

ÓTICA E GEOMETRIA DINÂMICA

Carlos Eduardo Aguiar [carlos@ifrj.br]

Instituto de Física, Universidade do Federal do Rio de Janeiro

RESUMO

Os programas de geometria dinâmica foram os principais responsáveis pela revitalização do ensino de geometria ocorrida nos últimos anos. Esses programas produzem representações visualmente acuradas de objetos e relações geométricas, que podem ser modificadas interativamente com simples movimentos do *mouse*. Neste trabalho nós discutimos como os sistemas de geometria dinâmica podem ser facilmente transformados em ambientes de aprendizagem de ótica geométrica. Em particular, sugerimos que algumas dificuldades conceituais que os estudantes tradicionalmente encontram nessa disciplina podem ser superadas com a ajuda dos programas de geometria dinâmica. A título de exemplo mostramos como a reflexão por espelhos planos e esféricos pode ser estudada nesses ambientes.

INTRODUÇÃO

Programas de geometria dinâmica são “régua e compassos” virtuais, com os quais objetos geométricos podem ser construídos e manipulados no computador. Esses programas criam ambientes de grande impacto visual, onde relações geométricas são exploradas interativamente, e teoremas são “descobertos” empiricamente. A versatilidade e facilidade de uso dos programas de geometria dinâmica fizeram deles um instrumento extremamente popular entre os professores e alunos de matemática, e criou um interesse renovado pela geometria dentro das escolas.

O potencial pedagógico da geometria dinâmica não se restringe ao ensino de geometria. Neste trabalho discutimos como os programas de geometria dinâmica podem facilitar o aprendizado da ótica geométrica, ajudando a superar as dificuldades conceituais que os estudantes tradicionalmente encontram nessa disciplina. A ótica geométrica deveria ser fácil de aprender – afinal, são apenas alguns conceitos e um pouco de geometria. Ela é uma das áreas da física em que os estudantes mais facilmente podem usar modelos matemáticos abstratos para descrever sistemas reais ligados à sua experiência cotidiana. É também um campo com importantes aplicações práticas: fotografia, microscópios, telescópios, e o próprio funcionamento dos nossos olhos são alguns exemplos. Apesar de todas essas características favoráveis, são notórias e bem documentadas as dificuldades que os estudantes encontram no estudo da ótica geométrica [1-3]. Há muitas evidências de que a familiaridade que temos com os fenômenos visuais cria uma série de concepções intuitivas que se chocam com os princípios físicos da ótica e atuam como barreiras ao aprendizado. Por exemplo, uma fração significativa dos estudantes entra e sai (aprova) dos cursos de ótica acreditando que a imagem formada por um espelho plano muda de posição quando o observador se move. E um número grande afirma que, se estiverem em frente a um espelho muito pequeno, dando um passo para trás verão mais de seu próprio corpo. Tudo isso indica que as noções intuitivas que temos sobre imagens em espelhos não são compatíveis com as leis da ótica, nem são facilmente deslocadas durante os cursos tradicionais. Aliás, uma parte das concepções errôneas que os estudantes carregam mesmo após os cursos de ótica têm origem nos próprios métodos de ensino. A ênfase usualmente dada a uns poucos “raios de construção” leva muitos estudantes a acreditarem

que esses são os únicos raios existentes, e que sem eles uma imagem não pode ser formada. Outro problema comum, e associado ao anterior, é a falta de compreensão do papel desempenhado pelo olho do observador, em particular das condições necessárias para que este possa ver uma imagem.

É nesse contexto que os ambientes de geometria dinâmica podem ser muito úteis. Eles permitem estudar sistemas óticos em um “micromundo” de grande riqueza visual e alta interatividade, capaz de gerar impressões fortes e duradouras. Isso dá ao estudante uma melhor chance de superar as concepções errôneas, mas muito arraigadas, que ele traz de sua experiência diária, facilitando a fixação de novas estruturas conceituais. E como veremos a seguir, é fácil produzir representações de sistemas óticos em que *todos* os raios relevantes são mostrados. Isso dispensa o uso dos raios especiais durante a introdução de conceitos básicos como o de imagem, e evita que eles sejam considerados elementos físicos essenciais. Essas construções também tornam muito simples definir os locais de onde o observador pode ver uma imagem.

Nas próximas seções daremos alguns exemplos de como sistemas óticos podem ser estudados nos ambientes de geometria dinâmica. As construções que discutiremos foram elaboradas com o Tabulæ, um programa de geometria dinâmica desenvolvido no Instituto de Matemática da UFRJ. A adaptação dessas construções a outros programas, como os populares Cabri ou Geometer's Sketchpad, pode ser realizada facilmente.

