; b) CPDLC inactivo; c) CPDLC activo (adaptado de [ICAO, 2000]).

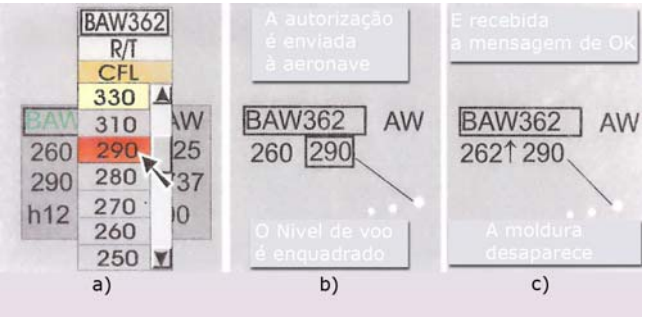


Figura V.23 Exemplo das alterações visíveis no *display* aquando de uma comunicação de uma alteração de nível de voo pelo controlador e resposta positiva por parte da aeronave: a) controlador autoriza novo nível; b) visualização do nível do novo nível autorizado; c) indicação de subida (adaptado de [ICAO, 2000]).

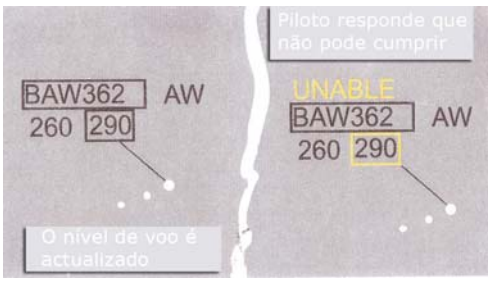


Figura V.24 Visualização de uma resposta negativa por parte do piloto através da utilização de um rectângulo e texto de cor amarela ([ICAO, 2000]).

5.5.4.3 - Tarefas perceptivas

As tarefas realizadas pelos controladores de tráfego aéreo colocam vários desafios ao sistema perceptivo. Visualmente, um controlador de tráfego aéreo monitoriza um conjunto de *displays* estáticos e dinâmicos, sendo os *displays* de visualização radar utilizados para acompanhar o progresso dos voos, [Shorrock, 2007]. Especificamente no que concerne ao controlo de tráfego aéreo em rota é possível identificar 10 processos básicos, [Dittmann, 2000]:

- 5 Processos de tarefas :
  - Assumir a posição/construir a imagem mental;
  - Monitorização;
  - Gestão do tráfego de rotina;
  - Gestão de pedidos/assistência a pilotos;
  - Resolução de conflitos.
- 1 Processo de controlo – alternância de atenção;
- 4 Sub-processos :
  - Actualização da imagem mental;
  - Confirmação;
  - Procura de conflitos;
  - Atribuição de instruções.

Para cada um desses processos existe um conjunto de informação relevante obtida visualmente pelo controlador, nomeadamente, a altitude, a velocidade, e rota das várias aeronaves sob a sua responsabilidade.

Xing, em [Jacko, 2007], considera as seguintes tarefas perceptivas:

- Detecção de mensagens críticas;
- Procura de informação de uma dada categoria;
- Pesquisa/leitura rápida texto e padrões gráficos;

Segundo o mesmo autor, em [Jacko, 2007], as funções perceptivas envolvidas nestas tarefas incluem:

- Saliência de alvos (*pop-out*);
- Detecção;
- Busca;
- Segmentação;
- Leitura de texto;

5.5.4.4 - Factores e métricas de complexidade

Associando os requisitos das tarefas às funções cerebrais, Xing, em [Jacko, 2007], estabelece métricas de complexidade para *displays* ATC. A complexidade de informação é descrita através de três factores básicos: quantidade, variedade e relação. Sendo avaliada nos três estádios do modelo de processamento de informação: percepção, cognição e acção.

Relativamente à percepção, Xing, [Jacko, 2007], avaliou os três factores de complexidade:

a) Quantidade

A quantidade afecta o processamento em série de detalhes visuais. O tempo de processamento aumenta com a quantidade de elementos visuais num *display*. Uma vez que o processamento em série está limitado à informação retinal onde os olhos estão fixos, então o elemento básico do processamento em série é a fixação, sendo assim a métrica da quantidade avaliada pela percepção o número de grupos de fixação, [Jacko, 2007].

b) Variedade

Segundo Xing, [Jacko, 2007], a variedade afecta a segmentação de imagem e o efeito de *pop-out*; ambas funções baseadas na uniformidade e distinção das características visuais (cores, contraste de luminosidade; frequência espacial ou tamanho; textura e movimento). Assim, um aumento na variedade das características visuais leva a dificuldades na segmentação e a uma redução do efeito *pop-out* de alvos. Ou seja, maiores dificuldades na organização de um *display* e menor saliência dos alvos. Xing, [Jacko, 2007], refere ainda que a variação entre características como a cor e a luminosidade aumentam o tempo de busca visual. Este efeito denominado custo da alternância "*cost of switching*" também reduz a fiabilidade da leitura de texto e na detecção de alvos.

c) Relação

O relacionamento entre elementos visuais afecta o processamento de informação visual detalhada. Um exemplo é a variação de contraste percepcionado de um dado estímulo devido aos estímulos circundantes. Segundo Xing, em [Jacko, 2007], este efeito (*clutter*) pode reduzir a rapidez de detecção e a legibilidade do texto, sendo que duas alternativas para o reduzir são a redução de texto num ecrã e a manutenção de espaços brancos circundando os alvos.

5.6 - Problemas de detecção e integração de informação visual

Realizando uma análise aos elementos gráficos apresentados acima, é possível encontrar vários pontos de ligação com os factores perceptivos e atencionais discutidos nos capítulos anteriores. Factores como o fechamento de formas, a utilização da cor, e a alteração das propriedades físicas dos elementos são facilmente identificáveis. Esta realidade é naturalmente expectável uma vez que o desenvolvimento das aplicações onde estão inseridos segue recomendações e normas baseadas nas especificidades do sistema perceptivo humano. Porém, apesar do crescente trabalho da área dos factores humanos realizado no desenho destas aplicações, os erros perceptivos no controlo de tráfego aéreo são ainda uma realidade preocupante, [Shorrock, 2007]. Neste sentido, escolheu-se para análise detalhada num estudo de caso dois problemas de detecção visual.

5.6.1 - Confusão perceptiva

Num estudo sobre os erros perceptivos no controlo de tráfego aéreo, Shorrock, em [Shorrock, 2007], obteve resultados que mostram que os erros de detecção visual são os mais frequentes; dados congruentes com os obtidos por Endsley e Jones, em [Jones, 1996], onde as falhas na discriminação ou detecção de dados, e as falhas na observação ou monitorização de dados representaram 61% dos erros de percepção. Um exemplo deste tipo de falhas é a percepção errada de informação semelhante (confusão perceptiva) como, por exemplo, o indicativo (*callsign)* das aeronaves. Este problema ilustra exactamente o Princípio da Discriminabilidade descrito no ponto 5.5.2 -.

Segundo Tversky, [Tversky, 1977], é a razão entre características semelhantes e dissimilares que define a semelhança entre dois sinais. Assim, como é referido em [Wickens, 2003], "AJB648" é mais semelhante em relação a "AJB658" do que "48" é em relação a "58", mesmo que nos dois casos apenas um dígito seja a diferença. Nos casos onde a confusão possa ser grave, os mesmos autores, [Wickens, 2003], propõem que as características semelhantes sejam suprimidas e sejam salientadas as diferenças, de modo a evidenciar a distinção entre os elementos, sendo importante, nos casos em que apenas é apenas utilizado texto, dar atenção a questões de legibilidade e visibilidade.

Uma alternativa possível na tentativa de resolução deste problema seria utilizar a codificação de características passíveis de confusão perceptiva, como é possível verificar através da Figura V.25.

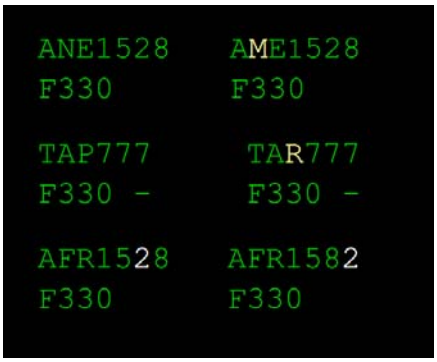
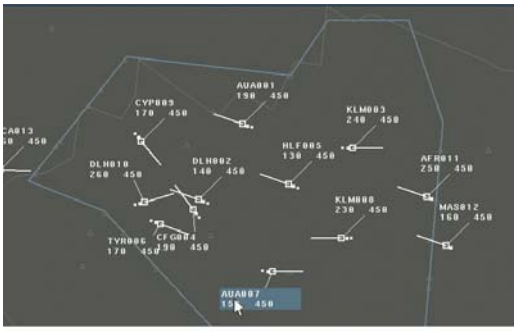


Figura V.25 Exemplos de como seria possível codificar informação semelhante do ponto de vista perceptivo de modo a reduzir a possibilidade de erros visuais.

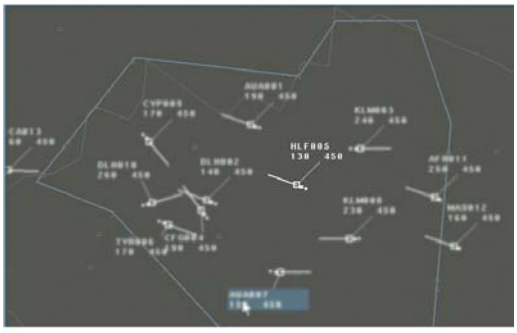
5.6.2 - Procura visual

A funcionalidade apresentada na Figura V.20 (*Wheelie*) é um exemplo de uma ferramenta desenvolvida com o objectivo de auxiliar a procura visual de informação numa das tarefas realizadas por controladores de tráfego aéreo. Mais especificamente, a procura visual de aeronaves num determinado nível de voo. A premissa subjacente ao seu desenvolvimento é a de que ao filtrar informação relativa a aeronaves não relevantes à consulta visual é possível melhorar o desempenho e reduzir o esforço cognitivo dos controladores, [Sporer, 2007]. Os resultados deste estudo indicam uma avaliação positiva da ferramenta, havendo porém, espaço para algumas melhorias no que concerne às estratégias utilizadas como forma de destaque da informação, [Sporer, 2007].

Uma possível alternativa na obtenção de saliência será a utilização de outros canais visuais, como o da profundidade estereoscópica. Esta opção, ilustrada na Figura V.26, pode ser conjugada com outro tipo de codificação como a cor.



a)



b)

Figura V.26 Exemplo da utilização da informação de profundidade como forma de gerar saliência: a) ecrã radar normal; b) funcionalidade de *Blur* activada para destacar um voo (adaptado de [Sporer, 2007]).

5.6.3 - Integração visual

O problema da integração visual de informação insere-se no âmbito da visualização de conhecimento. Um problema existente nos sistemas de dados de voo é o da dispersão de fontes de informação. Seguindo a

metáfora adoptada em [PAVET, 2006], uma opção seria a de desenvolver um sistema integrado de informação de voo capaz de agregar informação geralmente dispersa por vários sistemas e fontes, Figura V.27.

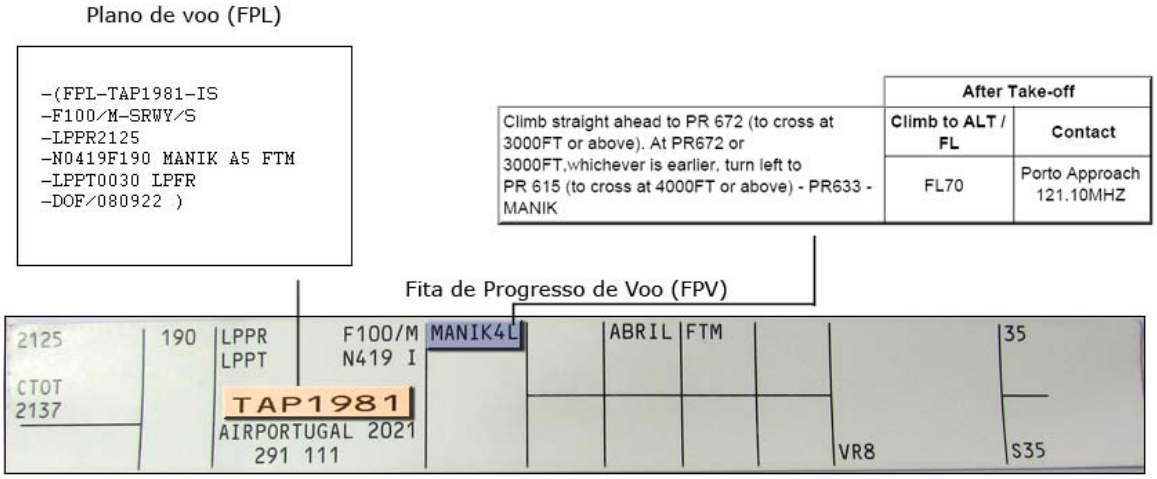


Figura V.27 Exemplo de como através da criação campos manipuláveis seria possível aceder a informação geralmente dispersa por várias fontes e sistemas. Neste caso concreto, informação relativa ao plano de voo actualizado; e informação relativa ao procedimento de descolagem previsto.

5.7 - Sumário

Neste capítulo o processo de visualização de informação foi encarado como um conjunto de *consultas visuais,* e foi defendida a existência de representações visuais mais eficazes do que outras, por motivos de ordem perceptiva. Estabeleceu-se que uma representação dir-se-á mais eficaz se um maior número de informações pode ser assimilado e compreendido mais rapidamente ou com menos erros. De um modo geral, essa melhoria é conseguida devido ao facto das representações gráficas permitirem uma diminuição da carga cognitiva. Neste sentido são um auxílio: na execução de buscas visuais; e como extensão de memória.

Foi apresentado o conceito de valor cognitivo e a ideia de que para que uma visualização funcione é necessário no entanto que capture o significado subjacente aos dados, permitindo não só o arranjo espacial dos dados mas também a sua estruturação. Esta premissa é também aplicável a toda a Interface Homem-Computador.

Relativamente à escolha das formas de representação, várias correlações são possíveis entre os dados e as formas gráficas, sendo os glifos uma hipótese válida para uma análise qualitativa de conjuntos de dados pequenos. Deve também ser tida em conta a integração de características visuais. Em relação ao texto, deve ser especialmente tida em conta, entre outros aspectos, a sua integração com outros elementos.

No desenho de interfaces ATM, referiu-se que têm vindo a ser considerados os aspectos perceptivos, adoptando-se uma filosofia de desenvolvimento de sistemas centrada no homem. Vários Princípios de Apresentação Visual são geralmente aceites, sendo dois dos mais importantes para visualização de informação crítica os Princípios da Informação mínima/acesso máximo.

A complexidade visual foi também abordada, referindo-se que varia em função da quantidade, variedade e relação de elementos gráficos existentes no *display.*

Foi estabelecida uma relação entre as várias tarefas realizadas pelos controladores de tráfego aéreo e funções perceptivas importantes: Saliência de alvos (*pop-out*); Detecção; Busca; Segmentação; Leitura de texto; havendo espaço para o desenvolvimento de melhores ferramentas de visualização baseadas em princípios perceptivos.

Capítulo VI

Desenvolvimento e avaliação de um filtro visual ATC baseado no efeito Blur

6.1 - Introdução

Este capítulo regista o trabalho de âmbito experimental que sucedeu à investigação teórica descrita nos capítulos anteriores. Tem como objectivos principais não só descrever o desenvolvimento da *interface* utilizada como plataforma de investigação, mas também explicitar as características da experiência de pesquisa visual realizada e subsequentes resultados obtidos.

Para a construção da experiência descrita nos pontos seguintes foi primeiro necessário que se definissem, por um lado: os processos específicos, pertencentes ao domínio da gestão de tráfego aéreo, aos quais poder-se-iam aplicar estratégias de visualização; e por outro, as estratégias gráficas de representação de informação com potencial para serem integradas nesses processos.

A partir da pesquisa realizada, foi escolhido submeter o problema da selecção visual de informação em *displays* radar a uma análise experimental, considerando que poderia ser testada a utilização da informação de profundidade como estratégia de visualização a adoptar na resolução desse problema.

No contexto específico do Controlo de Tráfego Aéreo (ATC) o problema da selecção visual de informação integra-se num conjunto de processos cognitivos fundamentais, entre os quais se encontram os processos relativos à detecção de conflitos, por exemplo, Figura VI.1, [Dittmann, 2000], contribuindo também para a manutenção de uma consciência perceptiva da situação de tráfego. Como é possível verificar através da mesma, existe um conjunto de informação crucial aos processos de decisão realizados pelo controlador de tráfego aéreo, que é obtida visualmente através do *display* radar; nomeadamente, informação relativa à altitude e velocidade. Tendo por objectivo minimizar o tempo e recursos cognitivos gastos na obtenção dessa informação, têm vindo a desenvolver-se várias ferramentas de apoio ao controlador (ver, por exemplo, [Sporer, 2007]), entre as quais se encontram os filtros visuais. Este tipo de ferramentas procura reduzir os recursos cognitivos necessários ao controlador nas tarefas de pesquisa visual de informação, eliminando elementos não pertinentes à tarefa em causa, ou destacando informação relevante através de várias estratégias (alteração de cor, uso de formas, ou movimento, por exemplo), como foi demonstrado no capítulo anterior. É nesta categoria de ferramentas que se insere a funcionalidade desenvolvida no âmbito prático desta Dissertação.

