

Uma dificuldade recorrente em óptica geométrica - Uma imperceptível descontinuidade de imagem na lupa

(A recurrent problem in geometrical optics - A not perceived image discontinuity at the magnifying glass)

Fernando Lang da Silveira¹ e Rolando Axt

Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil

Recebido em 2/5/2006; Aceito em 4/7/2006

Poderíamos estar olhando para um objeto através de uma lupa e não perceber a súbita inversão de imagem - de virtual e direita para real e invertida - quando o objeto é afastado para além do plano focal? No presente artigo mostramos que isto efetivamente acontece, e também com certas lentes de óculos, como as lentes comuns de leitura.

Palavras-chave: lupa, olho humano, óptica geométrica.

Could we be looking at an object across a magnifying glass without perceiving the sudden image inversion - from virtual and erect to real and inverted - when the object moves away from the lens to a place a little farther than the focal distance? In this article we show that this effectively happens, as well with some eyeglasses lenses, like common reading glasses.

Keywords: magnifying glass, human eye, geometrical optics.

É útil chamar a atenção do leitor sobre a importância do estudo da lupa. É importante compreender o seu funcionamento não somente pela lupa em si, mas também porque a lupa constitui uma parte de quase todos os instrumentos de observação subjetiva.

Roberto A. Salmeron

1. Introdução

É por demais sabido que uma lente convergente conjuga uma *imagem virtual e direita*, maior do que o *objeto*, quando um *objeto real* está posicionado entre a lente e seu plano focal. Nos textos que conhecemos, sejam de ensino médio ou de ensino superior, a abordagem teórica da lupa parte do pressuposto de que o *objeto* está posicionado entre a lupa e o seu plano focal. Um excelente livro de Física para o ensino médio afirma que *a lente utilizada só se comportará como uma lupa quando o objeto estiver colocado numa distância inferior à sua distância focal* [1, p. 276], e desta forma, exclui explicitamente o uso de uma lente convergente como lupa quando o *objeto* se encontra além do plano focal, situação em que a lente convergente conjuga uma *imagem real e invertida*. Assim, se um objeto for afastado de uma lente convergente, ao atingir o plano focal ocorrerá uma descontinuidade no comportamento da *imagem* pois ela passa de *virtual e direita* para *real e in-*

vertida. Possivelmente o reconhecimento da existência desta flagrante descontinuidade levou os autores do referido texto a negar a possibilidade do uso de uma lupa quando o *objeto* se encontra além do plano focal².

Imaginemos que um observador utilize uma lupa com o *objeto* posicionado entre ela e o plano focal. A pergunta que formulamos é a seguinte: o que ele enxergará quando o *objeto* for afastado e finalmente ultrapassar um pouco o plano focal? No Apêndice apresentamos uma questão-teste tratando deste problema. Inicialmente uma fotografia mostra o que se enxerga quando um *objeto* está posicionado próximo ao plano focal, a uma distância da lupa inferior a sua distância focal; depois são oferecidas quatro alternativas de resposta para o teste. As alternativas são fotografias sugerindo o que se veria no caso de o *objeto* estar posicionado um pouco além do plano focal.

A questão foi proposta a professores de Física Geral de diversas universidades, sendo que a maioria deles já leciona ou lecionou alguma disciplina que trata da

¹E-mail: lang@if.ufrgs.br.

²Os demais textos de óptica geométrica que conhecemos implicitamente endossam esta opinião, pois nenhum deles discute o que se enxergaria caso o *objeto* estivesse posicionado além do plano focal da lupa.

óptica geométrica. De um total de vinte e oito respondentes, dezesseis optaram pela fotografia que sugere que o observador não discernirá nada (Fotografia 4), cinco pela fotografia onde se reconhece uma *imagem invertida* pouco nítida (Fotografia 3), dois pela alternativa em que se observa uma *imagem invertida* com boa nitidez (Fotografia 2) e um considerou que nenhuma das alternativas estava correta. Apenas quatro dos respondentes optaram pela alternativa que apresenta uma *imagem* semelhante àquela que o observador via quando o *objeto* se encontrava aquém do plano focal (Fotografia 1). Surpreendentemente esta é a alternativa correta!!

