

Laboratório VISGRAF

Instituto de Matemática Pura e Aplicada

**Mecanismos de Compensação da Distorsão em Imagens
Estereoscópicas Visualizadas de Forma Obliqua**

Bruno Madeira
Luiz Velho (orientador)

Technical Report TR-16-01 Relatório Técnico

January - 2016 - Janeiro

The contents of this report are the sole responsibility of the authors.
O conteúdo do presente relatório é de única responsabilidade dos autores.

MECANISMOS DE COMPENSAÇÃO DA DISTORÇÃO EM IMAGENS ESTEREOSCÓPICAS VISUALIZADAS DE FORMA OBLÍQUA

1) INTRODUÇÃO

Sistemas estereoscópicos exibem normalmente imagens cuja perfeita observação só pode ser obtida a partir de uma posição específica dos olhos do observador. No entanto, existem dois fatos bastante intrigantes:

1. Na prática, verifica-se que é viável a criação de cinemas com exibição estereoscópica, nos quais pessoas interpretam o filme a partir de diversos pontos de vistas diferentes;
2. Experimentos que realizam estereoscopia com imagens preparadas para serem observadas de forma oblíqua não gozam da mesma robustez em relação ao mal posicionamento do observador, sendo praticamente obrigatório o posicionamento dos olhos em um ponto próximo da posição correta.

Para entender estes dois fatos, um bom ponto de partida consiste em considerar inicialmente o caso não estereoscópico. Sabe-se, desde os meados da década de 1970 (Perkins, 1973), que existem fortes evidências de que, quando uma pessoa observa uma fotografia a partir de um ponto de vista oblíquo ela interpreta seu conteúdo como se ela estivesse observando a fotografia perpendicularmente. Este “transporte mental” do observador explica, por exemplo, porque em cinemas convencionais (não estereoscópicos) pessoas que se posicionam nas cadeiras nas laterais da sala conseguem compreender os filmes exibidos sem grande problema.

Como pode ser visto em (BERRY-MEYER, 1999) e (Hands, 2015) tem-se que esta mesma habilidade de “transporte mental” para a posição perpendicular à tela também ocorre ao se observar imagens exibidas de maneira estereoscópica, embora de maneira mais fraca. Desta forma os autores sustentam que este é provavelmente o mecanismo que viabiliza a exibição de filmes 3D para um público em uma sala de cinema.

Como consequência dos fatos citados anteriormente, pode-se especular que a desvantagem em robustez ao erro de posicionamento do observador para sistemas estereoscópicos com telas de exibição na horizontal, quando comparada com sistemas com telas na vertical, provavelmente tem uma conexão forte com o fato de que o “transporte mental” para a posição perpendicular à tela não proporciona nenhum tipo de benefício neste caso, dado que o conteúdo exibido para ser observado de forma correta necessita de um posicionamento oblíquo. No entanto, existe aparentemente uma carência de estudos específicos para estudar esta questão.

2) CASO NÃO ESTEREOSCÓPICO (EXPERIMENTOS DE PERKINS)

Os experimentos apresentados em (Perkins, 1973) se baseiam na capacidade do sistema visual humano diferenciar desenhos de linhas, que correspondam a caixas retangulares, de desenhos de caixas não retangulares. Eles fazem uso do seguinte teorema sobre projeção de poliedros (Perkins, 1968):

Teorema1. *No caso de projeções ortogonais, um vértice de um poliedro associado a 3 faces visíveis pode corresponder a um encontro de faces com ângulos retos se, e somente se, todos os 3 ângulos exibidos na projeção são maiores do que 90 graus.*

Ou seja, a Figura1A destaca um vértice que pode corresponder ao encontro de 3 faces com ângulos retos, já o vértice destacado na Figura1B não admite esta interpretação, pois o ângulo b é menor do que 90 graus.

A principal hipótese que Perkins desejava provar era que o processo de classificação de desenhos de caixas em ortogonais ou não ortogonais é normalmente feito no referencial perpendicular ao plano do desenho, independente do posicionamento do observador em relação ao plano do desenho ser oblíquo ou não. Para fazer isto, ele construiu diversos cartões com desenhos de caixas ortogonais e não ortogonais, que foram apresentados a um grupo de teste que realizou a classificação observando-os sobre uma mesa a partir de uma direção de visada oblíqua.

