

Como registrar, com boa resolução e nitidez, imagens produzidas por instrumentos ópticos em geral, munidos de oculares, tais como microscópios, binóculos, telescópios? Talvez uma das primeiras coisas que nos venham à mente seja utilizar uma câmera digital. De fato, é bastante simples obter estas imagens, como será descrito a seguir. Inicialmente, serão recordados alguns princípios básicos da óptica do olho, da câmera digital, do telescópio e do microscópio. Em seguida, estes princípios serão empregados na obtenção de imagens por meio de uma câmera digital. Para tal, será descrita a confecção de um dispositivo que permita a adaptação da câmera à ocular de microscópios e telescópios. Algumas regulagens também serão discutidas à luz destes princípios básicos, tais como o ajuste da distância focal, a seleção do tempo de exposição e o controle da abertura do diafragma da câmera, nos casos em que o modo manual estiver disponível. Serão também apresentadas alternativas para aquelas câmeras nas quais não há a disponibilidade deste modo. Por fim, serão apresentados alguns resultados obtidos.

Alguns princípios básicos de óptica geométrica

O olho

Na Fig. 1 A é apresentado o diagrama de raios de um objeto situado no infinito, cuja imagem real se forma no fundo do olho, onde se encontra a retina com seus elementos sensíveis à luz - os cones e bastonetes. Pelo fato de o objeto estar a uma distância grande quando comparada com a distância focal do sistema de lentes do olho (córnea e cristalino), os raios de luz que dele emanam são aproximadamente paralelos. Nesta situação o olho funciona "relaxado", quer dizer, o mecanismo biológico de focalização que altera a distância focal do cristalino não atua da forma que

atuaria se tivesse que focalizar uma imagem próxima, por exemplo, um livro a 30 cm de distância.¹ Para objetos distantes, o plano focal do conjunto córnea-cristalino coincide com a posição da retina, no fundo do olho.

A câmera fotográfica

Do ponto de vista da óptica, o princípio físico é muito parecido com o do olho (Fig. 1 B). Quando um objeto distante é focalizado pela câmera, a objetiva desta funciona como o conjunto córnea-cristalino, o qual por sua vez pode ser tomado como equivalente a uma lente convergente. Os raios (muito aproximadamente) paralelos que provêm de um objeto distante formarão uma imagem real nítida no plano focal desta lente convergente (na prática, as objetivas das câmeras são constituídas por um conjunto de lentes que atuam como se fossem uma única lente convergente de excelente qualidade, praticamente isenta de aberrações esféricas e cromáticas), onde se encontram os elementos sensíveis à luz. Trata-se de um dispositivo do tipo CMOS ou CCD,² que faz um papel de certo modo análogo ao dos cones e bastonetes do olho, ou ao filme fotográfico das câmeras mais antigas.

O telescópio

Na Fig. 2 é mostrado o diagrama de raios de um telescópio refrator, ou seja, um instrumento munido de uma lente de grande diâmetro e distância focal longa - a objetiva - e de uma segunda lente de distância focal menor, a ocular. Um telescópio refle-

tor, munido de um espelho parabólico, funciona segundo princípios muito semelhantes. Do ponto de vista deste trabalho, eles são equivalentes.

O detalhe essencial a ser retido aqui é o seguinte: os raios paralelos que atravessam a lente objetiva (ou que seriam refletidos por um espelho côncavo parabólico), também sairão paralelos da ocular. A "lente convergente" do olho (ou a objetiva da câmera fotográfica) fará com que esses raios paralelos converjam exatamente sobre o plano focal, no fundo do olho (ou no sensor de luz da câmera).

