

O cérebro, a visão tridimensional, e as técnicas de obtenção de imagens estereoscópicas

The brain, the tridimensional vision, and the techniques to obtain stereoscopic images

Guilherme Carvalho Ribas⁽¹⁾, Eduardo Carvalho Ribas⁽²⁾,
Aldo Junqueira Rodrigues Jr.⁽³⁾

Ribas GC, Ribas EC, Rodrigues Jr AJ. O cérebro, a visão tridimensional, e as possibilidades de reprodução de imagens estereoscópicas. Rev Med (São Paulo). 2006 jul.-set.;85(3):78-90.

RESUMO: Em forma de artigo de revisão, os autores tratam aqui inicialmente do desenvolvimento filogenético e dos mecanismos oculares e neurais envolvidos com a visão tridimensional estereoscópica, e a seguir descrevem mais detalhadamente as diferentes técnicas disponíveis para a obtenção, impressão, projeção e visualização em monitores de imagens estereoscópicas. O artigo termina mencionando a experiência da Disciplina de Topografia Estrutural Humana do Departamento de Cirurgia da FMUSP com o desenvolvimento de material didático estereoscópico, utilizando a técnica anaglífica para impressão e a técnica polarizada para projeção, ambas atualmente com tecnologia digital. Esquemas didáticos e imagens estereoscópicas anaglíficas ilustram o texto.

DESCRITORES: Neuroanatomia. Vias ópticas. Percepção visual. Imagem tridimensional. Materiais de ensino. Percepção de profundidade.

⁽¹⁾ Professor Livre-Docente de Cirurgia e Coordenador do Setor de Neuroanatomia Aplicada da Disciplina de Topografia Estrutural Humana do Departamento de Cirurgia da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo – FMUSP.

⁽²⁾ Acadêmico do 6º ano do Curso de Graduação da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo – FMUSP.

⁽³⁾ Professor Titular da Disciplina de Topografia Estrutural Humana do Departamento de Cirurgia da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo – FMUSP.

Endereço para correspondência: Guilherme Carvalho Ribas. Rua Prof. Eduardo Monteiro, 567 - São Paulo, SP. CEP: 05614-120. E-mail: guilherme@ribas.med.br

O CÉREBRO E A VISÃO TRIDIMENSIONAL

Ter os olhos situados anteriormente em relação à face, possuir a destreza das mãos dada pela capacidade de realizar a oposição do polegar em relação aos outros dedos, e ser dotado de unhas ao invés de garras, constituem as principais características dos primatas em geral⁸. Paralelamente a estes atributos, e em detrimento principalmente das funções olfativas, o nosso galho da árvore evolutiva desenvolveu-se, tornando-nos bípedes e fazendo da visão o nosso principal meio de perceber o mundo que nos cerca^{7,22}.

A visão binocular resultante desta posição alinhada dos olhos permite-nos observar um mesmo objeto a partir de dois pontos de vista ligeiramente diferentes (Figura 1), e o processamento destas informações visuais pelo sistema nervoso central é que nos propicia a percepção de profundidade^{5,10}. A visão tridimensional ou estereoscópica, por sua vez, possibilita orientarmo-nos e interagirmos dentro do espaço que nos cerca, e é particularmente otimizada para elementos situados até cerca de três metros dos nossos olhos; a grandes distâncias tudo nos parece mais plano, mais “chapado”^{5,31}.

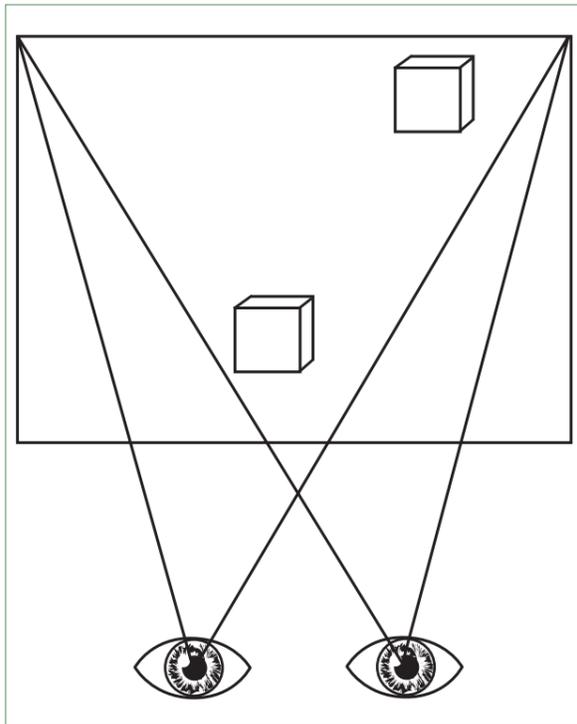


Figura 1. Esquema da visão binocular. (Adaptado de Wolfgram DE. Aventuras em 3D. São Paulo: Berkeley Brasil Editora; 1993)³¹.

A percepção de profundidade é, portanto, dada pela integração nervosa das observações visuais di-

reita e esquerda recebidas por ambos hemisférios cerebrais, e evidentemente requer a integridade de ambos os olhos e de toda a via visual no sistema nervoso central (retinas, nervos ópticos, tratos ópticos, corpos geniculados laterais, radiações ópticas e córtex dos lobos occipitais)^{3,9,10,13,26,30} (Figura 2).

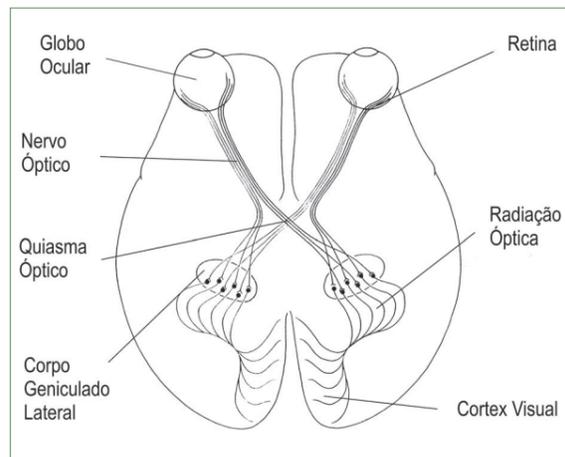


Figura 2. Esquema da anatomia das vias visuais. (Adaptado de Hubel DH, Torton NW. Brain mechanisms of vision. In: Scientific American: the brain. San Francisco: W.H. Freeman and Co.; 1979. p.85-97)¹⁰.