Os resultados apontados pelo experimento de Perkins sustentaram fortemente a hipótese de que as pessoas classificam caixas seguindo o Teorema 1 no referencial ortogonal ao papel, independente da projeção ser observada de forma oblíqua ou não.

O desenho da Figura 1 ilustra uma ideia dos resultados. A maioria das pessoas que observam a Figura 1A utilizando a direção de visada indicada pela seta, posicionando-se com um ângulo de 41 graus em relação ao papel vai observar uma imagem como a apresentada na Figura 1C cujo Teorema 1 indicaria, no referencial oblíquo, uma caixa não ortogonal. No entanto, elas a classificam agindo de acordo com a aplicação do Teorema 1 no referencial ortogonal.

O caso oposto ocorre na Figura 1B. Fazendo o mesmo tipo de observação oblíqua da Figura 1B, com direção de visada de 41 graus, obtém-se uma visualização como a da Figura 1D, que satisfaz a hipótese de três ângulos maiores do que 90 graus do Teorema 1. No entanto, a maioria das pessoas classifica esta caixa como não ortogonal seguindo a interpretação de acordo com a aplicação do Teorema 1 no referencial ortogonal.

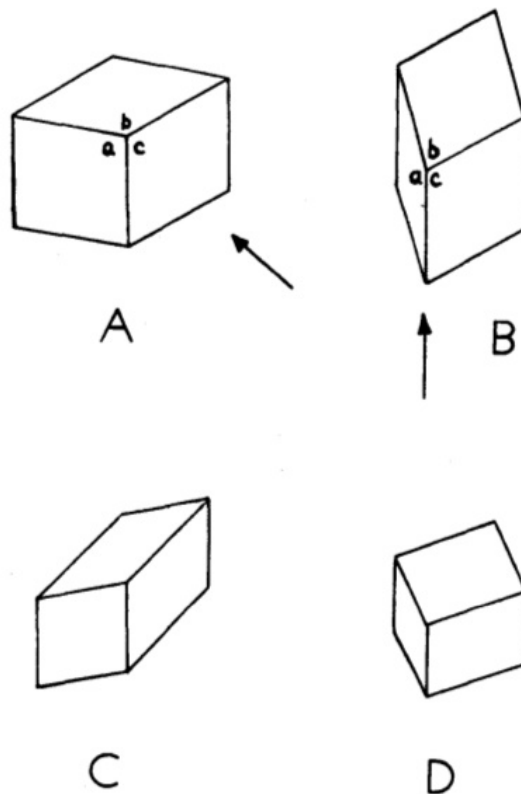


FIGURA 1- A e B Ilustram desenhos de caixas desenvolvidos para serem observados a partir de um ângulo de 41 graus em relação ao papel na direção indicada pela seta. B e C ilustram as imagens correspondentes observadas.

3) CASO ESTEREOSCÓPICO

3.1) EXPERIMENTOS DE BERRY-MEYER

Em (BERRY-MEYER, 1999) temos um experimento bastante interessante, que não apenas fornece evidências de que no caso estereoscópico também ocorre um “transporte mental” para o ponto de vista ortogonal, semelhante ao observado nos experimentos de Perkins, como também faz

uma avaliação quantitativa deste processo.

No experimento, observadores visualizaram, utilizando óculos estereoscópicos vermelho/azul, em uma tela que sofria uma rotação no eixo vertical com ângulo determinado, diversas imagens compostas por três pontos dispostos na horizontal formando uma configuração na forma de um “V”. Mais precisamente, um ponto correspondia a um ponto sobre a tela e os dois outros correspondiam a pontos afastados desta, como ilustrado na Figura 2B pelos pontos A,P e B. Os pares estereoscópicos correspondentes aos pontos foram calculados considerando-se uma observação ortogonal à tela feita a uma distância de 60 cm.

