

Capítulo
10

Introdução à Óptica Geométrica

A Óptica Geométrica é desenvolvida a partir da noção de raio de luz, dos princípios fundamentais que regem o comportamento dos raios de luz e de construções geométricas das imagens.

▶ **10.1 Conceitos fundamentais**

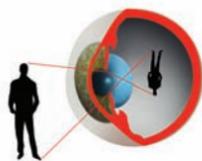
A Óptica Geométrica é o ramo da Física em que se estudam os fenômenos luminosos sem se preocupar com a natureza da luz.

▶ **10.2 Princípios da Óptica Geométrica**

A Óptica Geométrica se estrutura sobre três princípios fundamentais.

A ciência imita a vida

O funcionamento de uma câmera fotográfica baseia-se no do olho humano, mas esse órgão é muito mais adaptável que a máquina.



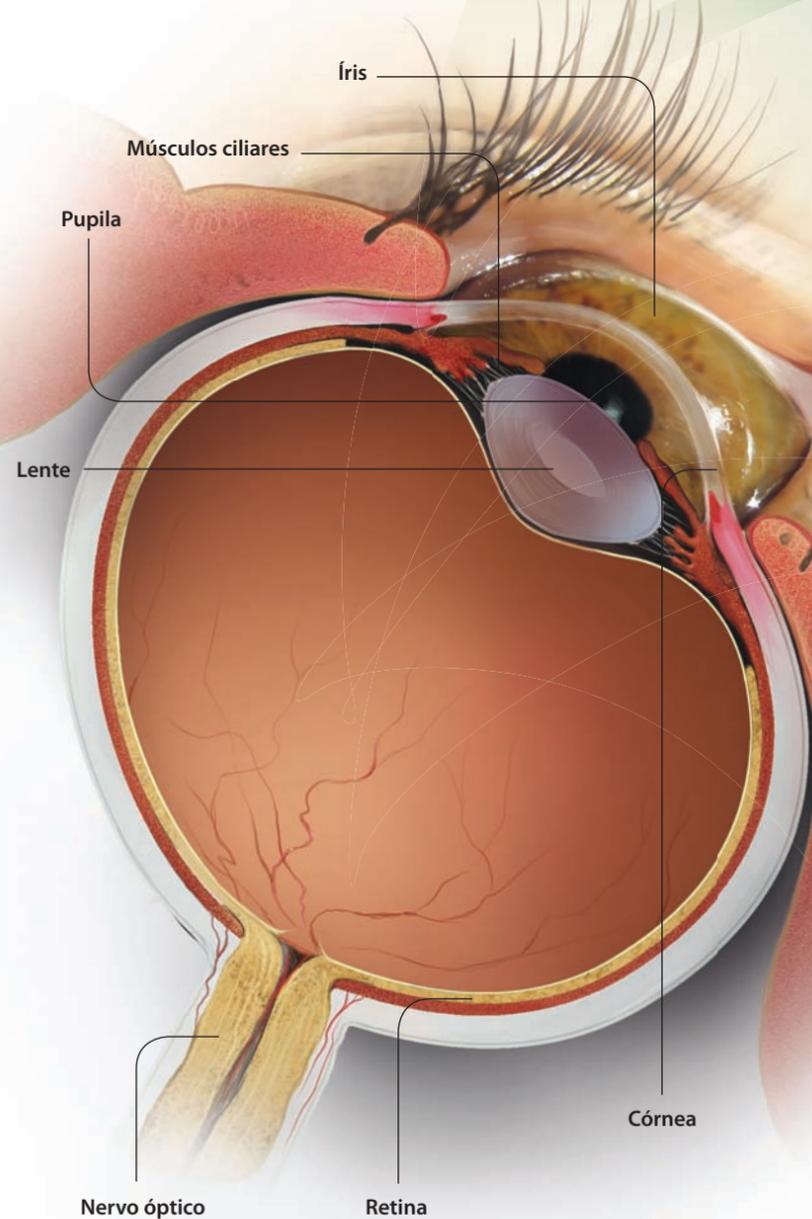
Tanto o olho quanto a câmera são dotados de lentes, utilizadas para focalizar o objeto: na retina, no caso do olho, ou no filme, no caso da câmera.