A dificuldade em tratar teoricamente da questão posta é recorrente pois não é de hoje que se manifesta, seja nos livros-texto, seja nas respostas de nossos professores. Em meados do século XVII diversos físicos eminentes envolveram-se com o problema; destaca-se, entre outros, Isaac Barrow (1630-1677), primeiro ocupante e antecessor de Isaac Newton (1642-1724) na cátedra lucasiana. Mais tarde, em 1709, no *Ensaio para uma nova teoria da visão*, o filósofo empirista inglês George Berkeley (1685-1753) debateu-se com o problema³ ([2]; p. 177-179). Tanto Berkeley quanto Barrow e outros não tinham dúvidas sobre o que se enxergava na situação proposta pois, ao utilizarem lentes convergentes (e espelhos côncavos⁴), posicionando o *objeto* um pouco além do plano focal, viam uma *imagem* muito semelhante àquela que observavam quando o *objeto* se encontrava um pouco aquém do plano focal. O que procuravam era uma explicação para tão surpreendente observação!!

O objetivo deste trabalho é o de discutir teoricamente o que observamos ao olhar através de uma lente convergente, estando o *objeto* ora antes ora depois do plano focal da mesma.

2. Afinal, o que vemos?

Para que uma coisa possa ser vista por nós, é preciso que uma *imagem real* seja conjugada pelo sistema de lentes do olho (córnea, humor aquoso, cristalino). Não temos acesso direto aos *objetos* e o que vemos são *imagens reais em nossa retina*. Se desconsiderarmos esta singela sentença, inevitavelmente encontraremos inconsistências entre o que aprendemos em óptica geométrica e o que vemos⁵. Exemplos emblemáticos disso são o caso do espelho côncavo [3] e o da lupa, que examinaremos a seguir.

³Agradecemos ao Professor José Oscar de Almeida Marques, do Departamento de Filosofia da UNICAMP que, estando a traduzir o texto do bispo Berkeley, nos deu a conhecer a existência de tal discussão naquela obra.

⁴Recentemente alunos do ensino médio, ao trabalharem com espelhos côncavos, notaram surpresas o fato de que quando se miravam no espelho, posicionados quer antes quer depois do seu plano focal, se enxergavam *direitos*, e que não era perceptível qualquer descontinuidade ao passarem pelo plano focal. Eles notaram uma descontinuidade quando se posicionavam a aproximadamente duas vezes a distância focal em relação ao espelho [3].

⁵Um exemplo é a contestação feita por um aluno sobre o fato de que, para um espelho plano, o tamanho da imagem é igual à do objeto. O aluno contra-argumentou falando sobre como ele se vê: *Isso não está certo, pois o tamanho da minha imagem no espelho diminui quando dele me afasto*. Este argumento está construído sobre o pressuposto de que o que vemos são imagens no espelho e não imagens conjugadas em nossa retina!!

Para compreender o que vemos quando olhamos com auxílio de uma lupa (ou, eventualmente, de uma lente ou espelho qualquer ou ainda de um sistema óptico mais complexo), é necessário que examinemos como são as imagens em nossa retina quando o olho refrata a luz que emerge da lupa. Ou seja, não podemos limitar a análise do problema à óptica da lupa, como ocorre na maioria dos livros didáticos; devemos acrescentar ao sistema uma lente que represente nosso olho conjugando imagens sobre a retina.

Para analisar este problema recorreremos à construção gráfica das imagens conjugadas pela lupa e pela lente do nosso olho. Construções gráficas são realizadas a partir do traçado de alguns *raios principais* oriundos do *objeto* e refratados pelas lentes; no presente caso, a lupa e a lente do nosso olho. As regras em que se baseia a construção gráfica encontram-se tanto em textos de nível fundamental [4] e médio [5], quanto de nível superior [6].

Quanto à localização do *objeto* em relação à lupa, para que ele possa ser visto por um observador que olha através dela, analisamos, a seguir, dois casos distintos que produzem resultados bastante semelhantes sobre nossa retina.