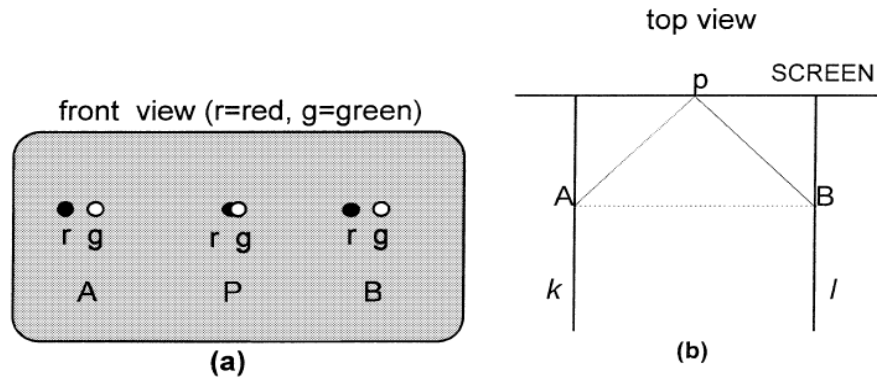


FIGURA 2 – Configuração do experimento de Berry-Meyer: (a) visão frontal, (b) visão de cima.

Os observadores realizaram, então, a tarefa de ajustar um compasso de calibre até que o ângulo medido fosse perceptualmente igual ao ângulo do “V” formado pelos pontos A,P e B. Isto foi realizado para diversas inclinações de tela em relação a um eixo vertical.

Como esperado geometricamente, verificou-se que a inclinação da tela influenciou na medição do ângulo feita pelos observadores. No entanto, observou-se experimentalmente que esta influência foi menor do que a previsão obtida pela análise da configuração geométrica da cena.

A Figura 3 ilustra o resultados dos experimentos. Os três gráficos de cima compilam os valores esperados matematicamente. Cada um deles corresponde à cenas em que as distâncias do observador à tela são de 40, 60 e 80 cm, como indicado na parte inferior de cada um. No eixo horizontal de cada gráfico é marcado o ângulo teórico exibido. Em cada um são ilustradas 4 funções correspondentes à observação feita com: 0, 35, 55 e 70 graus. No eixo-y é marcado o resultado calculado matematicamente pela estrutura da cena. Os três gráficos de baixo são similares aos correspondentes de cima, no entanto registram os ângulos aferidos pelos participantes com o compasso de calibre.

Analisando os gráficos da Figura 3, percebe-se que existe um mecanismo perceptual que compensa a mudança de orientação da direção de visada fazendo com que todas as curvas associadas aos ângulos estimados pelos participantes do experimento ficassem próximas. Ou seja, os resultados indicam que, do ponto de vista perceptual, inclinar a tela em relação a um eixo vertical tem um impacto pequeno na avaliação de ângulos que pertencem ao plano que contém os olhos do observador e são perpendiculares à tela.

3.2) EXPERIMENTOS DE HANDS

Os experimentos relatados em (Hands, 2013) têm por objetivo comparar a compensação de inclinação do caso estereoscópico e do caso não estereoscópico. Tal problema tem como motivação o fato de que no caso estereoscópico o observador tem uma percepção clara do plano em que a imagem é apresentada, e no caso não estereoscópico isto não ocorre.

A metodologia adotada em (Hands, 2013) segue uma estratégia de avaliação na mesma linha dos experimentos em (Perkins, 1973), na qual os participantes cumprem uma tarefa de classificação subjetiva. Mais precisamente, os participantes observam dois cubos projetados em uma tela e

precisam determinar qual deles mais se parece com um cubo, sendo um deles desenhado considerando uma projeção ortogonal à tela e o outro cubo com um certo ângulo não perpendicular.