A diferença está na adaptação. Enquanto na câmera o ajuste focal é feito variando-se a posição da lente, no olho é o diâmetro da lente que se altera.

Óculos nunca mais!

Até pouco tempo atrás, os problemas da visão só podiam ser contornados por meio do uso de óculos. A partir da descoberta do laser e das suas aplicações, os avanços dessa tecnologia tornaram possíveis intervenções até então inimagináveis, inclusive a correção definitiva das anomalias da visão.



Normal



Um olho normal forma as imagens exatamente na retina, que através do nervo óptico envia as informações ao cérebro.



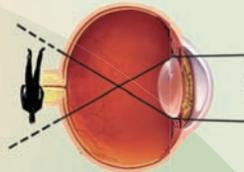
Miopia



O olho míope é mais longo que o normal e por isso a imagem se forma antes da retina. A miopia faz com que a pessoa veja os objetos distantes desfocados e os próximos nítidos.



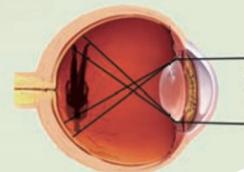
Hipermetropia



Ao contrário da miopia, na hipermetropia o olho é mais curto que o normal. Os hipermetropes enxergam com nitidez objetos distantes, já os objetos próximos são vistos desfocados.



Astigmatismo

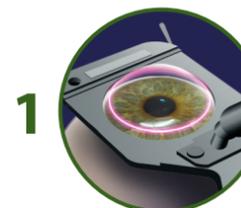


O astigmatismo ocorre devido a uma imperfeição da córnea, que desenvolve um formato mais ovalado que esférico. Isso faz com que sejam produzidos vários focos, deixando a imagem parecida com o efeito fantasma da TV.

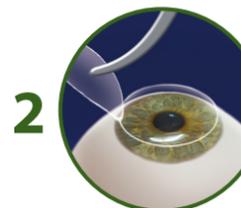


A cirurgia

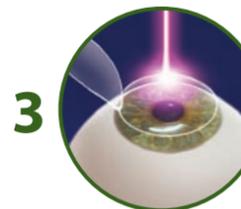
Com um laser, o médico modela a córnea deixando-a mais plana. Por isso, pacientes cujas córneas sejam muito finas não podem ser submetidos a essa cirurgia.



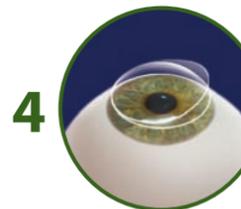
Após pingar algumas gotas de colírio anestésico, o médico corta uma camada de 9 mm de diâmetro do epitélio com um aparelho de alta precisão chamado microcerátomo.



A camada do epitélio é então levantada, ficando presa lateralmente ao globo ocular para que possa ser recolocada ao final da cirurgia.



O laser é acionado – 30 segundos são suficientes para corrigir até 10 graus de miopia. Nos míopes, o feixe de laser atinge o centro da córnea, enquanto nos hipermetropes, ele é apontado para as bordas.



Após a aplicação do laser, a camada do epitélio é recolocada. Não é necessária a aplicação de pontos – o epitélio da córnea tem um poder de cicatrização incrível. No dia seguinte à cirurgia, o paciente já pode levar uma vida normal.

Na cirurgia corretiva, como em qualquer outra, existem riscos. Entre eles estão uma correção parcial da anomalia, um deslocamento da camada do epitélio e clareões, semelhantes à visão noturna de pessoas que usam lentes de contato.

Para pensar

1. Qual princípio da óptica geométrica explica a formação das imagens no olho e na câmera fotográfica?
2. A imagem formada na retina é invertida. Por que não enxergamos dessa maneira?

Conceitos fundamentais

Objetivos

- ▶ Conceituar raio de luz e representá-lo geometricamente.
 - ▶ Diferenciar corpos luminosos de corpos iluminados.
- ▶ Caracterizar fontes de luz fundamentando-se em suas dimensões.
 - ▶ Diferenciar meios transparentes, opacos e translúcidos.
- ▶ Conhecer os principais fenômenos ópticos que podem ocorrer na propagação da luz.
- ▶ Compreender a cor de um corpo por meio da reflexão difusa da luz.