3. Primeiro caso: O objeto localiza-se a uma distância da lupa menor do que a distância focal

Inicialmente imaginemos que o *objeto* esteja colocado entre a lupa e o seu plano focal. A Fig. 1 representa o *objeto* e a *imagem virtual e direita* conjugada pela lupa. O observador encontra-se próximo à lupa, do lado oposto ao lado que está o *objeto* e sua *imagem*.

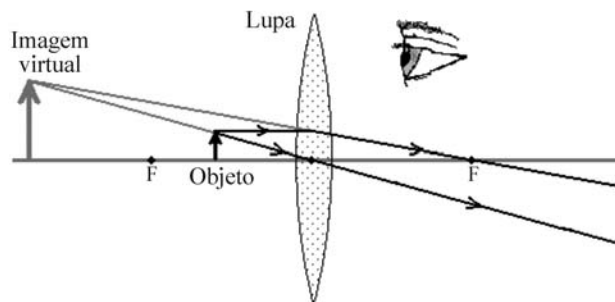


Figura 1 - A lupa conjuga uma imagem virtual e direita do objeto.

Na Fig. 2 é introduzida uma lente convergente para representar a lente do olho do observador. A *imagem virtual* conjugada pela lupa é um *objeto real* para a lente do olho, conforme indica a figura. A lente do olho conjuga uma *imagem real e invertida*; de modo que sobre a retina (não representada na figura) ocorre uma *imagem real e invertida*. É importante destacar que quando percebemos *objetos diretos* temos *imagens invertidas* na retina.

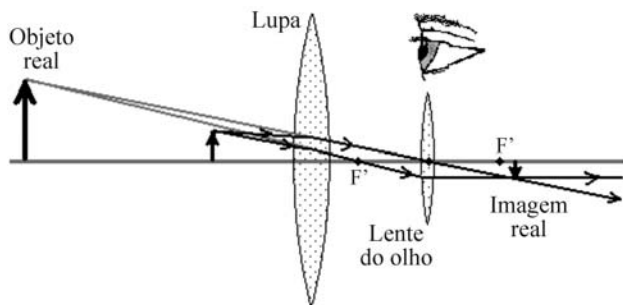


Figura 2 - A imagem virtual conjugada pela lupa é um objeto real para a lente do olho que então conjuga uma imagem real e invertida na retina.

Se, na Fig. 1, o *objeto* for movido em direção ao foco F , os raios luminosos que emergem da lupa, provenientes de um ponto do *objeto*, se tornam cada vez menos divergentes, o que faz a *imagem virtual* conjugada pela lupa se afastar, tendendo ao infinito, e, ao mesmo tempo, aumentar de tamanho. Conseqüência disso é que o olho necessita de menor *acomodação visual* e assim conjuga uma *imagem* de tamanho maior na retina. A *acomodação visual* se refere à capacidade que o nosso olho possui de reduzir a sua distância focal para que tenhamos uma *imagem* distinta na retina, isto é, uma *imagem* nítida conjugada sobre a retina⁶. Quanto mais divergentes forem os raios luminosos que atingem o olho, tanto menor deverá ser a distância focal da lente do nosso olho. Isto exige uma maior *acomodação visual*, ou seja, um esforço maior dos músculos ciliares que pressionam o *crystalino* a fim de aumentar a sua curvatura e reduzir a distância focal.

Portanto, o uso de uma lente convergente (tal como a lupa) na frente do olho, além de poder amplificar o tamanho das coisas que enxergamos, possui uma outra conseqüência desejável, qual seja a de exigir uma menor *acomodação visual*. No caso limite em que o *objeto* é postado sobre o plano focal da lupa, os raios provenientes de um ponto do *objeto* atingirão o nosso olho como raios paralelos, não exigindo de um olho normal qualquer esforço para *acomodação visual* e determinando a máxima amplificação possível da *imagem* sobre nossa retina.

A seguir analisaremos uma nova situação, sobre a qual os livros didáticos costumam ser omissos. Nesta situação a *imagem* conjugada pela lupa não é nem *vir-*

tual, nem *direita*.

4. Segundo caso: O objeto localiza-se a uma distância da lupa maior do que a distância focal

A Fig. 3 representa o *objeto* colocado além do plano focal da lupa e a lupa conjuga uma *imagem real e invertida*.