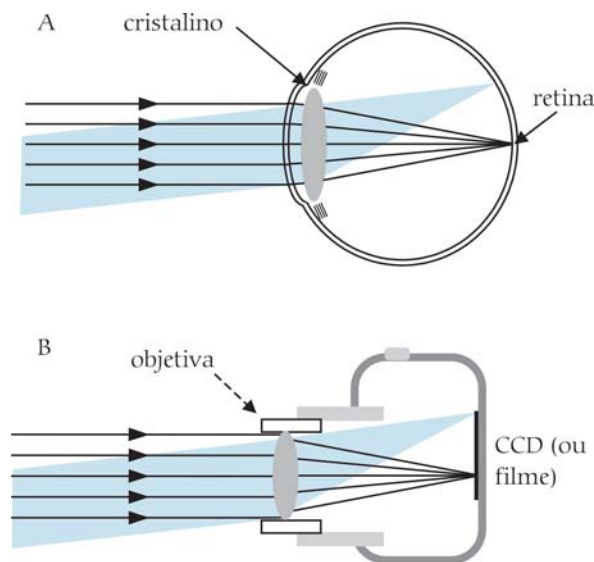


Figura 1 - A. Os raios paralelos, provindos de uma imagem distante, são focalizados pelo conjunto córnea-cristalino do olho relaxado na retina, no fundo do olho. B. De maneira análoga, raios paralelos provindos de uma imagem distante são focalizados pela objetiva de uma câmera fotográfica (ajustada para focalizar imagens no infinito) sobre o CCD (nas câmeras mais antigas, o filme). Para maior simplicidade, a objetiva da câmera fotográfica foi representada por apenas uma lente convergente.

Microscópio

Também neste caso (Fig. 3), os raios que “emergem” da ocular são aproximadamente paralelos, e convergirão no plano focal da lente do olho (conjunto córnea-cristalino), ou sobre o CCD de uma câmera digital, que coincide com o plano focal da objetiva desta, focalizada no infinito.

Descrição de um dispositivo de acoplamento da câmera digital a uma ocular

Antes de passar à descrição deste dispositivo, adiantamos que é possível até mesmo fazer fotos sem a ajuda dele. Este é o caso da impressionante foto da Lua que pode ser vista na Fig. 4, feita com a câmera operada manualmente, sem nenhum suporte. Mas é claro que não é prático obter as imagens por tentativa e erro, gastando nisso um tempo eventualmente considerável. Havendo a possibilidade, sempre é mais prático obter as fotos por meio de algum dispositivo de acoplamento, tal como o que será descrito a seguir.

O dispositivo (Fig. 5) consiste de um tubo de PVC de 50 mm de diâmetro externo, com paredes de 5 mm de espessura e 60 mm de comprimento, acoplado a uma base de madeira, de dimensões próximas à da câmera digital que será empregada na obtenção das fotos. No protótipo aqui apresentado, as dimensões da base são de 110 mm x 55 mm, e a espessura da madeira, 6 mm. Note que a posição na qual o cano é fixado vai depender do tipo de câmera para o qual o adaptador é feito; neste caso, ele foi fixado próximo a uma das bordas, para coincidir com a posição da objetiva da câmera fotográfica. O orifício circular de 50 mm pode ser feito com uma serra copo deste diâmetro, acoplada a uma furadeira. Na falta

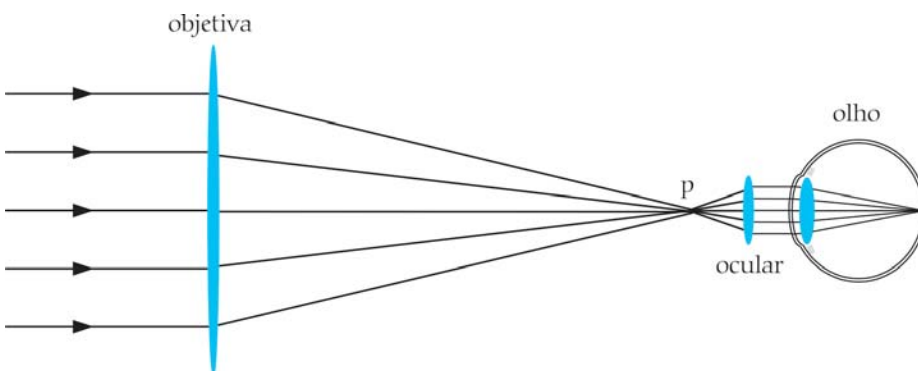


Figura 2 - Telescópio refrator, apontado para um objeto distante (o desenho está fora de escala). Os raios paralelos, provindos do objeto, são focalizados pela objetiva no plano focal que contém o ponto p, o qual coincide com o plano focal da ocular. Desta forma, os raios que emergem desta são paralelos. O olho, relaxado, focaliza-os na retina, produzindo uma imagem nítida.