Termos e conceitos

- feixe de luz
 - reflexão
 - refração
 - absorção
- luz monocromática
- luz policromática

Certos fenômenos luminosos podem ser estudados sem que se conheça previamente a natureza da luz. Bastam, para tanto, a noção de raio de luz, alguns princípios fundamentais e considerações de Geometria. O estudo desses fenômenos constitui a **Óptica Geométrica**.

Assim, para representar graficamente a luz em propagação, como, por exemplo, a emitida pela chama de uma vela (fig. 1), utilizamos a noção de **raio de luz**.

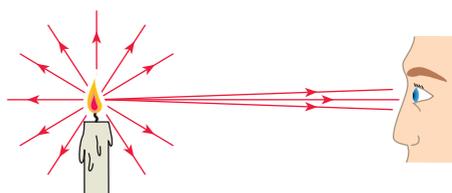


Figura 1. Raios de luz chegam ao globo ocular do observador.

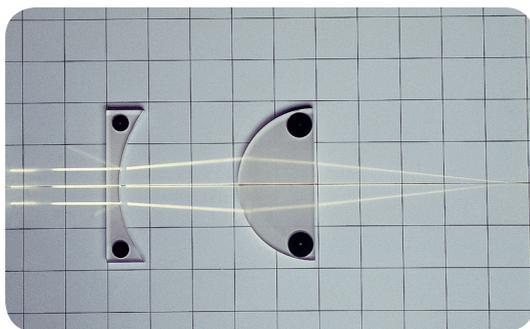
Raios de luz são linhas orientadas que representam, graficamente, a direção e o sentido de propagação da luz.

Os fenômenos estudados em Óptica Geométrica podem ser descritos com a simples noção de raio de luz.

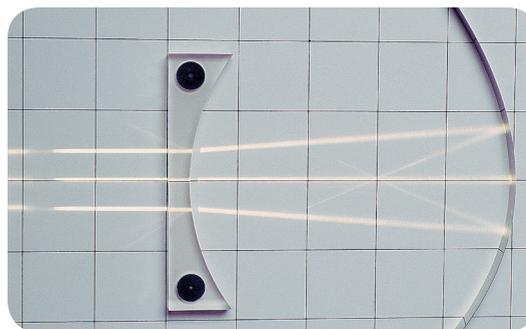
Um conjunto de raios de luz constitui um **feixe de luz**. Este pode ser convergente, divergente ou paralelo (fig. 2).



Figura 2. Feixes de luz.



Um feixe de luz que incide na lente da esquerda é paralelo. O feixe de luz que dela emerge é divergente. O feixe de luz que emerge da lente à direita é convergente.



Um feixe de luz incide numa lente e sofre reflexão num espelho côncavo. O feixe refletido é convergente.

Os corpos que emitem a luz que produzem são chamados **corpos luminosos**. É o caso do Sol, das estrelas, de uma vela acesa, das lâmpadas elétricas etc. Se o corpo reenvia para o espaço a luz que recebe de outros corpos, ele é chamado **corpo iluminado**. É o caso da Lua (que reenvia para o espaço a luz recebida do Sol), das paredes, das roupas etc.

Os corpos luminosos e iluminados constituem as chamadas **fontes de luz**. Os primeiros são ditos **fontes primárias de luz** e os outros são ditos **fontes secundárias de luz**.

No caso de a fonte de luz ter dimensões desprezíveis em comparação com as distâncias que a separam de outros corpos, ela é denominada **fonte puntiforme** ou **pontual**. Em caso contrário, ela é denominada **fonte extensa**. Uma estrela, dada a grande distância que se encontra de nós, pode ser considerada uma fonte pontual. O Sol, embora também seja uma estrela, é considerado uma fonte extensa, porque está bem mais próximo.