Por outro lado, a utilização de um só olho também já nos fornece uma razoável noção de profundidade através da aplicação automática de conhecimentos e experiências prévias. Essas dicas ou efeitos denominados de monoculares são nos dadas principalmente pelos tamanhos relativos dos elementos observados pelas suas distâncias, e pelas suas condições de iluminação e sombras^{5,31}. Apesar de serem muito efetivos para atividades cotidianas, os efeitos monoculares são nitidamente limitados para a execução de tarefas mais complexas, como por exemplo passar uma linha através do anel de uma agulha com a utilização de apenas um olho. A utilização destes efeitos monoculares e de técnicas de perspectiva na composição de imagens fisicamente bidimensionais, principalmente quando associada à mobilização dos elementos visuais, em muito otimiza a impressão visual de tridimensionalidade^{5,31}. No entanto, é importante destacar que este conjunto de técnicas, atualmente muito utilizado em computação gráfica, apesar de ser denominado de tridimensional, não propicia a visualização de imagens com profundidades reais, estereoscópicas. O termo estereoscopia, portanto, diz respeito à visualização tridimensional, a partir da visão de um mesmo elemento a partir de dois pontos de vista ligeiramente diferentes, cada um através de um dos dois olhos.

Enquanto a anatomia e a fisiologia dos olhos e das vias visuais até os bordos das fissuras calcarinas dos lobos occipitais, onde ocorre a percepção visual, já são relativamente bem conhecidos no seu sentido de percepção sensorial¹⁰, os mecanismos através dos quais as imagens visuais são interpretadas estão ainda muito pouco esclarecidos, e seguramente requerem a atuação conjunta de outras áreas corticais do cérebro.

A mentalização de formas e espaços de maneira tridimensional constitui uma capacidade peculiar e complexa que não só requer a utilização de memórias visuais, como também requer a capacidade interagi-las dinamicamente de maneira abstrata. Esta capacidade mental constitui um atributo não lingüístico de fundamental importância para atividades que requerem diferentes formas de navegação e/ou elaboração de projetos que envolvam dispor elementos no espaço em geral^{11,25}.

Apesar de vivermos em um mundo fisicamente tridimensional, é interessante observar que em muitas das nossas atividades que exigem orientação espacial conduzimo-nos, e mesmo raciocinamos, utilizando coordenadas bidimensionais. A nossa compreensão tridimensional de um novo elemento ou ambiente mais complexo freqüentemente é como que constituída a partir de conjunções mentais dos seus diferentes planos, e a noção do todo é finalmente alcançada ao conseguirmos integrar as percepções do seu acima, do seu abaixo, do seu à frente, de seu atrás e dos seus lados. Por outro lado, a familiaridade com quaisquer elementos ou ambientes têm como uma das suas características mais marcantes a noção clara e segura da sua tridimensionalidade, permitindo que a sua abstração seja feita de maneira imediata e variada¹¹.

Este dom ou faculdade certamente constitui uma das principais ferramentas da mente humana tanto para a sua atuação cotidiana quanto para o exercício da sua própria criatividade²⁵. Apesar de depender em parte de fatores constitucionais e portanto individuais, a capacidade de lidar com forma e espaços de maneira tridimensional seguramente pode também ser desenvolvida como qualquer outra capacidade, a exemplo do que ocorre com pessoas que trabalham com a disposição e interação de elementos no espaço de maneira geral.

Neste sentido é interessante observarmos que, evidentemente devido principalmente às limitações físicas e técnicas, os nossos métodos de ensino nas suas diferentes etapas têm se fundamentado basicamente na utilização da linguagem oral e escrita e no emprego de ilustrações bidimensionais. Recentemente, principalmente em áreas mais artís-

ticas, observa-se a prática de atividades que visam desenvolver a criatividade, e que, para tanto, se preocupam mais particularmente com a tridimensionalidade²⁵. No campo da informática este fenômeno está ocorrendo em particular na área de computação gráfica, como por exemplo na elaboração de projetos arquitetônicos e no desenvolvimento de jogos interativos^{5,6,15,25}.

IMAGENS TRIDIMENSIONAIS ESTEREOSCÓPICAS

Aspectos históricos

As tentativas de reprodução de imagens estereoscópicas para fins de documentação e de entretenimento surgiram paralelamente ao desenvolvimento da própria técnica fotográfica já ao longo da primeira metade do século XIX. É interessante ressaltar que tanto a maior divulgação da fotografia por Louis Jacques Mandé Daguerre, quanto a invenção do primeiro estereoscópio por Charles Wheatstone, que permitia a visualização em 3D a partir de duas imagens planas projetadas uma em cada olho através das suas reflexões em dois espelhos (Figura 3), ocorreram quase que concomitantemente em torno de 1840^{5,31}.

A partir da segunda metade do século passado várias técnicas de reproduções estereoscópicas foram desenvolvidas para projeção e impressão com popularidade muito variável, havendo períodos de verdadeira febre da sua utilização para entretenimento. Na passagem do século os estereoscópios que permitiam a visualização tridimensional a partir de duas fotografias apropriadamente obtidas e posicionadas perante cada olho (Figura 3) foram muito populares. Durante as décadas de 40 e de 50 a divulgação do método Viewmaster⁵ que utiliza os conhecidos carretéis de pequenas fotos, e o emprego do 3D estereoscópico anaglífico em revistas em quadros e em filmes, foram marcantes, e recentemente uma nova onda nitidamente caracteriza-se devido principalmente às novas tecnologias e à grande popularidade das produções 3D da Walt Disney Corporation^{5,27,31}.

Visando a observação de imagens tridimensionais mais realistas, a reprodução de imagens estereoscópicas pode ser feita com o auxílio de diferentes técnicas já conhecidas há muitas décadas^{5,31}, e atualmente pode ser obtida com melhor resolução e maior facilidade dados os desenvolvimentos das técnicas de fotografia e de computação¹⁵.