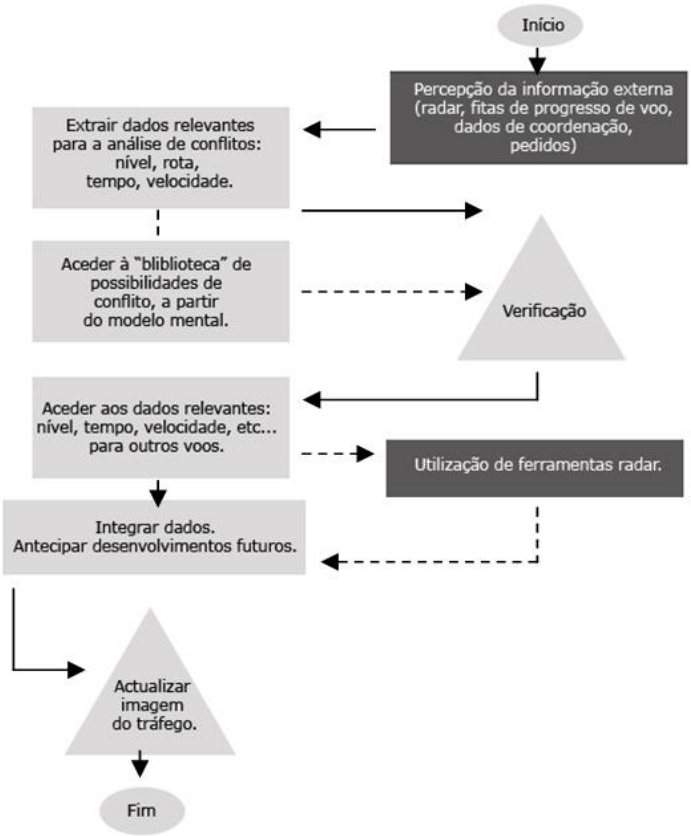


Figura VI.1 Fluxograma relativo aos processos de procura de conflitos/verificação de segurança no controlo de tráfego aéreo de rota/aproximação (retirado de [Dittmann, 2000]).

6.2 - Objectivos e Hipóteses

Considerando que não foram encontrados exemplos da aplicação da informação de profundidade (*Blur*) em contextos de visualização radar, o objectivo geral de investigação foi o de determinar se o *Blur* podia funcionar como um filtro de informação; e, caso funcionasse, determinar em que medida se distinguia de outras estratégias de filtragem existentes, em tarefas de pesquisa visual de informação crítica.

Na avaliação da utilização do *Blur,* enquanto ferramenta de filtragem de informação visual, estabeleceram-se, necessariamente, objectivos específicos de investigação.

- Objectivo 1 – Avaliar o impacto do uso do *Blur* na gestão da atenção

Associado a este objectivo está a hipótese de que a utilização do *Blur* terá impacto na discriminação de informação, funcionando, ou não, enquanto ferramenta cognitiva, numa tarefa de pesquisa visual de informação. Ou seja, considerando o objectivo geral explicitado no ponto anterior em dois eixos principais, o primeiro objectivo específico traduziu-se na análise comparativa entre uma situação de ausência de filtros; e uma situação na qual o filtro seria utilizado. Desta comparação pretende-se determinar se:

  - H1: A informação de profundidade funciona como filtro visual de informação

- Objectivo 2 – Comparar o impacto das combinações gráficas de visualização em termos de eficiência e de produção de erros

Associado a este objectivo está a hipótese de que a informação de profundidade, utilizada como um filtro visual, terá um impacto semelhante aos resultados do uso de estratégias gráficas já existentes em sistemas radar. Consideram-se duas estratégias de filtragem visual mais comuns no contexto ATC: filtros baseados na mudança de cor; e filtros baseados na eliminação de informação. Desta comparação pretende-se determinar se:

  - H2: A utilização do *Blur* apresenta resultados equivalentes aos das estratégias gráficas testadas

Paralelamente a estes dois objectivos, foi também considerado importante determinar que vantagens e desvantagens eram encontradas pelos sujeitos em relação ao filtro desenvolvido. Para isso foi decidido realizar um questionário após a realização dos testes onde os utilizadores avaliassem as três estratégias de filtragem.

6.3 - Variáveis

Com vista a atingir os objectivos propostos foi necessário identificar quais as unidades a observar; e definir quais os papeis e medidas das variáveis. Do ponto de vista da caracterização da amostra, foi considerado fundamental determinar o perfil de cada utilizador em três áreas: por um lado, o conhecimento aeronáutico e familiaridade com sistemas de radar; por outro, as competências informáticas; e, finalmente, as competências linguísticas (uma vez que a língua inglesa foi a utilizada na simulação). Para além destes aspectos, ficou definido que seriam necessárias variáveis para caracterizar a amostra nos aspectos mais usuais (género e idade, por exemplo). Assim, 8 variáveis foram utilizadas para definir o perfil do utilizador:

- Idade;
- Sexo;
- Formação académica;
- Nível de inglês;
- Conhecimentos de informática;
- Experiência com simuladores ATC;
- Formação aeronáutica;
- Experiência com radares.

De modo a comparar os vários tipos de filtros, do ponto de vista da eficiência e eficácia, em tarefas de pesquisa visual foi decidido utilizar o tempo de resposta (em segundos) e a precisão (numero de respostas correctas) como variáveis. Assim, foram definidas 4 variáveis para cada pergunta (tempos de resposta às 4 perguntas) e outras 3 variáveis para cada teste:

- Tempo total do teste;
- Tempo médio de resposta (tempo/número de voos a marcar);
- Precisão (numero de respostas correctas);

Este conjunto de variáveis, considerando os 5 testes existentes, perfaz um total de 43 variáveis para cada indivíduo.

6.4 - Amostra

Embora este tipo de ferramenta tenha como público alvo uma população claramente definida, como são os controladores de tráfego aéreo, foi escolhido realizar a análise experimental com um grupo de indivíduos mais diverso, uma vez que as tarefas exigidas nos testes são, na sua essência, tarefas de pesquisa visual. Uma segunda fase de testes, porém, poderá contemplar uma amostra inteiramente definida no universo do controlo de tráfego aéreo.

A amostra utilizada (com 36 sujeitos) foi obtida essencialmente em 2 locais: no *Air Traffic Services Reporting Office* (ARO) do Porto; e na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP). Dos 36 sujeitos, 21 eram homens e 15 eram mulheres. Apenas 2 indicaram possuir experiência radar; 3 afirmaram ter experiência com simuladores ATC; e 13 experiência aeronáutica. Praticamente toda a amostra possuía, ou formação superior (47,2%), ou o ensino secundário completo (50%). A maioria dos sujeitos considerou-se a um nível intermédio (ou superior) de competências na língua Inglesa; e com suficiente (ou superior) competência informática.

6.5 - Design experimental

Em função das hipóteses de investigação foram definidos 3 cenários de testes, de modo a avaliar as relações entre as três estratégias gráficas de filtragem.

a) Blur versus No Filter

A análise dos resultados desta experiência pretende determinar se o *Blur* pode ser considerado uma forma de filtro visual. Previa-se que existiria uma diferença significativa, quer nos tempos de resposta, quer na precisão, entre os testes onde o filtro *Blur* estava disponível, e a situação em que nenhum filtro estava disponível para auxiliar na tarefa de procura visual. O motivo pelo qual este resultado era esperado resultava da expectativa de que a informação de profundidade actuasse como um gerador de saliência visual.

Neste cenário todos os voos tinham a mesma cor (branco).

b) Blur versus Colour

Esta experiência tinha por objectivo identificar diferenças entre o filtro *Blur* e o filtro da Cor. Nos testes criados para esta comparação, o tráfego foi codificado com três cores distintas, simulando sistemas radar actuais, de modo a pudesse ser avaliada a existência ou não de um conflito visual entre essas cores e ambos os filtros. A expectativa era de que a informação de profundidade fosse pelo menos equivalente à utilização da informação de cor, enquanto estratégia gráfica de filtragem. O motivo pelo qual se previa a existência de um conflito visual fundamentava-se nos dados conhecidos relativos às limitações no uso de cores como forma de codificar informação.

Neste cenário todos os voos estavam codificados com uma de três cores.

c) Blur versus Erase

Finalmente, a terceira experiência pretende comparar os valores dos resultados obtidos nos testes envolvendo os filtros utilizando o *Blur* como estratégia gráfica, com os valores dos resultados obtidos nos testes onde o filtro consistia em apagar informação não relevante à pesquisa visual. Previa-se que a eliminação de informação fosse obter melhores resultados, face às restantes formas de filtragem, uma vez que existe uma redução de informação no *display, o que*, em princípio, favorece a procura visual.

Neste cenário todos os voos possuíam a mesma cor (branco).

6.6 - Procedimentos

O *software* (*ATCBlur*), utilizado para a realização dos testes, foi desenvolvido de modo a que cada sujeito pudesse realizar apenas uma vez as duas versões de treino e em seguida realizar os testes que seriam utilizados na análise de resultados. Embora o sistema permitisse uma realização remota dos testes, estando disponíveis dois tutoriais vídeo como auxílio aos utilizadores, uma tentativa preliminar mostrou que seria preferível uma explicação presencial; assim, os testes foram realizados durante o mês de Janeiro de 2009 em vários laboratórios da FEUP, e no ARO do Porto, no Aeroporto Francisco Sá Carneiro.

Cada simulação individual foi precedida de uma descrição dos conceitos fundamentais à realização dos testes, tendo todos os testes sido realizados em computadores compatíveis com os requisitos da aplicação.

Os testes estão acessíveis pelo uso dos botões existentes na barra de ferramentas e dividem-se em duas fases. A primeira fase, de treino, na qual o utilizador apenas realiza dois testes (um com recurso aos filtros, e outro sem recurso aos filtros), caracteriza-se por ter menos voos, e ter por objectivo preparar o utilizador para a fase seguinte, utilizada para fins estatísticos. A fase seguinte, "gravada", é a fase na qual o utilizador efectua o conjunto completo de testes (5). Cada teste consiste num conjunto de quatro perguntas, que surgem durante a simulação, em janelas como a ilustrada na Figura VI.2.

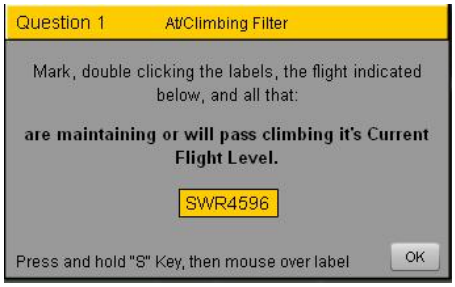


Figura VI.2 Exemplo de uma janela de apresentação de uma tarefa.

Cada questão corresponde a uma pesquisa visual específica; e cada pesquisa está associada a um filtro. Dos cinco testes que compõem a simulação gravada, apenas um não permite a utilização dos filtros. Em todos os restantes o utilizador é instruído a utilizar os filtros para responder às perguntas apresentadas, de modo a que sejam obtidos os dados necessários aos dois objectivos principais da investigação.

Uma janela de resultados surge no final de cada teste, apresentando as respostas dadas pelo utilizador e as soluções às perguntas efectuadas durante o teste. Um grupo de estatísticas é também apresentado (tempo total no teste, e tempo médio de resposta, por exemplo), Figura VI.3.

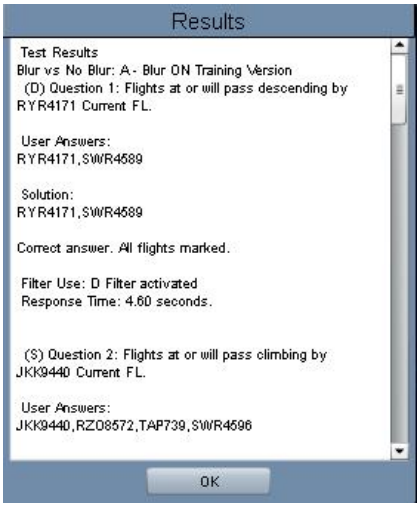


Figura VI.3 Janela de resultados: esta janela disponibiliza informação relativa ao teste, apresentando dados relativos a cada questão individualmente, e também um grupo de estatísticas globais no final.

Esta janela (em particular na fase de treino) tem também por objectivo servir de *feedback* ao utilizador, ajudando-o a consolidar os conceitos necessários a um correcto desempenho nos testes.

Uma vez realizados os testes, o *software* envia os resultados registados por *e-mail*, juntamente com o *feedback* e informação sobre o perfil do utilizador.

Independentemente das explicações às dúvidas individuais de cada sujeito, relativamente às perguntas foi explicado que:

- Existiam dois níveis de dificuldade (as questões "A" e "F"eram mais fáceis que as "S" e "D");
- Os sujeitos deveriam identificar os voos indicados em cada pergunta, olhando para os campos da altitude nas etiquetas;
- Um círculo amarelo significava a marcação de um voo; e que para o desmarcar bastava fazer novamente duplo clique na etiqueta;
- A validação das respostas era efectuada premindo o botão "*save answer*";
- O número de voos a marcar era aleatória, havendo, no entanto, a certeza de que o de referência teria que ser sempre marcado;
- As etiquetas poderiam ser movimentadas para resolver problemas de sobreposição de informação;

Também relativamente à utilização dos filtros, foi explicado aos sujeitos que:

- Deveriam utilizar os filtros sempre que estes estivessem disponíveis;
- Os filtros permaneciam activos por 10 segundos, após os quais poderiam ser novamente activados;
- No caso de um erro na activação, os filtros poderiam ser desactivados com recurso à tecla ESC;
- Durante a simulação existiriam três estratégias diferentes de filtragem.

Os sujeitos foram também informados que, quer a precisão, quer a rapidez seriam medidas. Depois desta explicação os sujeitos preenchiam o formulário representado na Figura VI.4 e davam início à fase de testes.

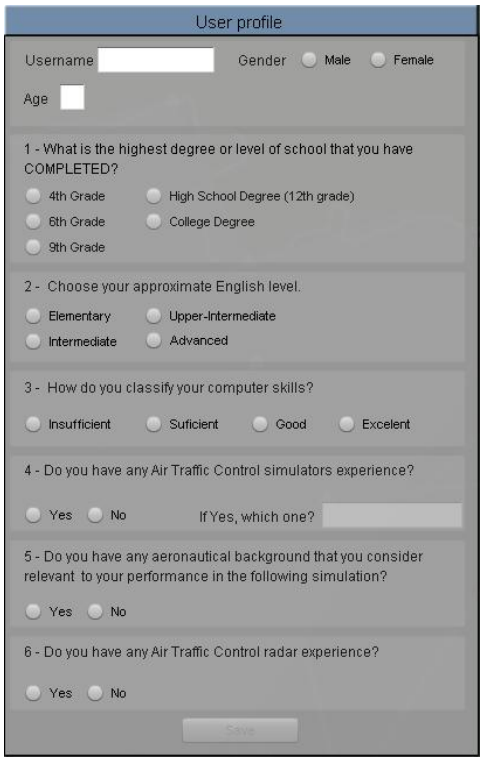


Figura VI.4 Formulário para registo dos dados de perfil de cada sujeito.

Este treino permitia aos sujeitos experimentar ambas as situações de simulação (com e sem filtros disponíveis). Nesta fase foram dadas algumas explicações adicionais, dependendo das dúvidas de cada sujeito.

Vários aspectos foram considerados no que concerne aos eventuais factores que pudessem provocar impacto nos resultados dos testes. Duas principais áreas foram identificadas como potenciais focos de distorção nos resultados: em primeiro lugar, os aspectos relativos ao domínio dos conhecimentos aeronáuticos; e, em

segundo, os aspectos relativos ao interface com a aplicação. Devido ao facto de a activação dos filtros estar dependente de uma interacção com o teclado e o rato, foi antecipado que poderiam surgir algumas dificuldades nesta área. Uma vez que este era um aspecto crucial, foi decidido registar as activações dos filtros através do *software*. Desta forma, foi possível identificar situações onde, apesar dos filtros estarem disponíveis, estes não foram utilizados. Embora os conhecimentos aeronáuticos não tivessem sido considerados uma condição necessária à realização dos testes, uma vez que se tratava, essencialmente, de tarefas de pesquisa visual de números, foi antecipado que não possuir uma certa familiaridade com determinados conceitos poderia revelar-se uma dificuldade. Este aspecto for, tanto quanto possível, resolvido durante a fase de instrução e de treino.

6.7 - Implementação

De modo a avaliar as potenciais vantagens e desvantagens na aplicação do *Blur* enquanto filtro e comparar os resultados da sua aplicação com as outras duas estratégias gráficas de filtragem (Cor e Eliminação), foi desenvolvido um simulador ATC que serviu de plataforma de testes.

6.7.1 - Software

O *software* desenvolvido recebeu o nome de *ATCBlur* e foi criado através do uso da linguagem de programação *Actionscript 3.0*. Os conteúdos gráficos, que fazem parte integrante do *software*, foram maioritariamente desenvolvidos recorrendo ao uso do *Adobe Flash CS3* e do *Adobe Photoshop CS2*. O ficheiro executável resultante necessita do *Flash Player 9,* ou superior, para funcionar devidamente, e, de preferência, um monitor capaz de uma resolução de 1280x1024 pixeis.