Conforme a fonte, a luz pode ser:

- **simples** ou **monocromática** – de uma só cor, como a luz amarela emitida por lâmpadas de vapor de sódio;
- **composta** ou **policromática** – que resulta da superposição de luzes de cores diferentes, como a luz solar (branca).

Quando uma luz policromática incide sobre a vista de um observador, ela determina a sensação de uma cor resultante que não coincide, em geral, com nenhuma das cores componentes. É o caso da luz branca emitida pelo Sol, pelas lâmpadas incandescentes e outras fontes. A natureza composta da luz branca pode ser evidenciada quando ela atravessa um prisma, por exemplo, e ocorre a separação das luzes monocromáticas que a compõem. Reciprocamente, feixes de luz de diversas cores se superpõem, resultando num feixe de determinada cor.

Qualquer que seja o tipo de luz monocromática (vermelha, alaranjada, amarela, verde, azul, anil ou violeta), sua velocidade de propagação no vácuo é sempre a mesma e aproximadamente igual a 300.000 km/s.

Em um meio material, a velocidade da luz varia conforme o tipo de luz monocromática. Seu valor é sempre menor que a velocidade da luz no vácuo.



Fontes de luz iluminam o Cristo Redentor, eleito uma das sete maravilhas do mundo moderno, no morro do Corcovado, Rio de Janeiro (RJ).

Observação

O **ano-luz** é uma unidade de comprimento usada na medição de distâncias astronômicas. É a distância que a luz percorre no vácuo em um ano.

Sendo a velocidade da luz no vácuo $v = 3 \cdot 10^5$ km/s e $\Delta t = 1$ ano $= 3,16 \cdot 10^7$ s, resulta:

$$\Delta s = v \cdot \Delta t$$

$$1 \text{ ano-luz} = 3 \cdot 10^5 \text{ km/s} \cdot 3,16 \cdot 10^7 \text{ s} \Rightarrow 1 \text{ ano-luz} \approx 9,5 \cdot 10^{12} \text{ km}$$

Leia, na página 233, sobre o método idealizado por Roemer para a determinação da velocidade de propagação da luz.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

P. 208 (UFMG) Por que é mais conveniente fornecer as distâncias às estrelas em anos-luz em vez de metros?

P. 209 Qual é a distância até a Terra, expressa em quilômetros, de um astro situado a 15 anos-luz?

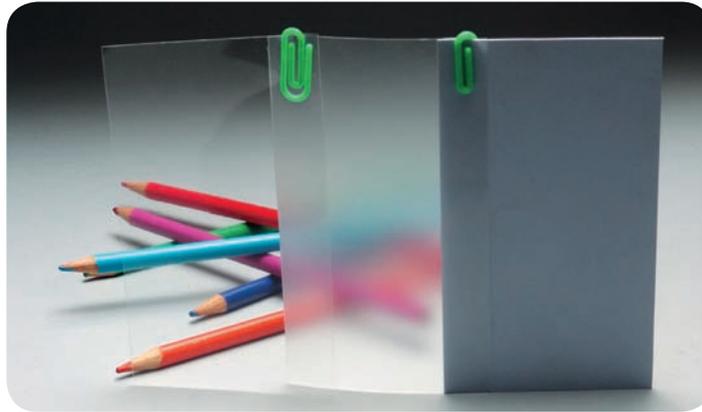
P. 210 (Unicamp-SP) O sr. P. K. Aretha afirmou ter sido sequestrado por extraterrestres e ter passado o

fim de semana em um planeta da estrela Alfa da constelação de Centauro. Tal planeta dista 4,3 anos-luz da Terra. Com muita boa vontade, suponha que a nave dos extraterrestres tenha viajado com a velocidade da luz ($3,0 \cdot 10^8$ m/s), na ida e na volta. Adote 1 ano $= 3,2 \cdot 10^7$ segundos. Responda:

- Quantos anos teria durado a viagem de ida e volta do sr. Aretha?
- Qual é a distância em metros do planeta à Terra?