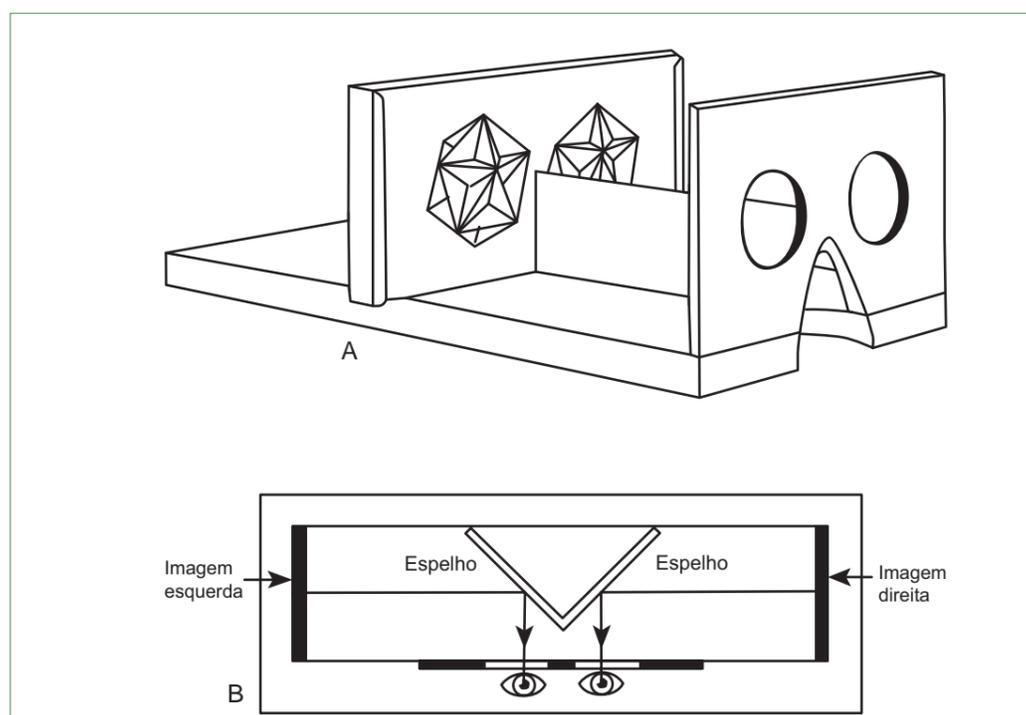


Figura 3. A) estereoscópio básico, em que cada olho vê diretamente apenas a respectiva imagem do estereopar, e B) estereoscópio refletor de Wheatstone. (Adaptado de Wolfgram DE. Aventuras em 3D. São Paulo: Berkeley Brasil Editora; 1993).

Dada a fisiologia visual já mencionada, qualquer método que possibilite a reprodução de imagens estereoscópicas deve, obrigatoriamente, partir da obtenção de pelo menos duas imagens obtidas respectivamente, mais pela direita e mais pela esquerda do elemento a ser fotografado, que são denominadas em conjunto de estereopar, e requer a utilização de artifícios que permitam a observação concomitante das duas imagens porém fazendo com que cada olho veja apenas a imagem correspondente^{5,31}. O deslocamento aparente do objeto fotografado a partir dos dois pontos de vista diferentes, e que pode ser notado como uma separação existente entre as duas imagens quando superpostas, é denominado de paralaxe^{5,31}.

Na prática o estereopar pode ser obtido com o emprego de duas câmeras separadas por uma distância proporcional ao elemento fotografado e à distância pupilar normal (62 a 66mm), sendo a regra mais conhecida aquela que permite calcular tal distância como devendo ser numericamente igual a 1/30 da distância existente entre as câmeras e o elemento a ser fotografado. A utilização de um trilho que permita o deslocamento de uma única câmera, a adaptação de espelhos divisores de imagem à frente também de uma única câmera, e o uso de câmeras feitas especialmente para fotografia estereoscópica constituem outras alternativas usuais para este fim^{5,31}.

Para a obtenção do estereopar com o microscópio cirúrgico, as duas câmeras fotográficas devem ser adaptadas aos canais extras de visualização de maneira bem alinhada, uma vez que a pequena diferença de visualização existente entre os canais já é suficiente para que as duas imagens constituam um estereopar apropriado^{2,19,20,21}.

REPRODUÇÕES ESTEREOSCÓPICAS IMPRESSAS

Para fins de impressão em papel cada uma das imagens do estereopar deve ser apropriadamente codificada, o que é conseguido através de diferentes formas de polarização.

A técnica anaglífica

Entre os métodos conhecidos para imprimir imagens estereoscópicas o mais simples e difundido é o método denominado de anaglífico, que consiste em sobrepor as duas imagens do estereopar após colorir cada uma delas com uma cor básica, e visualizá-las com o emprego de óculos constituídos por filtros das mesmas cores. O método anaglífico

foi desenvolvido durante a segunda metade do século passado, e atribui-se a Louis Ducos Du Hauron a viabilização da sua impressão em papel^{5,31}.

Este processo é facilmente compreendido ao lembrarmos que ao sobrepor um filtro transparente vermelho a outro filtro transparente azul ou verde, obtemos um meio não transparente. Desta forma, se a imagem direita for totalmente colorida de azul e a esquerda de vermelho, o emprego de um filtro vermelho sobre o olho esquerdo bloqueará este olho de visualizar a imagem direita, e o emprego de um filtro azul sobre o olho direito bloqueará este de olho de visualizar a imagem esquerda, fazendo com que cada olho veja apenas a sua respectiva imagem (Figura 4).

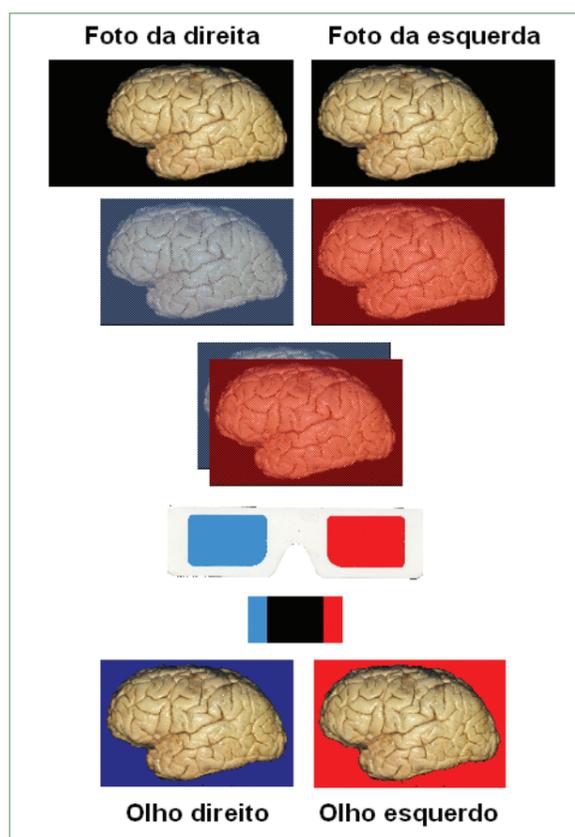


Figura 4. Esquema explicativo da composição de um anaglifo: a imagem da direita é "tingida" de azul e a da esquerda de vermelho, e a seguir as duas imagens são sobrepostas e fundidas. Ao se visualizar a imagem composta final através de óculos com filtros das mesmas cores, cada olho consegue ver apenas a respectiva imagem do estereopar, uma vez que a sobreposição das duas cores básicas origina um meio não transparente.