desta serra, o orifício pode ser recortado por meio de uma serra tico-tico. O cano pode ser fixado à base de madeira com algumas gotas de cola rápida, tipo cianoacrilato (Super Bonder®).

Fixação à ocular do telescópio ou microscópio

Talvez a maneira mais simples e mais “universal” de efetuar esta fixação seja a que emprega três parafusos, dispostos simetricamente na parede do tubo de PVC, como pode ser visto na Fig. 5. No protótipo aqui apresentado foram utilizados parafusos de 3 mm de diâmetro, passo 0,5 mm e 25 mm de comprimento. A rosca no PVC pode ser feita com uma ferramenta especial para este fim chamada “macho”; alternativamente, este trabalho pode ser feito rapidamente em uma oficina mecânica. A segunda solução, improvisada, pode ser a seguinte: faça três furos de 2,5 mm de diâmetro nas posições em que os parafusos serão colocados. Faça agora a rosca, rosqueando o parafuso de 3 mm de diâmetro e passo 0,5 mm no furo realizado. Tome cuidado especial no início do processo; dê uma ou duas voltas no parafuso e volte, limpe-o das rebarbas e retorne o processo, até completar a rosca. O resultado obtido através deste procedimento é aceitável.

Em geral, o diâmetro da ocular é menor que o diâmetro interno do tubo, o qual deve ser grande o suficiente para acomodar a objetiva da câmera com folga. Um segundo anel de cano de PVC, de 40 mm de diâmetro externo e aproximadamente 40 mm de comprimento permitiu neste caso o acoplamento da ocular.⁴ Se o orifício for ainda muito grande, use mais anel de cano, até chegar próximo ao ajuste desejado. Finalmente, uma tira de papel dobrada várias vezes levará ao

diâmetro desejado, além de proteger a ocular de eventuais danos provocados pelo aperto dos parafusos.

Fixação da câmera ao dispositivo

Foram colocados pequenos parafusos nas bordas da base de madeira (não esqueça de, antes de colocá-los, perfurar previamente a madeira com uma broca de diâmetro um pouco inferior ao diâmetro dos parafusos). A câmera é então fixada em sua posição através de atilhos