6.7.2 - Desenho da Interface

Um dos principais objectivos no desenho do *software* foi o de desenvolver uma ferramenta capaz de simular com razoável precisão os actuais ambientes radar, no Controlo de Tráfego Aéreo. Para cumprir com este objectivo vários requisitos foram definidos e algumas simplificações foram consideradas aceitáveis.

Definido o problema e a estratégia gráfica a aplicar, estabeleceram-se em seguida os requisitos para o desenvolvimento de uma interface capaz de implementar e validar a aplicação da dessa estratégia num plano prático. Procurou-se desenhar uma plataforma de testes o mais próxima possível das condições reais de trabalho dos controladores de tráfego aéreo; assim, os ambientes de teste foram baseados nas características das interfaces reais, com as cores e formas utilizadas no ambiente ATC real.

A área escolhida para servir de sector de trabalho foi uma parte do Norte de Portugal, tendo todos os dados geográficos e operacionais (tais como informação relativa a rotas, aeroportos, pontos significativos, e ajudas rádio) sendo obtidos a partir do *software SkyView2*, disponibilizado pelo EUROCONTROL, Figura VI.5. O número de voos a visualizar foi definido de acordo com a dimensão desta área, tendo ficado estabelecido que não deveria ser superior a 30, tendo em consideração também os padrões de tráfego reais.

Uma vez que uma análise entre elementos da área de trabalho (dados estáticos) e os filtros não era um dos objectivos de estudo, os requisitos relativamente a este tipo de dados foram principalmente definidos tendo em conta a necessidade de a aplicação possuir uma aparência coerente com os *displays* radar existentes actualmente. Assim, contrariamente à maioria dos sistemas radar actuais, o *software* não possui uma funcionalidade de *Zoom*, nem os elementos estáticos permitem interactividade (identificação das rotas, após um clique do rato, por exemplo). Estes elementos podem, contudo, ser selectivamente visualizados através da janela de configuração (Figura VI.8) como acontece em radares actuais.

A barra de ferramentas está localizada no topo do ecrã. Permite visualizar a hora e data do sistema; permite também ao utilizador interagir com o *software*, Figura VI.6a); e serve de zona de suporte à janela de pergunta, minimizada, durante os testes, Figura VI.6b).

As cores e formas gráficas usadas, incluindo as etiquetas e os *tracks* dos voos, foram escolhidas, considerando as recomendações do EUROCONTROL, e o uso de transparência é também implementado (ver [Jackson, 2004]). Foi também dada importância ao tipo de letra utilizado; e uma vez que foi impossível utilizar fontes ATC (como, por exemplo, as desenvolvidas em [Vinot, 2008]) devido a problemas de compatibilidade com o *Adobe Flash CS3*, uma fonte similar foi escolhida.

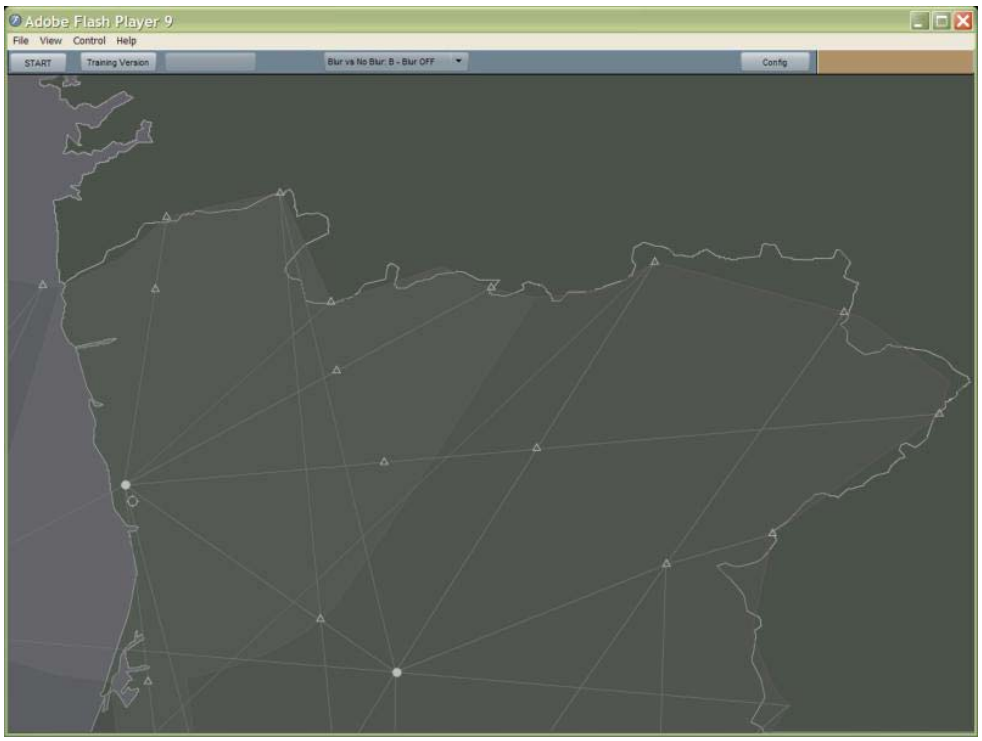


Figura VI.5 Área de trabalho e barra de ferramentas do *ATCBlur*.

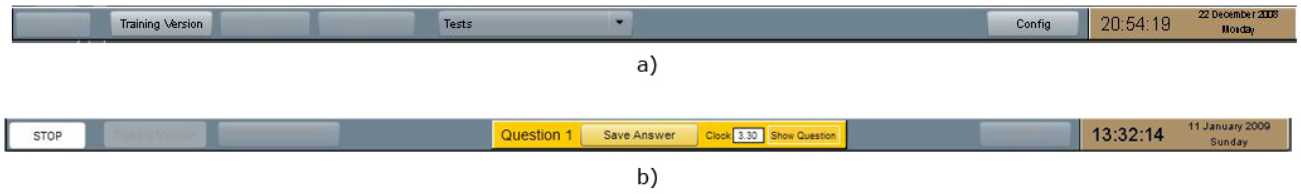


Figura VI.6 Barra de ferramentas do *ATCBlur*. Tal como em sistemas de visualização radar actuais, está localizada no topo do ecrã e permite ao utilizador interagir com o sistema.

6.7.3 - Funcionalidades

Graficamente, um voo é representado pelo seu *track* e por uma etiqueta (uma área rectangular onde se encontram informações relativas ao voo),

Figura VI.7. relativamente a estes elementos, e contrariamente aos sistemas ATC reais, não foi desenvolvida nenhuma funcionalidade que permita interagir com os voos de modo a poder alterar o seu perfil (rota e altitude, por exemplo). As etiquetas, contudo, são manuseáveis, tal como em sistemas reais, de modo a evitar sobreposição de informação.

O *software* tem a capacidade para exibir 25 voos simultaneamente, o que fica ligeiramente abaixo da capacidade máxima considerada para a área geográfica representada pelo simulador. Estes 25 voos fazem parte do código do sistema, como se de uma base de dados se tratasse. Tal como num ambiente real, cada voo é definido por um conjunto de atributos. Considerando os objectivos da simulação, foi decidido que cada voo deveria possuir uma identificação; dados relativos à altitude; informação de velocidade e de rota. Os dados usados foram obtidos a partir de informação real de planos de voo relevantes, considerando a área geográfica utilizada pelo simulador.

Cada voo movimenta-se no ecrã de acordo com os dados relativos à velocidade e à rota que lhe foram atribuídos, e o seu movimento é consistente com a informação estática visível. As rotas consistem em grupos de três pontos, e a velocidade é uma conversão de dados reais, o que dá aos voos um deslocamento coerente com uma situação real.

De modo a minimizar efeitos de aprendizagem, um grupo de informação pode ser gerada aleatoriamente, sobrepondo-se, assim, à informação base que está pré-programada no código do programa. Deste modo, é possível garantir que os voos surgem no início de cada simulação em coordenadas diferentes e com altitudes diferentes.

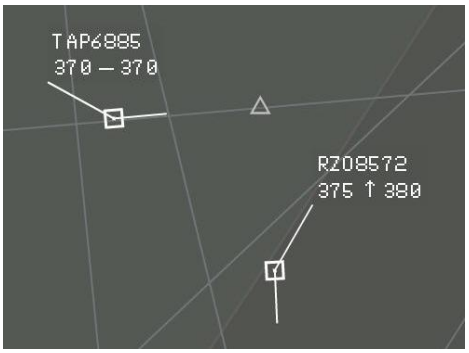


Figura VI.7 Detalhe de um grupo de voos durante a simulação. Cores, símbolos e fontes utilizadas tendo em conta as recomendações do EUROCONTROL.

O ciclo de vida de um voo é variável, dependendo da conclusão da sua rota. Nesta fase, o voo desaparece do ecrã e surge novamente noutro local com outra informação de altitude, caso as funções de aleatoriedade estejam ligadas.

De modo a controlar os vários parâmetros da simulação em tempo real e não apenas através do acesso ao código do programa, foi criada uma janela de configuração, Figura VI.8.

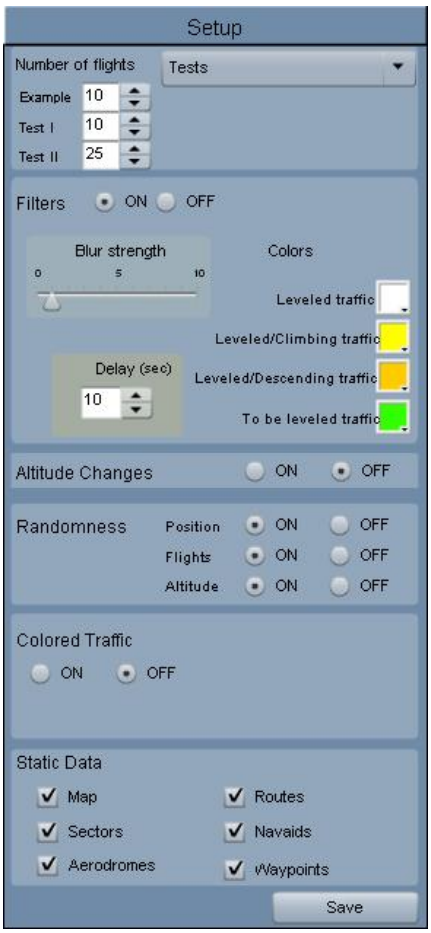


Figura VI.8 Painel de configuração. Através desta janela é possível definir vários aspectos da simulação. O acesso a esta janela é restrito, através do uso de uma palavra passe.

Através deste painel, Figura VI.8, é possível configurar as variáveis da simulação e atribuir as escolhas realizadas a um teste em particular. Concretamente, é possível:

- Mudar o número de aeronaves visualizadas, até ao máximo de 25;
- Activar ou desactivar os filtros;
- Definir a intensidade do filtro *Blur*;

- Definir a duração e cores dos filtros;
- Activar ou desactivar as mudanças de altitude (se os voos estão nivelados, ou se se movimentam de acordo com a sua informação de altitude);
- Definir opções de aleatoriedade (posicionamento dos voos; selecção dos voos existentes no código do programa; atribuição de altitudes);
- Activar, desactivar, e definir as cores do tráfego;
- Mudar a visualização da informação estática.

Existem quatro tipos de filtros disponíveis ao utilizador. Estes filtros foram desenvolvidos, considerando as buscas visuais comuns, efectuadas por controladores no desempenho de tarefas ATC. A sua activação está dependente do uso de quatro teclas: "A","S","D" e "F" do teclado e da subsequente passagem com o ponteiro do rato pela etiqueta do voo a servir de base ao filtro. Cada um deles filtra um conjunto diferente de informação:

- A – Filtra todos os voos A um nível específico actual;
- S – Filtra todos os voos que estão, ou que vão passar a Subir, por uma determinada altitude;
- D – Filtra todos os voos que estão, ou que vão passar a Descer, por uma determinado altitude;
- F – Filtra todos os voos que têm uma determinada altitude Final.

Estes filtros respondem aos quatro tipos de perguntas em que consiste cada teste, e dividem-se em dois níveis de complexidade. Os filtros "A" e "F" são mais simples, uma vez que permitem filtrar informação baseada em apenas um único elemento de procura: a altitude actual, ou altitude final, respectivamente; mas os filtros "S" e "D" são mais complexos, uma vez que o algoritmo em que se baseiam filtra informação referente a ambos os campos da altitude, simultaneamente.

Graficamente, estes filtros podem ser implementados de várias formas, mas, considerando os objectivos de investigação, apenas três implementações foram desenvolvidas: filtragem com recurso à informação de profundidade (*Blur*), Figura VI.9, filtragem com base em cores,

Figura VI.10, ou filtragem com base na eliminação de informação, onde os voos não relevantes à procura visual são simplesmente eliminados do ecrã.

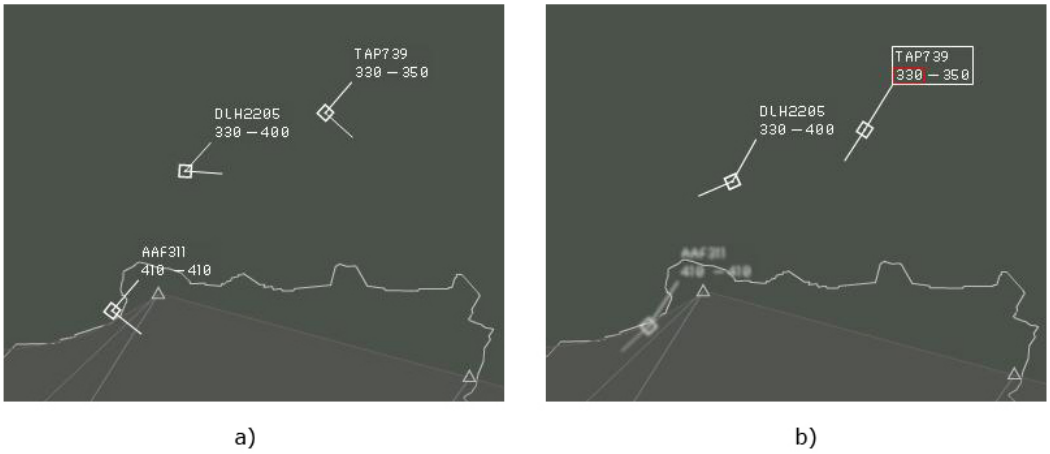


Figura VI.9 Detalhe do ecrã durante a utilização do filtro *Blur.* Antes da activação (a), todos os voos são visualizados do mesmo modo; depois (b) os voos não relevantes à pesquisa são filtrados; neste caso, o voo AAF311 é mantido desfocado.

O *software* foi desenvolvido de modo a testar o uso dos vários tipos de filtros durante procuras visuais, permitindo a medição de variáveis consideradas relevantes (como tempos de resposta e precisão). De modo a analisar as diferenças entre as aplicações das várias estratégias gráficas, um grupo de testes foi criado para ser usado no simulador *ATCBlur*. Esta capacidade fez com que o simulador possa ser também considerado uma plataforma de testes. Tendo em conta esta vertente, e de modo a auxiliar os utilizadores compreenderem as tarefas que lhes seriam pedidas para realizar, dois tutoriais, sob a forma de vídeos, foram adicionados ao ecrã de apresentação do *software*.

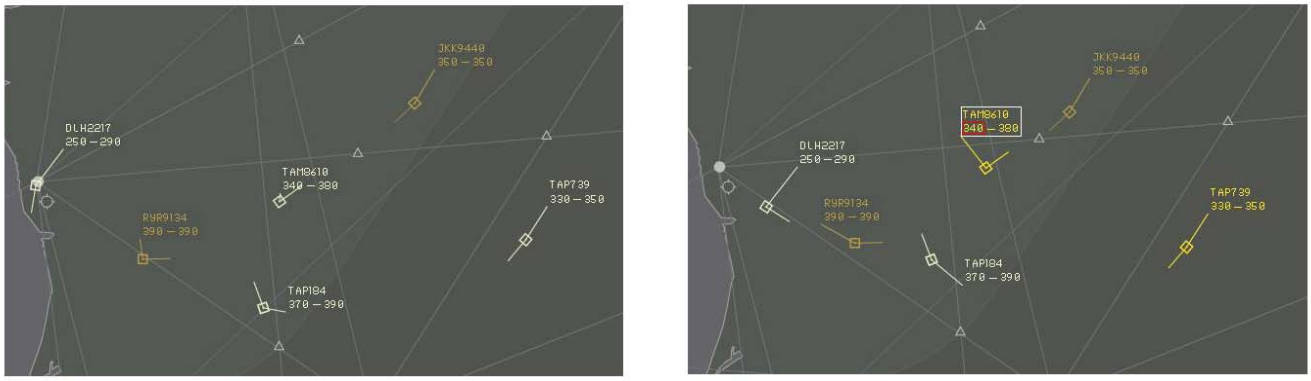


Figura VI.10 Utilização do filtro baseado na cor: na primeira imagem (a) o filtro não está activo; na segunda (b) o filtro "S" é activado tendo como referência o voo TAM8610, fazendo os voos relevantes mudarem de cor.