A visualização dos cubos é feita em uma tela cuja normal faz um ângulo θ_{sit} com a direção

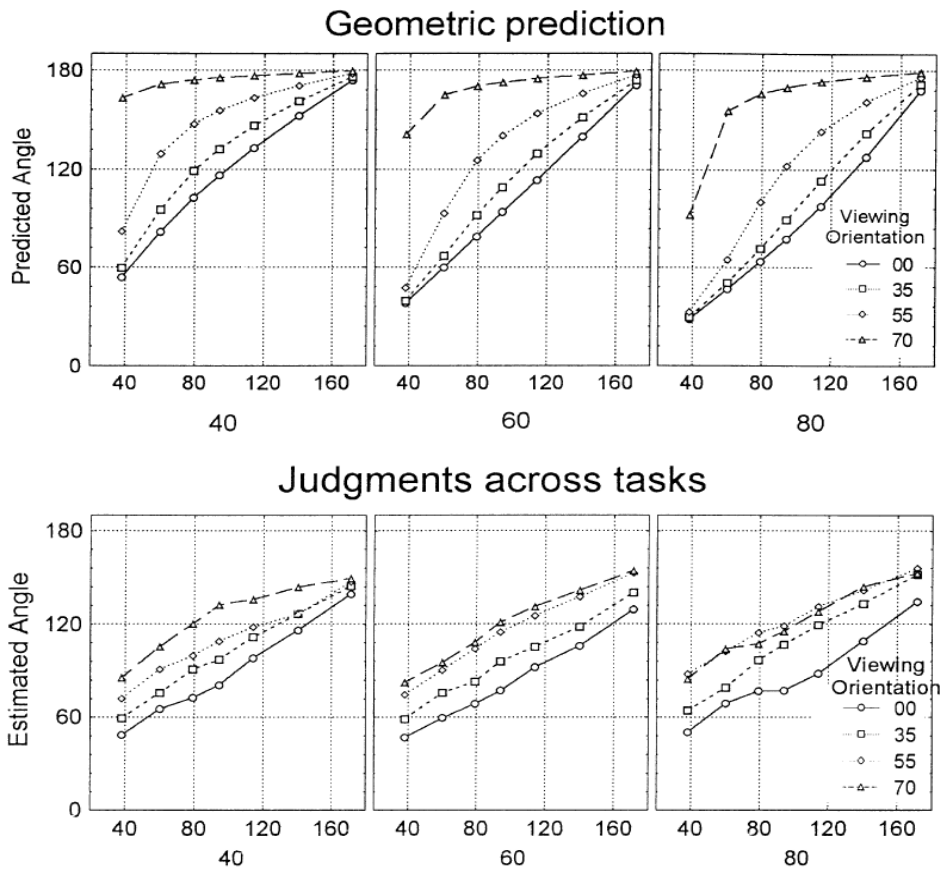


FIGURA 3 – Gráficos que indicam a relação entre o ângulo teórico exibido entre os pontos A,P e B (eixo horizontal) e os valores decorrentes do efeito da observação inclinada. Os gráficos de cima indicam os valores esperados matematicamente e os de baixo os valores observados experimentalmente.

de visada do observador. O cubo que não é exibido para o referencial ortogonal faz isso de forma que ficaria correto de ser observado caso o observador estivesse posicionado fazendo um ângulo θ_{draw} em relação à direção ortogonal ao monitor (Figura 4). Além disso, duas situações são testadas: uma permitindo a percepção da borda da tela do dispositivo de exibição e outra sem permitir. Isto é obtido pelo uso de uma cortina que é colocada na frente das bordas do dispositivo de exibição algumas das vezes em que as imagens são apresentadas. O objetivo disto é testar a influência da percepção da borda no processo de compensação feita pelo sistema visual.