Apesar de antigo, o método anaglífico ainda é o

mais prático para a reprodução de imagens estereoscópicas impressas em papel, e o recente advento da manipulação computadorizada de imagens veio facilitar e otimizar a sua composição^{5,14,16,20,31}. Lembrando que cada imagem colorida é constituída pelas cores básicas vermelho, verde e azul, para se obter o anaglifo digitalmente basta substituir na imagem da direita o seu componente vermelho pelo seu equivalente da imagem da esquerda (Figura 5).

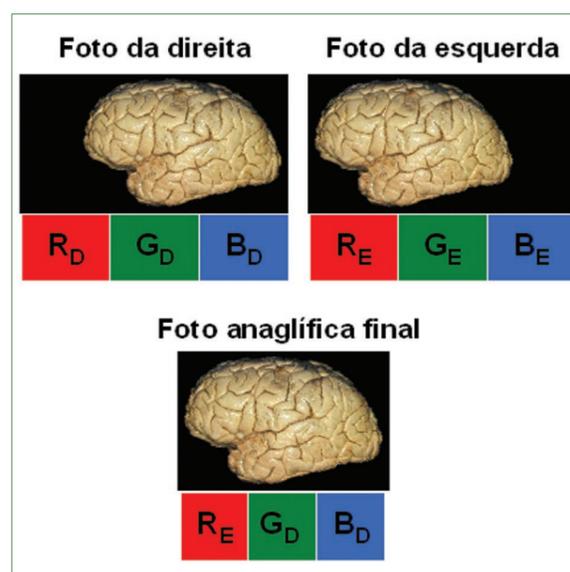


Figura 5. Esquema da composição digital de um anaglifo: A imagem final deve ser composta pelo componente vermelho da imagem esquerda do estereopar, e pelos componentes verde e azul da imagem direita do estereopar (RGB: red, blue, green; D: direito; E: esquerdo).

Os programas usuais de manipulação de imagens permitem ainda adequar melhor as imagens do estereopar entre si, e melhorar a composição do anaglifo através da sua própria visualização estereoscópica no monitor com a utilização dos óculos com os filtros.

A visualização de reproduções de imagens estereoscópicas através dos óculos com filtros coloridos deve ser sempre feita em ambiente bem iluminado, dada a perda natural de luminosidade causada pelos filtros. Os óculos com os filtros coloridos devem ser colocados sobre os óculos com lentes corretivas caso o observador os use, e o filtro vermelho usualmente deve ser disposto sobre o olho esquerdo e o azul sobre o direito.

Os anaglifos aqui apresentados se encontram identificados pelo ícone , e devem ser visualizados com os cuidados mencionados acima.

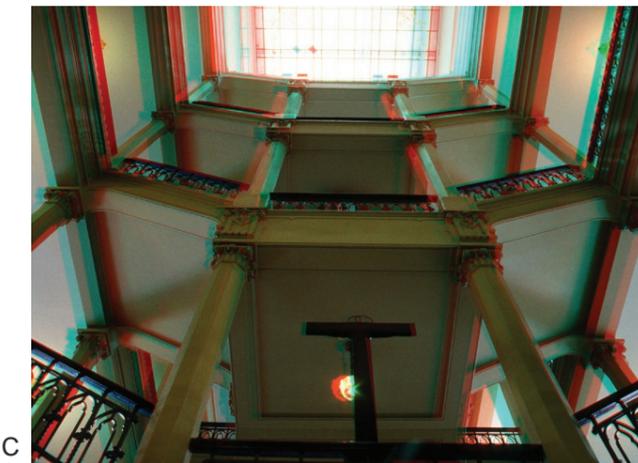


Figura 6. Imagens anaglíficas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo.

Devido à sua própria fundamentação, a sua maior limitação é a impossibilidade de preservar adequadamente a tonalidade das cores básicas utilizadas como filtros, principalmente do vermelho. A partir de estereopares coloridos a sua composição computadorizada pode tanto ser feita apenas em diferentes tons de cinza, quanto em cores com o prejuízo já mencionado das cores básicas, e as suas imagens podem ser armazenadas de maneira digital como quaisquer outras imagens. Para fotografias cirúrgicas com a presença de sangue e/ou de estruturas com coloração vermelha, a visualização de imagens anaglíficas "em branco e preto" torna-se mais confortável (Figura 7).

Devido à sua própria fundamentação, a sua maior limitação é a impossibilidade de preservar adequadamente a tonalidade das cores básicas utilizadas como filtros, principalmente do vermelho. A partir de estereopares coloridos a sua composição computadorizada pode tanto ser feita apenas em diferentes tons de cinza, quanto em cores com o prejuízo já mencionado das cores básicas, e as suas imagens podem ser armazenadas de maneira digital como quaisquer outras imagens. Para fotografias cirúrgicas com a presença de sangue e/ou de estruturas com coloração vermelha, a visualização de imagens anaglíficas "em branco e preto" torna-se mais confortável (Figura 7).

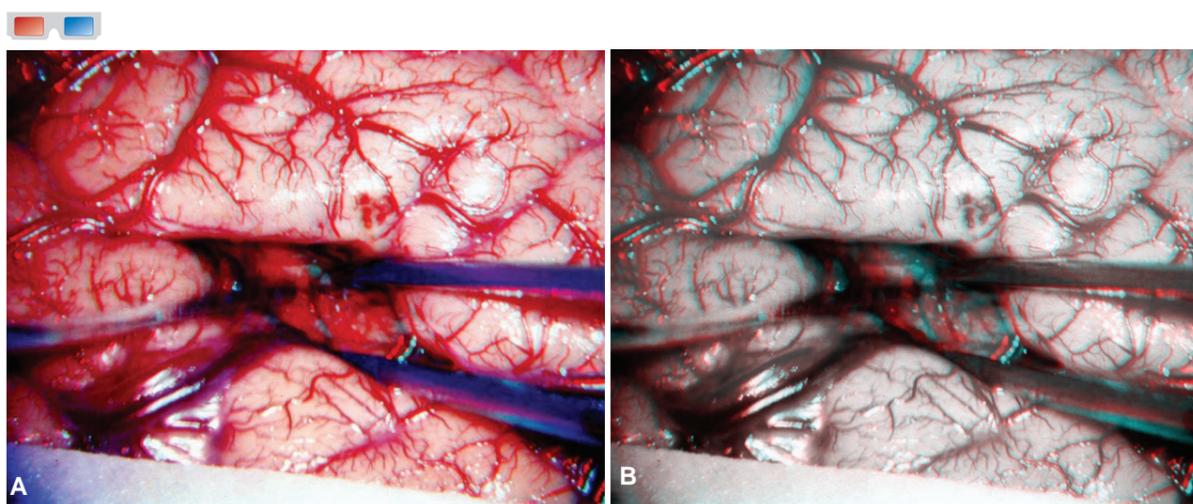


Figura 7. A) e B) imagens anaglíficas microneurocirúrgicas da abertura cirúrgica de um sulco cerebral, respectivamente a cores e em branco e preto, notando-se incômodo visual à visualização do anaglifo da Figura 7A devido acúmulo de vermelho na profundidade do sulco.