6.8 - Resultados

Após a realização dos testes, os dados obtidos foram tratados com recurso ao *software SPSS Statistics 17.0* Começou-se por realizar uma análise descritiva das variáveis. Relativamente aos tempos médios de resposta, como é possível verificar através da Figura VI.11, é possível observar que:

Existe uma diferença clara entre o valor da média do teste onde não estavam disponíveis filtros (*No Filter*) e os restantes testes onde estavam disponíveis filtros;

O teste correspondente ao filtro *Erase* é o que obtém melhores resultados, mas não se destaca particularmente dos restantes filtros.

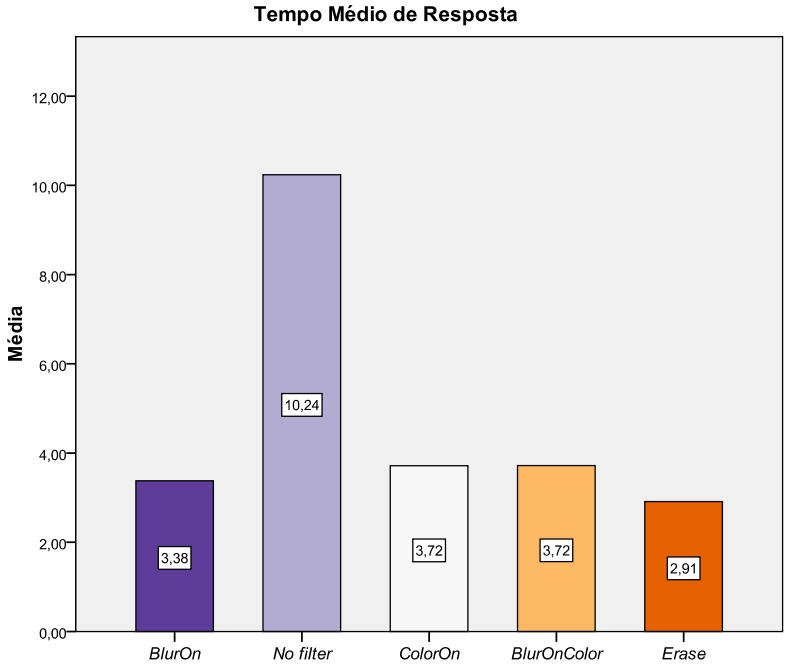


Figura VI.11 Médias calculadas a partir da variável "Tempo Médios de Resposta" de cada teste.

Tomando como referência os cenários definidos, é possível verificar que em relação à comparação *Blur versus No Filter* existe uma diferença de 6.86 segundos entre as médias dos dois testes; uma diferença de 0 segundos entre os dois testes do cenário *Blur versus Colour*; e uma diferença de -0.47 segundos entre as médias dos testes do cenário *Blur versus Erase.*

Relativamente aos tempos totais de cada teste, foram obtidos dados similares, como é possível verificar na

Tabela 1. Esta variável é, contudo, menos fiável do que a variável dos tempos de médios de resposta, uma vez que não tem em consideração o número de voos marcados em cada teste. Foram também observados os tempos de resposta a cada pergunta individualmente. Estes apontaram para um diferença de um modo geral consistente com a dificuldade das perguntas, sendo que as questões "A" e "F" obtiveram tempos de resposta mais baixos.

Tempo Total no Teste	
	Média
Blur	51.40
No filter	142.87
ColorOn	55.42
BlurOnColor	56.05
Erase	40.74

Tabela 1 Médias dos tempos totais em cada teste.

Relativamente aos resultados da precisão, Tabela 2, uma análise preliminar foi também realizada. Mais uma vez o pior resultado for obtido pelo teste onde não estavam disponíveis filtros, e o melhor, pelo filtro *Erase*. De notar uma diferença entre os resultados dos testes relativos aos filtros, onde o filtro do BlurOnColor (caso da utilização do *Blur* no cenário *Blur versus Colour*) apresentar um valor um pouco mais baixo do que os restantes.

Precisão	
	Média
Blur	88.19
No filter	64.58
ColorOn	86.81
BlurColor	74.31
Erase	88.89

Tabela 3 Médias da variável "Precisão".

Considerando os três cenários definidos, três pares de gráficos foram gerados de modo a melhor apresentar as diferenças da precisão entre os vários testes. Assim, relativamente à primeira hipótese, os resultados estão apresentados na Figura VI.12. Como é possível verificar, existe uma diferença importante entre a totalidade dos valores possíveis. Destaque para a diferença entre os valores relativos à totalidade das respostas certas: 61,1% para o *Blur*, e 16,67% para o teste *No Filter*.

A comparação dos resultados relativos ao cenário *Blur versus Colour* explica melhor as diferenças encontradas na tabela relativa às médias (Tabela 4). Neste caso é possível verificar que parece existir uma ligeira vantagem para o filtro baseado na cor, Figura VI.13.

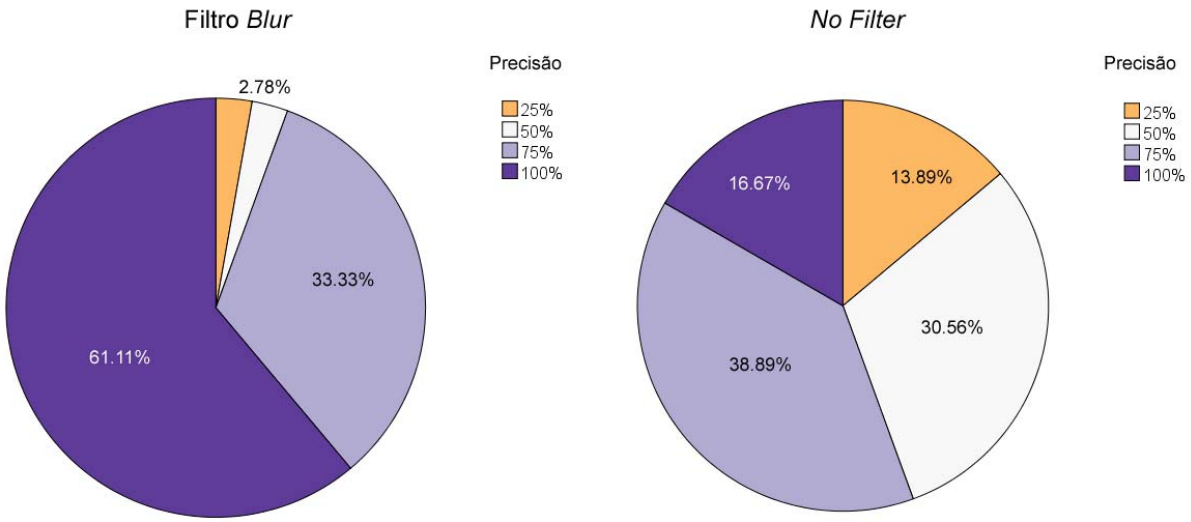


Figura VI.12 Comparação dos resultados de precisão dos testes *Blur* e *No Filter*.

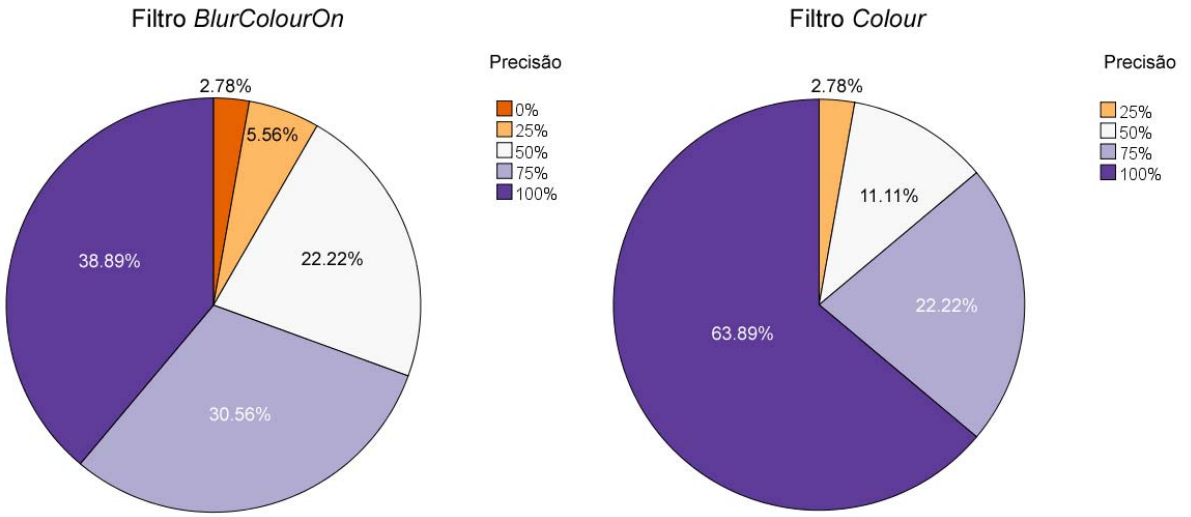


Figura VI.13 Comparação dos resultados de precisão relativos aos testes *Blur* e *Colour*, no cenário *Blur versus Colour*.

Finalmente, a comparação entre os filtros *Blur* e *Erase*. Como é possível verificar através da Figura VI.14 os gráficos destes dos filtros são praticamente idênticos, sendo que isso já se esperava tendo em conta as médias similares.

Depois de gerados estes resultados, um teste de Valores Extremos foi também realizado. Este teste permitiu concluir que existia um número significativo de sujeitos repetidos nos extremos dos resultados. Este facto sugere que sujeitos que tenham tido uma má performance num determinado teste, mantiveram essa tendência ao longo de toda a simulação, o mesmo acontecendo para os casos mais positivos.

Finalmente, um teste T para amostra emparelhadas foi realizado de modo a poder avaliar estatisticamente as diferenças medidas entre cada par de testes. Estes resultados estão apresentados na

Tabela 5. Para um nível de significância de 5%, diferenças estatisticamente significativas são encontradas quando o valor de *sig*. (significância) é menor que 0,05. Analisando a referida tabela, é possível verificar que isto só acontece para as comparações relativas ao primeiro cenário. Em todos os outros caso não é possível afirmar que existam diferenças estatisticamente significativas.

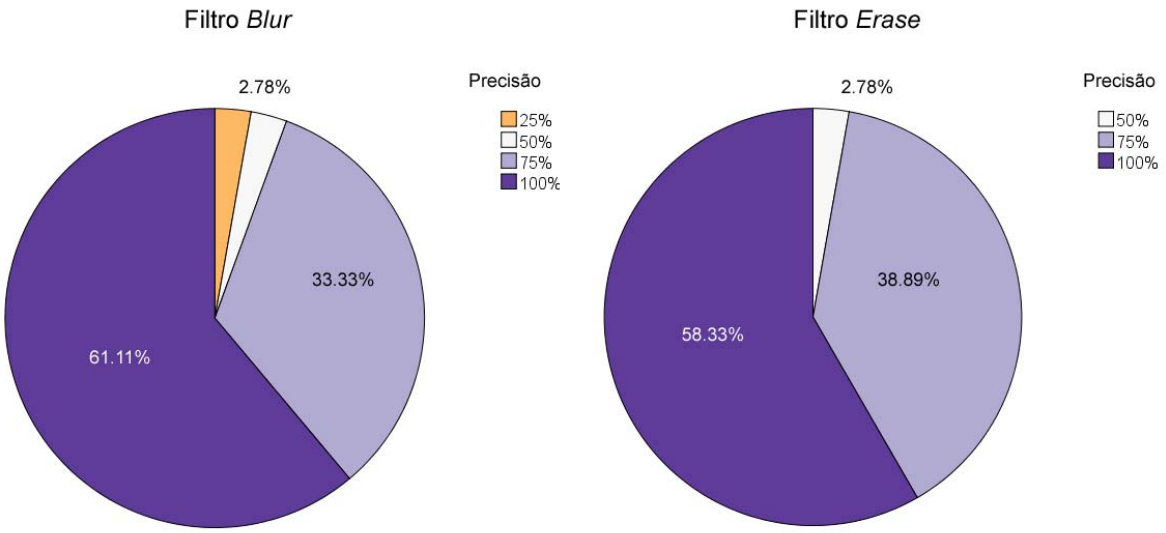


Figura VI.14 Comparação entre os resultados da precisão relativa aos testes *Blur* e *Erase.*

Amostras Emparelhadas Teste T			
Diferenças Emparelhadas			
		t	Sig. (2-tailed)
Blur versus No Blur	Tempo Médio de Resposta – *BlurON/No Filter*	-8,713	,000
	Tempo Total no Teste – *BlurON/No Filter*	-9,241	,000
	Precisão – *BlurON/No Filter*	5,308	,000
Blur versus Color	Tempo Médio de Resposta – *ColorON/BlurONColor*	-,007	,994
	Tempo Total no Teste – *Color ON/BlurONColor*	-,122	,904
	Precisão – *Color ON /BlurONColor*	2,589	,014
Blur versus Erase	Tempo Médio de Resposta – *BlurON/EraseON*	1,490	,145
	Tempo Total no Teste – *BlurON/EraseON*	1,927	,062
	Precisão - *BlurON/EraseON*	-,239	,812

Tabela 5 Resultados do teste T de amostras emparelhadas para um nível de 5% de significância, aplicado aos pares de testes dos três cenários.

O *feedback* dos sujeitos foi também registado. De uma maneira geral a participação foi razoável, tendo 13 sujeitos registado a sua opinião, maioritariamente, relativamente aos filtros. No que concerne à interface, uma sugestão for feita relativamente à activação dos filtros. Foi indicado que o uso apenas do rato talvez fosse uma melhor estratégia. Esta hipótese foi inicialmente considerada, mas devido a limitações de *software* não foi possível de implementar. Relativamente aos filtros, a opinião geral foi de que os filtros *Blur* e *Erase* eram os mais eficientes, e que o cenário envolvendo as cores era mais confuso. Alguns sujeitos sugeriram uma conjunção do filtro *Blur* com a cor, e um aumento na intensidade do nível de *Blur.*

6.9 - Discussão

O primeiro ponto que se considerou importante analisar foi a capacidade de filtragem da estratégia gráfica proposta. Era fundamental saber até que ponto o *Blur* conseguia promover um efeito de "pop out" de modo a que se reduzissem consideravelmente os tempos de pesquisa visual de informação. A profundidade estereoscópica era um candidato provável a gerador de saliência (ver, por exemplo, a lista proposta por Wolfe de prováveis guias da atenção em [Itti, 2005]); e exemplos da aplicação desta estratégia noutros domínios ([Kosara, 2001, 2002]) demonstram que existia potencial neste tipo de estratégia. Considerando estes factos, a expectativa era de que os resultados demonstrariam uma diferença significativa favorável à filtro *Blur*, comparativamente ao teste onde não estavam filtros disponíveis (cenário *Blur versus No Filter*). Analisando os resultados obtidos, verifica-se que, de facto, as previsões estavam correctas, o que confirmou a primeira hipótese de investigação.

A segunda hipótese traduzia-se na comparação entre os resultados do filtro *Blur* proposto com as estratégias já existentes. Relativamente ao cenário *Blur versus Colour*, os resultados do *Blur* foram ligeiramente mais fracos, em termos de precisão. Estes resultados não tinham sido previstos. Pensa-se que é possível que ao estarem envolvidas cores, o nível de intensidade do *Blur* tenha que ser maior, para continuar a ser gerada saliência. Talvez este efeito possa também ser explicado, ao nível neuronal, como acontece com a inibição da segmentação de texturas pela cor (ver, por exemplo, o capítulo por Li Zhaoping em [Itti, 2005]). É possível que um aumento na intensidade do *Blur* resolva o problema, melhorando os resultados do filtro. Apesar dos resultados na variável "Precisão", os valores obtidos por ambos os testes, em termos de tempo médio de resposta são exactamente iguais, e os resultados do teste T indicam que não existem diferenças estatisticamente significativas em todas as comparações de variáveis entre estes dois testes. Do ponto de vista global, é um facto, porém, que ambos os testes do cenário *Blur versus Colour* registaram valores mais baixos que os do cenário *Blur versus Erase*. Esta diferença pode ser interpretada como sendo resultante do aumento de complexidade provocado pelo uso da cor no *display*.

Relativamente ao cenário *Blur versus Erase*, o filtro *Erase* obteve, como era esperado, a melhor performance em termos globais. No entanto, esta performance foi muito similar à registada pelo filtro *Blur*; os gráficos da precisão de ambos os filtros são praticamente idênticos, e, uma vez mais, o teste T não indica quaisquer diferenças estatisticamente significativas em quaisquer dos pares de variáveis comparadas.

Em função dos resultados encontrados, é possível afirmar que o filtro *Blur* obtém apresenta uma performance equivalente aos dois métodos de filtragem testados, resultados esses que diferem significativamente de um teste onde nenhum filtro está disponível. O ambiente ATC é, contudo, um ambiente complexo onde os controladores realizam outras tarefas, para além das tarefas de pesquisa visual de informação. É possível, portanto, que num cenário real estes resultados sejam diferentes. Por outro lado, os controladores de tráfego aéreo possuem maior conhecimento em tarefas deste tipo, o que provavelmente significaria que não sentiriam dificuldades eventualmente sentidas por sujeitos sem formação aeronáutica.

