



Universidade do Porto

**FEUP** Faculdade de  
Engenharia

# Influência da Perceção Humana no Processo de Visualização de Dados

---

Seminário de Investigação

Leandro Filipe Oliveira Gomes  
Programa Doutoral em Media Digitais

Orientador  
João Manuel R. S. Tavares  
Departamento de Engenharia Mecânica

## Índice

1. Introdução .....	3
2. Organização perceptiva .....	4
2.1 Profundidade .....	4
2.2 Movimento .....	5
2.3 Forma .....	6
2.4 Reconhecimento de padrões .....	8
2.5 Processamento Visual .....	10
2.6 Seleção Perceptiva .....	10
3. Visualização .....	14
3.1 Definição de visualização .....	14
3.2 Evolução histórica .....	15
3.3 Processo de visualização de dados .....	16
3.4 Visualização de dados e Percepção .....	17
3.5 Modelos da Percepção Visual Humana .....	18
3.6 Modelo de referência para visualização de dados .....	20
4. Técnicas de Visualização .....	22
4.1 Visualização de atributos .....	22
4.2 Visualização de estruturas e relações .....	22
5. Estado da Arte .....	27
6. Proposta de trabalho .....	29
6.1 Motivação e objetivos .....	29
6.2 Descrição detalhada .....	29
Referências .....	32

# 1. Introdução

Atualmente, são cada vez mais comuns conjuntos de dados de elevada dimensão e complexidade para os quais os métodos tradicionais de visualização e análise se tornam ineficazes. Sendo a variável tempo cada vez mais crítica nos processos de tomada de decisão, podendo influenciar significativamente o seu sucesso, urge encontrar soluções que satisfaçam eficazmente a necessidade de processamento e análise de informação.

Através do sistema visual, a percepção humana desempenha um papel importante na área da visualização, auxiliando os processos cognitivos. Assim, considerar fatores da percepção visual humana no desenvolvimento de ferramentas computacionais de visualização de dados complexos e elevada dimensão, assume um papel fundamental com grande interesse científico e até para o público em geral.

De uma forma generalista, o termo visualização significa construir uma imagem visual na mente humana, e isto é mais do que uma representação gráfica de dados ou conceitos. Já Stuart Card, em [Card, 1999], define o conceito de visualização de forma mais específica como sendo o uso de representações visuais de dados abstratos, suportadas por computador e interativas para ampliar a cognição. Destas definições pode-se reter que uma visualização pode funcionar como uma ferramenta cognitiva para a construção de conhecimento utilizando as capacidades perceptivas e cognitivas do ser humano. Em termos da percepção, as representações de dados devem considerar as propriedades do sistema visual humano [Ware, 2004]. Assim, bons conhecimentos teóricos cientificamente testados são fundamentais para ferramentas computacionais de visualização e análise de dados eficientes [Synnestevedt, 2005].

Assim, esta Tese é motivada pelo elevado atual interesse na visualização de informação e nas linhas de investigação que vêm explorando a representação de dados através de princípios da percepção que facilitam o processo cognitivo de análise das informações envolvidas. Desta forma, serão analisadas as teorias e metodologias existentes e desenvolvidas e avaliadas soluções mais eficientes, maximizando princípios da percepção humana para a visualização de grandes volumes de dados de elevada complexidade, com especial incidência nos mecanismos e limitações da atenção e memória. Diferentes casos/cenários experimentais sintéticos e reais serão considerados.

Neste trabalho são abordados em primeiro lugar os conceitos teóricos inerentes a organização perceptiva e visualização. Em seguida, são descritas as principais técnicas de visualização e é apresentado o estado da arte atual nestas áreas científicas. Por fim, uma proposta de investigação para Dissertação de Doutoramento é descrita detalhadamente, assim como todas as referências utilizadas na elaboração desta Tese.

## 2. Organização perceptiva

### 2.1 Profundidade

O mundo visual é percebido em três dimensões, embora só duas delas sejam dadas pela imagem que se forma no olho humano [Gleitman, 2004]. Tal facto despertou o interesse pelos indícios de profundidade. Um importante indício de profundidade advém do facto do Homem ser uma criatura binocular, ou seja, possui dois olhos. Assim, os olhos veem o mundo a partir de posições um pouco diferentes, obtendo cada olho uma visão ligeiramente diferente do mundo. Esta diferença fornece informação importante sobre relações de profundidade no mundo, sendo designada por disparidade binocular [Gallagher, 2003].

A disparidade binocular é um forte determinante, provavelmente inato, da percepção da profundidade. Apesar disso, pode-se perceber profundidade mesmo mantendo um olho fechado. Isto prova claramente que existem indícios para a percepção da profundidade que têm origem na imagem obtida só com um dos olhos. Estes são os indícios monoculares de profundidade, também designados por indícios pictóricos [Gleitman, 2004], uma vez que têm vindo a ser explorados por artistas desde há muito, para criar uma sensação de profundidade a partir de uma superfície plana. Entre estes indícios encontram-se:

- Interposição – quando um objeto está sobreposto a outro, cobrindo-o parcialmente, o primeiro será percebido como mais próximo e o último como mais distante;
- Perspetiva linear – regula a impressão de distância o grau de convergência entre figuras e o tamanho das mesmas;
- Tamanho relativo – em igualdade de circunstâncias, a maior de duas figuras idênticas parece estar mais próxima do que a pequena;
- Gradientes de textura - uma textura uniforme é projetada na retina de uma forma tal que, quanto maior a distância, maior a densidade da textura na imagem.

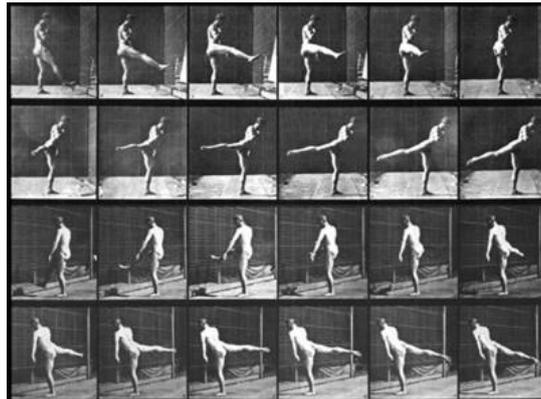
Todos estes indícios são determinantes fortes da profundidade percebida. Porém, ainda mais relevantes, são os movimentos da cabeça e do corpo. Estes produzem alguns fenómenos que fornecem informação vital acerca das distâncias entre os objetos e da distância a que estes se encontram. Um desses fenómenos é a paralaxe do movimento que é um padrão global do movimento no interior das imagens retinianas, sendo um indício de profundidade de grande eficácia [Helmholtz, 2005]. Com efeito, a direção do movimento na retina depende do sítio para onde se olha: os objetos que estão mais próximos do sujeito, do que do alvo para onde este olha, parecem movimentar-se na direção oposta à sua, enquanto os objetos mais distantes parecem movimentar-se na mesma direção.

Produz-se um indício de profundidade diferente, quando se aproxima ou se afasta dos objetos. Assim, à medida que se aproxima de um objeto, a sua imagem vai aumentando; mas, quando se afasta, ela torna-se mais pequena. Além disso, quando se dirige para um objeto, modifica-se o padrão de estimulação na totalidade do campo visual, do qual resulta um padrão de fluxo ótico, que fornece uma informação decisiva acerca da profundidade e desempenha um grande papel na coordenação dos movimentos e na manutenção do equilíbrio [Gibson, 1986].

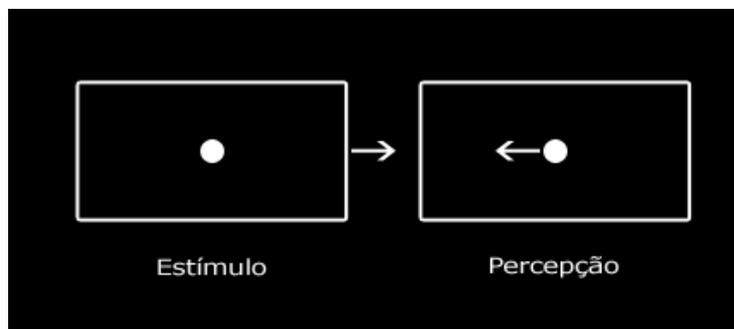
## 2.2 Movimento

O Homem, para além de saber o que um objeto é e onde se encontra, tem necessidade de perceber o que esse objeto está a fazer. Ou seja, precisa tanto da perceção dos acontecimentos como da dos objetos. Para isto, deve ser capaz de perceber o movimento.

Certas células específicas da direção presentes no córtex visual, células detetoras de movimento, respondem efetivamente ao movimento de uma imagem na retina, mas tal não é suficiente para explicar a perceção do movimento [Gleitman, 2004]. Isto pode-se comprovar pelo fenómeno de movimento aparente (Figura1) que apoia o facto de que se consegue perceber movimento, mesmo quando não se verifica movimento da imagem através da retina [Wertheimer, 1938]. Em vez disso, tudo o que se necessita é de uma mudança de posição nos tempos certos: uma “coisa” está num determinado local, neste momento, e depois noutra, no seguinte. Se a sucessão temporal for a correta, o sistema nervoso interpreta isto como sendo a evidência de que essa “coisa” se deslocou. Por outro lado, o sistema nervoso compensa as deslocações produzidas pelo movimento do olho. Quando o cérebro dá sinais aos músculos oculares para se movimentarem, calcula o desvio retiniano que esse movimento vai produzir, neutralizando a seguir esse valor ao interpretar a informação visual que recebe. A consequência disso é conseguir ver-se um ponto imóvel, parado no seu lugar, apesar dos movimentos dos olhos [Bridgeman, 1991].



**Figura 1** O movimento aparente resulta quando se apresentam dois estímulos estacionários, um seguido do outro, e é percebido movimento entre eles. É este efeito que possibilita a televisão ou os desenhos animados (retirado de [Goldstein, 2007]).



**Figura 2** Movimento induzido: o movimento do retângulo gera a perceção do movimento do ponto (adaptado de [Palmer, 1999]).

Como já referido, o Homem não só deteta o movimento como também o interpreta [Gleitman, 2004]. Tal torna-se evidente com o fenómeno do movimento induzido (Figura 2), pelo qual é assumido que os objetos mais pequenos, contidos, estão em movimento, enquanto os maiores, que os contêm, são considerados como estando em repouso.

### 2.3 Forma

Na visão, o processo fundamental para reconhecer um objeto passa pela sua forma. Um fenómeno importante na perceção da forma é a transposição da forma: uma forma percebida pode permanecer idêntica, mesmo que sejam alteradas todas as suas partes constituintes. Este fenómeno é a base fundamental do Gestaltismo, uma teoria que realça a importância do todo, criado a partir das relações entre as partes constituintes [Koffka, 1922].

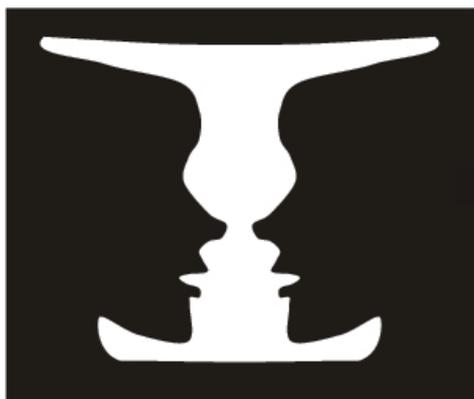
No que concerne à perceção de formas, os atributos do contorno visual desempenham um papel essencial no seu reconhecimento. Com efeito, vários desses atributos são capturados por detetores de características, quer na retina, quer no cérebro. Trata-se de células que respondem a determinados aspetos relacionais do estímulo, como bordos e cantos, o que é mostrado por experiências de registo de atividade de células isoladas [Gleitman, 2004]. A adaptação desses detetores de características pode explicar alguns fenómenos que ocorrem depois de exposição prolongada a certos tipos de estímulos, como o efeito secundário do movimento visual [Gleitman, 2004]. Tal efeito é facilmente constatável quando se olha em primeiro lugar para uma faixa de linhas que descem continuamente durante algum tempo, e depois para uma linha horizontal estática. De facto, esta linha parecerá mover-se para cima ao olho humano.