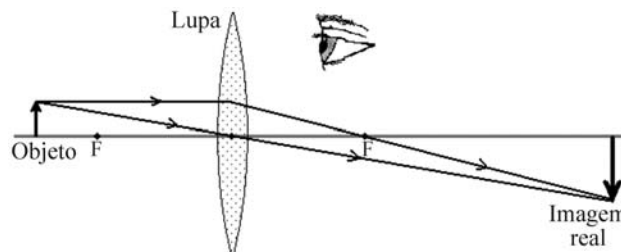


Figura 3 - A lupa conjuga uma imagem real e invertida do objeto.

A Fig. 4 representa raios luminosos provenientes de um ponto do *objeto* sendo interceptados pela lente do olho antes de atingirem o ponto de convergência. A linha tracejada indica qual dos raios, ao emergir da lente do olho, não continuará na direção original de incidência sobre a lente, conforme se observa na Fig. 5. Estando a lente do olho na posição em que se encontra, a *imagem real* conjugada pela lupa é um *objeto virtual* para o olho. Como vemos nas Figs. 4 e 5, esse *objeto virtual* situa-se atrás do olho.

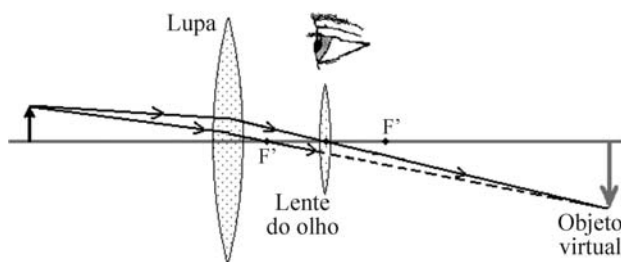


Figura 4 - A imagem real conjugada pela lupa é um objeto virtual para a lente do olho.

A lente do olho causa uma convergência prematura dos raios sobre ela incidentes. Isto é mostrado na Fig. 5, na qual está representado o traçado dos *raios principais* que convergem e determinam uma *imagem real* do *objeto virtual* indicado na Fig. 4. Esta *imagem*, conjugada pela lente do olho, tem a mesma orientação do *objeto virtual*. Assim, temos uma *imagem real e invertida* na retina do nosso olho, ou seja, um resultado semelhante ao do primeiro caso abordado na seção 3.

⁶Existem animais que possuem a lente do olho com distância focal fixa, e são capazes de variar a distância que a separa da retina para nela conjugar *imagens* nítidas [7]). No reino animal há mais de quarenta tipos diferentes de olho!!

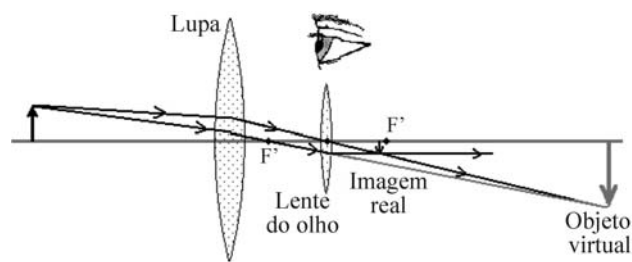


Figura 5 - A lente do olho conjuga uma imagem real do objeto virtual.

Note-se que, independentemente de o *objeto* situar-se antes ou depois do plano focal da lupa (vide Figs. 2 e 5), resulta na retina uma *imagem invertida* (portanto percebemos *direito*). Quando o *objeto* se afasta da lupa passando pelo seu plano focal, não há descontinuidade para a *imagem* conjugada pela lente do nosso olho na retina⁷. O que existe é descontinuidade da *imagem* que a lupa conjuga; entretanto, ao fazermos uso da lupa, com o nosso olho próximo dela, essa descontinuidade nunca é percebida⁸. Quando o *objeto* para a lupa se encontra sobre o plano focal dela, ocorrerá em nossa retina a máxima amplificação possível da *imagem real* ali conjugada pela lente de nosso olho⁹. Lembramos novamente a singela sentença: *o que vemos são imagens reais em nossa retina!!*