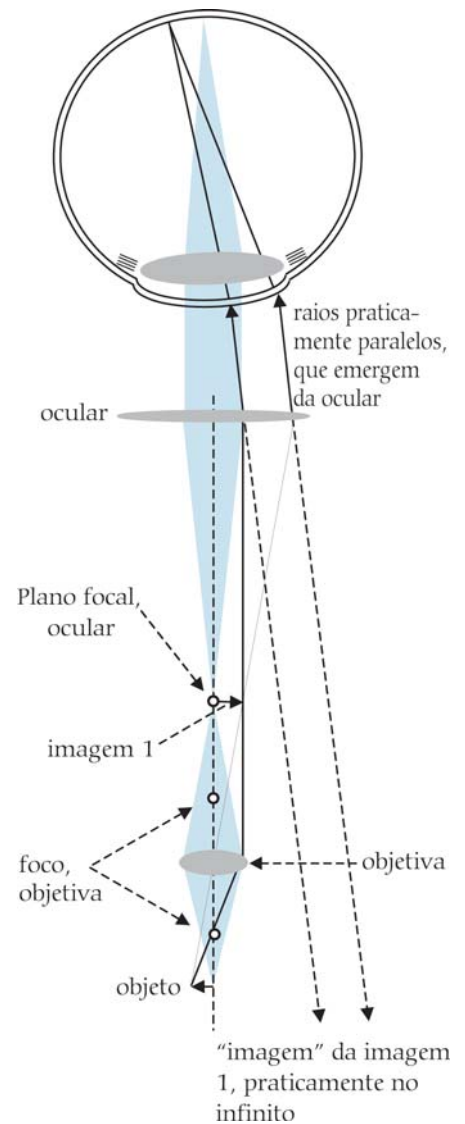


Figura 3 - Esquema de raios de um microscópio composto (fora de escala).³ O objeto, próximo ao plano focal da objetiva, terá sua imagem produzida por esta (imagem 1, na figura). Esta “imagem 1” encontra-se no plano focal da ocular, e os raios que emergem desta última, praticamente paralelos, produzirão no fundo do olho relaxado (ou da câmera focalizada no infinito) uma imagem nítida, com grande ampliação.



Figura 4 - Foto da Lua a partir de um telescópio Meade de 12". Neste caso, a câmera estava regulada no modo automático, e a foto foi feita manualmente, sem o dispositivo de acoplamento descrito no texto, simplesmente aproximando-a da ocular e encontrando a melhor posição por tentativa e erro. Foi utilizado um aumento de 3x. Na verdade, esta é a melhor foto escolhida dentro de mais de uma dezena delas. O uso do dispositivo de fixação descrito no texto evitaria estes longos procedimentos de tentativa e erro.



Figura 5 - A - Foto do dispositivo. Os três parafusos de fixação da ocular foram dotados de uma porca extra, de modo a facilitar o manuseio. Os parafusos laterais, fixos no suporte de madeira, servem para prender a câmera. O anel de PVC, acima da câmera, permite a adaptação da ocular ao dispositivo, praticamente sem folgas. B. Atilhos de borracha fixam a câmera ao dispositivo, de maneira segura e sem danos a ela. Os dois pinos, próximos à câmera, evitam que ela se mova em relação ao tubo adaptador. O tubo de PVC, sobre a ocular, ajusta-se ao tubo do dispositivo. As fotos das Figs. 6 e 7 foram obtidas com o equipamento aqui mostrado, acoplado a um dos lados de uma lupa binocular.

(elásticos de amarrar) de borracha, como pode ser visto na Fig. 4. Este procedimento evita danos à câmera, tais como riscos.

Antes de proceder à montagem tome um último cuidado: assegure-se de que, ao ligar a câmera, a objetiva possa ocupar sua posição sem nenhum impedimento. Tome um cuidado especial em não montar a ocular muito para dentro do tubo, a ponto de obstruir o avanço do sistema de lentes da câmera quando ela é ligada. Não há uma distância rígida a ser obedecida entre a ocular e a objetiva da câmera; no nosso protótipo, esta distância é da ordem de 1 cm. Distâncias muito maiores comprometerão o "campo de visão" da câmera.

Regulagens da câmera

A operação mais simples consiste em prender a câmera ao suporte, acoplá-la à ocular do instrumento, e regulá-la para o modo automático. Bloqueie o disparo do *flash* (se tiver dúvida de como fazer isso, consulte o manual. Praticamente todas as câmeras digitais dispõem deste recurso). Verifique na tela da câmera; é provável que a imagem fique restrita a uma região circular, no centro desta. Use então o aumento; isto permitirá - em geral - que a imagem preencha todo o campo de visão. O aumento óptico de 3x, disponível na maioria das câmeras, é suficiente para que esta operação seja executada. Entretanto, oculares com grande aumento e pequena abertura poderão fornecer imagens com menor campo de visão. Mesmo com a ajuda do aumento da câmera, talvez não seja possível preencher todo o campo. Uma observação adicional: dependendo da resolução selecionada para a foto, há possibilidade de uso do aumento digital. Nada melhor do que efetuar alguns testes para descobrir a melhor combinação. Agora, a foto: se as imagens forem razoavelmente luminosas, o que é o caso das fotos apresentadas a seguir, bastará simplesmente pressionar o obturador!