Para além disto, muitos investigadores atuais estão convencidos de que a perceção da forma se baseia em etapas de processamento da informação, as quais transformam a entrada visual inicial num produto final cognitivo, a perceção de objetos no mundo. Este processo começa com a deteção de sinais primitivos, os quais são identificados pelo facto de “saltarem à vista” [Treisman, 1986] na tarefa de procura visual (Figura 3). Na primeira etapa do processamento, estes traços existem isolados flutuando livremente, como o demonstram as conjunções ilusórias, onde o sujeito não consegue imaginar a relação entre os traços, embora os percecione.



**Figura 3** O que salta à vista na perceção visual: A letra O situada no meio de um arranjo de letras V salta logo à vista. Neste caso, o sistema visual não precisa de procurar, uma a uma, todas as figuras para determinar se se trata do exemplar. Em vez disso, realiza uma procura paralela, inspeccionando todos os itens simultaneamente (retirado de [Gleitman, 2004]).

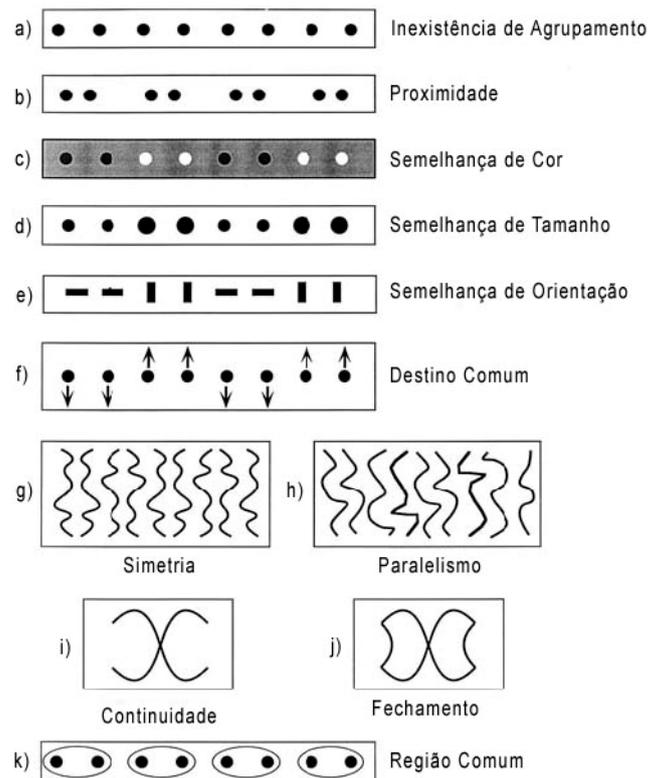
Porém, antes de poder reconhecer uma forma, o sujeito tem de empreender um processo de segregação visual e de análise perceptiva da cena visual. Com efeito, a integração e segregação de contornos, grupos e regiões não são suficientes para a percepção da forma, uma vez que algumas regiões são percebidas como sendo fundos transparentes [Goldstein, 2001]. Como os objetos estão fisicamente delimitados por contornos, o sistema visual precisa de extrair do estímulo informação que permita organizar as relações entre os objetos existentes na imagem. Isto requer a segregação da figura e do fundo, a qual não é inerente ao estímulo proximal mas imposta pelo sistema perceptivo, como o mostram as figuras reversíveis (Figura 4), onde existe mais do que uma maneira de analisar um estímulo [Gleitman, 2004].



**Figura 4** Figura reversível: Vaso de Rubin (retirado de [Yantis, 2001]).

Estabelecer quais regiões são figura e quais são fundo é um importante processo visual, porque as cenas visuais quotidianas contêm vários objetos que se sobrepõem e que se ocultam frequentemente [Vecera, 2002]. Assim, aquilo que se pode chamar de uma ordenação em profundidade deve ser considerado como um fator-chave na organização perceptiva [Ramachandran, 2002]. Uma vez feita a análise perceptiva, que separa a estimulação visual em figura e fundo, aplicam-se a estas duas zonas, tipos diferentes de processamento. Na figura, há maior sensibilidade ao detalhe fino, enquanto no fundo, a análise perceptiva parece recorrer a uma análise mais grosseira, apropriada à percepção de áreas mais vastas [Julesz, 1978].

A segregação posterior produz o agrupamento perceptivo, que se refere ao facto do observador ter a percepção de que alguns elementos no campo visual são agrupados preferencialmente de um determinado modo [Healy, 2003]. Alguns dos fatores que determinam o agrupamento visual (Figura 5) foram descritos por Max Wertheimer, fundador do Gestaltismo. Wertheimer considerava esses fatores como as leis da organização perceptiva [Wertheimer, 1938]. Um dos fatores que identificou foi a proximidade: quanto mais próximas, quer espacialmente, quer temporalmente, estão duas figuras uma da outra, mais têm tendência a ser agrupadas conjuntamente na percepção, mesmo que não possuam grande similaridade entre si. Um outro fator é a semelhança: mantendo-se tudo o mais constante, tende-se a agrupar as figuras de acordo com a sua semelhança. A similaridade dá-se principalmente em termos de cor, forma e textura, não se sobrepondo normalmente à proximidade.



**Figura 5** 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]).

O sistema visual também parece organizar os padrões de uma maneira que sugere uma preferência por contornos que continuam suavemente as linhas de origem. Este princípio manifesta-se nos contornos subjetivos – contornos que se vê apesar de serem fisicamente inexistentes. Estes casos são interpretados como um caso especial do bom prolongamento, uma vez que se vê o contorno prolongando o seu percurso original que, se necessário, salta uma ou duas lacunas para conseguir o prolongamento [Kellman, 1991].

Todos estes fenómenos de análise perceptiva podem ser encarados como manifestações do princípio de probabilidade máxima [Gleitman, 2004; Goldstein, 2007]; ou seja, existe a tendência para interpretar um padrão de estímulo proximal como sendo aquele objeto-estímulo exterior que muito provavelmente o provocou como, por exemplo, no caso da camuflagem.

#### **2.4 Reconhecimento de padrões**

O reconhecimento de um padrão põe em jogo dois tipos de processos [Gleitman, 2004]. Um destes tipos é o processamento ascendente, a partir dos dados, que começa pelo estímulo e lhe dá forma, submetendo-o a uma análise de rede de traços que começa pelas unidades de nível inferior (linhas) para depois ativar unidades de ordem superior (figuras geométricas). O outro é o processamento descendente, partir do conhecimento, que se baseia em perspectivas e hipóteses, como é demonstrado pelos efeitos de contexto perceptivos ou de prontidão (Figura 6).

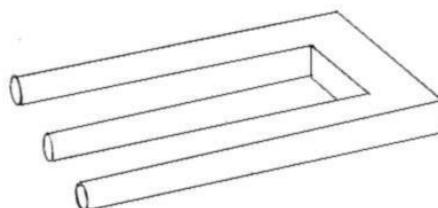


**Figura 6** Efeito de contexto no reconhecimento de letras (retirado de [Selfridge, 1955]).

Os processos descendentes conseguem ativar detetores de nível inferior, de modo que estes respondem mesmo a estimulações fracas. Porém, os processos ascendentes e descendentes trabalham em sintonia, tendo como resultado um processo global que permite às unidades inferiores ativar as de nível superior e vice-versa - ativação bidirecional [Gleitman, 2004].

Para se explicar como se faz o reconhecimento dos objetos comuns tridimensionais, considera-se que no reconhecimento de um padrão está presente, também, um nível de análise intermédio, através do qual os traços se unem como partes do objeto. Uma das propostas é que estas partes sejam os geões (“iões geométricos”) [Biederman, 1987]; ou seja, figuras tridimensionais, como cilindros, cones e pirâmides, que se congregam para constituir uma descrição estrutural do objeto.

No que concerne à sequência de processamento, os processos descendentes levantam hipóteses perceptivas que são, depois, testadas pelos processos ascendentes [Ramachandran, 2002]. Este resultado é, algumas vezes, descrito como resolução de problema perceptivo [Gleitman, 2004], em que as percepções do observador são guiadas, aparentemente, por alguns princípios lógicos, incluindo o princípio de que deve ser explicada toda a informação contida no estímulo, e que se devem evitar as interpretações baseadas no acaso e na coincidência. Este tipo de lógica perceptiva falha, por vezes, como acontece no caso das figuras impossíveis, ou seja, figuras bidimensionais que são instantânea e inconscientemente interpretadas pelo sistema visual que representa uma projeção de um objeto tridimensional, embora não seja realmente possível ele existir (Figura 7).

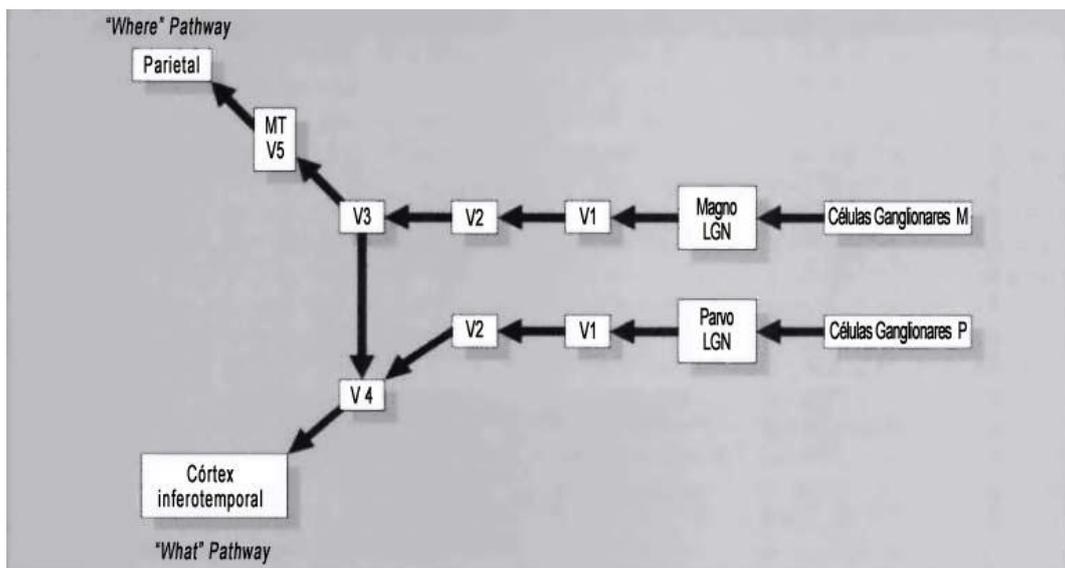


**Figura 7** Exemplo de figura impossível (adaptado de [Penrose, 1958]).

## 2.5 Processamento Visual

Os processos neuronais que tornam possível a percepção contêm uma grande quantidade de subsistemas especializados. Assim, na retina existem dois tipos de células ganglionares sensíveis aos diferentes aspetos da estimulação visual [Gleitman, 2004]: as parvo células, que são sensíveis às diferenças de cor, sendo cruciais para a percepção do padrão e da forma, e as magno células, que são cegas à cor, mas possuem um papel essencial na deteção de movimento e na percepção de profundidade. Já no córtex visual, cada um dos diferentes tipos de células responde a aspetos específicos do estímulo: as células simples reagem fortemente a linhas ou arestas segundo orientações específicas; as células complexas também são sensíveis à orientação do estímulo, mas, contrariamente às células simples, são menos sensíveis à sua posição [Eysenck, 2005]. Para além destas, existem ainda outras células que respondem especificamente a características mais complexas como cantos e ângulos [Gleitman, 2004].