6.10 - Sumário

Neste capítulo, dedicado à descrição do trabalho de âmbito prático e experimental desta Dissertação, foi, inicialmente, sintetizada a motivação subjacente à escolha pela implementação de uma estratégia de filtragem visual baseada na informação de profundidade; e foram também apresentados os objectivos de investigação traçados para a avaliação da aplicação dessa estratégia. Foram identificadas as hipóteses de investigação e resultados esperados. Relativamente à análise experimental, foram também apresentadas as principais linhas orientadoras da investigação, através da descrição de, entre outros aspectos, quais as variáveis e procedimentos usados.

Especificamente no que concerne às questões relativas ao trabalho prático desenvolvido, são descritas as principais características e funcionalidades do *software* que serviu de plataforma de testes na análise experimental.

Finalmente, foram apresentados e discutidos os resultados das análises estatísticas efectuadas aos dados obtidos através do trabalho de campo. Partindo dessa análise, sintetizam-se em seguida algumas conclusões.

O principal objectivo do trabalho experimental realizado foi o de avaliar a performance do filtro *Blur* desenvolvido, em comparação com uma situação onde não estivessem disponíveis filtros; e relativamente a outras duas estratégias gráficas de filtragem conhecidas, a cor e a eliminação de informação. Tendo por base os resultados obtidos foi possível confirmar as duas hipóteses de investigação avançadas inicialmente:

- O filtro *Blur* apresenta um impacto positivo na gestão da atenção, agindo, de facto, como um filtro visual;
- O filtro *Blur* não apresenta diferenças significativas em relação às alternativas testadas.

Considerando estes factos, e também as vantagens que a utilização da informação de profundidade apresenta em relação às duas estratégias alternativas testadas, pode-se concluir que não existem motivos para que o filtro apresentado não deva ser considerado como uma alternativa aos filtros que já existem em funcionamento. Assim, pensa-se que seria de todo o interesse avaliar a utilização deste tipo de estratégia gráfica num contexto de tráfego real, de modo a melhor aferir vantagens e desvantagens. Nestas circunstâncias seria possível analisar: que nível de intensidade de *Blur* os controladores de tráfego aéreo consideram óptimo; e do ponto de vista da integração deste filtro com os sistemas radar actuais, quando o filtro deveria ser activado; ou seja, em que circunstâncias os controladores o consideravam mais vantajoso. Também importante, mas no âmbito do desenvolvimento dos sistemas radar, seria identificar que alterações, do ponto de vista técnico, teriam que ser efectuadas de modo a implementar esta técnica de filtragem.

Capítulo VII
Conclusões e Perspectivas Futuras

7.1 - Conclusões Finais

As considerações e conclusões tidas como relevantes foram já expressas ao longo dos vários capítulos. Neste sentido, procura-se, em seguida, efectuar sobretudo uma síntese, sumariando os aspectos essenciais do trabalho que se desenvolveu.

Começou-se por descrever, no segundo capítulo, os principais mecanismos fisiológicos da percepção visual, estabelecendo-se que no processo perceptivo interagem factores externos, ou sensoriais, de um modo *Bottom-up*; e factores internos, ou cognitivos, de modo *Top-down*. A análise realizada neste capítulo pretendeu evidenciar as características perceptivas ao nível mais baixo de abstracção, onde se inserem, por exemplo, os processos neurofisiológicos. Esta análise foi de extrema importância, uma vez que é a este nível que residem muitas das justificações para a forma como o Homem percepciona de determinado modo o que o rodeia.

No terceiro capítulo, foram apresentadas evidências relativas à forma como o sistema perceptivo organiza a informação visual de determinadas formas. Neste nível foram focados aspectos que já envolvem a interacção entre a informação sensorial e o conhecimento do observador. Foi salientado o facto de que existem formas de organização perceptiva preferenciais, das quais resulta um conjunto de princípios ou heurísticas. Esta conclusão é crucial, uma vez que demonstra claramente que, face a várias possibilidades de organização de informação, o sistema perceptivo escolhe, consistentemente, umas, e não outras.

No quarto capítulo foram focadas as características dos processos denominados de alto nível, como a memória e a atenção. Consideraram-se as limitações do sistema cognitivo em termos de selectividade visual e capacidade visual de processamento. Desta análise surgiram várias conclusões importantes, entre as quais se destaca a ideia de que os recursos do sistema cognitivo são limitados e que o processamento visual de informação está dependente de um processo de selecção competitiva entre estímulos (através de filtros de saliência) e objectivos comportamentais. Este capítulo registou também a ideia de que existem determinados estímulos capazes de influenciar de modo mais eficaz os processos de controlo atencional. Através da descrição das bases fisiológicas da percepção e os fenómenos perceptivos que as exemplificam, nomeadamente, no que concerne à percepção da cor, luminosidade, e do movimento, passou-se também ao domínio da aplicação prática do conhecimento relativo aos sistema cognitivo e perceptivo.

No quinto capítulo, para além de se ter sublinhado a ideia de que existem representações visuais mais eficazes do que outras, estabeleceu-se a relação entre essas formas de representação e o conceito de valor cognitivo, analisando, em particular, as visualizações relevantes ao domínio dos processos ATM. Foram apresentados vários problemas de representação de informação crítica e propostas algumas soluções; em particular, o uso da informação de profundidade estereoscópica como forma de filtragem visual, tendo em consideração o facto de que é um canal visual que não está sendo utilizado como filtro nos *displays* radar actuais.

No sexto capítulo, foi registado o trabalho de âmbito experimental que derivou da análise teórica realizada. Foram apresentadas as características do *software* desenvolvido para a avaliação da solução proposta, tendo-se chegado à conclusão de que o filtro desenvolvido regista resultados equivalentes a duas estratégias gráficas de filtragem existentes (cor e eliminação de informação). Concluiu-se também que, se se considerarem os problemas da complexidade visual dos *displays* e o Princípio da Apresentação Mínima de Informação, adoptado no contexto ATM, o *Blur* apresenta-se como uma solução ainda mais vantajosa, podendo funcionar como ferramenta cognitiva. Este facto é particularmente relevante dada a complexidade do ambiente ATC, onde os recursos cognitivos são especialmente valiosos. Os resultados obtidos através do estudo experimental realizado permitiram concluir que, não existem motivos do ponto de vista da eficiência e eficácia de filtragem, para que o filtro desenvolvido não deva ser considerado no desenvolvimento de novas ferramentas de apoio aos controladores de tráfego aéreo.

Do ponto de vista da implementação em sistemas radar reais, até ao momento tem prevalecido o uso da forma e da cor como estratégias dominantes na resolução de problemas de visualização. Porém, da mesma forma que sistemas radar anteriores não permitiam interactividade, o que não acontece com os actuais, também,

pensa-se, haverá espaço para o uso de novas dimensões visuais, tal como é o caso da profundidade estereoscópica, em *displays* ATC.

O trabalho de investigação que este relatório regista, assentou numa premissa: a de que o desenvolvimento de ferramentas de visualização adequadas deve basear-se no conhecimento das características da percepção visual humana. Esta tomada de posição contraria o argumento de arbitrariedade, que sugere que todas as representações são, em última instância, igualmente válidas, estando a eficiência das mesmas dependente apenas da aprendizagem. O argumento proposto nesta Dissertação foi, pelo contrário, que, considerando os mecanismos perceptivos humanos, existem formas mais ou menos adequadas de representar informação. Esta ideia fundamentou-se, por seu turno, na verificação de que o sistema perceptivo do Homem se desenvolveu, incorporando um conjunto de regras e heurísticas, de acordo com as propriedades do meio ambiente que o rodeia. A investigação realizada focou, porém, muitos outros aspectos, relativos não só à Percepção, mas também a outros processos cognitivos, como a Memória e a Atenção, de modo a sustentar o argumento aqui proposto, e para que fosse possível enquadrar o problema da visualização de informação crítica.

Nos primeiros capítulos desta Dissertação estabeleceu-se que o sistema perceptivo responde a padrões específicos de informação, e que a justificação para este facto começa, desde logo, ao nível celular. Encontraram-se também evidências de que a percepção visual está dependente da aprendizagem (e que este facto está igualmente fundamentado nas características do funcionamento celular), mas, uma vez que é possível identificar formas de organização perceptiva preferenciais (existindo, inclusíve, princípios de organização visual, como os de agrupamento), será talvez mais adequado concluir que, se as formas de representação visual estão dependentes da aprendizagem, essa aprendizagem está "inscrita" nos mecanismos perceptivos. E se é igualmente verdade que a percepção depende não só do estímulo, mas também do conhecimento e objectivos do observador, o facto é que existe um limite de influência dos efeitos de alto nível no controlo perceptivo, havendo informação que é simplesmente processada em paralelo, independentemente dos propósitos comportamentais do observador. Este foi, aliás, um resultado importante, discutido no Capítulo IV foi dada relevância às limitações de *performance* cognitiva, uma vez que os recursos cognitivos são de particular importância para os contextos onde a informação é de natureza crítica, como é o caso do Controlo de Tráfego Aéreo. Foi também considerando essas limitações que se desenvolveu a solução de visualização para a pesquisa visual de informação crítica.

Espera-se que esta Dissertação amplie o corpo de conhecimento nas áreas estudadas, em particular, a da Visualização de Informação; não só através de uma organização e síntese do conhecimento existente, mas também ao acrecentar novos dados relativos à aplicação de estratégias gráficas no domínio das interfaces ATC. Pensa-se que o trabalho resultante possa contribuir, assim, para a promoção do desenvolvimento seguro e eficiente dos futuros sistemas computacionais de visualização ATC, sublinhando e fortalecendo a importância do paradigma de desenvolvimento de aplicações computacionais centrado no utilizador.

7.2 - Perspectivas de desenvolvimento futuro

Em função dos resultados de investigação obtidos, várias possibilidades de desenvolvimento futuro são em seguida apresentadas.

Relativamente às questões da interface desenvolvida, e embora o *software* construído seja capaz de simular com razoável precisão um dado sector de controlo de tráfego aéreo, várias melhorias poderão fazer parte de uma nova versão. Estas melhorias teriam como objectivo principal testar estratégias gráficas de visualização de informação em contextos onde as tarefas fossem de maior complexidade, como, por exemplo a detecção de conflitos. Entre elas estariam, nomeadamente, a:

- Integração de uma funcionalidade de *zoom*;
- Adição de Interactividade relativamente à manipulação da informação estática;
- Adição de Interactividade relativamente ao controlo dos voos (altitude e rota);
- Possibilidade de receber informação de planos de voo reais, através de uma base de dados externa;
- Activação dos filtros visuais e restantes funcionalidades com recurso apenas ao rato, utilizando menus de contexto.

Ainda que a implementação de melhorias no *software* seja um dos caminhos de desenvolvimento possíveis, pensa-se que, a possibilidade de avaliar o potencial desta estratégia gráfica, em termos de vantagens e desvantagens da sua implementação, num sistema real, seria ainda mais vantajoso. Assim, seria não só possível avaliar questões como as alterações técnicas necessárias a uma utilização desta ferramenta, do ponto de vista dos sistemas radar actuais, mas também avaliar a resposta de controladores de tráfego aéreo relativamente ao uso da mesma. Neste sentido, questões relativas à avaliação das circunstâncias em que seria utilizada (se em controlo de tráfego aéreo de rota, ou de aproximação, por exemplo) ou relativas à sua integração com outras ferramentas já existentes, seriam boas hipóteses de trabalho futuro. De modo a dar seguimento ao trabalho realizado, considera-se pertinente, realizar uma avaliação relativamente:

- Ao modo de activação do filtro;
- À intensidade óptima de desfocagem nos *displays*;
- À eficiência da utilização de mais do que um nível de desfocagem;
- À conjugação do efeito de *Blur* com outras estratégias gráficas.

Embora o estudo teórico realizado tenha focado um conjunto bastante alargado de áreas de estudo, considerando o objectivo e dimensão deste trabalho, foi dada, na parte prática, relevância a factores relativos à informação contida no estímulo; ou seja, na análise realizada ao problema da gestão de recursos cognitivos, foram focadas formas de aperfeiçoar essa gestão, através de um melhoria do lado do estímulo, sem que fossem analisadas implicações relativamente aos processos de alto nível, porque isso sairia, naturalmente, do domínio da Dissertação. No futuro, contudo, será também de todo o interesse focar estes aspectos, interligando-os com o trabalho desenvolvido nesta Dissertação. Uma vez que os processos de pesquisa visual, no Controlo de Tráfego Aéreo, estão ligados a tarefas cognitivas mais complexas, seria pertinente estudar as implicações do uso de visualizações como a apresentada nesta Dissertação nessas tarefas. Concretamente, avaliar as implicações que resultam do uso de filtros visuais em termos da memorização de informação e aprendizagem, por exemplo.

Bibliografia

[Ahlstrom, 2001] - *Ahlstrom, V. and K. Longo*
Human factors design guide update (Report number DOT/FAA/CT-96/01): A revision to Chapter 8–Computer Human Interface Guidelines. 2001

[Albright, 2002] - *Albright, Thomas D. and Gene R. Stoner*
"**Contextual Influences on Visual Processing**"
Annual Review of Neuroscience **25**(1): 339-379, 2002

[Ames, 1952] - *Ames, A.*
"The Ames Demonstrations in Perception"
New York, Hafner Publishing, 1952

[Arbib, 2003] - *Arbib, MIchael A.*
"The Handbook of Brain Theory and Neural Networks "
Cambridge, Massachusetts, MIT Press, 2003

[Baddeley, 1998] - *Baddeley, A.*
"**Working memory**"
Comptes Rendus de l'Academie des Sciences Series III Sciences de la Vie **321**(2-3): 167-173, 1998

[Baddeley, 2000] - *Baddeley, A.*
"**The episodic buffer: a new component of working memory?**"
Trends in Cognitive Sciences **4**(11): 417-423, 2000

[Baddeley, 1974] - *Baddeley, A. and G. Hitch*
"**Working memory. In, G. Bower**"
Recent Advances in Learning and Motivation **8**: 47-90, 1974

[Baeza-Yates, 1999] - *Baeza-Yates, R. and B. Ribeiro-Neto*
"Modern information retrieval", Addison-Wesley Harlow, England, 1999

[Barnes, 2000] - *Barnes, J.*
"Aristotle: A Very Short Introduction", Oxford University Press, 2000

[Barsalou, 1999] - *Barsalou, L. W.*
"**Perceptual symbol systems**"
Behavioral and Brain Sciences **22**(4): 577, 1999

[Bartram, 2001] - *Bartram, L. R.*
Enhancing Information Visualization with Motion
School of Computing Science. Simon Fraser University. Ph.D. Thesis, 2001

[Bauer, 1996] - *Bauer, B., P. Jolicoeur and W. B. Cowan*
"**Distractor heterogeneity versus linear separability in colour visual search**"
Perception **25**(1): 1281-1294, 1996

[Baumann, 1997] - *Baumann, R., R. van der Zwan and E. Peterhans*
"**Figure-ground segregation at contours: a neural mechanism in the visual cortex of the alert monkey**"

Eur J Neurosci **9**(6): 1290-303, 1997

[Beck, 1972] - *Beck, J.*
"**Similarity Grouping and Peripheral Discriminability under Uncertainty**"
The American Journal of Psychology **85**(1): 1-19, 1972

[Behrmann, 2003] - *Behrmann, Marlene and Ruth Kimchi*
"**What Does Visual Agnosia Tell Us About Perceptual Organization and Its Relationship to Object Perception?**"
Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance **29**(1): 19-42, 2003

[Ben-Av, 1995] - *Ben-Av, Mercedes Barchilon and Dov Sagi*
"**Perceptual grouping by similarity and proximity: Experimental results can be predicted by intensity autocorrelations**"
Vision Research **35**(6): 853-866, 1995

[Berlin, 1999] - *Berlin, B. and P. Kay*
"**Basic Color Terms: Their Universality and Evolution. The David Hume Series of Philosophy and Cognitive Science Reissues**"
Berkeley, Center for the Study of Language and Inf, 1999

[Bertamini, 2008] - *Bertamini, M. and R. Lawson*
"**Rapid figure-ground responses to stereograms reveal an advantage for a convex foreground**"
Perception **37**(4): 483-494, 2008

[Bertenthal, 1994] - *Bertenthal, B. I. and J. Pinto*
"**Global Processing of Biological Motions**"
Psychological Science **5**(4): 221-224, 1994

[Bertin, 1967] - *Bertin, J.*
"**Sémiologie Graphique: Les diagrammes - Les réseaux - Les cartes**"
Paris, Editions de l'Ecole des Hautes Etudes en Sciences, 1967

[Bichot, 1996] - *Bichot, N. P., J. D. Schall and K. G. Thompson*
"**Visual feature selectivity in frontal eye fields induced by experience in mature macaques**"
Nature **381**(6584): 697-699, 1996

[Biederman, 1973] - *Biederman, I., A. L. Glass and E. W. Stacy Jr*
"**Searching for objects in real-world scenes**"
J Exp Psychol **97**(1): 22-27, 1973

[Billings, 1996] - *Billings, C. E.*
"**Aviation Automation: The Search for a Human-centered Approach**", Lawrence Erlbaum Assoc Inc, 1996