Regulagens manuais

Algumas câmeras digitais permitem a operação no modo manual. Nestas, pode-se proceder da seguinte maneira: 1- ajuste a câmera para o modo de operação manual. 2- Não esqueça de bloquear o disparo do *flash*. 3- Através do menu da câmera, ajuste a sensibilidade ISO do filme. Se as imagens forem de pouca luminosidade, selecione uma regulagem alta, por exemplo, ISO 400, ou maior, se a câmera oferecer esta possibilidade. 4- Abertura: por exemplo, uma abertura 5.6 fornecerá imagens mais luminosas do que uma abertura 10. Selecione a mais

conveniente. 5- Distância focal: ajuste a câmera para o foco no infinito. Como dito anteriormente, isto fará com que os raios paralelos que incidem na lente converjam sobre o plano focal, ou seja, o sensor de luz. 6- Selecione o tempo de exposição. Para imagens brilhantes, o que é o caso das apresentadas neste trabalho, o resultado de tempos de exposição maiores ou menores pode ser avaliado imediatamente na tela da câmera, sem mesmo ser necessário bater a foto. Se as imagens forem pouco luminosas, talvez seja necessário proceder por tentativa e erro. Se o tempo selecionado for longo, talvez seja mais conveniente usar o retardador de disparo da câmera para minimizar efeitos de trepidação. As fotos das Figs. 6 e 7 foram obtidas desta forma.

Se a câmera em uso não oferecer a opção de ajustes manuais, selecione-a para o modo automático e bloqueie o disparo do *flash*. Os resultados em geral são comparáveis aos das Figs. 4, 6 e 7 apresentadas neste trabalho. Outra possibilidade, oferecida em algumas câmeras, é a seleção do modo "paisagem" (*landscape*), ou o modo "fogos de artifício". Nestes modos, o foco é fixado pela câmera na posição "infinito", e o disparo do *flash* é automaticamente bloqueado; no modo "fogos de artifício" a câmera seleciona velocidades de disparo mais baixas, o que pode ser conveniente. Efetue vários testes, os resultados apontarão quais as opções que levarão às melhores fotos.

Outras possibilidades

Filmagens

A câmera com o suporte pode ser usada para filmar eventos monitorados com uma lupa ou microscópio. Por exemplo, pode-se observar e filmar o efeito de aquecimento e fusão provocado pela passagem de uma corrente elétrica por um fino filamento de ferro, retirado de um Bom Bril®.

Acompanhamento em uma televisão

A maior parte das câmeras vem acompanhada de um cabo que permite a visualização das imagens (ou filmes gravados) em um aparelho de televisão. Neste caso, é claro, a resolução da imagem (VGA) é bem menor quando comparada com a que pode ser obtida nas fotos, como as apresentadas neste trabalho.

Resultados obtidos

Selecionamos algumas das (muitas!) fotos realizadas com o dispositivo descrito acima. Os detalhes aparecem nas legendas

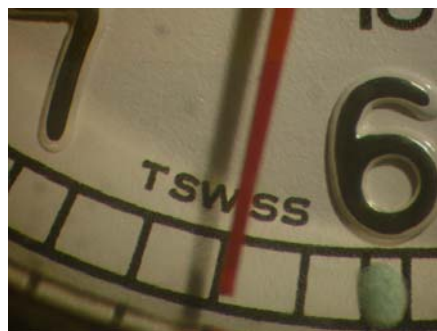


Figura 6 - Foto de um relógio de pulso, feita por meio de uma lupa binocular; o dispositivo com a câmera foi fixado em uma das oculares. O aumento da lupa foi de 25x, e a câmera foi regulada manualmente: ISO 400, velocidade 1/250 (note que, com esta ampliação, a lupa produz imagens muito brilhantes), abertura 5.6, foco ajustado para o infinito, uso de retardador de foto e resolução da imagem de 5 Megapixels. Foi empregado um aumento óptico de 3x. O ponteiro dos segundos aparece ligeiramente borrado por estar em movimento.

de cada foto. A câmera utilizada foi uma Sony Cyber Shot P 150®. É importante frisar que praticamente qualquer câmera digital de pequeno porte se presta para a adaptação aqui proposta. Porém, nem todas oferecerão a possibilidade de controle manual.