O processamento cerebral da informação visual começa no córtex occipital, sendo neste que se encontram as células simples e complexas [Gleitman, 2004]. Contudo, esta informação é depois transmitida a outras duas áreas cerebrais: o córtex temporal e o córtex parietal (Figura 8). A via que leva a informação ao córtex temporal é frequentemente designada por sistema “o quê” (*what*) e desempenha um papel importante na identificação dos objetos visuais. A outra via, a que leva informação ao córtex parietal, é muitas vezes designada por sistema “onde” (*where*) e informa onde está localizado um objeto [Milner, 1998].



**Figura 8** Uma versão simplificada dos *pathways* envolvidos na visão, desde a retina até ao córtex (adaptado de [Eysenck, 2005]).

O facto de a visão depender de múltiplos subsistemas especializados levanta o problema de descobrir como se integram os pedaços de informação separados para formar um todo perceptivo coerente. Este problema é designado por problema da interligação (*binding*) e continua a ser objeto de intensa investigação atualmente [Ramachandran, 2002].

## 2.6 Seleção Perceptiva

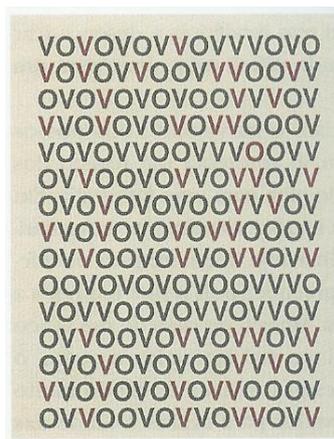
Raramente o Homem é recipiente passivo da informação. De facto, o Homem vira a cabeça e os olhos para procurar um estímulo interessante, ao mesmo tempo que explora ativamente o

mundo com todos os seus sentidos. Estas diferentes formas de orientação servem para ajudar os mecanismos sensoriais e fornecem um dos processos mais diretos de selecionar a entrada da estimulação: ao mesmo tempo que se focam os estímulos que interessam, ignoram-se os restantes [Goldstein, 2007].

Assim, tem-se que toda a percepção se revela bastante seletiva [Eysenck, 2005]. Esta seleção é conseguida, em parte, pela orientação física, como no caso do movimento dos olhos, uma vez que a visão periférica apenas informa que algo se passa na parte superior esquerda do campo visual. Para saber do que realmente se trata, os olhos movem-se de modo a que essa região incida sobre a fóvea. Com efeito, o movimento na periferia visual tem tendência a desencadear um movimento ocular reflexo, tornando mais difícil não olhar para um objeto em movimento [Palmer, 1999].

Contudo, as pessoas não investigam o mundo na esperança de que a fóvea dispare com algum pormenor interessante ou com novidades visuais. O que fazem é recolher informação com interesse quer seja a partir daquilo que vagamente viram na periferia, quer seja a partir das noções gerais que têm acerca do significado do cenário atual [Biederman, 1973]. Só depois dirigem o olhar para inspecionar o que viram e para ir mais além no enriquecimento do seu conhecimento visual.

O controlo seletivo da percepção também faz apelo a processos centrais que determinam quais as entradas sensoriais a considerar e o que fazer com elas [Eysenck, 2005]. Entre os métodos que estudam a atenção estão incluídos o olhar seletivo, como foi demonstrado pelos procedimentos de procura visual (Figura 9), e a escuta seletiva, que se vê em ação na apresentação dicótica (rezeção de mensagens diferentes em cada ouvido) ou no efeito de festa *cocktail* (transformação de muitas vozes em ruído de fundo, com exceção de uma), em que uma mensagem é espiada, enquanto outra é ignorada.

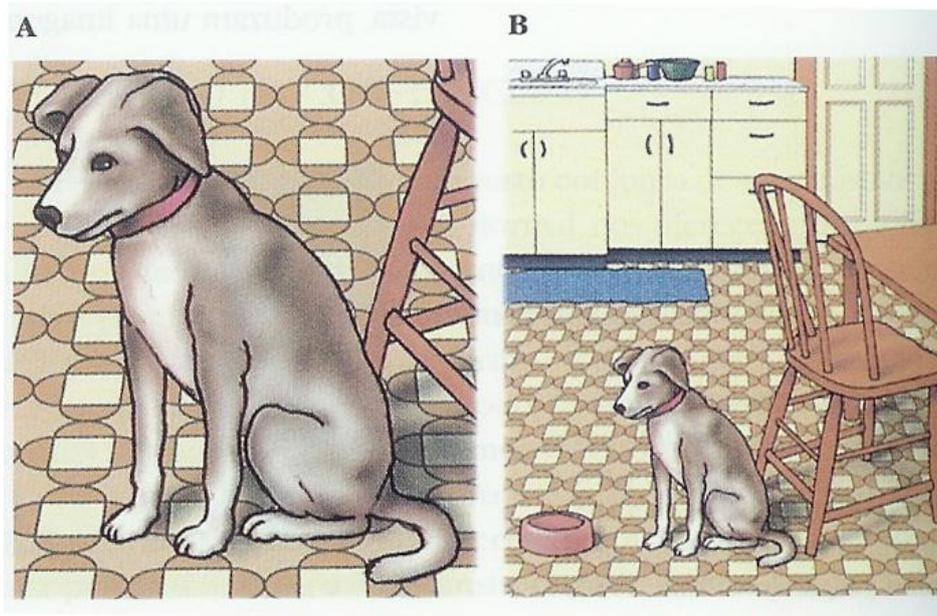


**Figura 9** Processamento em série na procura visual. Quando a tarefa consiste em procurar um alvo que é definido por uma conjunção de traços (a vermelho), a procura é feita em série. Cada item é inspecionado por sua vez e aumenta o tempo de procura bem como o número de falsas alternativas (V vermelhos ou verdes, O verdes) (retirado de [Gleitman, 2004]).

A função básica da organização perceptiva é a de ajudar o organismo a ver o mundo exterior tal como ele realmente é [Healy, 2003]. Uma ilustração disto está nas constâncias perceptivas,

graças às quais o sujeito reage a certas características permanentes do objeto distal, apesar de diversos fatores contextuais – iluminação, distância e orientação – que provocam enormes variações no estímulo proximal [Gleitman, 2004].

Na constância do tamanho e da forma, segundo [Gibson, 1950], o sujeito reage ao tamanho e forma real do objeto, com maior ou menor independência da sua distância e da sua orientação, fazendo, aparentemente, inferências inconscientes acerca do tamanho e da forma com base na distância ao longe e no ângulo de visão [Helmholtz, 2005]. Esta hipótese surgiu visto que as relações de tamanho invariante (Figura 10), e consequentes relações de ordem superior, são insuficientes para explicar todos os casos de constância de tamanho.



**Figura 10** Uma relação invariante que produz informação acerca do tamanho: Em (A) e (B) mostra-se um cão a distâncias diferentes do observador. O tamanho do cão na retina varia com a distância, mas a razão entre o tamanho retiniano deste e o tamanho retiniano dos elementos de textura (azulejos do chão) é constante (retirado de [Gleitman, 2004]).

Na constância da luminosidade, porém, o sujeito baseia-se em informação de ordem superior, reagindo a uma propriedade de um objeto denominada refletância, que determina a proporção da luz que incide nele, e ignorando ao mesmo tempo o nível de iluminação que incide sobre ele. Com efeito, a percepção da luminosidade depende, em grande medida, da razão entre a quantidade de luz refletida pelo objeto e aquela que é refletida pelo contexto que o rodeia. O sistema visual humano responde a esta relação, alcançando assim a constância da luminosidade [Wallach, 1948]. Este efeito é, provavelmente, produzido pelos mesmos processos, baseados na inibição lateral, que são responsáveis pelo contraste do brilho e fenómenos semelhantes [Gleitman, 2004].

Segundo aquilo que se compreende atualmente da percepção visual e atendendo ao que foi aqui descrito, tudo indica que os empiristas subestimaram o papel ativo do sujeito na organização e interpretação da estimulação visual. A perspectiva inatista desta atividade era mais adequada, embora subestimasse o papel dos mecanismos inatos. O sistema visual é de uma sofisticação impressionante logo à nascença, mas a experiência tem um papel decisivo na

moldagem do seu funcionamento. Assim, parece que os mecanismos inatos moldam a aprendizagem e que a aprendizagem molda os mecanismos inatos [Gleitman, 2004].

## 3. Visualização

Nos dias de hoje, a quantidade de dados disponíveis aumenta constantemente sendo habitual chegar-se aos milhões de elementos de dados, possuindo cada elemento diversos atributos. Isto ocorre em muitos domínios do saber e faz com que as aplicações de métodos e sistemas tradicionais para a visualização e análise de dados se tornem insuficientes, complexos e ineficientes [Healey, 2000].

A área de visualização centra-se normalmente em representar dados originalmente em bruto na forma de imagens de forma adequada, fornecendo assim meios de analisar visualmente conjuntos de dados de elevada dimensão e complexidade, sendo uma importante mais-valia para a descoberta de novos relacionamentos e dependências entre os dados. Tal acontece porque as visualizações, devido às referidas representações visuais, fornecem um grande apoio cognitivo através de vários mecanismos que exploraram as potencialidades da percepção humana, bem como a rapidez do processamento visual.

Porém, a forma como as pessoas percebem e reagem ao resultado da visualização influencia fortemente o seu entendimento dos dados e a sua utilidade. Assim, os fatores humanos contribuem significativamente no processo de visualização e devem desempenhar um papel importante no projeto e na construção de ferramentas adequadas de visualização. Por outro lado, com esta contribuição a análise dos dados torna-se mais rápida e exploratória, permitindo inclusivamente novas inferências e descobertas quando os resultados exibidos se estabeleceram usando técnicas de visualização baseadas em regras perceptivas já anteriormente mencionadas, sobretudo as que exploram todo o potencial do sistema visual humano [Alexandre, 2007].

Atualmente, várias iniciativas de investigação começaram já a explorar a influência dos fatores humanos na visualização, particularmente em projetos com base em percepção humana e interação homem-computador. Contudo, a maioria dos trabalhos na área de visualização que envolvam fatores humanos de forma bem vincada encontram-se ainda em fase de aperfeiçoamento, existindo um grande potencial de desenvolvimento nesta temática.

### 3.1 Definição de visualização

Para se perceber melhor todo o processo de visualização de dados é importante compreender os conceitos que este encerra. Assim, por processo de visualização, ou somente visualização, entende-se o ato ou efeito de visualizar; conversão de conceitos em imagens ou formas visíveis; formação da imagem mental de um conceito abstrato ou, no âmbito da computação, como tudo o que o ecrã de um computador nos mostra: textos, desenhos, gráficos [Infopédia]. Por sua vez, o termo inglês *to visualize* é definido no *Oxford English Dictionary* da seguinte forma: *to form a mental vision or image; to make visible to the mind or imagination (something abstract or not visible or present to the eye)*, ou seja, formar uma visão ou imagem mental; tornar visível à mente ou imaginação (algo abstrato ou não visível ou presente ao olho) [Oxford].