5. Conclusão

A discussão levada a efeito neste trabalho pressupõe que o observador esteja utilizando uma lupa próxima a seu olho. Entretanto é fácil notar que qualquer pessoa que utilize óculos com lentes convergentes, por exemplo para a correção da *presbiopia* (“vista cansada”), satisfaz tais condições, pois a distância focal é de algumas dezenas de centímetros e os olhos estão quase que colados às lentes. Assim sendo, quando o observador dirige sua atenção para *objetos* próximos, as lentes poderão estar conjugando imagens *virtuais* ou *reais*. Nada na experiência dessas pessoas indica alguma descontinuidade no que enxergam quando a posição do *objeto* muda de antes para depois do plano focal das lentes. Nem mesmo o tamanho da *imagem* muda significativamente quando isso acontece. O que pode acontecer é

⁷Outra forma de se expor isto é a seguinte: Quando o objeto para a lupa está sobre o seu plano focal, os raios luminosos que emergem da lupa, provenientes de um ponto do objeto, são paralelos entre si. Se o objeto se encontra um pouco antes ou um pouco depois do plano focal da lupa, os raios luminosos dela emergentes são quase paralelos entre si (levemente divergentes ou levemente convergentes). Ora, a lente de nosso olho, ao refratar tais raios, os fará convergir quase que sobre o seu plano focal, conjugando em nossa retina imagens *reais* muito semelhantes. Na situação particular em que percebemos a máxima amplificação possível, o *objeto* se encontra no plano focal da lupa. Destaque-se que o comportamento dos raios luminosos que atingem o nosso olho não sofre nenhuma descontinuidade. Ao contrário, os raios luminosos monótona e gradualmente se transformam de raios divergentes para raios convergentes.

⁸Cabe ressaltar que a descontinuidade é facilmente perceptível quando o observador está postado a uma grande distância da lente convergente (a uma distância muito maior do que a sua distância focal) e o *objeto* é afastado da lente para além do seu plano focal. Neste caso a *imagem* conjugada pela lente muda de *virtual* para *real*. Tanto uma *imagem* quanto a outra constituem *objetos reais* para o olho de um observador distante. Então o observador poderá enxergar uma *imagem invertida* pairando no espaço em frente da lente. Esse efeito, quando demonstrado em laboratórios de óptica, surpreende aqueles que acreditam que *imagens reais* somente podem ser vistas sobre anteparos. Efeito semelhante também pode ser obtido com espelhos côncavos, sendo às vezes empregado para produzir *miragens* em feiras e museus de ciências [5].

⁹O leitor que dispuser de uma lupa facilmente poderá colocar à prova a teoria aqui discutida.

uma perda de nitidez da *imagem* conjugada na retina quando o objeto está muito além do plano focal, pois o nosso olho não possui *acomodação visual* para esta situação.

Enfatizamos, finalmente, que não podemos compreender a óptica da visão sem levar em conta o fato de que a lente de nosso olho conjuga *imagens reais* na retina. Ignorar esse princípio nos induz a fazer previsões erradas sobre o que se pode enxergar.

Agradecimento

Agradecemos à professora M.C. Varriale pela leitura crítica deste artigo e pelas sugestões apresentadas.