[Blake, 2005] - *Blake, R. and S. H. Lee*
"**The Role of Temporal Structure in Human Vision**"
Behavioral and Cognitive Neuroscience Reviews **4**(1): 21-42, 2005

[Blake, 2007] - *Blake, R. and M. Shiffrar*
"**Perception of human motion**"
Annual Review Psychology **58**: 47-73, 2007

[Blakemore, 1970] - *Blakemore, Colin and Grahame F. Cooper*
"**Development of the Brain depends on the Visual Environment**"
Nature **228**(5270): 477-478, 1970

[Boff, 1986] - *Boff, Kenneth R., Lloyd Kaufman and Jame P. Thomas*
Handbook of Perception and Human Performance. New York, John Wiley and Sons, 1986

[Borman, 2003] - *Borman, Walter C., Daniel R. Ilgen and Richard J. Klimoski*
Industrial and Organizational Psychology
Handbook of Psychology. New Jersey, John Wiley & Sons, Inc., 2003

[Bower, 1975] - *Bower, G. H., M. B. Karlin and A. Dueck*
"**Comprehension and memory for pictures**"
Memory and Cognition **3**(2): 216-220, 1975

[Bowmaker, 1980] - *Bowmaker, J. K. and H. J. Dartnall*
"**Visual pigments of rods and cones in a human retina**"
The Journal of Physiology **298**(1): 501-511, 1980

[Boyer, 2000] - *Boyer, K. L. and S. Sarkar*
"**Perceptual Organization for Artificial Vision Systems**", Kluwer Academic Publishers, 2000

[Brandt, 1989] -*Brandt, S. A., L. W. Stark, S. Hacisalihzade, J. Allen and G. Tharp*
Experimental evidence for scanpath eye movements during visualimagery
Proceedings of the 11th IEEE Conference on Engineering, Medicine, and Biology, 1989

[Broadbent, 1958] - *Broadbent, D. E.*
"**Perception and communication**", Pergamon Press New York, 1958

[Buffart, 1981] - *Buffart, H. and E. Leeuwenberg*
"**Coding theory of visual pattern completion**"
Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance **7**(2): 241-274, 1981

[Canny, 1986] - *Canny, J.*
"**A computational approach to edge detection**"
IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence **8**(6): 679-698, 1986

[Cant, 2007] - *Cant, J. S. and M. A. Goodale*
"**Attention to form or surface properties modulates different regions of human occipitotemporal cortex**"
Cerebral Cortex **17**(3): 713-731, 2007

[Cant, 2008] - *Cant, J. S., M. E. Large, L. McCall and M. A. Goodale*
"**Independent processing of form, colour, and texture in object perception**"
Perception **37**(1): 57-78, 2008

[Card, 1999] - *Card, S. K., J. D. Mackinlay and B. Shneiderman*
"**Readings in information visualization: using vision to think**", Morgan Kaufmann Publishers Inc. San Francisco, CA, USA, 1999

[Carrasco, 2004] - *Carrasco, M., S. Ling and S. Read*

"**Attention alters appearance**"
Nature Neuroscience **7**(3): 308-313, 2004

[Cattaneo, 2008] - *Cattaneo, Z., M. Rosen, T. Vecchi and J. B. Pelz*
"**Monitoring eye movements to investigate the picture superiority effect in spatial memory**"
Perception **37**(1): 34-49, 2008

[Cave, 1990] - *Cave, K. R. and J. M. Wolfe*
"**Modeling the Role of Parallel Processing in Visual Search**"
Cognitive Psychology **22**(2): 225-271, 1990

[CFMU, 2008] - *CFMU*
IFPS Users Manual. CFMU/User Relations and Development Bureau. EUROCONTROL, 2008

[Chandler, 1992] - *Chandler, P. and J. Sweller*
"**The split-attention effect as a factor in the design of instruction**"
British Journal of Educational Psychology **62**(2): 233-246, 1992

[Chen, 2007] - *Chen, C., W. Härdle and A. Unwin*
"**Handbook of Data Visualization**", Springer, 2007

[Cohen, 2004] - *Cohen, M. R. and W. T. Newsome*
"**What electrical microstimulation has revealed about the neural basis of cognition**"
Current Opinion in Neurobiology **14**(2): 169-177, 2004

[Cook, 2003] - *Cook, M. and P. Marti*
Style guides for ATM Development. Bruxelles, EUROCONTROL, 2003

[Corbetta, 1990] - *Corbetta, M., F. M. Miezin, S. Dobmeyer, G. L. Shulman and S. E. Petersen*
"**Attentional modulation of neural processing of shape, color, and velocity in humans**"
Science **248**(4962): 1556-1559, 1990

[Damos, 1991] - *Damos, DL*
Multiple-task Performance. CRC, 1991

[Dekker, 2005] - *Dekker, S.*
"**Ten Questions About Human Error: A New View Of Human Factors And System Safety**", Lawrence Erlbaum Associates, 2005

[Desimone, 1995] - *Desimone, R. and J. Duncan*
"**Neural Mechanisms of Selective Visual Attention**"
Annual Reviews in Neuroscience **18**(1): 193-222, 1995

[Deutsch, 1963] - *Deutsch, J. A and D. Deutsch*
"**Attention: Some Theoretical Considerations**"
Psychological Review **70**(1): 80-90, 1963

[Diehl, 2007] - *Diehl, S.*
"**Software Visualization: Visualizing the Structure, Behaviour, and Evolution of Software**", Springer-Verlag New York, Inc. Secaucus, NJ, USA, 2007

[Dittmann, 2000] - *Dittmann, Andrea, K. Wolfgang Kallus and Dominique Van Damme*

Integrated Task and Job Analysis of Air Traffic Controllers - Phase 3: Baseline Reference of Air Traffic Controller Tasks and Cognitive Processes in the ECAC Area. EUROCONTROL, 2000

[Domijan, 2008] - *Domijan, Dražen and Mia Šetić*
"**A feedback model of figure-ground assignment**"
Journal of Vision **8**(7): 1-27, 2008

[Doron, 2001] - *Doron, Roland and Françoise Parot*
"Dicionário de Psicologia"
Lisboa, Climepsi Editores, 2001

[Driver, 1996] - *Driver, J. and G. C. Baylis*
"**Edge-Assignment and Figure–Ground Segmentation in Short-Term Visual Matching**"
Cognitive Psychology **31**(3): 248-306, 1996

[Driver, 1992] - *Driver, J., P. McLeod and Z. Dienes*
"**Motion coherence and conjunction search: Implications for guided search theory**"
Perception and Psychophysics **51**(1): 79-85, 1992

[Driver, 1989] - *Driver, J. and S. P. Tipper*
"**On the nonselectivity of selective seeing: contrasts between interference and priming in selective attention**"
Journal of experimental psychology. Human perception and performance **15**(2): 304-314, 1989

[Duncan, 1984] - *Duncan, J.*
"**Selective attention and the organization of visual information**"
J Exp Psychol Gen **113**(4): 501-517, 1984

[Duncan, 1989] - *Duncan, J. and G. W. Humphreys*
"**Visual search and stimulus similarity**"
Psychological Review **96**(3): 433-458, 1989

[Dupont, 1997] - *Dupont, P.*
"**The kinetic occipital region in human visual cortex**"
Cerebral Cortex **7**(3): 283-292, 1997

[Durso, 2008] - *Durso, Francis T., Andrew R. Dattel, Brian R. Johnson, Carol A. Manning, Carla A. Hackworth, Rick Dillbeck, Ron Hubbard, Bob Hutson and Ric Wunn*
"**Real-Time Use of Paper in Air Traffic Control Towers: Criticality and Benefits**"
International Journal of Aviation Psychology **18**(3): 268 - 289, 2008

[Egeth, 1984] - *Egeth, H. E., R. A. Virzi and H. Garbart*
"**Searching for conjunctively defined targets**"
J Exp Psychol Hum Percept Perform **10**(1): 32-39, 1984

[Egeth, 1997] - *Egeth, H. E. and S. Yantis*
"**Visual Attention: Control, Representation, and Time Course**"
Annual Reviews in Psychology **48**(1): 269-297, 1997

[Egly, 1994] - *Egly, R., J. Driver and R. D. Rafal*

"**Shifting visual attention between objects and locations: Evidence from normal and parietal lesion subjects**"
Journal of Experimental Psychology: General **123**(2): 161-177, 1994

[Ellis, 1999] - *Ellis, W. D.*
"**A Source Book of Gestalt Psychology**", Routledge, 1999

[Endsley, 2000] - *Endsley, M. R. and D. J. Garland*
"**Situation Awareness**", Lawrence Erlbaum Associates, 2000

[Eriksen, 1986] - *Eriksen, C. W. and J. D. StJames*
"**Visual attention within and around the field of focal attention: a zoom lens model**"
Perception and Psychophysics **40**(4): 225-240, 1986

[EUROCONTROL, 2003] - *EUROCONTROL*
EUROCONTROL Handbook For Airspace Management. Brussels, EUROCONTROL, 2003

[EUROCONTROL, 2006a] - *EUROCONTROL*
AGC European Action Plan for Air Ground Communications Safety. Brussels, Safety Improvement Sub-Group (SISG), 2006

[EUROCONTROL, 2006b] - *EUROCONTROL*
EUROCONTROL Long-Term Forecast: IFR Flight Movements 2006-2025. BRUSSELS, EUROCONTROL, 2006

[EUROCONTROL, 2008a] - *EUROCONTROL*
EUROCONTROL Long-Term Forecast: IFR Flight Movements 2007-2030. Brusseles, EUROCONTROL, 2008

[EUROCONTROL, 2008b] - *EUROCONTROL*
ODS User Manual. Eurocontrol, 2008

[Eysenck, 2005] - *Eysenck, Michael W. and Mark T. Keane*
"**Cognitive Psychology: a Student's Handbook, 5th Edition**"
Hove and New York, Psychology Press, 2005

[Findlay, 1999] - *Findlay, J. M. and R. Walker*
"**A model of saccade generation based on parallel processing and competitive inhibition**"
Behavioral and Brain Sciences **22**(4): 661-674, 1999

[Folk, 1992] - *Folk, C. L., R. W. Remington and J. C. Johnston*
"**Involuntary covert orienting is contingent on attentional control settings**"
J Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform. **18**(4): 1030-1044, 1992

[Freedheim, 2003] - *Freedheim, Donald K.*
History of Psychology
Handbook of Psychology. New Jersey, John Wiley & Sons, Inc., 2003

[Gallagher, 2003] - *Gallagher, Michela and Randy J. Nelson*
Biological Psychology
Handbook of Psychology. New Jersey, John Wiley & Sons, Inc., 2003

[Galletti, 2003] - *Galletti, C. and P. Fattori*
"**Neuronal mechanisms for detection of motion in the field of view**"
Neuropsychologia **41**(13): 1717-1727, 2003

[Garner, 1974] - *Garner, W. R.*
"**The processing of information and structure**", L. Erlbaum Associates New York: distributed by Halsted Press, Division of J. Wiley, Potomac, Md., 1974

[Garner, 1962] - *Garner, W. R. and W. Lee*
"**An analysis of redundancy in perceptual discrimination**"
Percept Mot Skills **15**: 367-388, 1962

[Gazzaniga, 1999] - *Gazzaniga, Michael S.*
The New Cognitive Neurosciences. Cambridge, Massachusetts, MIT Press, 1999

[Gee, 2008] - *Gee, A. L., A. E. Ipata, J. Gottlieb, J. W. Bisley and M. E. Goldberg*
"**Neural enhancement and pre-emptive perception: The genesis of attention and the attentional maintenance of the cortical salience map**"
Perception **37**(3): 389-400, 2008

[Gegenfurtner, 2003] - *Gegenfurtner, Karl R. and Daniel C. Kiper*
"**Color vision**"
Annual Review of Neuroscience **26**(1): 181-206, 2003

[Geisler, 2008] - *Geisler, Wilson S.*
"**Visual Perception and the Statistical Properties of Natural Scenes**"
Annual Review of Psychology **59**(1): 167-192, 2008

[Gibson, 1986] - *Gibson, J. J.*
"**The Ecological Approach to Visual Perception**", Lawrence Erlbaum Associates Inc, US, 1986

[Goldstein, 2001] - *Goldstein, E. Bruce*
Blackwell Handbook of Perception. Oxford, Blackwell Publishers Ltd, 2001

[Goldstein, 2007] - *Goldstein, E. Bruce*
"**Sensation and Perception, Seventh Edition**"
Belmont, Wadsworth Publishing, 2007

[Graham, 1994] - *Graham, R.V., D. Young, I. Pichancourt , A. Marsden and A. Irkiz*
ODID IV (Operational Display and Input Development, Version IV) Simulation Report. Bretigny-sur-Orge, EUROCONTROL, 1994

[Grill-Spector, 2004] - *Grill-Spector, Kalanit and Rafael Malach*
"**The Human Visual Cortex**"
Annual Review of Neuroscience **27**(1): 649-677, 2004

[Gross, 2002] - *Gross, Charles G.*
"**Genealogy of the "Grandmother Cell""**
Neuroscientist **8**(5): 512-518, 2002

[Grossberg, 1985] - *Grossberg, S. and E. Mingolla*
"**Neural dynamics of perceptual grouping: textures, boundaries, and emergent segmentations**"

Percept Psychophys **38**(2): 141-171, 1985

[Grossberg, 1997] - *Grossberg, S., Ennio Mingolla and William D. Ross*
"**Visual brain and visual perception: how does the cortex do perceptual grouping?**"
Trends in Neurosciences **20**(3): 106-111, 1997

[Grossman, 2001] - *Grossman, E. D. and R. Blake*
"**Brain activity evoked by inverted and imagined biological motion**"
Vision Research **41**(10-11): 1475-1482, 2001

[Gutnisky, 2008] - *Gutnisky, D. A. and V. Dragoi*
"**Adaptive coding of visual information in neural populations**"
Nature **452**(6563): 220-224, 2008

[Haarmeier, 1997] - *Haarmeier, T., P. Thier, M. Repnow and D. Petersen*
"**False perception of motion in a patient who cannot compensate for eye movements**"
Nature **389**(6653): 849-852, 1997

[Han, 1999] - *Han, S., G. W. Humphreys and L. Chen*
"**Uniform connectedness and classical Gestalt principles of perceptual grouping**"
Percept Psychophys **61**(4): 661-674, 1999

[Hansen, 2005] - *Hansen, C. D. and C. R. Johnson*
"**The Visualization Handbook**", Academic Press, 2005

[Healey, 1996] - *Healey, Christopher G.*
Choosing effective colours for data visualization
Proceedings of the 7th conference on Visualization '96. San Francisco, California, United States, IEEE Computer Society Press. 1996

[Healy, 2003] - *Healy, Alice F. and Robert W. Proctor*
Experimental Psychology
Handbook of Psychology. New Jersey, John Wiley & Sons, Inc., 2003

[Helmholtz, 2005] - *Helmholtz, H. and J. P. C. Southall*
"**Treatise on physiological optics**", Mineola, NY: Dover Publications, 2005

[Henderson, 2003] - *Henderson, J. M.*
"**Human gaze control during real-world scene perception**"
Trends in Cognitive Sciences **7**(11): 498-504, 2003

[Hering, 1878] - *Hering, E.*
"**Zur Lehre vom Lichtsinne: Sechs Mittheilungen an die Kaiser. Akad. Der Wissenschaften in Wien**", C. Gerold's Sohn, 1878

[Hochberg, 1953] - *Hochberg, J. and E. McAlister*
"**A quantitative approach to figural "goodness""**
J Exp Psychol **46**(5): 361-364, 1953

[Hochberg, 1978] - *Hochberg, Julian E.*
"**Perception, Second Edition**"
New Jersey, Prentice-Hall, Inc., 1978

[Hoffman, 1995] - *Hoffman, J. E. and B. Subramaniam*
"**The role of visual attention in saccadic eye movements**"
Perception & Psychophysics **57**(6): 787-795, 1995

[Hubel, 1978] - *Hubel, D. H., Torsten N. and Wiesel Michael P. Stryker*
"**Anatomical demonstration of orientation columns in macaque monkey**"
The Journal of Comparative Neurology **177**(3): 361-379, 1978

[ICAO, 2000] - *ICAO*
Human Factors guidelines for air traffic management (ATM) systems
International Civil Aviation Organisation, 2000

[ICAO, 2001a] - *ICAO*
Annex 11 to the Convention on International Civil Aviation - Air Traffic Services. ICAO, 2001

[ICAO, 2001b] - *ICAO*
Procedures for Air Navigation Services - Air traffic Management
International Civil Aviation Organisation, 2001

[ICAO, 2004] - *ICAO*
Annex 15 to the Convention on International Civil Aviation - Aeronautical Information Services. ICAO, 2004

[ICAO, 2007] - *ICAO*
Annex 3 to the Convention on International Civil Aviation - Meteorological Service for International Air Navigation. ICAO, 2007

[Itier, 2007] - *Itier, R. J., C. Alain, K. Sedore and A. R. McIntosh*
"**Early Face Processing Specificity: It's in the Eyes!**"
Journal of Cognitive Neuroscience **19**(11): 1815, 2007

[Itti, 2000] - *Itti, L. and C. Koch*
"**A saliency-based search mechanism for overt and covert shifts of visual attention**"
Vision Research **40**(10-12): 1489-1506, 2000