Num contexto mais geral, o termo visualização significa construir uma imagem visual na mente, sendo isto mais do que uma representação gráfica de dados ou conceitos. Assim, uma

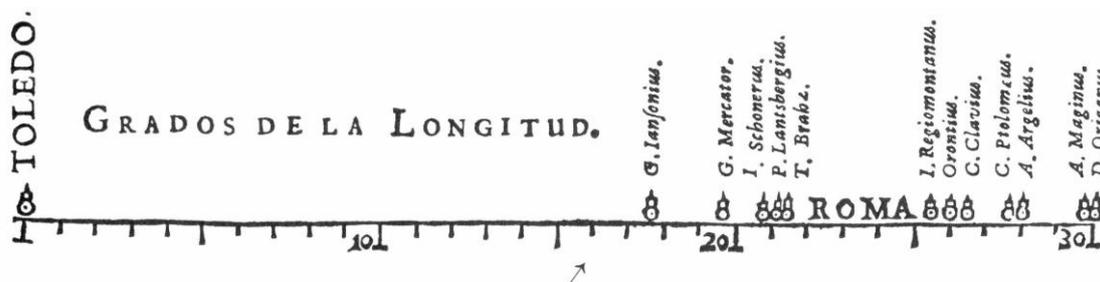
visualização, para além de ser uma construção interna da mente, pode funcionar como uma ferramenta cognitiva, tornando-se um artifício externo de apoio ao processo de tomada de decisão e construção de conhecimento, que utilize e maximize as capacidades perceptivas e cognitivas do ser humano. Isto vem ao encontro ao referido por Stuart Card em [Card, 1999] que define, de forma mais específica, a visualização como sendo “o uso de representações visuais de dados abstratos, suportadas por computador e interativas, para ampliar a cognição”.

Mais do que uma mera observação de dados, a visualização contribui de maneira mais significativa no processo de análise destes. Assim, organizando os dados de forma criteriosa, com o objetivo final da sua visualização, consegue-se adquirir maior informação e possibilitar a construção de novos conhecimentos. De facto, de há uns anos a esta parte, as ferramentas computacionais de visualização têm dado cada vez mais apoio no processo de análise eficiente dos dados considerados. De forma sucinta, estas ferramentas podem prestar apoio em três atividades essenciais [Alexandre, 2007]:

- Análise exploratória – Utilizada quando o utilizador pretende descobrir novos conhecimentos presentes nos dados de forma analítica, procurando, através de um processo visual analítico, indicações sobre tendências particulares e relações que podem conduzir a uma hipótese sobre as mesmas;
- Análise confirmatória – Utilizada para aceitar ou rejeitar a hipótese do utilizador, através de exploração visual;
- Apresentação – Utilizada para representações gráficas e exibição do relacionamento, organização, comportamento e outras características relativas aos dados.

### 3.2 Evolução histórica

A visualização de dados, conceitos ou informação não é algo que tenha surgido na sociedade moderna. Com efeito, as primeiras formas de visualização surgiram na pré-história e a sua evolução tem sido contínua desde então. Começou-se pelos mapas territoriais, seguindo-se os diagramas geométricos, tabelas de posicionamento de estrelas e corpos celestes e mapas que auxiliariam na navegação e exploração do mundo. No século XVI, as técnicas e instrumentos de precisão, para observação e medição de quantidade físicas, tiveram um grande avanço; tanto que podem ser observadas as primeiras tentativas para a representação de funções matemáticas [Alexandre, 2007]. Um exemplo disto é apresentado na Figura 11.



**Figura 11** Gráfico de Langren (1644) que permite obter a distância, em longitude, de Toledo a Roma. A distância correta é  $16^{\circ}30'$  (retirado de [Friendly, 2004]).

A elaboração de uma visão geral e precisa sobre os desenvolvimentos mais recentes na visualização de dados não é uma tarefa fácil, uma vez que os acontecimentos são muito variados e ocorrem em ritmo muito acelerado e numa ampla variedade de disciplinas. Porém, pode-se ressaltar que, na atualidade, os acontecimentos mais significativos em termos de visualização dependeram direta e indiretamente de alguns avanços teóricos e tecnológicos, nomeadamente da extensão dos modelos estatísticos clássicos a domínios mais vastos e do desenvolvimento computacional, o que conduziu a um crescimento explosivo em novos métodos e técnicas de visualização de informação [Friendly, 2004].

### ***3.3 Processo de visualização de dados***

Ao longo do processo evolutivo da visualização percebe-se que em muitos momentos, além das preocupações com o rigor e com a precisão dos dados, a forma estética teve sempre uma especial atenção. De facto, embora por vezes se considere a visualização como uma área de estudo autónoma, esta tem recebido importantes contribuições de outras disciplinas, como ciências da computação, psicologia, semiótica, *design* gráfico, cartografia, artes, entre outras. Porém, apesar de a visualização ser importante em vários domínios do saber, deve ter-se em conta que existe sempre um objetivo comum de referência: o uso da metáfora visual para a representação da estrutura e dos relacionamentos entre os dados [Vande Moere, 2005].

Nesta perspetiva, a tendência atual é que a visualização deve ser enriquecida com princípios de outras áreas relevantes, a fim de desenvolver representações de dados que reforcem a experiência perceptiva e cognitiva, em vez de se focarem unicamente na eficácia métrica. O grande potencial para o futuro próximo está especialmente em ambientes imersivos, onde as informações serão literalmente percebidas através da ativação de todos os sentidos.

Noutro âmbito, o processo de visualização de dados pode ser considerado interpretativo, já que a partir de um determinado conjunto de dados originais, deve ser gerado uma interpretação visual destes. Assim, para a análise de informações relevantes relativas aos mesmos, devem ser usados modelos gráficos e representações visuais de dados, que suportem a interação direta do utilizador com as representações originadas. É aqui que entram as teorias da visualização de dados, visando analisar e explicar a relação entre os dados e as suas visualizações efetivas [Alexandre, 2007].

Em geral, pode-se distinguir as condições de visualização de dados de forma eficaz em condições necessárias e suficientes. Esta distinção está intimamente relacionada com a distinção bem conhecida entre a expressividade e eficácia. Porém, existem duas razões para não usar esta distinção. Em primeiro lugar, o critério de expressividade é definido em relação a uma linguagem gráfica que este projeto pretende ver algo abstraída. De facto, esta linguagem não pode nem deve ter um papel limitador na investigação. Em segundo lugar, o critério de expressividade é considerado satisfeito se e somente se os dados estão representados na estrutura visual e o critério de eficácia é reivindicado como cumprido se o mecanismo do sistema visual humano é tido em consideração. Contudo, o critério de expressividade só faz sentido se as estruturas visuais forem perceptíveis. Isto implica pois que ambos os critérios dependem do sistema visual humano e que a distinção entre expressividade e eficácia não é uma distinção entre condições dependentes ou não de funções perceptivas.

De forma a simplificar o processo de mapeamento e representação visual tendo por base princípios de percepção visual, existem soluções que procuram considerar fundamentos da teoria de informação, de estatística, de *data mining* e de *machine learning* [Stolte, 2003; Synnestvedt, 2005]. Do mesmo modo, a arte e o *design* também vêm acrescentando algumas contribuições positivas a esta questão apesar do problema que ainda existe de "combinar áreas heterogêneas com o objetivo de gerar soluções genéricas e satisfatórias" [Alexandre, 2007]. Por outro lado, considerando a visualização como um processo cognitivo, os sentidos da percepção humana têm um papel importante na área de Visualização Científica e podem melhorar em muito a quantidade e qualidade da informação apresentada através de imagens geradas por computador. A tendência será assim a inclusão de outros sentidos de forma a complementar a análise de dados como o sistema auditivo e o processo de sonificação [Simão, 2007]. De facto, espera-se que esta inclusão possa vir a "ajudar no mapeamento de dados associados a padrões de difícil percepção visual, nomeadamente grandes séries de dados e de multidimensionalidade elevada" [Alexandre, 2007].

Nesta fase, é importante ressaltar que tradicionalmente a visualização é dividida em duas áreas: a visualização de informação e a visualização científica. A visualização de informação envolve dados abstratos que são caracterizados pela falta da noção natural de posição no espaço [Vande Moere, 2005]; por exemplo, dados resultantes de aferições, análise de textos, dados financeiros, entre outros. Deste modo, a visualização de informação difere claramente da visualização científica pois esta envolve dados de natureza física, que carregam intrinsecamente a componente de posicionamento espacial e que permitem a simulação por reprodução gráfica; por exemplo, dados geo-espaciais, imagens médicas, estruturas químicas, entre outros.

Um dos principais desafios da visualização científica centra-se na escolha de uma representação gráfica adequada para os dados e que considere de forma apropriada os princípios da percepção humana. Com efeito, tal não é uma tarefa simples principalmente quando se considera a visualização de dados abstratos. Esta dificuldade em implementar sistemas computacionais para representar dados com base nos princípios da percepção humana, tem levado alguns autores a defenderem que isto nunca será totalmente conseguido [Chen, 2005], pois "existe um grande número de atributos associados aos dados que pretendem valer-se da aplicação concorrente dos princípios da percepção, dificultando assim as representações visuais mais adequadas" [Alexandre, 2007].

### ***3.4 Visualização de dados e Percepção***

Como já referido, os sentidos são a base da percepção humana. Assim, o sistema sensorial humano é constantemente estimulado por um fluxo de acontecimentos que nos envolvem. O resultado é uma excitação neural denominada por sensação. Este fluxo contínuo de sensações desencadeia o que chamamos de percepção. A visualização da informação explora principalmente o sentido humano que possui maior aptidão para captação de informação temporal e já amplamente descrito: a visão.

Porém, considerando a visualização como sendo um processo mental, outros fatores da percepção humana podem também ser usados de forma a contribuir na visualização, auxiliando os processos cognitivos humanos na recuperação da informação contida nas imagens criadas a

partir dos respetivos dados; e muitas vezes ainda na construção e obtenção de novos conhecimentos que não seriam tão facilmente inferidos se esses dados estivessem na sua forma original (dados em bruto) [Alexandre, 2007]. Assim, todos os sentidos da perceção humana desempenham um papel importante na área de visualização e podem e devem melhorar significativamente tanto a qualidade como a quantidade da informação que é apresentada através de imagens [Ware, 2004].

A visualização, para além de condensar os dados, permite gerar novas informações com maior facilidade, mesmo com dados relativamente elementares. De facto, a simples representação de uma tabela de gastos mensais num determinado período, por exemplo, permite que surjam algumas questões relativas a períodos onde ocorreram mais gastos ou a tendências de controlo de despesa. Para responder a estas questões com base apenas numa tabela, existe uma certa dificuldade, mas com gráficos circulares ou de linhas, pode resolver-se este problema de forma simples, para além da possibilidade de se realizarem novas inferências sobre os dados. Por aqui se vê que a visualização de dados, nas suas diversas formas, pode também ser marcada por uma complementaridade de informação que serve suporte ao processo de tomada de decisão.

Alguns trabalhos, como os descritos em [Kosara, 2001], [Healey, 2006] e [House, 2006], permitem constatar que a implementação dos conhecimentos acerca da perceção humana na elaboração dos sistemas de visualização, tende a melhorar consideravelmente os resultados obtidos através das imagens obtidas. Por exemplo, “profundidade de foco” traduz uma determinada distância em que os objetos aparecem realçados para uma posição particular da lente do olho. Por seu lado, os objetos fora deste alcance aparecerão desfocados [Kosara, 2001]. Assim, o efeito de focar pode ser usado para salientar informações e ofuscar as menos relevantes numa análise. Este efeito pode ser implementado para focar objetos que não possuem profundidades necessariamente semelhantes, mas características semelhantes e pertinentes para uma dada análise [Alexandre, 2007].

### **3.5 Modelos da Perceção Visual Humana**

Colin Ware, em [Ware, 2004], faz questão de realçar a aptidão do sistema visual humano para compreender padrões, e por extensão, dados: “Por que devemos estar tão interessados na visualização? Porque o sistema visual humano é um investigador de padrões com enorme poder e acuidade. O olho e o córtex visual do cérebro formam um poderoso centro de processamento paralelo que fornece um canal de banda larga para os processos cognitivos humanos. Nos níveis mais altos de processamento, perceção e cognição estão proximamente relacionadas, e é por isso que as palavras *perceber* e *ver* são sinónimas”.