Meios transparentes, translúcidos e opacos

Os objetos são vistos com nitidez através de diversos meios materiais, como o vidro comum, a água em pequenas camadas e o ar. Estes são denominados **meios transparentes**. O vidro fosco, o papel de seda e o papel vegetal, por exemplo, permitem a visualização dos objetos, mas sem nitidez. São **meios translúcidos**. Outros meios, como a madeira e o concreto, não permitem a visualização dos objetos. São os **meios opacos**.



Os plásticos podem ser transparentes, translúcidos ou opacos.

Para que um observador veja um objeto, a luz enviada por este deve chegar ao olho do observador. Assim, podemos concluir que os meios transparentes e translúcidos permitem a propagação da luz (figs. 3A e 3B), a qual segue trajetórias regulares nos meios transparentes (visão nítida dos objetos) e irregulares nos translúcidos. Os meios opacos não permitem a propagação da luz (fig. 3C).

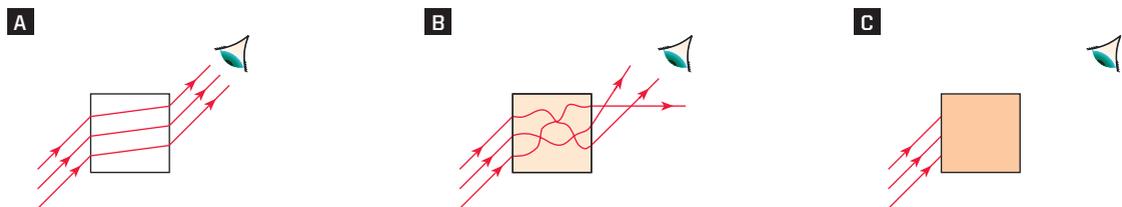


Figura 3. Comportamento da luz ao incidir em um meio transparente (A), translúcido (B) e opaco (C).

Fenômenos ópticos

Considere um feixe de raios paralelos propagando-se num meio 1 (por exemplo, ar) e incidindo sobre a superfície plana S de separação com um meio 2 (por exemplo, água, papel, chapa metálica polida etc.). Dependendo da natureza do meio 2 e da superfície S , ocorrem simultaneamente, com maior ou menor intensidade, os fenômenos de reflexão regular, reflexão difusa, refração regular, refração difusa e absorção da luz.

Reflexão regular: o feixe de raios paralelos que se propaga no meio 1 incide sobre a superfície plana S e retorna ao meio 1, mantendo o paralelismo (fig. 4). É o que acontece, por exemplo, sobre a superfície plana e polida de um metal.

Reflexão difusa ou **difusão:** o feixe de raios paralelos que se propaga no meio 1 incide sobre a superfície S e retorna ao meio 1, perdendo o paralelismo e espalhando-se em todas as direções (fig. 5). A difusão é devida às irregularidades da superfície. É por meio da reflexão difusa que enxergamos os objetos que nos cercam. Por exemplo, vemos uma parede porque ela reflete difusamente, para nossos olhos, a luz que recebe.

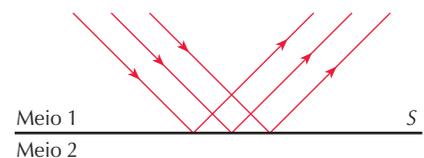


Figura 4. Reflexão regular.

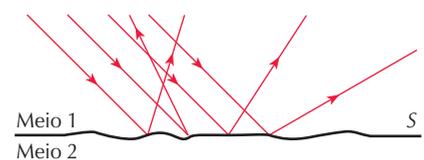
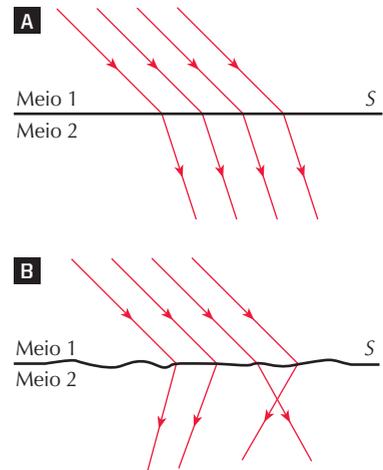


Figura 5. Reflexão difusa.