FORMAÇÃO DE IMAGENS NO ESPELHO PLANO

A reflexão por um espelho plano ilustra muito bem como a geometria dinâmica pode ser útil no ensino de ótica. A Fig. 1 mostra a janela do Tabulæ após a criação de representações de um espelho, um objeto pontual, e um raio luminoso que vai do objeto ao espelho. Segundo os princípios da ótica geométrica, o ângulo que o raio refletido forma com o espelho é igual ao ângulo de incidência. Com esta relação fica fácil traçar o raio refletido, que está mostrado na Fig. 2 juntamente com sua extensão “virtual” para trás do espelho.

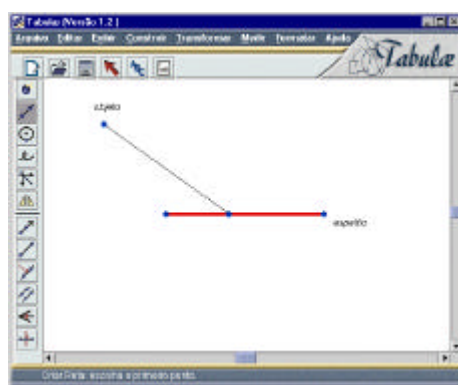


Figura 1

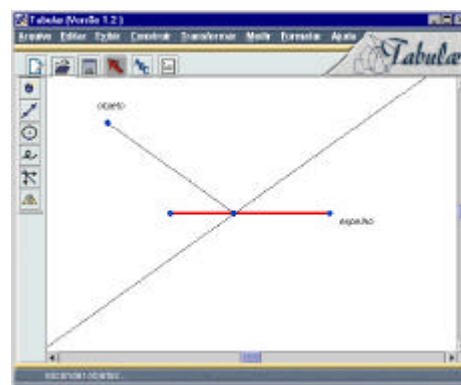


Figura 2

O próximo passo é estudar o que acontece com os outros raios que saem do objeto e atingem o espelho. Com as ferramentas de construção de lugar geométrico (*locus*), que quase todos os ambientes de geometria dinâmica possuem, isto pode ser feito rapidamente, com resultados muito instrutivos. A Fig. 3 mostra o lugar geométrico ocupado pelos raios incidente e refletido (com sua continuação virtual) quando o ponto de incidência percorre o espelho. O notável nesta figura é a constatação de que todas as continuações virtuais se encontram em um mesmo ponto. Para um

observador em frente ao espelho, os raios refletidos parecem emanar de uma fonte luminosa pontual situada atrás do espelho – uma imagem do objeto foi formada. Poucas apresentações da ótica geométrica são capazes de ilustrar de maneira tão vívida o conceito de imagem. Mais ainda, em um ambiente de geometria dinâmica podemos manipular graficamente o espelho e o objeto, e estudar o que acontece com a imagem. Na Fig. 4 vemos que a imagem acompanha o deslocamento do objeto, ficando sempre em posição simétrica em relação ao espelho.

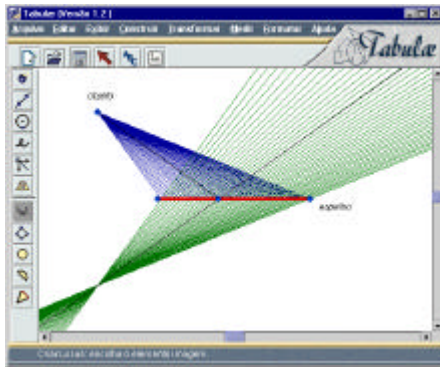


Figura 3

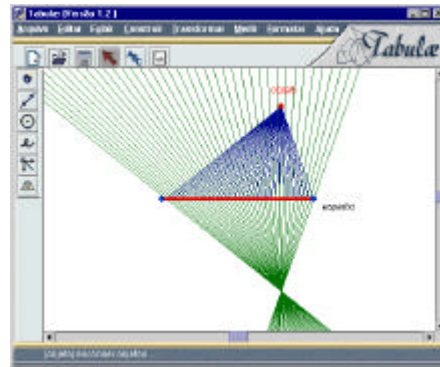


Figura 4

Construções geométricas desse tipo, além de tornar notavelmente claro o conceito de imagem, podem ajudar os estudantes a superar as dificuldades conceituais mencionadas na Introdução. Por exemplo, criando um objeto que represente o observador, e movendo-o pela tela, pode-se ver que obviamente a posição da imagem não muda. As condições para a visibilidade da imagem também são facilmente estabelecidas. Quanto à idéia de que podemos ver uma parte maior de nosso corpo afastando-nos do espelho, a construção da Fig. 5 mostra porque ela é errônea.