Algumas das vantagens da visualização usualmente aceites são [Ware, 2004]:

- A visualização possibilita a capacidade de compreender grandes volumes de dados, ficando as informações importantes disponíveis imediatamente;
- A visualização permite a perceção de características que não são antecipadas apenas com os dados originais. Sendo que frequentemente a perceção de um padrão pode ser a base para uma nova visão sobre a temática;
- A visualização permite que problemas relativos aos dados tornem-se imediatamente aparentes. Com uma visualização apropriada os erros ou anomalias presentes nos

dados são rapidamente identificados. Para esta razão, visualizações podem ter um valor inestimável por exemplo em controlo de qualidade;

- A visualização facilita a compreensão de características dos dados quer em grande, quer em pequena escala. Isto pode ser especialmente útil ao permitir a percepção de padrões;
- A visualização facilita a formulação de hipóteses.

Um modelo simplificado do sistema de processamento de informação através da percepção visual é frequentemente útil como ponto de partida para análises mais detalhadas. Já uma visão geral da estrutura que engloba estes subsistemas é de extrema valia para a compreensão de todos os processos envolvidos. Em [Ware, 2004] o referido sistema é dividido em três fases:

1. Processamento paralelo para extrair propriedades de baixo nível da cena visual em causa;
2. Percepção de padrões na imagem formada;
3. Processamento sequencial dirigido.

### **Processamento paralelo**

A informação visual é a primeira a ser processada por biliões de neurónios que trabalham em paralelo para extrair características de cada porção da imagem adquirida da cena visual em causa; sendo que determinados neurónios são dedicados a extrair certas informações como: orientação dos contornos, cor, textura e padrões de movimento. É nesta fase que é determinado a que se deve dar atenção. Assim, nesta fase as informações são essencialmente de natureza transitória [Ware, 2004].

Durante alguns anos, a forma como o sistema visual humano analisa imagens foi tema de investigações. Um dos resultados iniciais mais importantes foi a descoberta de um conjunto de propriedades visuais que são detetadas de forma muito rápida e precisa pelo sistema visual de baixo nível. Esta propriedade foi inicialmente designada por *preattentive*, e é o momento anterior à nossa atenção estar focalizada. Em visualização o termo *preattentive* continua a ser usado e traduz a noção da velocidade e da facilidade com que certas propriedades são identificadas pelos humanos nas representações visuais.

A lista de características que se processam de forma *preattentive* pode ser dividida em quatro categorias básicas: cor, forma, movimento e localização espacial; sendo que dentro de um determinado espaço de visualização, qualquer modificação das características *preattentive* de um objeto em relação aos demais, poderá vir a tornar-se foco de atenção [Healey, 1999].

### **Percepção de Padrões**

Na segunda etapa, processos ativos dividem rapidamente o campo visual em regiões e padrões simples, tais como contornos contínuos, regiões da mesma cor e regiões da mesma textura. Os padrões de movimento são também extremamente importantes, embora na visualização o uso de movimento como informação é relativamente descurado. A etapa de determinação de padrões no processamento visual é extremamente flexível e influenciada pelas informações disponibilizadas pela primeira etapa de processamento paralelo.

Nesta segunda etapa o processamento é mais lento e envolve: memória a longo prazo, com maior ênfase a aspectos proeminentes, mecanismo de atenção tanto *top-down* quanto *bottom-up* e movimentos visualmente guiados, através de diferentes caminhos, para reconhecimento de objetos [Ware, 2004].

### Processamento Sequencial Dirigido

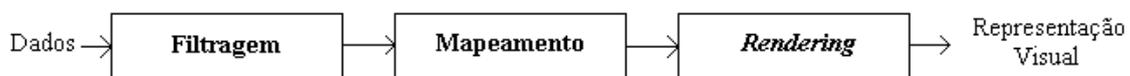
Num nível mais elevado da percepção estão as imagens presentes na memória visual através da procura da atenção ativa, e será esta memória que ajudará a responder a pesquisas visuais.

Quando da visualização externa, o ser humano constrói uma sequência de pesquisas visuais que são respondidas por estratégias visuais de procura. Neste nível, o que está retido na memória por um determinado período de tempo permitirá a construção de padrões, através dos já disponíveis, e respostas a pesquisas visuais. Por exemplo, ao se usar um mapa de estrada para procurar uma determinada rota, a pesquisa visual desencadeará uma procura para ligar contornos vermelhos (que habitualmente representa vias importantes) entre dois símbolos visuais (representando as cidades pretendidas) [Ware, 2004].

Esta etapa serve também de interface com outros processos de identificação perceptivos e com outros sistemas de ação que controlam, por exemplo, o movimento muscular; sendo esta fase também essencial, por exemplo, para que nos seja possível a leitura e a escrita.

### 3.6 Modelo de referência para visualização de dados

Um modelo de referência de visualização visa permitir a identificação dos componentes essenciais a serem considerados na utilização de uma determinada técnica ou no desenvolvimento de uma nova. Haber e McNabb, em [Haber, 1990], propuseram um esquemasimples (Figura 12), onde *dados* são *filtrados* e *mapeados* para uma representação geométrica, a qual, finalmente, passa por um processo de geração de imagem (*rendering*). Outros autores propuseram modelos alternativos, mais detalhados onde está explicitamente representado o estado dos dados. O modelo de Chi e Riedl [Chi, 1998], por exemplo, separa a estruturação dos dados, obtida através de uma transformação, da representação a ser utilizada para a geração da imagem [Freitas, 2001].



**Figura 12** Modelo clássico de visualização de Haber e McNabb (retirado de [Freitas, 2001]).

Stuart Card em [Card, 1999], descreve visualização como uma sequência de mapeamentos “ajustáveis” de dados para uma representação visual de modo a possibilitar interação do utilizador com o espaço de informação, materializando o que foi denominado por cristalização do conhecimento. Assim, segundo o modelo de referência para visualização apresentado por Card, no processo de visualização destacam-se três fases essenciais:

1. preparação dos dados (ou pré-processamento);
2. mapeamento;
3. transformação visual (*rendering*).

Na fase de preparação, ocorre a entrada de dados em bruto que, após algumas operações de formatação e/ou normalização, devem estar na sua saída organizados numa representação estruturada e coerente como, por exemplo, tabelas. Além da transformação inicial dos dados em bruto em descrições relacionais, podem ser aplicadas novas transformações, quer para agregar novos dados ao conjunto inicial, como calcular grandezas estatísticas, quer para converter os dados originais para outros tipos ou reorganizar o conjunto de dados, classificando-o, por exemplo.

Na fase de mapeamento, existe a associação entre os dados e suas representações gráficas. Assim, um sistema visual que suporte os dados já formatados é usado na fase de *rendering*, concebendo uma imagem de visualização dos dados abrangidos. Desta forma, pode-se afirmar que o mapeamento é tido como essencial na Visualização Científica. De facto, nesta fase devem-se indicar quais os requisitos em relação à percepção visual que deverão ser observados, e ainda quais os que poderão ser intensificados de forma propositada [Alexandre, 2007]. O objetivo é pois facilitar a compreensão dos dados ou revelar novas informações acerca destes.

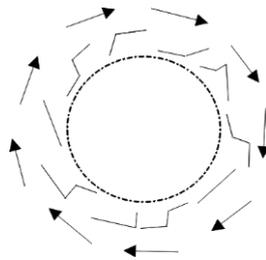
A última fase, ou seja, a escolha de uma representação gráfica ajustada aos dados e que considere adequadamente os princípios da percepção humana, não é uma tarefa simples, e consiste ainda hoje num dos principais desafios da Visualização Científica. Isto nota-se de sobremaneira, na visualização de dados abstratos, que são caracterizados pela falta da noção natural de posicionamento espacial [Vande Moere, 2005]. Esta dificuldade em implementar computacionalmente uma representação de dados baseada em princípios da percepção humana, leva alguns investigadores, como Chen em [Chen, 2005], a concluir que isto pode nunca ser totalmente conseguido, uma vez que existe um grande número de atributos associados aos dados que pretendem valer-se da aplicação concorrente dos princípios da percepção, dificultando assim representações visuais mais eficientes.

## 4. Técnicas de Visualização

Nesta secção são descritas de forma sucinta algumas técnicas de visualização que representaram avanços significativos nesta temática, bem como as mais recentes que demonstram toda a expansão que esta área de conhecimento tem exibido.

### 4.1 Visualização de atributos

De uma maneira geral, os atributos e características de um determinado objeto são apresentados em gráficos e/ou mapas dos mais diversos tipos, desde os tradicionais gráficos de pontos ou linhas com cores, a conjuntos de ícones, ou *glifos*, dispostos de acordo com o domínio espacial. Os ícones em geral são utilizados para identificar uma entidade ou elemento amostrado num contexto, representando na maioria das vezes a característica principal dessa entidade ou amostra. Já a denominação *glifo* é utilizada para denominar um objeto geométrico que, representando uma entidade ou elemento de amostragem, tem a forma e outros atributos visuais determinados pelos valores dos atributos dessa mesma entidade [Freitas, 2001]. Um exemplo recente da utilização de *glifos* [Chuah, 1998] utiliza um esquema que representa valores associados a variáveis medidas no ciclo de vida de um sistema computacional (Figura 13).



**Figura 13** *Glifo* utilizado para a visualização da variação de medidas relacionadas com o desenvolvimento de um sistema computacional (retirado de [Chuah, 1998]).

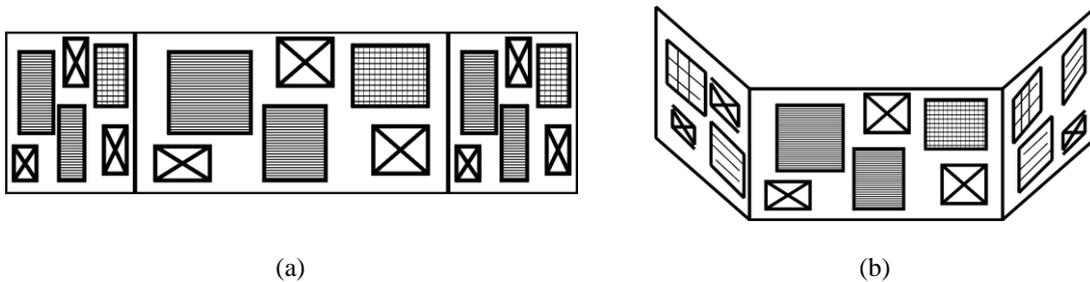
Na Figura 13, o ícone corresponde às linhas irregulares dispostas circularmente que são, na realidade, um gráfico de linhas mostrando a variação de determinados valores ao longo do tempo (indicado pelas setas). Exemplos de tais valores são o número de linhas de código do sistema, o número de linhas removidas ou o número de erros detetados. Assim, sistemas estáveis têm as linhas mais horizontais do que sistemas que sofrem contínuas alterações [Freitas, 2001].

### 4.2 Visualização de estruturas e relações

Os conjuntos de dados ou elementos que possuem uma organização do tipo hierárquico, como diretórios de arquivos, ou que apresentam variadas relações como documentos num *site*, são muito utilizados na demonstração de técnicas de visualização [Freitas, 2001; Mackinlay, 1991]. Da revisão da literatura percebe-se também que muitos dos conceitos utilizados hoje em dia surgiram de técnicas que, na realidade, visavam apresentar documentos estruturados, isto é, arquivos sequenciais mas com organização hierárquica, como a *Fisheye View* modelo criado por Furnas em [Furnas, 1999], e a *Bifocal Display*, de Spence e Apperley descrita em [Spence, 1982].