[Itti, 2001] - *Itti, L. and C. Koch*
"**Computational modelling of visual attention**"
Nature Reviews Neuroscience **2**(3): 194-203, 2001

[Itti, 2005] - *Itti, L., G. Rees and J. K. Tsotsos*
"**Neurobiology of attention**", Elsevier Academic Press, 2005

[Jacko, 2007] - *Jacko, Julie*
Human-Computer Interaction HCI Applications and Services 12th International Conference, HCI International 2007 Proceedings, Part IV
Lecture Notes in Computer Science Beijing, Springer-Verlag 2007

[Jackson, 2004] - *Jackson, Alistair, Alexandra Dorbes and Michel Geissel*
CoRe Project Baseline Exemplary Style Guide. EEC Safety Analysis and Scientific Centre of Expertise. Brussels, EUROCONTROL, 2004

[James, 2007] - *James, W.*
"The Principles of Psychology", Cosimo Classics, 2007

[Jin, 1996] - *Jin, E. W. and S. K. Shevell*
"Color memory and color constancy"
J. Opt. Soc. Am. A **13**(10): 1981-1991, 1996

[Johansson, 1975] - *Johansson, G.*
"Visual motion perception"
Sci Am **232**(6): 76-88, 1975

[Johnson, 2001] - *Johnson, E. N., M. J. Hawken and R. Shapley*
"The spatial transformation of color in the primary visual cortex of the macaque monkey"
Nature Neuroscience **4**: 409-416, 2001

[Jones, 1996] - *Jones, D. G. and M. R. Endsley*
"Sources of situation awareness errors in aviation"
Aviation, space, and environmental medicine **67**(6): 507-512, 1996

[Jonides, 1981] - *Jonides, J.*
"Voluntary versus automatic control over the mind's eye's movement"
Attention and performance IX **11**: 187-203, 1981

[Julesz, 1981] - *Julesz, B.*
"Textons, the elements of texture perception, and their interactions"
Nature **290**(5802): 91-97, 1981

[Julesz, 1986] - *Julesz, B.*
"Texton gradients: The texton theory revisited"
Biological Cybernetics **54**(4): 245-251, 1986

[Kahneman, 1981] - *Kahneman, D. and A. Henik*
"Perceptual organization"
Perceptual organization (Kubovy M, Pomerantz JR, eds): 181-211, 1981

[Kalyuga, 1999] - *Kalyuga, S., P. Chandler and J. Sweller*
"Managing Split-attention and Redundancy in Multimedia Instruction"
Appl. Cognit. Psychol. **13**: 351-371, 1999

[Kanwisher, 2002] - *Kanwisher, N., J. McDermott and M. M. Chun*
"The Fusiform Face Area: A Module in Human Extrastriate Cortex Specialized for Face Perception"
Foundations in Social Neuroscience, 2002

[Kapadia, 1995] - *Kapadia, M. K., M. Ito, C. D. Gilbert and G. Westheimer*
"Improvement in visual sensitivity by changes in local context: parallel studies in human observers and in V1 of alert monkeys"
Neuron **15**(4): 843–856, 1995

[Kastner, 1997] - *Kastner, Sabine, Hans-Christoph Nothdurft and Ivan N. Pigarev*
"Neuronal Correlates of Pop-out in Cat Striate Cortex"
Vision Research **37**(4): 371-376, 1997

[Keller, 2006] - *Keller, T., P. Gerjets, K. Scheiter and B. Garsoffky*
"**Information visualizations for knowledge acquisition: The impact of dimensionality and color coding**"
Computers in Human Behavior **22**(1): 43-65, 2006

[Kellman, 1991] - *Kellman, P. J. and T. F. Shipley*
"**A theory of visual interpolation in object perception**"
Cognit Psychol **23**(2): 141-221, 1991

[Kelly, 2000] - *Kelly, C., P. Goillau, Y. Bowler and P. Enterkin*
Human Factors Integration in Future ATM Systems - Design Concepts and Philosophies. Eurocontrol, 2000

[Kirschner, 2002] - *Kirschner, P. A.*
"**Cognitive load theory: implications of cognitive load theory on the design of learning**"
Learning and Instruction **12**(1): 1-10, 2002

[Knudsen, 2007] - *Knudsen, Eric I.*
"**Fundamental Components of Attention**"
Annual Review of Neuroscience **30**(1): 57-78, 2007

[Koch, 1985] - *Koch, C. and S. Ullman*
"**Shifts in selective visual attention: towards the underlying neural circuitry**"
Human Neurobiology **4**(4): 219-227, 1985

[Koffka, 1922] - *Koffka, K.*
"**Perception: An introduction to the Gestalt-theorie**"
Psychological Bulletin **19**: 531-585, 1922

[Korte, 1915] - *Korte, A.*
"**Kinematoskopische Untersuchungen**"
Z. Psychol **72**: 193-206, 1915

[Kosara, 2001] -*Kosara, R., S. Miksch and H. Hauser*
Semantic depth of field
IEEE Symposium on Information Visualization, 2001. INFOVIS 2001, 2001

[Kosara, 2002] - *Kosara, R., S. Miksch and H. Hauser*
"**Focus+Context Taken Literally**"
IEEE Computer Graphics and Applications **22**(1): 22-29, 2002

[Kosslyn, 1995] - *Kosslyn, S. M. and D. N. Osherson*
"**An invitation to cognitive science**", The MIT Press, 1995

[Kowler, 1995] - *Kowler, E., E. Anderson, B. Dosher and E. Blaser*
"**The role of attention in the programming of saccades**"
Vision Research **35**(13): 1897-1916, 1995

[Krieger, 2000] - *Krieger, Gerhard, Ingo Rentschler, Gert Hauske, Kerstin Schill and Christoph Zetzsche*

"**Object and scene analysis by saccadic eye-movements: an investigation with higher-order statistics**"
Spatial Vision **13**(2/3): 201-214, 2000

[Kubovy, 2008] - *Kubovy, M. and M. van den Berg*
"**The whole is equal to the sum of its parts: A probabilistic model of grouping by proximity and similarity in regular patterns**"
Psychological Review **115**: 131-154, 2008

[Kubovy, 1995] - *Kubovy, M. and J. Wagemans*
"**Grouping by proximity and multistability in dot lattices: a quantitative gestalt theory**"
Psychological Science **6**: 225-234, 1995

[Lamme, 2000] - *Lamme, V. A. F. and P. R. Roelfsema*
"**The distinct modes of vision offered by feedforward and recurrent processing**"
Trends in Neurosciences **23**(11): 571-579, 2000

[Landry, 2001] - *Landry, S. J., T. B. Sheridan and Y. M. Yufik*
"**A methodology for studying cognitive groupings in a target-trackingtask**"
Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on **2**(2): 92-100, 2001

[Larkin, 1987] - *Larkin, J. H. and H. A. Simon*
"**Why a Diagram is (Sometimes) Worth Ten Thousand Words**"
Cognitive Science **11**(1): 65-100, 1987

[Lavie, 1994] - *Lavie, N. and Y. Tsal*
"**Perceptual load as a major determinant of the locus of selection in visual attention**"
Perception & Psychophysics **56**(2): 183-197, 1994

[Lennie, 1998] - *Lennie, P.*
"**Single units and visual cortical organization**"
Perception **27**(8): 889–935, 1998

[Leopold, 2002] - *Leopold, D. A., M. Wilke, A. Maier and N. K. Logothetis*
"**Stable perception of visually ambiguous patterns**"
Nature Neuroscience **5**(6): 605-609, 2002

[Levine, 2008] - *Levine, M. W. and J. J. McAnany*
"**The effects of curvature on the grid illusions**"
Perception **37**(2): 171-184, 2008

[Levitin, 2002] - *Levitin, D. J.*
"**Foundations of cognitive psychology: Core readings**"
Massachusetts, MIT Press, 2002

[Li, 2008] - *Li, J. L. and Z. P. Li*
"**Change detection is easier at texture border bars when they are parallel to the border: Evidence for V1 mechanisms of bottom-up salience**"
Perception **37**(2): 197-206, 2008

[Li, 2006] - *Li, W., V. Piëch and C. D. Gilbert*
"**Contour Saliency in Primary Visual Cortex**"

Neuron **50**(6): 951-962, 2006

[Liversedge, 2000] - *Liversedge, Simon P. and John M. Findlay*
"**Saccadic eye movements and cognition**"
Trends in Cognitive Sciences **4**(1): 6-14, 2000

[Lueck, 1989] - *Lueck, C. J., S. Zeki, K. J. Friston, M. P. Deiber, P. Cope, V. J. Cunningham, A. A. Lammertsma, C. Kennard and R. S. J. Frackowiak*
"**The colour centre in the cerebral cortex of man**"
Nature **340**(6232): 386-389, 1989

[Mack, 1989] - *Mack, A., J. Hill and S. Kahn*
"**Motion aftereffects and retinal motion**"
Perception **18**(5): 649-655, 1989

[Mack, 1998] - *Mack, A. and I. Rock*
"**Inattentional Blindness**", Bradford Books, 1998

[Madden, 2000] - *Madden, T. J., K. Hewett and M. S. Roth*
"**Managing Images in Different Cultures: A Cross-National Study of Color Meanings and Preferences**"
Journal of International Marketing **8**(4): 90-107, 2000

[Malik, 2001] - *Malik, Jitendra, Serge Belongie, Thomas Leung and Jianbo Shi*
"**Contour and Texture Analysis for Image Segmentation**"
International Journal of Computer Vision **43**(1): 7-27, 2001

[Mannan, 1996] - *Mannan, S. K., K. H. Ruddock and D. S. Wooding*
"**The relationship between the locations of spatial features and those of fixations made during visual examination of briefly presented images**"
Spatial Vision **10**(3): 165-188, 1996

[Mannan, 1997] - *Mannan, S. K., K. H. Ruddock and D. S. Wooding*
"**Fixation patterns made during brief examination of two-dimensional images**"
Perception **26**(8): 1059-1072, 1997

[Marciniak, 2002] - *Marciniak, J. J.*
"**Encyclopedia of software engineering**"
New York, Wiley-Interscience 2002

[Marr, 1982] - *Marr, D.*
"**Vision: A Computational Investigation into the Human Representation and Processing of Visual Information**", Henry Holt and Co., Inc. New York, NY, USA, 1982

[Mayer, 2005] - *Mayer, R. E.*
The Cambridge Handbook of Multimedia Learning. Cambridge, Cambridge University Press, 2005

[McElree, 1999] - *McElree, B. and M. Carrasco*
"**The temporal dynamics of visual search: Evidence for parallel processing in feature and conjunction searches**"
Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance **25**(6): 1517-1539, 1999

[Metelli, 1974] - *Metelli, F.*
"**The perception of transparency**"
Sci Am **230**(4): 90-98, 1974

[Miller, 1956] - *Miller, George A.*
"**The Magical Number Seven, Plus or Minus Two: Some Limits on our Capacity for Processing Information**"
Psychological Review (63): 81-97, 1956

[Milner, 1998] - *Milner, A. D.*
"**Neuropsychological studies of perception and visuomotor control**"
Philosophical Transactions: Biological Sciences **353**(1373, Brain Mechanisms of Selective Perception and Action): 1375-1384, 1998

[Mishkin, 1983] - *Mishkin, Mortimer, Leslie G. Ungerleider and Kathleen A. Macko*
"**Object vision and spatial vision: two cortical pathways**"
Trends in Neurosciences **6**: 414-417, 1983

[Mullen, 1985] - *Mullen, K. T.*
"**The contrast sensitivity of human colour vision to red-green and blue-yellow chromatic gratings**"
The Journal of Physiology **359**: 381-400, 1985

[Nakayama, 1986] - *Nakayama, K. and G. H. Silverman*
"**Serial and parallel processing of visual feature conjunctions**"
Nature **320**(6059): 264-265, 1986

[NAV, 2008] - *NAV*
AIP PORTUGAL. Direcção de Segurança e Desempenho Operacional - Serviço de Informação Aeronáutica. NAV Portugal, E.P.E., 2008

[Neisser, 1967] - *Neisser, U.*
"**Cognitive psychology**", Appleton-Century-Crofts New York, 1967

[Newsome, 1989] - *Newsome, W. T., K. H. Britten and J. A. Movshon*
"**Neuronal correlates of a perceptual decision**"
Nature **341**(6237): 52-54, 1989

[Newsome, 1988] - *Newsome, W. T. and E. B. Pare*
"**A selective impairment of motion perception following lesions of the middle temporal visual area (MT)**"
J Neurosci **8**(6): 2201-2211, 1988

[Noë, 2002] - *Noë, A. and E. Thompson*
"**Vision and mind: selected readings in the philosophy of perception**", MIT Press, 2002

[Norman, 1986] - *Norman, D. A. and S. W. Draper*
"**User Centered System Design; New Perspectives on Human-Computer Interaction**", Lawrence Erlbaum Associates, Inc. Mahwah, NJ, USA, 1986

[Norman, 2000] - *Norman, D. A. and T. Shallice*
"**Attention to action: Willed and automatic control of behavior**"

Cognitive neuroscience: a reader: 376-390, 2000

[Norman, 2003] - *Norman, Joel*
"**Two visual systems and two theories of perception: An attempt to reconcile the constructivist and ecological approaches**"
Behavioral and Brain Sciences **25**(1): 73-96, 2003

[Nothdurft, 1991] - *Nothdurft, H. C.*
"**Texture segmentation and pop-out from orientation contrast**"
Vision research(Oxford) **31**(6): 1073-1078, 1991

[Nothdurft, 1993] - *Nothdurft, H. C.*
"**The role of features in preattentive vision: comparison of orientation, motion and color cues**"
Vision Res. **33**(14): 1937-1958, 1993

[Nothdurft, 2000] - *Nothdurft, H. C.*
"**Salience from feature contrast: additivity across dimensions**"
Vision Research **40**(10-12): 1183-1201, 2000

[Noton, 1971] - *Noton, D. and L. Stark*
"**Eye movements and visual perception**"
Sci Am **224**(6): 35-43, 1971

[Oberfeld, 2008] - *Oberfeld, D. and H. Hecht*
"**Effects of a moving distractor object on time-to-contact judgments**"
Journal of Experimental Psychology-Human Perception and Performance **34**(3): 605-623, 2008

[Oh, 2008] - *Oh, S. and M. Shiffrar*
"**Rolling perception without rolling motion**"
Perception **37**(2): 317-320, 2008

[Orban, 2003] - *Orban, G. A., D. Fize, H. Peuskens, K. Denys, K. Nelissen, S. Sunaert, J. Todd and W. Vanduffel*
"**Similarities and differences in motion processing between the human and macaque brain: evidence from fMRI**"
Neuropsychologia **41**(13): 1757-1768, 2003

[Osherson, 1995] - *Osherson, D. N. and L. R. Gleitman*
"**An Invitation to Cognitive Science**", MIT Press, 1995

[Paas, 2003] - *Paas, F., J. E. Tuovinen, H. Tabbers and P. W. M. Van Gerven*
"**Cognitive Load Measurement as a Means to Advance Cognitive Load Theory**"
Educational Psychologist **38**(1): 63-71, 2003

[Paivio, 1990] - *Paivio, A.*
"**Mental Representations: A Dual Coding Approach**", Oxford University Press, USA, 1990

[Palmer, 1975] - *Palmer, S. E.*
"**The effects of contextual scenes on the identification of objects**"
Memory and Cognition **3**(5): 519-526, 1975

[Palmer, 1992] - *Palmer, S. E.*

"**Common Region: A New Principle of Perceptual Grouping**"
Cognitive Psychology **24**(3): 436-47, 1992

[Palmer, 1999] - *Palmer, S. E.*
"**Vision Science: Photons to Phenomenology"**, MIT Press, 1999

[Palmer, 2002] - *Palmer, S. E.*
"**Perceptual Grouping: It's Later Than You Think**"
Current Directions in Psychological Science **11**(3): 101-106, 2002

[Palmer, 2003] - *Palmer, S. E., J. L. Brooks and R. Nelson*
"**When does grouping happen?**"
Acta Psychologica **114**(3): 311-330, 2003

[Palmer, 1994a] - *Palmer, S. E. and I. Rock*
"**On the nature and order of organizational processing: A reply to Peterson**"
Psychonomic Bulletin & Review **1**: 515-519, 1994

[Palmer, 1994b] - *Palmer, S. E. and I. Rock*
"**Rethinking perceptual organization: The role of uniform connectedness**"
Psychonomic Bulletin & Review **1**(1): 29-55, 1994

[Pape, 2001] -*Pape, A. M., D. A. Wiegmann and S. Shappell*
Air traffic control (ATC) related accidents and incidents: A human factors analysis, 2001

[Parkhurst, 2002] - *Parkhurst, D., K. Law and E. Niebur*
"**Modeling the role of salience in the allocation of overt visual attention**"
Vision Research **42**(1): 107-123, 2002

[Pashler, 2001] - *Pashler, Harold, James C. Johnston and Eric Ruthruff*
"**Attention and performance**"
Annual Review of Psychology **52**(1): 629-651, 2001

[Pastore, 1971] - *Pastore, Nicholas*
"Selective History of Theories of Visual Perception: 1650-1950"
New York, Oxford University Press, 1971