A utilização da técnica anaglífica tendo como cores polarizantes o azul escuro e o amarelo preserva melhor a reprodução de todo o espectro de cores, mas torna o uso de óculos com filtros destas cores extremamente desconfortável, dando a nítida impressão de se estar visualizando as imagens apenas com o olho que utiliza a lente amarela.

A técnica lenticular

O chamado método lenticular constitui uma alternativa particular, uma vez que ele permite a

visualização de imagens estereoscópicas impressas de forma direta sem o uso de quaisquer óculos de polarização, mas deixa a desejar quanto à acuidade dos detalhes e é significativamente mais custoso, o que inviabiliza a sua reprodução em maior escala. O estereograma lenticular é composto pela superposição de pelo menos quatro imagens recobertas por uma camada plástica refratária, que por ter a sua superfície externa formada por várias ondulações convexas faz com que as visualizações direita e esquerda sejam distintas^{5,31} (Figura 8).

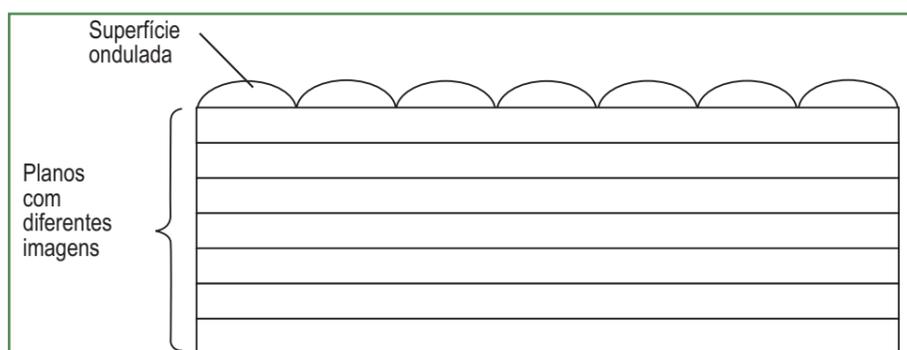


Figura 8. Esquema de um estereograma lenticular: cada camada corresponde a um elemento de cada estereopar, e a superfície superior ondulada faz com que cada olho veja apenas as imagens correspondentes às suas respectivas imagens de cada estereopar, dispensando a utilização de quaisquer óculos polarizadores.

A holografia

A holografia também é uma imagem tridimensional e deve ser aqui apenas mencionada como informação complementar ao tema, uma vez que a sua obtenção e a sua reprodução são particularmente complexas (Figura 9).

De maneira simplificada, pode-se dizer que a imagem holográfica é o resultado da combinação de impressões feitas sobre uma chapa foto-

gráfica por duas porções de um feixe de luz monocromática emitido em direção do elemento a ser registrado: 1) por uma porção que reflete esse elemento após atingi-lo, e 2) por outra porção que não o reflete por ter sido previamente desviada por um espelho. A luz monocromática (que possui apenas uma cor ou frequência) mais utilizada para este fim é aquela dada pelo laser a Hélio-Neon, que é facilmente reconhecida pela sua intensa coloração vermelha³¹ (Figura 9).

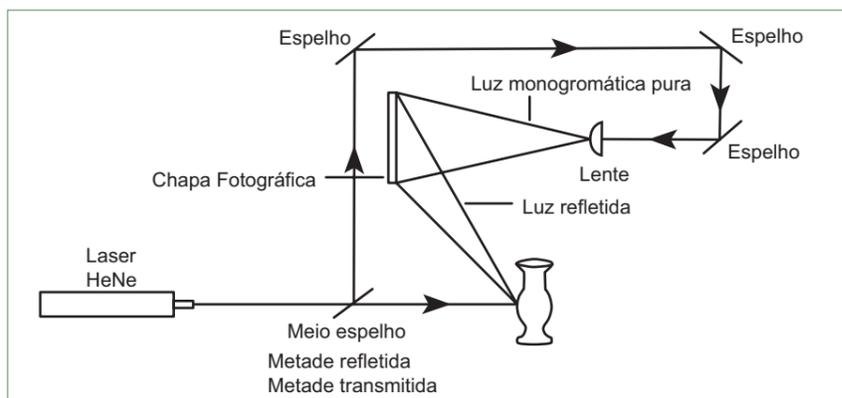


Figura 9. Esquema da técnica holográfica. (Adaptado de Wolfgram DE. Aventuras em 3D. São Paulo: Berkeley Brasil Editora; 1993).

O efeito tridimensional final é dado pelas diferenças na fase da luz conseqüentes à reflexão sofrida por parte do feixe, denominadas de padrões de interferência, e a aplicação da mesma luz sobre o registro fotográfico obtido faz surgir a imagem tridimensional.

O resultado holográfico é único por constituir uma imagem verdadeira no sentido que ao contorná-la podemos visualizar todas as suas faces que foram originalmente expostas à luz e que geraram reflexões. Outra propriedade exclusiva deste tipo especial de registro fotográfico é que qualquer pequeno fragmento que o constitui contém toda a sua informação, podendo, portanto, também gerar a imagem tridimensional. As limitações da holografia são principalmente técnicas e de custo, dada a complexidade da sua obtenção.

A PROJEÇÃO DE IMAGENS ESTEREOSCÓPICAS

A projeção de imagens estereoscópicas estáticas (diapositivos ou transparências) e dinâmicas (filmes, vídeos), analógicos ou digitais, por sua vez podem ser realizadas utilizando-se o próprio método anaglífico, outras formas de polarização das imagens, ou através de sistemas especiais de projeção e de visualização. No caso da produção de vídeos e de

filmes as cenas precisam ser obtidas por duas câmeras sincronizadas para que os fotogramas correspondentes constituam verdadeiros estereopares. Recentemente foram também desenvolvidos divisores espelhados de imagens que podem ser adaptados à frente de uma única câmera e que permitem a obtenção concomitante de duas imagens.

Projeções estereoscópicas com a técnica anaglífica

As projeções com o método anaglífico são feitas a partir de uma única imagem constituída pela fusão das imagens direita e esquerda após os seus devidos tratamentos em vermelho e em azul, podem ser projetadas em telas comuns requerendo apenas o uso de óculos com os filtros coloridos, e tem como principais limitações a reprodução de cores já mencionada e a conseqüente menor luminosidade.

Esta técnica pode tanto ser utilizada para a projeção de diapositivos quanto de filmes ou vídeos, de forma analógica ou digital.