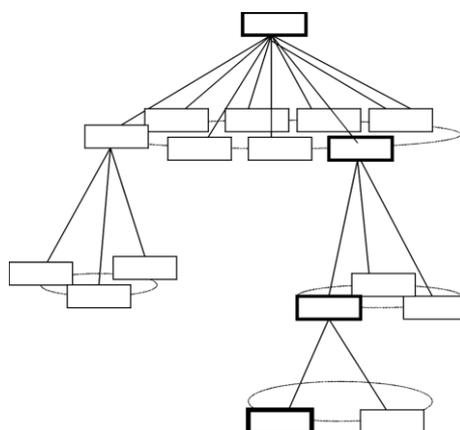
Na técnica *Bifocal Display* [Spence, 1982], os itens de informação (documentos, figuras e gráficos) são apresentados em três áreas distintas, sendo a central destinada à informação em

destaque, e as outras informações mais genéricas apresentadas nas zonas laterais da região em foco. A parte central ocupa assim uma área maior que as laterais, que são preenchidas pela informação contextual sendo esta exibida de forma algo distorcida [Freitas, 2001]. Esta distorção é efetuada geralmente no eixo das abcissas, podendo contudo também ser aplicada no eixo das ordenadas (Figura 14a). O mesmo conceito foi utilizado de forma alterada por Mackinlay [Mackinlay, 1991] na *Perspective Wall* (Figura 14b), onde o espaço de informação é mapeado para uma "parede", contendo as laterais a informação contextual.



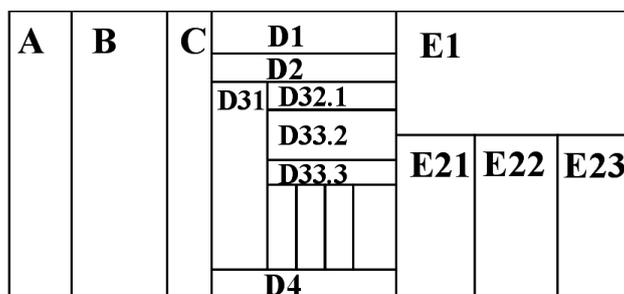
**Figura 14** Representação visual na técnica: (a) *Bifocal Display*; (b) *Perspective Wall* (retirado de [Freitas, 2001]).

Noutro âmbito, a técnica *Cone Tree* [Robertson, 1991] utiliza uma representação tridimensional de informações hierárquicas na qual o elemento raiz de uma árvore, representado por um retângulo, é localizado no vértice de um cone transparente, estando todos os seus "filhos" dispostos na base circular do cone (Figura 15). Os cones apresentam a mesma altura para cada nível da árvore mas os seus diâmetros são reduzidos de um nível para outro, de modo a que toda a estrutura seja visível na área disponível do ecrã. O objetivo desta técnica é pois apresentar uma estrutura na qual uma hierarquia inteira ou uma grande parte desta seja visível sem necessidade de *scrolling*, permitindo contudo a supressão ou exibição de alguns elementos diferentes durante a navegação. Alguns recursos computacionais como a rotação, a animação e o *zoom* permitem um acesso rápido às informações, com uma boa orientação para visualização [Freitas, 2001].



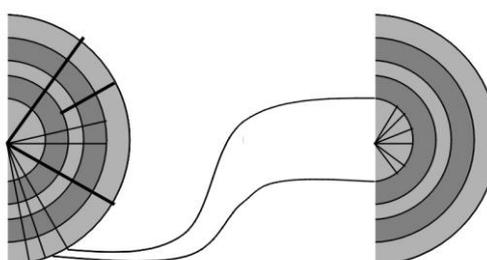
**Figura 15** Esquema básico da técnica *Cone Tree* (retirado de [Freitas, 2001]).

Uma abordagem diferente, conhecida como *space-filling* [Freitas, 2001], usa o espaço do ecrã para representar a informação, ao invés de utilizar objetos geométricos. Esta abordagem foi adotada por Johnson e Shneiderman aquando do desenvolvimento da técnica *Tree-Maps*[Johnson, 1991]. Nesta técnica (Figura 16), uma estrutura hierárquica, como a árvore de diretórios um sistema, é representada pela subdivisão sucessiva do espaço do ecrã. Deste modo, cada “subespaço” representa um diretório e é subdividido em função dos subdiretórios e arquivos que o constituem.



**Figura 16** Esquema da técnica *Tree-Maps* (retirado de [Johnson, 1991]).

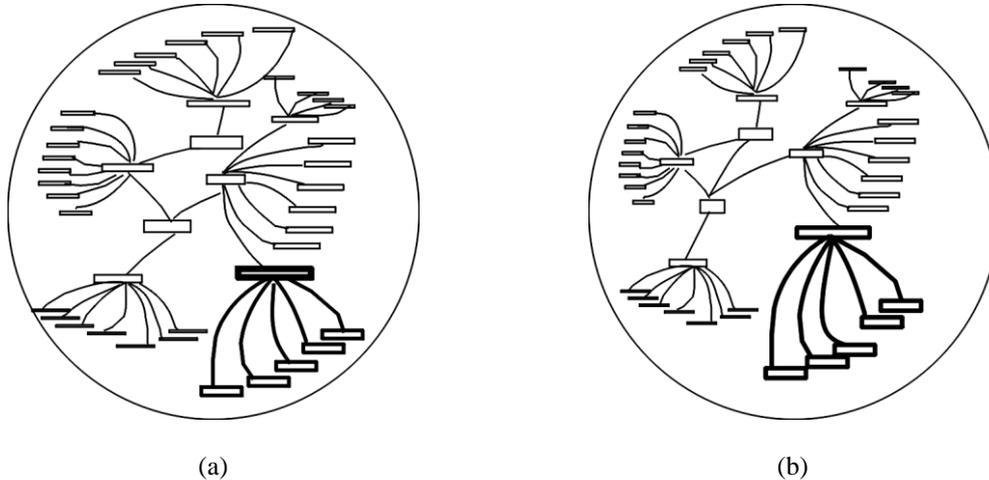
A técnica *Information Slices* [Andrews, 1998], originada a partir da abordagem referida acima, utiliza um ou mais discos semicirculares (Figura 17) para visualizar hierarquias com vários níveis em duas dimensões de forma compacta [Andrews, 1998]. Assim, cada disco representa uma hierarquia com múltiplos níveis (geralmente em cada disco são visualizados entre 5 e 10 níveis). Em cada nível da hierarquia, os “filhos” são dispostos no espaço de acordo com o seu tamanho. Assim, grandes hierarquias são representadas usando uma série de discos em cascata. Nesta técnica, uma fatia do disco semicircular é expandida para uma área à direita da primeira, também como um semicírculo. Para exibir mais do que dois níveis de uma hierarquia, os de ordem superior são representados por ícones [Freitas, 2001]. Na interface do sistema *Sunburst* [Stasko, 2000], Stasko e Zhang usam discos completos, seguindo contudo o mesmo conceito da técnica *Information Slices*.



**Figura 17***Information Slices* (retirado de [Andrews, 1998]).

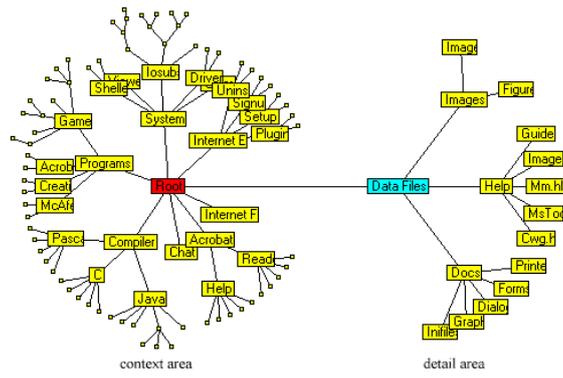
O conjunto de técnicas para a representação de grafos e árvores através de diagramas de *nodos* (pontos de interconexão com uma estrutura ou rede) e arestas mereceu uma atenção cuidada por parte Herman em [Herman, 2000]. Aqui destaca-se uma das técnicas que significou na altura um avanço considerável em termos de apresentação e navegação, a técnica *Hyperbolic Tree* [Lamping, 1996] (Figura 18). Esta técnica representa hierarquias através de um *layout* radial disposto num plano hiperbólico e depois mapeado num disco de duas dimensões. Para além disto, esta técnica apresenta aspetos de construção como o efeito

*fisheye* [Furnas, 1999] aliados a um mecanismo simples de navegação através da indicação de um *nodo* de interesse, que é exibido no centro da representação, em detalhe, sendo a área de contexto mantido pela exibição do restante do diagrama com *nodos* que vão diminuindo de tamanho até serem omissos na borda do círculo [Freitas, 2001]. Uma extensão para 3D desta técnica foi apresentada em [Munzner, 1997].



**Figura 18** Representação utilizada no *browser hiperbólico*: (a) árvore com *nodo* seleccionado; (b) deslocamento do *nodo* seleccionado para a esquerda (retirado de [Lamping, 1996]).

Algumas características da abordagem hiperbólica e da *space-filling* foram utilizadas numa técnica proposta mais recentemente [Cava, 2001]. Nesta técnica uma hierarquia é exibida através de um diagrama composto por duas áreas conexas: uma área de contexto e uma área de detalhe (Figura 19). Inicialmente, a raiz da hierarquia está em destaque na área de detalhe, não havendo qualquer diagrama na área de contexto. Porém, quando um *nodo* é seleccionado, este passa a ser o destaque na área de detalhe e o seu "*nodo* pai" passa a ser o destaque na área de contexto. Estes destaques ou focos definem áreas circulares e são separados por uma distância calculada de forma arbitrária. Desta forma, é permitido ao utilizador uma visão detalhada da "*subárvore*" que contém o *nodo* de interesse sem que a percepção da hierarquia completa seja perdida. O efeito *fisheye* é obtido através do cálculo do tamanho dos *nodos* e da distância do centro do *nodo* aos focos. Para além disto, *nodos* mais distantes dos focos são menos detalhados que os mais próximos, sendo os *nodos* representados por retângulos dispostos de forma radial com os focos nos centros das estruturas. Diversas operações como expansão, *pruning* (poda) e seleção são disponibilizadas por esta técnica, sendo realizadas mantendo a "*subárvore*" sempre visível, o que reduz a sensação de alguma perda de contexto [Freitas, 2001].



**Figura 19** Técnica para informações hierárquicas com dois focos (retirado de [Cava, 2001]).

## 5. Estado da Arte

Basicamente, “visualização” significa construir uma imagem visual na mente humana, e isto é mais do que uma representação gráfica de dados ou conceitos [Alexandre, 2010]. Card em [Card, 1999] define-se “visualização” mais especificamente como sendo o uso de representações visuais, suportadas por computador e interativas de dados abstratos para ampliar a cognição. Destas definições pode-se reter que a visualização pode funcionar como uma ferramenta cognitiva para a construção de conhecimento utilizando as capacidades perceptivas e cognitivas humanas [Eick, 2005]. Em termos da percepção, as representações de dados devem considerar as propriedades do sistema visual humano [Ware, 2004]. Assim, bons conhecimentos teóricos cientificamente testados são fundamentais para ferramentas de visualização e análise de dados eficientes [Synnestvedt, 2005].

O desenvolvimento de técnicas de visualização tem sido, por norma, baseado em implementações experimentais avaliadas de forma empírica e isolada [Herman, 2000; Stasko, 2000]. Apesar da existência de diretrizes clássicas [Tufte, 2001], e uma constante preocupação com aspetos relacionados com a interação homem-computador, alguns elementos das representações visuais podem tornar-se problemáticos se não forem definidos mecanismos de interação para minimizar o seu impacto no processo de percepção. Assim, aspetos como a oclusão de objetos, a desordem visual e a desorientação visual dificultam a interpretação da informação [Freitas, 2001].