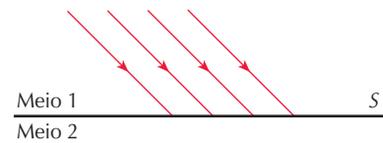
Refração da luz: o feixe de raios paralelos que se propaga no meio 1 incide sobre a superfície S e passa a se propagar no meio 2. É o que acontece, por exemplo, quando a luz se propaga no ar e incide sobre a superfície livre da água de uma piscina. A refração neste caso é **regular** (fig. 6A), possibilitando que uma pessoa no fundo da piscina veja o Sol. Se o meio 2 for translúcido, como o vidro fosco, os raios refratados perdem o paralelismo e a refração é **difusa** (fig. 6B).

Absorção da luz: o feixe de raios paralelos que se propaga no meio 1 incide sobre a superfície S e não retorna ao meio 1 nem se propaga no meio 2, ocorrendo absorção da luz pela superfície S (fig. 7). Como a luz é uma forma de energia, sua absorção ocasiona o aquecimento de S .

Na reflexão regular, na reflexão difusa e na refração, os feixes refletidos ou refratados apresentam energia luminosa menor que a do feixe incidente que lhes deu origem, pois uma parte da energia é sempre absorvida. Num corpo negro, a absorção da luz é total. Num corpo cinza-escuro, há elevada taxa de absorção. Num corpo branco, predomina a difusão. Numa superfície metálica bem polida, predomina a reflexão regular, sendo mínima a difusão e praticamente inexistente a absorção. Na superfície de separação entre dois meios homogêneos* e transparentes, para incidência pouco oblíqua, predomina a refração.



▲ **Figura 6.** Refração da luz: (A) regular; (B) difusa.



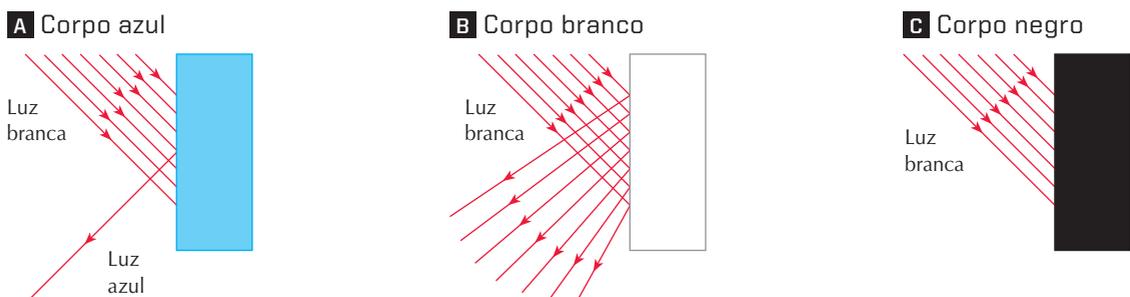
▲ **Figura 7.** Absorção da luz.

3 A cor de um corpo por reflexão

A luz branca (luz emitida pelo Sol ou por uma lâmpada incandescente) é constituída por uma infinidade de luzes monocromáticas, as quais podem ser divididas em sete cores principais:

vermelho, alaranjado, amarelo, verde, azul, anil e violeta.

A cor que um corpo apresenta por reflexão é determinada pelo tipo de luz que ele reflete difusamente. Assim, por exemplo, um corpo apresenta-se azul (fig. 8A) porque, ao ser iluminado pela luz branca, reflete difusamente a luz azul e absorve as demais. Um corpo iluminado pela luz branca apresenta-se branco (fig. 8B) quando reflete difusamente as luzes de todas as cores. Um corpo negro (fig. 8C) absorve-as totalmente.



▲ **Figura 8.** As cores dos corpos são determinadas pela luz refletida difusamente por eles.