Projeções estereoscópicas com polarização horizontal-vertical

Entre os outros métodos de polarização destaca-se a chamada polarização horizontal-vertical. Uma

vez que a propagação da luz se faz através de ondas de pulsação constante que se expandem em todas as direções e em ângulo reto em torno do seu eixo de propagação, a interposição de filtros que possuam

apenas aberturas horizontais ou verticais faz com que o **faixo** de luz que atravessa cada um destes filtros passe a se propagar apenas nos planos horizontais ou verticais⁵ (Figura 10).

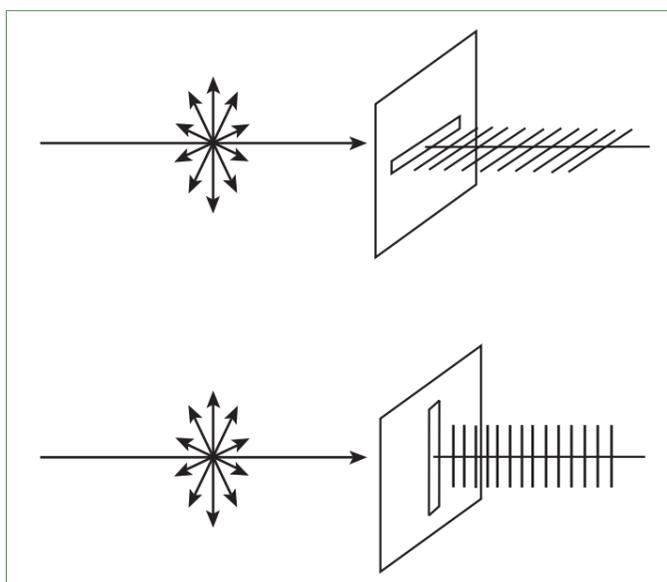


Figura 10. Esquema da propagação da luz e da sua polarização horizontal e vertical.

A projeção concomitante das imagens direita e esquerda, respectivamente polarizadas horizontal e verticalmente, sobre uma tela com revestimento metálico prateado (*silver screen*) que por sua vez reflete a luz sem despolarizá-la, e a utilização de óculos constituídos pelos mesmos, respectivamente, filtros à direita e à esquerda, permite então a visualização estereoscópica uma vez que cada olho conseguirá ver

apenas a sua respectiva imagem do estereopar projetado. O olho com filtro horizontal não receberá a imagem polarizada verticalmente, e vice-versa. Na prática, isto é, conseguido sobrepondo-se as imagens de dois projetores que tenham os respectivos filtros acoplados posterior ou anteriormente às suas lentes de projeção, podendo os projetores ser dispostos um sobre o outro ou lado a lado (Figura 11).

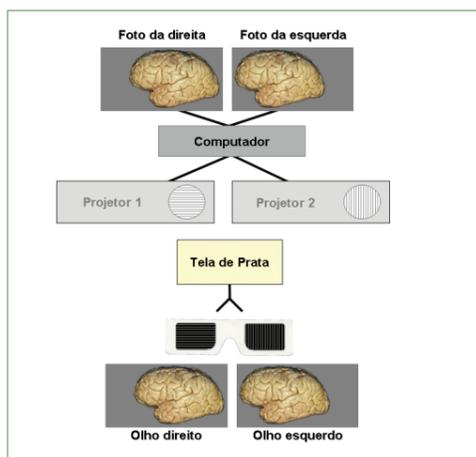


Figura 11. Esquema da projeção estereoscópica com a técnica de polarização horizontal e vertical: um programa que possibilite a projeção em separado das imagens do estereopar, em um computador com duas saídas para dois projetores, viabilizam a projeção concomitante das imagens direita e esquerda que devem se sobrepor sobre uma tela que possua a sua camada mais superficial prateada (*silver screen*), para que as imagens sejam refletidas de forma ainda polarizada. A visualização da projeção com óculos com filtros igualmente polarizados horizontal e verticalmente faz com que cada olho possa ver apenas a sua respectiva imagem de estereopar.

Ao preparar-se diapositivos para projeção dupla analógica com este método, os diapositivos devem ser montados de preferência em molduras es-

peciais para este fim, e fazendo-se sempre coincidir os elementos mais profundos de cada estereopar para que os projetores não precisem ser realinhados por

ocasião da projeção de cada estereopar⁵. Isto é conseguido fazendo-se duas pequenas perfurações nas bases das transparências direita e esquerda sobrepostas com os elementos mais profundos perfeitamente coincidentes, e a seguir montando cada transparência em uma moldura que possua dois pequenos pinos correspondentes às perfurações realizadas (método de registro por pinos). As molduras devem ainda conter cada transparência entre dois vidros de maneira a impedir a sua mobilização com o aquecimento do projetor e evitar mínimas distorções das imagens.

O método de polarização horizontal-vertical constitui o método mais utilizado de projeção tridimensional de diapositivos, e tem a grande vantagem de permitir a visualização integral de todas as cores. No entanto, requer a projeção dupla, a utilização dos óculos e da tela especial já mencionada, um ambiente completamente escuro uma vez que outras luzes não polarizadas podem interferir causando inclusive o chamado efeito fantasma, e o observador deve manter a cabeça relativamente reta para permitir que os planos dos filtros dos óculos se mantenham coincidentes com os planos das polarizações. O emprego de uma técnica de polarização circular horária e anti-horária pode evitar este último inconveniente, mas é menos utilizada⁵.

As imagens direita e esquerda originais podem já ser obtidas de forma digital, ou podem também ser devidamente escaneadas, arquivadas de forma digital, e a seguir projetadas através de dois projetores digitais. A utilização da tecnologia digital em muito otimiza a manipulação das imagens, e permite projeções muito mais luminosas.

O uso deste método para projeção de imagens filmadas a partir de duas câmeras sincronizadas e de dois projetores por sua vez é possível, quando realizado ao vivo ou em tempo real, mas é muito dificultado quando feito a partir de duas gravações dada a absoluta sincronização requerida para a gravação das duas filmagens, e portanto deixa a desejar para este fim quando comparada à técnica de campos seqüenciais descrita a seguir.

Projeções estereoscópicas com a técnica de campos seqüenciais

Outra forma mais sofisticada de se fazer projeções tridimensionais é a que se utiliza da chamada técnica de campos seqüenciais ou alternados (*field sequential technique*). Nesta técnica os dois filmes ou vídeos obtidos de forma sincronizada são integrados por um multiplexador de maneira que os respectivos fotogramas se alternem seqüencialmente, e a

sua projeção é assistida com a utilização de óculos especiais feitos com lentes de cristal líquido que funcionam como obturadores à direita e à esquerda, que se abrem e fecham conforme sejam projetados os fotogramas correspondentes (*LCD shutter glasses*). Enquanto os óculos com filtros de polarização são usualmente denominados de passivos, os providos com obturadores são denominados de óculos ativos^{5,31} (Figura 12).