Com efeito, a *oclusão* ocorre quando existe um grande volume de dados e alguns se sobrepõem a outros [Lester, 2009]. Já a *desordem visual* decorre da dificuldade de reconhecimento e interpretação de muitos elementos presentes na visualização, forçando assim a uma sobrecarga no sistema cognitivo. Para resolver tais dificuldades, algumas técnicas [Cockburn, 2000] utilizam características de realismo, tais como sombra e transparência, tornando a localização dos objetos mais clara. Podem ser ainda proporcionados mecanismos básicos de manipulação geométrica como rotação, mudança de escala e translação. Outras técnicas podem apresentar o problema de *desorientação visual*, que ocorre quando o utilizador tem dificuldade em manter a sua atenção focalizada aquando da troca do ponto de vista e/ou retorno a situações anteriores [Furnas, 1999]. Técnicas *foco+contexto* tentam minimizar a desorientação evitando que informações desapareçam e apresentando ao mesmo tempo transições suaves e animadas entre dois momentos no processo interativo [Freitas, 2001; Lamping, 1996].

Sintetizando, é inegável que a percepção desempenha um papel de grande importância na eficácia do processo de visualização de dados. Contudo, contornar o problema da integração de requisitos da percepção na visualização exige cada vez mais esforços de diferentes áreas. De facto, quando a quantidade de dados se torna de elevada dimensão e com multiplicidade de atributos, o seu mapeamento computacional tendo em vista uma visualização adequada é bastante complexo [Healey, 2008; Stolte, 2003].

Neste âmbito, trabalhos recentes em percepção e cognição, com base no *design*, têm vindo a produzir novas soluções para a visualização [Tory, 2004; Vande Moere, 2009]. Exemplos específicos incluem maneiras de melhorar a percepção da forma 3D, técnicas para que

exista uma mais fácil distinção de objetos em destaque, novos métodos de interação, processamento mais rápido para melhor interatividade e métodos de redução do uso de memória.

Como muitas das pesquisas ainda não atingiram o seu pleno potencial, o futuro é promissor. Adicionalmente, muitos tópicos de *design* baseados em fatores humanos ainda não foram totalmente explorados, pois grande parte das metodologias atuais para a elaboração de sistemas de visualização revela-se informal e *ad hoc*. Desta forma, desenvolver métodos rápidos de prototipagem e avaliação, especificamente para a visualização, pode diminuir significativamente o tempo e o esforço investidos em projetos ineficazes e acelerar o progresso para visualizações eficazes [Bladh, 2005; Brath, 2010; Tory, 2004; Yang-Peláez, 2000].

## 6. Proposta de trabalho

### 6.1 *Motivação e objetivos*

Um dos objetivos essenciais deste trabalho visa tentar dar resposta à questão: “Quais são as principais teorias da percepção humana passíveis de serem consideradas na visualização de dados e que influenciam a sua compreensão?”. Para além disto, esta Tese é motivada pelo atual interesse na visualização de informação e nas linhas de investigação que vêm explorando a representação de dados através de princípios da percepção que facilitam o processo cognitivo de análise das informações envolvidas. Outro dos principais intuitos é auxiliar o utilizador no processo de descoberta de novas informações ou padrões de dados que de outra forma não seriam facilmente detetados e apreendidos.

No que concerne a objetivos científicos, com esta Tese pretende-se:

- Identificar e estudar as principais teorias da percepção humana passíveis de serem implementadas para a visualização e análise de dados complexos e de elevada dimensão;
- Implementar um sistema computacional de visualização e análise de grandes volumes de dados apoiado nas teorias previamente identificadas;
- Avaliar o sistema desenvolvido com a utilização casos experimentais previamente identificados;
- Estudar a integração de aspetos como a localização geo-espacial e redes de dispositivos inteligentes com outras formas de visualização para maximizar a interação contínua, bem como a utilização simultânea;
- Providenciar apoio tecnológico para o processo de *sensemaking*, nomeadamente para sistemas colaborativos;
- Aplicar a visualização de dados no domínio da análise preditiva através do uso de modelos preditivos de interação visual;
- Providenciar a integração de algoritmos de *data mining* para encontrar padrões significativos com a visualização de dados, fornecendo uma melhor maneira de analisar e explorar esses padrões;
- Otimizar interfaces em diferentes dispositivos inteligentes, em particular nos novos dispositivos móveis *smartphones* e *tablet pc's*, para interagirem com visualizações de dados de uma forma mais rápida e eficaz, usando princípios da interação homem-computador.

### 6.2 *Descrição detalhada*

Uma das grandes relevâncias da visualização de dados é a capacidade do ser humano em processar informação visual muito mais rapidamente do que informação verbal. Neste âmbito, há a destacar o processamento visual pré-atentivo; ou seja, tudo o que ocorre no cérebro automaticamente antes da percepção consciente. Este processo é composto por várias etapas, sendo cada uma delas tratada por neurónios especializados que estão adaptados para detetar atributos particulares da informação visual contida na luz que reflete da superfície dos objetos. Estes atributos básicos, tais como de diferenças de comprimento, tamanho, tonalidade, intensidade da cor, ângulo, textura, forma, e assim por diante, serão estudados de forma a serem utilizados como blocos de construção da visualização de dados. Quando se consegue

realizar este trabalho de uma forma eficaz, tem-se a capacidade de transferir grande parte do trabalho que é necessário para decodificar o conteúdo da apresentação visual (por exemplo um gráfico) da lenta consciência para as partes mais rápidas do cérebro que necessitam de menos energia para processar informação. Este processo deverá resultar assim numa cognição mais eficiente, o que tentará ser demonstrado com o presente projeto.

Noutro âmbito, será estudada com especial incidência a atenção e memória, tendo em conta que a capacidade humana em memorizar simultaneamente vários itens na consciência é surpreendentemente limitada. Este reconhecimento tem levado o ser humano a aumentar a atenção e a memória, baseando-se em formas externas de armazenamento de dados e informação. Uma das formas mais poderosas de o conseguir é codificando a informação visual, o que permite que mais informações sejam armazenadas juntas no espaço limitado disponível na memória de trabalho. Outro método é colocar várias vistas da informação em frente dos olhos ao mesmo tempo, alargando assim a capacidade em se explorar dados multidimensionais e de múltiplas perspetivas. Desta forma, com este projeto serão efetuadas comparações e definidas conexões a um grau que seria impossível se fosse necessário analisar essas vistas uma de cada vez, devido aos limites da memória de trabalho.

Em resumo, boas técnicas de visualização de dados e tecnologias bem utilizadas podem estender o pensamento para novos domínios de *sensemaking* analíticos, sendo o futuro bastante promissor uma vez que esta área encontra-se ainda numa fase embrionária de investigação.

Assim, este projeto de Doutoramento apresenta três etapas principais a seguir para um desenvolvimento profícuo na procura de soluções de visualização mais eficientes e amigáveis, nomeadamente:

1. *Revisão bibliográfica*: nesta fase será realizada uma adequada revisão bibliográfica que considere os conceitos da área da Visualização, da perceção humana e do desenvolvimento de interfaces homem-máquina. Também será verificado o atual estado dos trabalhos de investigação que envolvem a visualização de dados, ressaltando as técnicas e métodos que permitam a análises de grandes volumes de dados e identificando os principais projetos existentes que abrangem a ergonomia e perceção humana. Assim, com vista a compreender adequadamente os problemas da visualização de informação, o enquadramento teórico será dividido em três grandes eixos de pesquisa. O primeiro destes eixos será, naturalmente, a área da perceção humana. Através da análise dos mecanismos e fenómenos da perceção visual, será possível estabelecer os fundamentos de carácter fisiológico ao argumento deste projeto. Ainda neste eixo de pesquisa, e tendo em conta a própria natureza dos processos perceptivos, serão estudados fatores dos domínios da atenção e da memória; concretamente, as questões da seletividade e capacidade visuais. O segundo eixo de investigação procurará 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, incidirá no domínio dos princípios da interação homem-computador onde se procurará estabelecer uma relação com os outros dois eixos.

2. *Desenvolvimento de metodologias*: serão desenvolvidas novas técnicas, metodologias e modelos que maximizem a eficiência da visualização computacional de dados de elevada complexidade e dimensão bem como facilitem a sua compreensão e a descoberta de informações mais avançadas. Para tal, as soluções consideradas deverão maximizar os princípios da percepção humana, em particular de visão, de audição e do tato, *com especial incidência nos mecanismos e limitações da atenção e memória*.
3. *Desenvolvimento*: há inúmeros casos de domínios do conhecimento nos quais a quantidade de dados existente é elevada, o que impossibilita uma análise direta, requerendo assim técnicas, métodos e recursos computacionais capazes de simplificar a análise e a representação dos referidos dados. Os casos/cenários a considerar experimentalmente serão escolhidos de áreas de conhecimento que se caracterizem pela elevada complexidade e grande quantidade de dados e pela real necessidade de representar eficientemente tais dados de forma visual. Nestes cenários, adequadas interfaces de visualização irão contribuir significativamente para uma melhor compreensão dos dados envolvidos, e possível descoberta de padrões que possam estar ocultos, gerando possíveis novas informações. Além disso, permitirá uma melhor apresentação dos dados de forma a facilitar a sua utilização, nomeadamente nos novos dispositivos móveis inteligentes, como *smartphones* e *tablet pc's*. Todas as soluções desenvolvidas serão devidamente testadas e avaliadas nos casos experimentais considerados, quer através de questionários, quer por meio de entrevistas e da análise comportamental dos seus utilizadores.

## Referências

- [Alexandre, 2007] – Alexandre, D.S. and Tavares, J.M.R.S.  
“Fatores da Percepção Visual Humana na Visualização de Dados”, Congresso de Métodos Numéricos em Engenharia (CMNE) / XXVIII CILAMCE - Congresso Ibero Latino-Americano sobre Métodos Computacionais em Engenharia, Porto, Portugal, 2007
- [Alexandre, 2010] – Alexandre, D.S and Tavares, J.M.R.S.  
“Introduction of Human Perception in Visualization”, International Journal of Imaging, 4(A10):60-70, 2010
- [Andrews, 1998] – Andrews, K. and Heidegger, H.  
“Information Slices: Visualization and Exploring Large Hierarchies using Cascading, Semi-Circular Discs”, Proceedings IEEE Symposium on Information Visualization(InfoVis'98), 1998
- [Biederman, 1973] – Biederman, I., Glass A.L. and Stacy, E.W., Jr.  
"Searching for objects in real-world scenes", Journal of Experimental Psychology 97(1):22-27, 1973
- [Biederman, 1987] – Biederman, I.  
“Recognition-by-components: A theory of human image understanding”, Psychological Review 94(2):115-147, 1987
- [Bladh, 2005] – Bladh, T., Carr, D.A. and Kljun, M.  
“The Effect of Animated Transitions on User Navigation in 3D Tree-Maps”, 9th International Conference on Information Visualization (IV 2005), pp. 297-305, 2005
- [Brath, 2010] – Brath, R.  
“Multiple Shape Attributes in Information Visualization: Guidance from Prior Art and Experiments”, Information Visualisation (IV), 2010 14th International Conference, pp. 433-438, 2010
- [Bridgeman, 1991] – Bridgeman, B. and Stark, L.  
“Ocular proprioception and efference copy in registering visual directions”, Vision Research 31(11):1903-1913, 1991
- [Card, 1999] – Card, S.K., Mackinlay, J. and Shneiderman, B.  
“Readings in Information Visualization: using vision to think”, Morgan Kaufmann Publishers, 1999
- [Cava, 2001] – Cava, R.A. and Freitas, C.M.D.S.  
“Node-Edge Diagram Layout for Displayng Hierarchies”, Simpósio Brasileiro de Computação Gráfica e Processamento de Imagens, Santa Catarina, 2001
- [Chen, 2005] – Chen, C.  
“Top 10 unsolved information visualization problems”, IEEE Computer Graphics and Applications 25(4):12-16, 2005