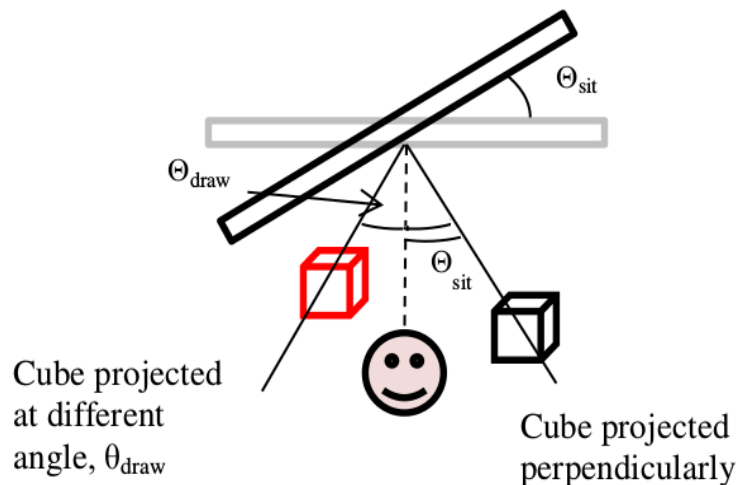


FIGURA 4 – Configuração do sistema de exibição utilizada nos experimentos de Hands.
Os participantes realizam 3 tipos de observações:

Binocular 3D: Os participantes utilizam os dois olhos para observar, utilizando óculos 3D, um par estereoscópico produzido considerando os referenciais testados.

Binocular 2D: Os participantes utilizam os dois olhos para observar a projeção não estereoscópica das imagens projetadas segundo os referenciais testados.

Monocular: Os participantes têm um de seus olhos impedidos de observar a tela.

Os resultados do experimento são apresentados na Figura 5, que mostra seis gráficos que representam a proporção de pessoas que escolheram a imagem gerada no referencial ortogonal como sendo o cubo menos deformado em função do valor θ_{draw} . Cada gráfico exibe cada um dos 3 tipos de observações descritos acima, conforme indicado na legenda.

Os três gráficos de cima (a) representam os resultados obtidos permitindo que o observador visse as bordas do dispositivo de exibição, e os de baixo (b) sem permitir. Cada um deles corresponde a um valor diferente de θ_{sit} . Mais precisamente, tanto em (a) como em (b) os gráficos da esquerda para a direita representam θ_{sit} iguais a: -45, 0 e 20 graus.

O caso em que $\theta_{draw} = \theta_{sit}$ é destacado em cada gráfico, pois indica a situação em que a visualização é feita no referencial correto.