Conclusões

Como pode ser constatado nas fotos apresentadas, o resultado é bastante bom e está ao alcance de qualquer pessoa que dedique algum tempo para a confecção do dispositivo e execução das fotos. O custo do dispositivo de adaptação é baixo, e sua fabricação não envolve nenhuma complexidade excessiva. Uma solução alternativa, e de custo aceitável, é a de encomendar a confecção deste dispositivo em alguma oficina. Outra alternativa é a de consultar os alunos: é possível que algum deles ou alguém da família disponha dos recursos e fabrique um destes dispositivos, e o doe posteriormente à escola.

Do ponto de vista do ensino de física,

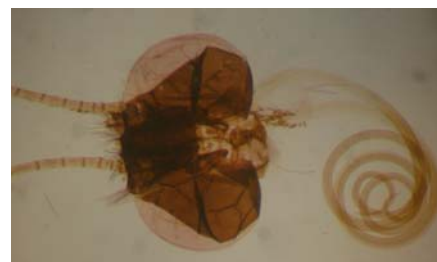


Figura 7 - Cabeça de inseto, também obtida com a lupa referida na Fig. 6, com aumento de 25x. Regulagens da câmera: ISO 400, velocidade 1/125, abertura 5.6, foco ajustado para o infinito, uso de retardador de foto e resolução da imagem de 5 megapixels.

há pelo menos um dividendo importante a considerar: os princípios de óptica envolvidos são todos acessíveis, e usualmente abordados no nível médio. Um projeto que envolva os alunos em todas as etapas, desde a construção do dispositivo até a obtenção das fotos, além de propiciar um bom aprendizado de óptica aplicada, certamente será fonte de grande motivação.

O dispositivo aqui descrito não se restringe à física. Como pode ser verificado na Fig. 7, atividades de ensino em biologia podem ser exploradas, desde a preparação das amostras até a produção das fotos. Aqui também prenuncia-se uma possibilidade de grande motivação dos alunos e professores envolvidos, motivação esta que pode ser aumentada com a perspectiva de realização, na escola e (ou) em outros espaços públicos, de uma "galeria" com as melhores fotos obtidas. Como diz o adágio, freqüentemente "uma imagem vale por mil palavras".

Agradecimentos

Ao CNPq e à Universidade de Caxias do Sul pelo apoio prestado.

Francisco Catelli*,
Marcos Andrezza,
Odilon Giovannini Júnior
Fernando Siqueira da Silva
Universidade de Caxias do Sul,
Caxias do Sul, RS, Brasil
*E-mail: fcatelli@ucs.br

Bibliografia e notas

¹Ver, por exemplo, Sears e Zemansky *Física – Ótica e Física Moderna* (Addison Wesley, São Paulo, 2004), v. 4., 10ª ed., p. 69 e seguintes.

²Tanto o CMOS (sigla em inglês para semicondutor metal-óxido) quanto o CCD (sigla em inglês para dispositivo de carga acoplado) constituem um arranjo de dispositivos sensíveis à luz, ou "pixels". Um arranjo típico pode ser constituído de 7 200 000 destes condutores. Em linguagem corrente, diz-se que se trata de uma "câmara digital de 7,2 Mega". Ver por exemplo, pt.wikipedia.org/wiki/Brasil, e procurar na busca por "câmara digital", "CMOS" e "CCD".

³E. HECHT, *Optics* (Addison Wesley, Reading, 1987), 2ª ed, p. 191.

⁴A ocular em questão é de uma lupa binocular Zeiss. O diâmetro do encaixe é de 34 mm.