Figura 12. Esquema de disposição de fotogramas em formato de campos seqüenciais, e óculos com lentes de cristal líquido que funcionam como obturadores que se abrem e que se fecham alternadamente, de maneira sincronizada com a projeção das diferentes imagens pertinentes aos chamados campos seqüenciais.

As projeções com a técnica de campos seqüenciais podem ser feitas sobre telas normais, e o método pode também ser utilizado para visualização estereoscópica em monitores digitais de computadores. A coordenação entre o mecanismo obturador dos óculos e o meio que gera a imagem (sistema de projeção ou monitor) é feita através de fios ou de sinalização com raios infra-vermelhos.

Uma vez que os sistemas de projeção e de vídeo normalmente trabalham com a freqüência de 60Hz, a utilização pura e simples deste método acaba fornecendo imagens na freqüência de 30Hz para cada olho acarretando um tremor constante conseqüente à percepção visual da alternância das imagens direita e esquerda, o que torna necessário a utilização de outro aparelho que ao dobrar a freqüência original possibilita a oferta de imagens a 60Hz para cada olho (3D – TV Corp, Springfield, Oregon, USA.). Esta técnica requer portanto o uso de projetores de tubo ou de monitores digitais que trabalham na freqüência de 120Hz, uma vez que os projetores de cristal líquido e os demais monitores o fazem apenas em 60Hz.

A adaptação de uma placa de cristal líquido, que funcione alternadamente como um polarizador

ora horizontal ora vertical, à frente de um projetor de tubo ou de um monitor digital, pode permitir a visualização estereoscópica de imagens dispostas em campos seqüenciais com a simples utilização de óculos com filtros de polarização horizontal-vertical e com pequena perda de qualidade. Foram também desenvolvidos para este fim projetores de cristal líquido que possuem no seu interior uma placa especial também de cristal líquido, constituída por pequenos prismas dispostos em duas posições diferentes conforme formem linhas pares ou ímpares, o que também permite a polarização horizontal-vertical de imagens dispostas em campos seqüenciais para projeção com um único projetor e uso de óculos passivos, no caso requerendo uma tela com revestimento metálico prateado uma vez que a projeção passa a equivaler a uma projeção simultânea das imagens direita e esquerda (V Rex Corp, Elmsford, New York, USA.).

Em relação ao armazenamento das imagens dispostas em campos seqüenciais, tanto seqüências de estereopares estáticos (fotos, diapositivos) quanto vídeos já multiplexados podem ser gravados neste formato em simples fitas de vídeo (VHS ou S-VHS), ou serem digitalizadas e assim armazenadas. As projeções em telas ou em monitores digitais por sua vez podem ser feitas ao vivo a partir da obtenção adequada das imagens, ou diretamente a partir destes sítios de armazenamento⁵.

TRANSMISSÃO DE IMAGENS ESTEREOSCÓPICAS: TELEVISÃO E INTERNET

A transmissão de imagens estereoscópicas pelos meios normais de televisão através da simples utilização dos meios aqui apresentados infelizmente não é atualmente possível. A maneira pela qual as cores são transmitidas impede o uso adequado da técnica anaglífica, e a frequência de 60Hz utilizada pelo sistema e pelos atuais aparelhos de TV compromete o emprego da técnica de campos seqüenciais por causar um tremor constante da imagem transmitida conforme já explicado.

Por outro lado, tanto imagens estereoscópicas anaglíficas quanto as dispostas em campos seqüenciais podem facilmente ser transmitidas via Internet, dadas as características deste sistema e a utilização obrigatória de monitores digitais, e serem respectivamente visualizados com óculos passivos e com óculos ativos ou através de qualquer outro método que os substitua²⁴.

Imagens estereoscópicas obtidas pela NASA e pelo seu *Jet Propulsion Laboratory* por ocasião da recente exploração de Marte, não só foram transmitidas ao longo das 119 milhões de milhas que nos

separam deste planeta, como também foram veiculadas pela Internet e recentemente publicadas de forma anaglífica na revista *National Geographic*¹⁶.

APLICAÇÕES DAS IMAGENS ESTEREOSCÓPICAS EM MEDICINA

O campo de aplicação das técnicas de obtenção, de reprodução e de projeção de imagens estereoscópicas é evidentemente enorme em todas as áreas de documentação e de comunicação humanas, e constitui um dos principais elementos do desenvolvimento da chamada realidade virtual. A sua viabilização em grande escala em muito pode contribuir não só para melhor ilustrar elementos tridimensionais, como também fazer com que este método se torne uma nova ferramenta de ensino que inclusive auxilie no desenvolvimento da nossa capacidade de lidar com a tridimensionalidade de maneira geral^{23,24,28,29}.

Na área médica em particular, a compreensão tridimensional da anatomia humana é de importância fundamental principalmente para o exercício das diversas especialidades cirúrgicas, e portanto tanto o seu ensino quanto a própria documentação médico-científica em geral em muito podem se beneficiar da utilização de imagens estereoscópicas. Apesar de já terem sido feitas coleções de imagens anatômicas tridimensionais há algumas décadas^{1,4,12,18}, o seu uso até hoje tem sido pouco difundido, provavelmente devido às suas dificuldades de reprodução e de demonstração em maior escala.

O advento de novas técnicas de diagnóstico por imagem e de novas modalidades terapêuticas, entre as quais se destacam as técnicas endoscópicas e microcirúrgicas, por sua vez requerem a produção de um novo material de ensino de anatomia aplicada que demonstre as estruturas anatômicas a partir de pontos de vista específicos^{19,28}.

Conforme já mencionado, a manipulação de imagens estereoscópicas constitui uma das bases fundamentais do desenvolvimento de futuros modelos de realidade virtual, que por sua vez serão particularmente úteis no campo médico^{23,24,29}. Atividades como o ensino e treinamento de atos médicos em geral, transmissão à distância de dados e imagens mais complexas, desenvolvimento de novas técnicas, e mesmo projetos mais ousados como a realização de cirurgias à distância (telecirurgia)^{23,24}, seguramente dependerão também da tecnologia de manipulação de imagens tridimensionais.

Em nosso meio, há cerca de dez anos, começamos a produzir material didático estereoscópico na Disciplina de Topografia Estrutural Humana do

Departamento de Cirurgia da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (FMUSP), sob o incentivo e suporte do Prof. Dr. Aldo Junqueira Rodrigues Jr., e posteriormente também com o apoio e ajuda dos Profs. Drs. Ricardo Ferreira Bento e Aroldo Miniti através da Fundação Otorrino.