Apêndice

Questão: Teste sobre a lupa

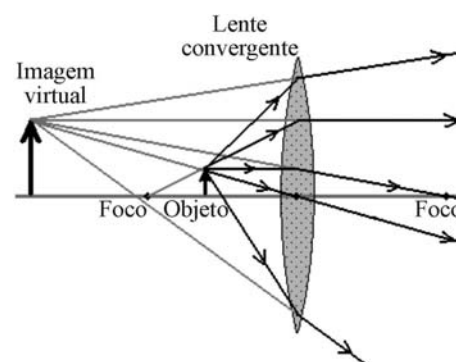


Figura 1A -

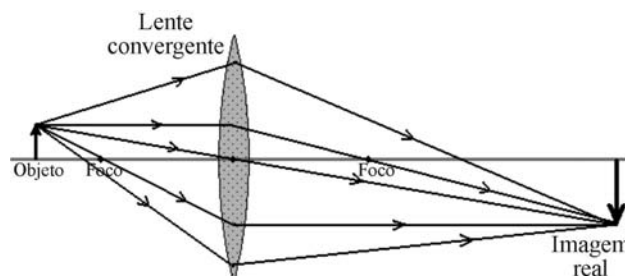


Figura 2A -

As figuras acima representam uma lente convergente conjugando imagens em duas situações distintas. Quando o *objeto* se encontra entre a lente e o foco, a *imagem* conjugada é *virtual* e *direita* (Fig. 1A). Quando o *objeto* se encontra além do foco, a *imagem* conjugada é *real* e *invertida* (Fig. 2A). Posto isto, considere a seguinte questão:

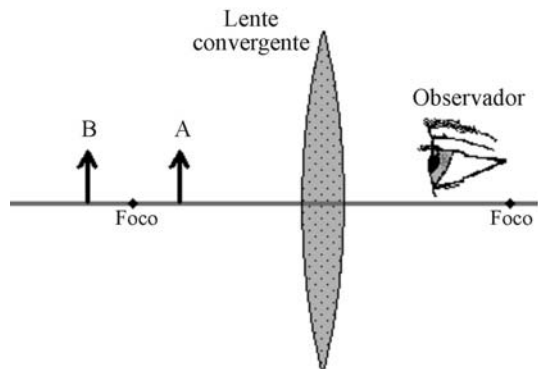


Figura 3A -

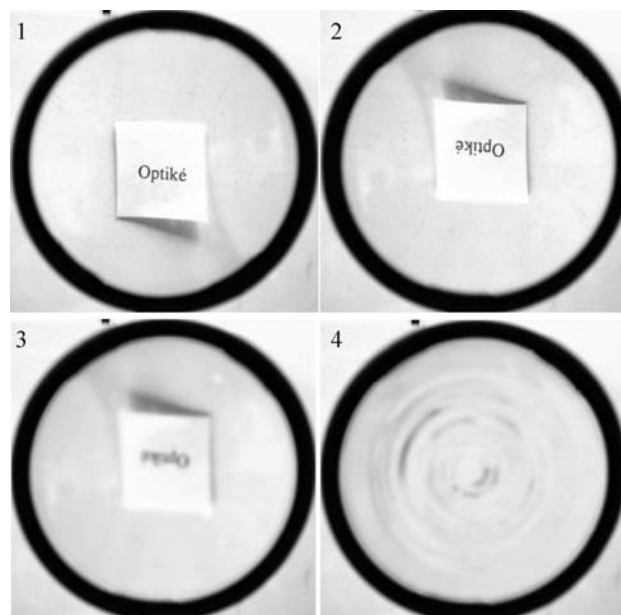
Um observador utiliza uma lente convergente como lupa, posicionando o seu olho próximo da lupa (vide Fig. 3A). Inicialmente ele coloca o objeto (a palavra *Optiké*) na posição A, próximo ao foco, entre a lupa e o foco. O que ele vê nesta situação está mostrado na fotografia da Fig. 4A.



Figura 4A -

Depois o objeto é deslocado para a posição B, isto é, para um pouco além do foco, mas o observador permanece no mesmo lugar.

Qual das quatro fotografias a seguir você julga que reproduza aquilo que o observador enxerga agora?



Referências

- [1] GREF, *Física 2* (EDUSP, São Paulo, 1991).
- [2] G. Berkeley, in *The Works of George Berkeley*, edited by A.A. Luce and T.E. Jessop, (Thomas Nelson & Sons, Londres, 1948-1957), v. I, p. 177-179.
- [3] F.L. Silveira, R. Axt e M.A. Pires, *Rev. Bras. Ens. Fis.* **26**, 19 (2004).
- [4] A. Gaspar, *Experiências de Ciências para o Ensino Fundamental*. (Ed. Ática, São Paulo, 2003).
- [5] A. Gaspar, *Física 2*. (Ed. Ática, São Paulo, 2001).
- [6] H.M. Nussenzveig, *Curso de Física Básica* (Ed. Edgard Blücher, São Paulo, 1998).
- [7] R. Dawkins, *A Escalada do Monte Improvável* (Companhia das Letras, São Paulo, 1998).