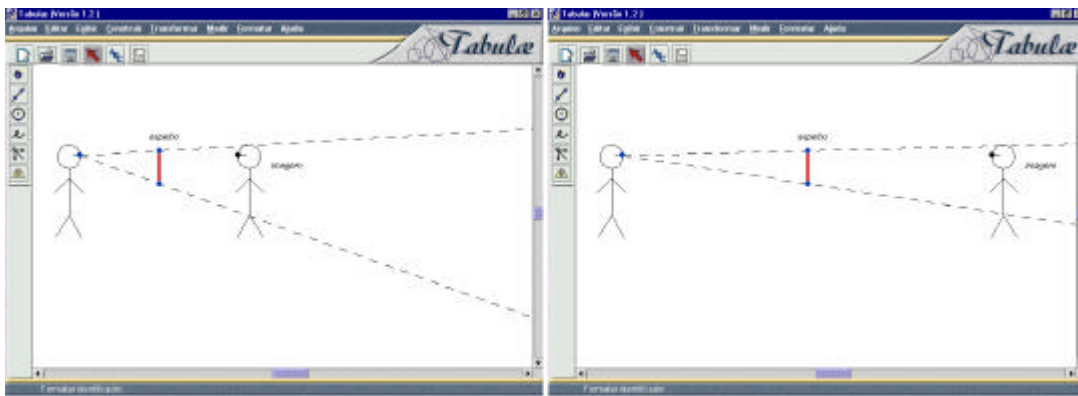


Figura 5

ESPELHOS ESFÉRICOS

O espelho esférico é um sistema bem mais complexo que o espelho plano, mas é tratado com a mesma facilidade nos ambientes de geometria dinâmica. A Fig. 6 mostra como um espelho côncavo pode produzir uma imagem real, ao contrário do espelho plano cujas imagens de objetos reais são sempre virtuais. Também diferentemente do espelho plano, nem sempre um espelho esférico produz uma imagem bem definida. Isso está ilustrado na Fig. 7, que mostra o que ocorre (astigmatismo) quando o objeto está longe do eixo de simetria do espelho.

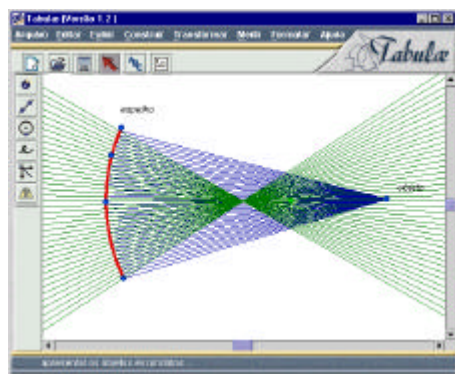


Figura 6

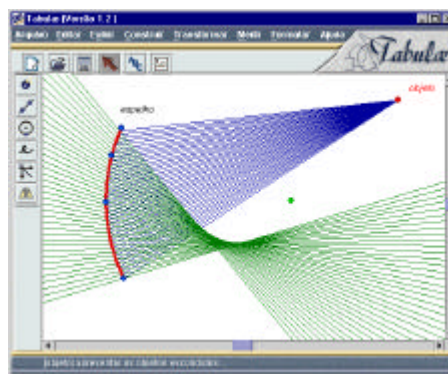


Figura 7

Novamente, muitas dificuldades conceituais podem ser reduzidas com esse tipo de modelagem geométrica. Por exemplo, uma parcela grande dos alunos costuma afirmar que metade da imagem desaparece se metade do espelho esférico for coberta, um erro tipicamente causado pela interpretação indevida dos raios especiais. Construções como as das figuras acima, que não usam raios especiais, provavelmente não levariam a esse tipo de conclusão.

COMENTÁRIOS FINAIS

Esperamos ter mostrado com os exemplos acima como a modelagem de sistemas óticos em um ambiente de geometria dinâmica pode dar aos estudantes uma perspectiva nova, mais intuitiva e menos sujeita a equívocos de interpretação, sobre como os conceitos básicos da ótica geométrica se relacionam com fenômenos reais. É claro que os casos tratados aqui não esgotam as possibilidades de aplicação desses programas à ótica. Com a mesma facilidade com que estudamos os espelhos é possível investigar lentes, prismas, o arco-íris, e muito mais [4].

É importante ressaltar o caráter interativo e exploratório das construções produzidas nos ambientes de geometria dinâmica – modificações nas figuras podem revelar aspectos novos e inesperados, que por sua vez podem ser estudados em maior detalhe com outras construções, e assim por diante. Este tipo de atividade, a modelagem geométrica, pode ser a base para a formulação de estratégias instrucionais que certamente teriam um impacto muito positivo no ensino da ótica.

Este trabalho foi parcialmente financiado pela Faperj (CNE), CNPq (Pronex), e Capes (Probal).

REFERÊNCIAS

- [1] F.M. Goldberg, L.M. McDermott, Student difficulties in understanding image formation by a plane mirror, *The Physics Teacher* **24**, 472-480 (1986).
- [2] F.M. Goldberg, L.M. McDermott, *An investigation of student understanding of the real image formed by a converging lens or concave mirror*, *American Journal of Physics* **55**, 108-119 (1987).
- [3] I. Galili, A. Hazan, *Learners' knowledge in optics: interpretation, structure and analysis*, *Int. J. Sci. Educ.* **22**, 57-88 (2000).
- [4] C.E. Aguiar, *Ótica geométrica com o Tabulae*, <http://www.if.ufrj.br/~carlos/geomdin/geomdin.html>