[PAVET, 2006] - *PAVET, Didier, Jérôme JOURNET and Joël GARRON*
Vigiestrips: a highly interactive Human Machine Interface project for the benefit of major French airports
Revue Technique de la DTI. 47-78, 2006

[Paxinos, 2003] - *Paxinos, George T. and Juergen K. Mai*
The Human Nervous System, 2nd Ed. Academic Press, 2003

[Peissig, 2006] - *Peissig, J. J. and M. J. Tarr*
"**Visual Object Recognition: Do We Know More Now Than We Did 20 Years Ago**"
Annu Rev Psychol. Find this article online, 2006

[Perera, 2007] - *Perera, N., A. Goodman and K. Blashki*
"**Preattentive processing: using low-level vision psychology to encode information in visualisations**"

Proceedings of the 2007 ACM symposium on Applied computing: 1090-1091, 2007

[Pessoa, 1998] - *Pessoa, L., E. Thompson and A. Noë*
"**Finding out about filling-in: A guide to perceptual completion for visual science and the philosophy of perception**"
Behavioral and Brain Sciences **21**(06): 723-748, 1998

[Peterson, 1991] - *Peterson, M. A. and B. S. Gibson*
"**The initial identification of figure-ground relationships: Contributions from shape recognition processes**"
Bulletin of the Psychonomic Society **29**(3): 199-202, 1991

[Peterson, 1994] - *Peterson, Mary A.*
"**Object Recognition Processes Can and Do Operate Before Figure-Ground Organization**"
Current Directions in Psychological Science **3**(4): 105-111, 1994

[Peterson, 1999] - *Peterson, Mary A.*
"**What's in a stage name? Comment on Vecera and O'Reilly (1998)**"
Journal of Experimental Psychology Human Perception & Performance **25**(1): 276-286, 1999

[Posner, 1978] - *Posner, M. I., M. J. Nissen and W. C. Ogden*
"**Attended and unattended processing modes: The role of set for spatial location**"
Modes of perceiving and processing information: 137-157, 1978

[Post, 1986] - *Post, D. L. and F. A. Greene*
"**Color name boundaries for equally bright stimuli on a CRT: Phase I**"
Society for Information Display, Digest of Technical Papers **86**: 70-73, 1986

[Quiroga, 2005] - *Quiroga, R. Quian, L. Reddy, G. Kreiman, C. Koch and I. Fried*
"**Invariant visual representation by single neurons in the human brain**"
Nature **435**: 1102–1107, 2005

[Ramachandran, 2002] - *Ramachandran, V. S.*
Encyclopedia of the Human Brain. Academic Press, 2002

[Ramachandran, 1986] - *Ramachandran, V. S. and S. M. Anstis*
"**The perception of apparent motion**"
Sci Am **254**(6): 102-109, 1986

[Rapp, 2001] - *Rapp, B.*
"**The Handbook of Cognitive Neuropsychology: What Deficits Reveal About the Human Mind**", Psychology Press, 2001

[Raymond, 1992] - *Raymond, J. E., K. L. Shapiro and K. M. Arnell*
"**Temporary suppression of visual processing in an RSVP task: An attentional blink**"
Journal of Experimental Psychology **18**(3): 849-860, 1992

[Regan, 1986] - *Regan, D.*
"**Form from motion parallax and form from luminance contrast: Vernier discrimination**"
Spatial Vision **1**(4): 305-318, 1986

[Regan, 1989] - *Regan, D.*

"**Orientation discrimination for objects defined by relative motion and objects defined by luminance contrast**"
Vision Res **29**(10): 1389-1400, 1989

[Rensink, 2000] - *Rensink, R. A.*
"**The Dynamic Representation of Scenes**"
Visual Cognition **7**(1-3): 17-42, 2000

[Rensink, 2002] - *Rensink, Ronald A.*
"**Change Detection**"
Annual Review of Psychology **53**(1): 245-277, 2002

[Rock, 1975] - *Rock, Irvin*
"**An Introduction to Perception.**"
New York, Macmillan Publishing Co., Inc., 1975

[Rogers, 2003] - *Rogers, S. and J. Effken*
"**Studies in Perception and Action VII**", Lawrence Erlbaum Associates, 2003

[Rolls, 2008] - *Rolls, E. T.*
"**Top-down control of visual perception: Attention in natural vision**"
Perception **37**(3): 333-354, 2008

[Rosenholtz, 1999] - *Rosenholtz, R.*
"**A simple saliency model predicts a number of motion popout phenomena**"
Vision Research **39**(19): 3157-3163, 1999

[Ross, 2000a] - *Ross, W. D., S. Grossberg and E. Mingolla*
"**Visual cortical mechanisms of perceptual grouping: interacting layers, networks, columns, and maps**"
Neural Networks **13**(6): 571-588, 2000

[Ross, 2000b] - *Ross, Wd W. D. and L. L. Pessoa*
"**Lightness from contrast: a selective integration model**"
Perception & Psychophysics **62**(6): 1160-1181, 2000

[Rushton, 1961] - *Rushton, W. A. H.*
"**Dark-adaptation and the regeneration of rhodopsin**"
J Physiol **156**(1): 166-178, 1961

[Sadahiro, 1997] - *Sadahiro, Yukio*
"**Cluster Perception in the Distribution of Point Objects**"
Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization **34**(1): 49-62, 1997

[Saulnier, 2005] -*Saulnier, Agnès*
La perception du mouvement dans les systèmes de visualisation d'informations
Proceedings of the 17th international conference on Francophone sur l'Interaction Homme-Machine, Toulouse, France, ACM, 2005

[Scaife, 1996] - *Scaife, M. and Y. Rogers*
"**External cognition: how do graphical representations work?**"

Int. J. Human–Computer Studies **45**: 185-213, 1996

[Schiller, 1990] - *Schiller, Peter H., Nikos K. Logothetis and Eliot R. Charles*
"**Functions of the colour-opponent and broad-band channels of the visual system**"
Nature **343**(6253): 68-70, 1990

[Sekuler, 1990] - *Sekuler, Robert and Randolph Blake*
"Perception, Second Edition"
New York, McGraw-Hill, Inc., 1990

[Shneiderman, 1992] - *Shneiderman, B.*
"Designing the user interface: strategies for effective human-computer interaction", Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc. Boston, MA, USA, 1992

[Shorrock, 2007] - *Shorrock, S. T.*
"**Errors of perception in air traffic control**"
Safety Science **45**(8): 890-904, 2007

[Slocum, 1983] - *Slocum, T S*
"**Predicting visual clusters on graduated circle maps**"
American Cartographer **10**(1): 59-72, 1983

[Snyder, 1988] - *Snyder, A. W. and H. B. Barlow*
"**Revealing the artist's touch**"
Nature **331**(6152): 117-118, 1988

[Sommer, 2008] - *Sommer, M. A. and R. H. Wurtz*
"**Visual perception and corollary discharge**"
Perception **37**(3): 408-418, 2008

[Spielberger, 2004] - *Spielberger, C. D.*
"Encyclopedia of applied psychology", Elsevier Academic Press Boston, 2004

[Sporer, 2007] - *Sporer, S., B.Kinzner, H.Flühr, P.Kappertz, B.Dilly and H. Hering*
Wheelie – Advanced Display Filtering Technique (Design of a Simulation Setup). Brétigny-sur-Orge, EUROCONTROL Experimental Centre, 2007

[Spouge, 2005] - *Spouge, John and Eric Perrin*
Baseline Integrated Risk Picture For Air Traffic Management In Europe. Brétigny-sur-Orge, EUROCONTROL EXPERIMENTAL CENTRE, 2005

[Squire, 2005] - *Squire, T. J., M. Rodriguez-Carmona, A. D. B. Evans and J. L. Barbur*
"**Color Vision Tests for Aviation: Comparison of the Anomaloscope and Three Lantern Types**"
Aviation, Space, and Environmental Medicine **76**(5): 412-429, 2005

[Stark, 1996] - *Stark, L. W. and Y. S. Choi*
"**Experimental metaphysics: the scanpath as an epistemological mechanism**"
Advances in Psychology **116**: 3-72, 1996

[Strother, 2006] - *Strother, Lars and Michael Kubovy*
"**On the Surprising Salience of Curvature in Grouping by Proximity**"

Journal of Experimental Psychology / Human Perception & Performance **32**(2): 226-234, 2006

[Sumner, 2000] - *Sumner, P.*
"**Catarrhine photopigments are optimized for detecting targets against a foliage background**"
The Journal of Experimental Biology **203**(13): 1963-1986, 2000

[Sweller, 1994] - *Sweller, J.*
"**Cognitive load theory, learning difficulty, and instructional design**"
Learning and Instruction **4**(4): 295-312, 1994

[Sweller, 1998] - *Sweller, J., J. J. G. van Merrienboer and Fgwc Paas*
"**Cognitive Architecture and Instructional Design**"
Educational Psychology Review **10**(3): 251-296, 1998

[Takahashi, 2008] - *Takahashi, K. and K. Watanabe*
"**Persisting effect of prior experience of change blindness**"
Perception **37**(2): 324-327, 2008

[Tanaka, 1999] - *Tanaka, J. W. and L. M. Presnell*
"**Color diagnosticity in object recognition**"
Perception & Psychophysics **61**(6): 1140-1153, 1999

[Tanaka, 1996] - *Tanaka, Keiji*
"**Inferotemporal Cortex and Object Vision**"
Annual Review of Neuroscience **19**(1): 109-139, 1996

[Tanskanen, 2008] - *Tanskanen, Topi, Jussi Saarinen, Lauri Parkkonen and Riitta Hari*
"**From local to global: Cortical dynamics of contour integration**"
Journal of Vision **8**(7): 1-12, 2008

[Tergan, 2005] - *Tergan, S. O. and T. Keller*
Knowledge and Information Visualization: Searching for Synergies
Lecture Notes in Computer Science 3426. Berlin, Springer-Verlag, 2005

[Todorovic, 1997] - *Todorovic, D.*
"**Lightness and junctions**"
Perception **26**(4): 379-94, 1997

[Tollner, 2008] - *Tollner, T., K. Gramann, H. J. Muller, M. Kiss and M. Eimer*
"**Electrophysiological markers of visual dimension changes and response changes**"
Journal of Experimental Psychology-Human Perception and Performance **34**(3): 531-542, 2008

[Tozawa, 2008] - *Tozawa, J.*
"**Speed constancy and the perception of distance**"
Perception **37**(1): 3-21, 2008

[Treisman, 1960] - *Treisman, A.*
"**Contextual cues in selective listening**"
The Quarterly Journal of Experimental Psychology **12**(4): 242-248, 1960

[Treisman, 1985] - *Treisman, A.*
"**Preattentive processing in vision**"

Computer Vision, Graphics, and Image Processing **31**(2): 156-177, 1985

[Treisman, 1986] - *Treisman, A.*
"**Features and Objects in Visual Processing**"
Scientific American **255**(5): 106-115, 1986

[Treisman, 1980] - *Treisman, A. and G. Gelade*
"**A feature-integration theory of attention**"
Cognitive Psychology **12**(1): 97-136, 1980

[Treisman, 1988] - *Treisman, A. and S. Gormican*
"**Feature analysis in early vision: Evidence from search asymmetries**"
Psychological Review **95**(1): 15-48, 1988

[Treisman, 1982] - *Treisman, A. and H. Schmidt*
"**Illusory conjunctions in the perception of objects**"
Cognit Psychol. **14**(1): 107-141, 1982

[Trick, 1997] - *Trick, Lana M. and James T. Enns*
"**Clusters Precede Shape in Perceptual Organization**"
Psychological Science **8**(2): 124-129, 1997

[Tse, 1999] - *Tse, P. U.*
"**Volume Completion**"
Cognitive Psychology **39**(1): 37-68, 1999

[Tversky, 1977] - *Tversky, A.*
"**Features of similarity**"
Psychological Review **84**(4): 327-352, 1977

[Ullman, 1996] - *Ullman, S.*
"**High-Level Vision: Object Recognition and Visual Cognition**"
Cambridge, MA, MIT Press, 1996

[Ungerleider, 1986] - *Ungerleider, Leslie G. and Robert Desimone*
"**Cortical connections of visual area MT in the macaque**"
The Journal of Comparative Neurology **248**(2): 190-222, 1986

[van de Weijer, 2006] - *van de Weijer, J., T. Gevers and A. D. Bagdanov*
"**Boosting Color Saliency in Image Feature Detection**"
IEEE Transactions On Pattern Analysis And Machine Intelligence: 150-156, 2006

[Van Gompel, 2007] - *Van Gompel, R. P. G.*
"**Eye Movements: A Window on Mind and Brain**", Elsevier Science, 2007

[Vecera, 2000] - *Vecera, S. P.*
"**Toward a Biased Competition Account of Object-Based Segregation and Attention**"
Brain and Mind **1**(3): 353-384, 2000

[Vecera, 2002] - *Vecera, S. P., E. K. Vogel and G. F. Woodman*
"**Lower region: A new cue for figure-ground assignment**"
Journal of Experimental Psychology: General **131**: 194-205, 2002

[Verghese, 2001] - *Verghese, P.*
"**Visual Search and Attention A Signal Detection Theory Approach**"
Neuron **31**(4): 523-535, 2001

[Vinot, 2008] - *Vinot, Jean-Luc*
Bleriot and Orly fonts. Centre d'Etudes de la Navigation Aérienne (CENA), 2008

[Vogel, 2001] - *Vogel, E. K., G. F. Woodman and S. J. Luck*
"**Storage of features, conjunctions and objects in visual working memory**"
J Exp Psychol Hum Percept Perform **27**(1): 92-114, 2001

[Wade, 2002] - *Wade, A. R.*
"**Functional measurements of human ventral occipital cortex: retinotopy and colour**"
Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences **357**(1424): 963-973, 2002

[Ware, 1995] - *Ware, C. and W. Knight*
"**Using visual texture for information display**"
ACM Transactions on Graphics (TOG) **14**(1): 3-20, 1995

[Ware, 2004] - *Ware, Colin*
"**Information Visualization (Second Edition)**"
San Diego, Academic Press, 2004

[Ware, 2006] -*Ware, Colin and Rusty Bobrow*
Motion coding for pattern detection
Proceedings of the 3rd symposium on Applied perception in graphics and visualization, Boston, Massachusetts, ACM, 2006

[Watson, 1999] - *Watson, S. E. and A. F. Kramer*
"**Object-based visual selective attention and perceptual organization**"
Perception & Psychophysics **61**(1): 31-49, 1999

[Wertheimer, 1938] - *Wertheimer, M.*
Laws of organization in perceptual forms. A source book of Gestalt psychology. London: Routledge & Kegan Paul. 1938

[Wickens, 2003] - *Wickens, C. D., J. Lee, Y. D. Liu and S. Gordon-Becker*
"**Introduction to Human Factors Engineering**", Prentice-Hall, Inc. Upper Saddle River, NJ, USA, 2003

[Williams, 1985] - *Williams, L. J.*
"**Tunnel vision induced by a foveal load manipulation**"
Hum Factors **27**(2): 221-227, 1985

[Wilson, 1999] - *Wilson, Robert A. and Frank C. Keil*
The MIT Encyclopedia of the Cognitive Sciences. Cambridge, Massachusetts, MIT Press, 1999

[Wolfe, 1990] - *Wolfe, J. M., M. I. Stewart, S. R. Friedman-Hill, K. P. Yu and K. R. Cave*
"**Limitations on the Parallel Guidance of Visual Search: Color x Color and Orientation x Orientation Conjuctions**"
Journal of Experimental Psychology **16**(4): 879-892, 1990

[Xu, 2002] - *Xu, Y.*
"**Limitations of object-based feature encoding in visual short-term memory**"
Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance **28**(2): 458-468, 2002

[Yantis, 2001] - *Yantis, S.*
Visual Perception: Essential Readings
Key Readings in Cognition. Philadelphia, Taylor & Francis. Psychology Press, 2001

[Yarbus, 1965] - *Yarbus, A. L.*
Role of eye movements in the visual process. Moscow: Science Publishers. 1965

[Young, 1802] - *Young, T.*
"**On the Theory of Light and Colors**"
London, The Society, 1802

[Yuditsky, 2004] - *Yuditsky, T., F. Friedman-Berg and A. Smith*
Design of Information Display Systems for Air Traffic Control. National Technical Information Service. FAA William J. Hughes Technical Center, 2004

[Zeki, 1993] - *Zeki, S.*
"**A vision of the brain**", Blackwell Scientific Publications Oxford, 1993

[Zeki, 1991] - *Zeki, S., J. D. Watson, C. J. Lueck, K. J. Friston, C. Kennard and R. S. Frackowiak*
"**A direct demonstration of functional specialization in human visual cortex**"
Journal of Neuroscience **11**(3): 641-649, 1991

[Zeki, 1992] - *Zeki, Semir*
"**The visual image in mind and brain**"
Scientific American **267**(3): 69-76, 1992

[Zhou, 2000] - *Zhou, H., H. S. Friedman and R. von der Heydt*
"**Coding of Border Ownership in Monkey Visual Cortex**"
Journal of Neuroscience **20**(17): 6594-6611, 2000

[Zihl, 1983] - *Zihl, J., D. Von Cramon and N. Mai*
"**Selective Disturbance of Movement Vision After Bilateral Brain Damage**"
Brain **106**(2): 313-340, 1983