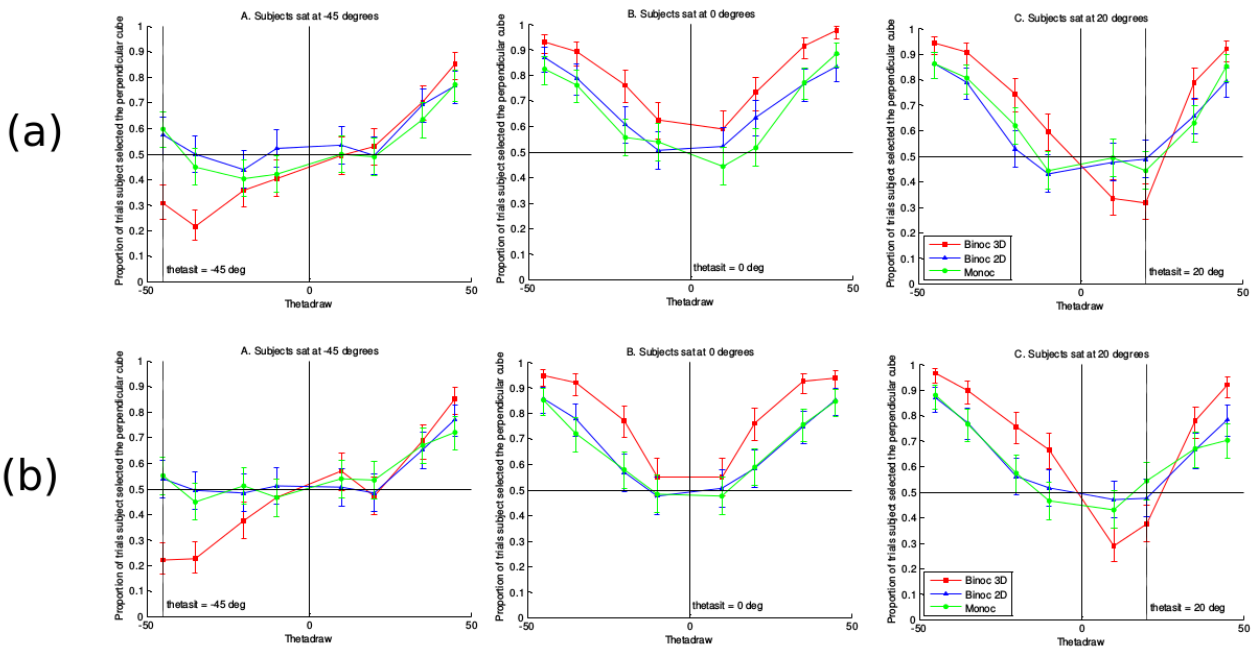


FIGURA 5 – Gráficos que medem a proporção de escolha da imagem do cubo gerado no referencial ortogonal como sendo o menos deformado em função de θ_{draw} . (a) resultados da situação sem a cortina, (b) resultado da situação com a cortina. Os resultados correspondem às situações de θ_{sit} iguais a: -45, 0 e 20 graus, como indicado.

Consideremos inicialmente os gráficos centrais de (a) e (b) tais que $\theta_{sit} = 0$. Ou seja, a tela de exibição é perpendicular ao observador. Percebe-se que quando $\theta_{draw} = 0$ todos os gráficos se aproximam de 0,5, que é algo esperado, dado que neste ambos os cubos são desenhados sem nenhuma deformação, tornando a escolha de qualquer um dos cubos arbitrária. Percebe-se também que conforme θ_{draw} se afasta de 0 todos os gráficos se aproximam de 1, ou seja, o cubo desenhado no referencial ortogonal passa a ser mais escolhido. Isto também é algo esperado, dado que o cubo desenhado no referencial ortogonal é perfeitamente correto.

Um ponto interessante é que, neste primeiro caso, o desempenho nos casos Monocular e Binocular 2D são bastante semelhantes. No entanto, percebe-se que no caso Binocular 3D o observador tem uma capacidade ligeiramente maior de perceber os cubos deformados.

Os gráficos das laterais de (a) e (b) indicam situações em que o observador se posiciona de maneira oblíqua em relação à tela. Temos que no caso Binocular 3D os participantes demonstram uma nítida preferência em escolher o cubo desenhado no referencial correto em vez do cubo desenhado no referencial ortogonal quando $\theta_{draw} = \theta_{sit}$, coisa que não ocorreu para os casos não estereoscópicos, onde a preferência ficou bem dividida, próxima a 50% para cada opção.

Verifica-se o mesmo tipo de comportamento para os gráficos das laterais que foi observado no gráfico central, as funções se aproximam de 1 quando se afastam da situação $\theta_{draw} = \theta_{sit}$ apontando que a versão do cubo desenhada para o referencial perpendicular passa a ser mais escolhida.

4) CONCLUSÃO

Os experimentos de Perkins indicam que o sistema visual humano possui a habilidade de entender e desfazer a transformação projetiva que uma imagem sofre ao ser observada de maneira oblíqua.

Os resultados dos experimentos de Berry-Meyer mostram, de maneira quantitativa, que a percepção de ângulos em imagens estereoscópicas sofre menos com a inclinação da tela, feita no eixo vertical, do que o previsto teoricamente. Isto fica evidente com a concentração das curvas apresentado nos gráficos da parte inferior da Figura 3.

Finalmente, os experimentos de Hands mostram que o processo de valorização da interpretação de imagens estereoscópicas no referencial ortogonal perde força quando a inclinação em relação à tela se aproxima da inclinação utilizada para gerar o par estereoscópico. Analogamente ao experimentos de Berry-Meyer temos que as inclinações de telas testadas foram apenas verticais.

5) BIBLIOGRAFIA

David N. Perkins

Compensation for distortions in viewing pictures obliquely
Perception e Psychophysics 1973, Vol 14, No 1, 13-18

Yoella Berry-Meyer, DA

Perception of artificial stereoscopic stimuli from an incorrect viewieg point
Perception e Psychophysics 1999, Vol 61, No 8, 1555-1563

Hands P, Read JCA (2013)

[Perceptual compensation mechanisms when viewing stereoscopic 3D from an oblique angle](#)
[International Conference on 3D Imaging \(IC3D\), 2013 1 - 5](#)