Além de estarmos utilizando o material aqui produzido no ensino da própria Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo já há 10 anos, temos também tido o privilégio de ministrar vários cursos, em particular de Neuroanatomia Cirúrgica, em outros centros nacionais e internacionais, e tivemos também a oportunidade de contribuir com o emprego desta técnica a nível jornalístico, orientando a produção de anúncios com imagens anaglíficas que vieram a ser publicadas em várias edições de forma pioneira em nosso meio pelo O Estado de São Paulo¹⁷, visando em particular a divulgação da FMUSP (Figura 13). A nível de publicações, em dezembro de 2001 tivemos o privilégio de constituirmos o primeiro grupo a publicar artigo com imagens anatômicas e cirúrgicas 3D estereoscópicas utilizando a técnica anaglífica em revista especializada da

área neurocirúrgica, com a publicação de trabalho na edição de dezembro de 2001 do renomado *Journal of Neurosurgery* que teve também o destaque da sua capa²⁰, e de posteriormente divulgarmos esse método através de outras publicações a nível nacional^{2,21} e também da tese de livre-docência na FMUSP¹⁹.



Figura 13. Repercussão da colaboração com o jornal "O Estado de São Paulo" para a publicação de anúncios com imagens estereoscópicas (edição de 12 de maio de 1999).

Ribas GC, Ribas EC, Rodrigues Jr AJ. The brain, the tridimensional vision, and the techniques to obtain stereoscopic images. Rev Med (São Paulo). 2006 jul.-set.;85(3):78-90.

ABSTRACT: In this review article the authors discuss initially the evolutionary development and the ocular and neural mechanisms involved with the stereoscopic tridimensional vision, and then describe with more details the different current techniques available to obtain, to print, to project and to see in computer monitors stereoscopic images. The article finishes mentioning the experience of the Clinical Anatomy Discipline of the Department of Surgery of the University of São Paulo Medical School in developing stereoscopic teaching images, utilizing the anaglyphic technique for printing and the polarized technique for projections, both currently done through digital technology. Sketches and anaglyphic images are shown along the text.

KEY WORDS: Neuroanatomy. Visual pathways. Visual perception. Imaging, three-dimensional. Teaching materials. Depth perception.

REFERÊNCIAS

1. Bassett DL. A stereoscopic atlas of human anatomy. Portland, OR: Sawyer; 1961.
2. Bento RF, Ribas GC, Sanchez TG, Rodrigues Junior AJ, Miniti A. Demonstração da anatomia cirúrgica do osso temporal em 3 dimensões. Arq Fund Otorrinolaringol. 2000;4(2):56-60.
3. Brodal A. Neurological anatomy: in relation to clinical medicine. 3rd ed. New York: Oxford University Press; 1981.
4. Chase RA. A stereoscopic atlas of human anatomy, the Bassett and Gruber Legacy. Borger, The Netherlands: 3D Book Productions; 1994.
5. Ferwerda JG. The world of 3D. 2nd ed. Borger, The Netherlands: 3D Book Productions; 1990.
6. Girling NA. Stereoscopic drawing. London: Atlantes Litho Ltd; 1990.
7. Gould SJ. Ontogeny and phylogeny. Cambridge: The Belknap Press of the Harvard University Press; 1977.
8. Gould SJ. The book of life. New York: WWW Norton; 2001.
9. Heimer L. The human brain and spinal cord: functional neuroanatomy and dissection guide. 2nd ed. New York: Springer-Verlag; 1995.
10. Hubel DH, Wiesel TN. Brain mechanisms of vision.

- In: The brain, a scientific american book. San Francisco: Freeman and Company; 1979. p.84-97.
11. Kofka K. Principles of Gestalt psychology. New York: Harcourt Brace Jovanovich; 1935.
 12. Kraus GE, Bailey GJ. Microsurgical anatomy of the brain: a stereo atlas. Baltimore: Williams & Wilkins; 1994.
 13. Machado ABM. Neuroanatomia funcional. São Paulo: Atheneu; 1993.
 14. MacInnis JB, Kristof E. Titanic: tragedy in three dimensions. National Geographic. 1998;194:120-7.
 15. Mahoney DP. Brain storm. Comput Graph World. 1998;21:79-88.
 16. Newcott WR. Return to mars. National Geographic. 1998;194:2-29.
 17. O Estado de São Paulo lança anúncio em 3D. O Estado de S. Paulo, São Paulo, 1999 maio 11; Seção A5, A7, A9, A15, A17, A19, B9, D7, E4.
 18. Poletti CE, Ojemann RG. Stereo atlas of operative microneurosurgery. St. Louis: Mosby; 1985.
 19. Ribas GC. Microanatomia cirúrgica dos pontos-chave dos sulcos e giros cerebrais [tese livre-docência]. São Paulo: Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo; 2005.
 20. Ribas GC, Bento RF, Rodrigues Junior AJ. Anaglyphic 3D stereoscopic printing revival of an old method for anatomical and surgical teaching and report. J Neurosurg. 2001;95(6):1057-66.
 21. Ribas GC, Bento RF, Rodrigues Junior AJ. Reproduções impressas de imagens tridimensionais estereoscópicas para ensino, demonstrações e documentações. Arq Fund Otorrinolaringol. 2000;4(2):48-54.
 22. Sarnat HB, Netsky MG. Evolution of the nervous system. 2nd ed. New York: Oxford University Press; 1981.
 23. Satava RM. The virtual surgeon. Sciences. 1998;38(6):34-9.
 24. Satava RM. Virtual reality, telesurgery, and the new world order of medicine. J Image Guided Surg. 1995;1:12-6.
 25. Solso RL. Cognition and visual arts. Cambridge: MIT Press; 1994.
 26. Bloom FE, McConnell SK, Roberts JL, Spitzer NC, Squire LR, Zigmond MJ, editors. Fundamental neuroscience. 2nd ed. Amsterdam: Academic Press; 2003.
 27. Starkman D, Pinsky S. The Nimslo 3D book. Duarte, CA: Reel 3D Enterprises; 1986.
 28. Thompson PM, Schwartz C, Lin RT, Khan AA, Toga AW. Three-dimensional statistical analysis of sulcal variability in the human brain. J Neurosci. 1996;16(13):4261-74.
 29. Trelease RB. Toward virtual anatomy: a stereoscopic 3-D interactive multimedia computer program for cranial osteology. Clin Anat. 1996;9:269-72.
 30. Williams PL, Warwick R, editors. Gray's anatomy. 36th ed. Philadelphia: Saunders; 1980.
 31. Wolfgram DE. Aventuras em 3D. São Paulo: Berkeley Brasil Editora; 1993.