**[Chi, 1998]** – *Chi, E.H. and Riedl, J.T.*

“An Operator Interaction Framework for Visualization Spreadsheets”, Proceedings IEEE Symposium on Information Visualization(InfoVis'98), 1998

**[Chuah, 1998]** – *Chuah, M.C. and Eick, S.G.*

“Information Rich Glyphs for Software Management Data”, IEEE Computer Graphics and Applications,**18**(4):24-29, 1998

**[Cockburn, 2000]** – *Cockburn, A. and McKenzie, B.*

“An Evaluation of Cone Trees”, People and Computers XIV: British Computer Society Conference on Human Computer Interaction 2000, pp. 425-436, Springer-Verlag, 2000

**[Eick, 2005]** – *Eick, S.G.*

“Information Visualization at 10”, IEEE Computer Graphics and Applications, **25**(1):12-14, 2005

**[Eysenck, 2005]** – *Eysenck, M.W. and Keane M.T.*

"Cognitive Psychology: a Student's Handbook", 5th Ed., Hove and New York, Psychology Press, 2005

**[Freitas, 2001]** – *Freitas, C., Chubachi, O., Luzzardi, P. and Cava, R.*

“Introdução à Visualização de Informações”, Revista de Informática Teórica e Aplicada (RITA) **8**(2):143-158, 2001

**[Friendly, 2004]** – *Friendly, M.*

“Milestones in the history of data visualization: A case study in statistical historiography”, Studies in Classification, Data Analysis, and Knowledge Organization, New York: Springer, pp. 34-52, 2004

**[Furnas, 1999]** – *Furnas, G.W.*

“The FishEye View: A New Look at Structured Files”, Murray Hill, NJ: AT&T Bell Laboratories, Reprinted in Card, S.K.; Mackinlay, J.D.; Shneiderman, B. (eds.) Readings in Information Visualization – Using Vision to Think, Morgan Kaufmann, San Francisco, CA, pp. 312-330, 1999

**[Gallagher, 2003]** – *Gallagher, M. and Nelson, R.J.*

“Biological Psychology, Handbook of Psychology”, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2003

**[Gibson, 1950]** – *Gibson, J.J.*

“The perception of the visual world”, Boston: Houghton Mifflin, 1950

**[Gibson, 1986]** – *Gibson, J.J.*

“The Ecological Approach to Visual Perception”, Lawrence Erlbaum Associates Inc, US, 1986

**[Gleitman, 2004]** – *Gleitman, H., Fridlund, A.J. and Reisberg, D.*

“Psychology”, 6th Ed., New York, 2004

**[Goldstein, 2001]** – *Goldstein, E. B.*

“Blackwell Handbook of Perception”, Oxford, Blackwell Publishers Ltd, 2001

**[Goldstein, 2007]** – *Goldstein, E. B.*

“Sensation and Perception”, 7th Ed., Belmont: Wadsworth Publishing, 2007

**[Haber, 1990]** – *Haber, R.B. and McNabb, D.A.*

“Visualization Idioms: A conceptual model for scientific visualization systems”, Visualization in Scientific Computing, Nielson, G.M., Shriver, B. and Rosenblum, L.J. (eds.), IEEE Computer Society Press, 1990

**[Healey, 1999]** – *Healey, C.G.*

“Fundamental Issues of Visual Perception for Effective Image Generation”, SIGGRAPH 99 Course 6: Fundamental Issues of Visual Perception for Effective Image Generation, Los Angeles, pp. 1-42, 1999

**[Healey, 2000]** – *Healey, C.G.*

“Building a Perceptual Visualisation Architecture”, Behaviour & Information Technology **19**(5):349-366, 2000

**[Healey, 2006]** – *Healey, C.G., Tateosian, L.G. and Dennis, B.M.*

“Stevens Dot Patterns for 2D Flow Visualization”, Third International Symposium on Applied Perception in Graphics and Visualization, Boston, 2006

**[Healey, 2008]** – *Healey, C.G., Kocherlakota, S., Rao, V., Mehta, R. and Amant, R. St.*

“Visual Perception and Mixed-Initiative Interaction For Assisted Visualization Design”, Transactions on Visualization and Computer Graphics, **14**(2):396-411, 2008

**[Healy, 2003]** – *Healy, A.F. and Proctor, R.W.*

“Experimental Psychology, Handbook of Psychology”, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2003

**[Helmholtz, 2005]** – *Helmholtz, H. and Southall, J.P.C.*

“Treatise on physiological optics”, Mineola, NY: Dover Publications, 2005

**[Herman, 2000]** – *Herman, I., Melançon, G. and Marshall, M.S.*

“Graph Visualization and Navigation in Information Visualization: A Survey”, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, **6**(1):24-42, 2000

**[House, 2006]** – *House, D. H., Bair, A.S. and Ware, C.*

“An Approach to the Perceptual Optimization of Complex Visualizations”, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics **12**(4):509-521, 2006

**[Infopédia]** – “Infopédia - Dicionário de Língua Portuguesa”, <http://www.infopedia.pt/>, (acesso em 01/2011)

- [Johnson, 1991]** – *Johnson, B. and Shneiderman, B.*  
"TreeMaps: A space-filling approach to the visualization of hierarchical information structures", Proceedings of IEEE Visualization, San Diego, pp. 284-291, 1991
- [Julesz, 1978]** – *Julesz, B.*  
"Perceptual limits of texture discrimination and their implications to figure-ground separation", In Leeuwenberg, E. and Buffart, H. (eds.), Formal theories of perception, pp. 205-16, New York: Wiley, 1978
- [Kellman, 1991]** – *Kellman, P.J. and Shipley, T.F.*  
"A theory of visual interpolation in object perception", Cognitive Psychology **23**(2):141-221, 1991
- [Koffka, 1922]** – *Koffka, K.*  
"Perception: An introduction to the Gestalt-theorie", Psychological Bulletin **19**: 531-585, 1922
- [Kosara, 2001]** – *Kosara, R., Miksch, S. and Hauser, H.*  
"Semantic Depth of Field", Proceedings IEEE Symposium on Information Visualization, San Diego, CA, pp. 97-104, 2001
- [Lamping, 1996]** – *Lamping J. and Rao, R.*  
"The hyperbolic browser: a focus+context technique for visualizing large hierarchies", Journal of Visual Languages and Computing **7**(1): 33-55, 1996
- [Lester, 2009]** – *Lester, B.D., Hecht, L.N. and Vecera, S.P.*  
"Visual prior entry for foreground figures", Psychonomic Bulletin & Review, **16**(4):654-659, 2009
- [Mackinlay, 1991]** – *Mackinlay, J.D., Robertson, G.G., and Card, S K.*  
"The Perspective Wall: Detail and Context Smoothly Integrated", Proceedings of the ACM CHI'91 Human Factors in Computing Systems Conference, pp. 173-179, 1991
- [Milner, 1998]** – *Milner, A.D.*  
"Neuropsychological studies of perception and visuomotor control", Philosophical Transactions of the Royal Society: Biological Sciences **353**(1373):1375-1384, 1998
- [Munzner, 1997]** – *Munzner, T.*  
"H3: Laying Out Large Directed Graphs in 3D Hyperbolic Space", Proceedings IEEE Symposium on Information Visualization, pp. 2-10, 1997
- [Oxford]** – "The New Shorter Oxford English Dictionary", Vol.2, New York: Oxford University Press, 1999
- [Palmer, 1999]** – *Palmer, S.E.*  
"Vision Science: Photons to Phenomenology", MIT Press, 1999

- [Penrose, 1958]** – *Penrose, L.S. and Penrose, R.*  
“Impossible objects: A special type of visual illusion”, *British Journal of Psychology* **49**:31-33, 1958
- [Ramachandran, 2002]** – *Ramachandran, V.S.*  
“Encyclopedia of the Human Brain”, Academic Press, 2002
- [Robertson, 1991]** – *Robertson, G., Card, S. and Mackinlay, J.*  
“Cone Trees: Animated 3D Visualizations of Hierarchical Information”, *Proceedings of the ACM CHI’91 Human Factors in Computing Systems Conference*, pp. 189-194, 1991
- [Selfridge, 1955]** – *Selfridge, O.G.*  
“Pattern recognition and modern computers”, *Proceedings of Western Joint Computer Conference*, Los Angeles, California, 1955
- [Simão, 2007]** – *Simão, J. and Campos, P.*  
“Sonification of Form and Movement for Visual-Impaired”, *DCC-Faculty of Sciences-University of Porto & LIACC*, 2007
- [Spence, 1982]** – *Spence, R. and Apperley, M.D.*  
“Data Base Navigation: An Office Environment for the Professional”, *Behaviour and Information Technology*, **1**(1):43-54, 1982
- [Stasko, 2000]** – *Stasko, J. and Zhang, E.*  
“Focus+Context Display and Navigation Techniques for Enhancing Radial, Space-Filling Hierarchy Visualizations”, *Proceedings IEEE Symposium on Information Visualization*, San Francisco, California, pp. 57-65, 2000
- [Stolte, 2003]** – *Stolte, C., Tang, D. and Hanrahan, P.*  
“Multiscale visualization using data cubes”, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* **9**(2):176-187, 2003
- [Synnestvedt, 2005]** – *Synnestvedt, M. and Chen, C.*  
“Design and Evaluation of the Tightly Coupled Perceptual-Cognitive Task”, *Knowledge Domain Visualization*, The 11th International Conference on Human-Computer Interaction, 2005
- [Tory, 2004]** – *Tory, M., Möller, T.*  
“Human Factors In Visualization Research”, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, **10**(1):10-12, 2004
- [Treisman, 1986]** – *Treisman, A.*  
“Features and Objects in Visual Processing”, *Scientific American* **255**(5):106-115, 1986

**[Tufte, 2001]** – *Tufte, E.R.*

“The Visual Display of Quantitative Information”, 2<sup>nd</sup> Edition, Cheshire, CT: Graphics Press, 2001

**[Vande Moere, 2005]** – *Vande Moere, A.*

“Form Follows Data: The Symbiosis between Design & Information Visualization”, International Conference on Computer-Aided Architectural Design (*CAADfutures'05*), OKK Verlag, Vienna, Austria, pp. 31-40, 2005

**[Vande Moere, 2009]** – *Vande Moere, A., Patel, S.*

“Analyzing the Design Approaches of Physical Data Sculptures in a Design Education Context”, Visual Information Communications International (*VINCI'09*), Sydney, Australia, pp. 1-23, 2009

**[Vecera, 2002]** – *Vecera, S.P., Vogel, E.K. and Woodman, G.F.*

“Lower region: A new cue for figure-ground assignment”, *Journal of Experimental Psychology: General* **131**:194-205, 2002

**[Wallach, 1948]** – *Wallach, H.*

“Brightness constancy and the nature of achromatic colors”, *Journal of Experimental Psychology* **38**(3):310-324, 1948

**[Ware, 2004]** – *Ware, C.*

“Information Visualization: Perception for Design”, San Francisco: Morgan Kaufmann Publisher, 2004

**[Wertheimer, 1938]** – *Wertheimer, M.*

“Laws of organization in perceptual forms: A source book of Gestalt psychology”, London: Routledge & Kegan Paul, 1938

**[Yang-Peláez, 2000]** – *Yang-Peláez, J. and Flowers, W.C.*

“Information Content Measures of Visual Displays”, *Proceedings of IEEE Information Visualization*, pp. 99-103, 2000

**[Yantis, 2001]** – *Yantis, S.*

“Visual Perception: Essential Readings”, *Key Readings in Cognition*, Philadelphia: Taylor & Francis, Psychology Press, 2001