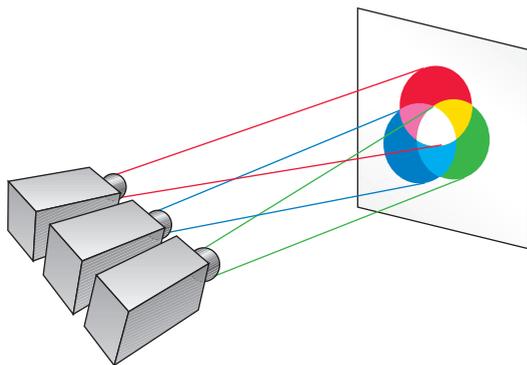
Nas considerações anteriores, admitimos os corpos com **cores puras**, isto é, que refletem exclusivamente uma dada cor e absorvem qualquer outra ou refletem todas ou absorvem todas as componentes. Na prática, os corpos refletem porcentagens diferentes da luz solar neles incidente, sendo vistos na cor resultante dessa superposição.

* Um meio material é homogêneo quando qualquer porção de seu volume apresenta as mesmas propriedades.

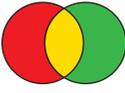
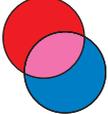
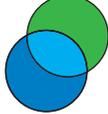


Cores primárias, secundárias e complementares

Três feixes de luz nas cores vermelho, verde e azul, de mesma intensidade, iluminam um anteparo branco.



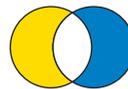
As diversas regiões de superposição dos feixes apresentam cores distintas. Observe que:

- vermelho + verde + azul = branco 
- vermelho + verde = amarelo 
- vermelho + azul = magenta 
- verde + azul = ciano 

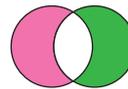
No que diz respeito à luz, as cores vermelho, verde e azul são chamadas **cores primárias**, e as cores amarelo, magenta e ciano, **cores secundárias**.

Cada cor secundária, superposta à cor primária que não entra na composição dessa cor secundária, tem como resultado o branco. Assim:

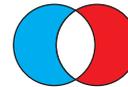
• amarelo + azul = branco



• magenta + verde = branco



• ciano + vermelho = branco



As duas luzes coloridas que produzem a luz branca, quando superpostas, são denominadas **cores complementares**. Por exemplo, amarelo e azul, assim como ciano e vermelho, e também magenta e verde são cores complementares.



▶ Três feixes de luz – um vermelho, um azul e outro verde – são emitidos por uma fonte de luz, utilizando-se filtros convenientes. Ocorrem as superposições:
vermelho + azul = magenta;
azul + verde = ciano;
vermelho + azul + verde = branco.

EXERCÍCIO RESOLVIDO

R. 64 Num recinto à prova de luz externa, iluminado por uma fonte luminosa vermelha, está um indivíduo de visão normal. Sobre uma mesa estão dois discos de papel, sendo um branco e outro azul (sob luz solar). Os discos têm a mesma dimensão e estão igualmente iluminados pela fonte de luz vermelha. Em que cores o indivíduo observará os discos?

Solução:

O disco branco reflete difusamente as luzes de todas as cores. Ao ser iluminado por luz vermelha, o disco a reflete difusamente e, portanto, apresenta-se vermelho.

O disco azul reflete difusamente a luz azul e absorve as demais. Logo, ao ser iluminado por luz vermelha, ele a absorve e apresenta-se negro.

Resposta: O disco branco é visto vermelho, e o azul parecerá negro.

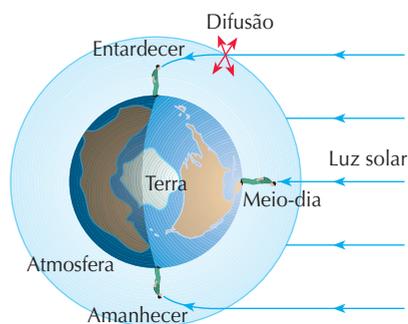
O azul do céu

Vimos que existem determinados corpos que refratam a luz difusamente. Por isso eles podem ser vistos por refração difusa. Eventualmente pode ocorrer que a cor de um corpo por reflexão seja diferente da cor por refração, isto é, as componentes refletidas difusamente por um corpo podem ser diferentes das refratadas difusamente.

De todas as cores componentes da luz solar, a violeta e, em seguida, a azul são as que sofrem maior difusão ao atravessarem a atmosfera terrestre. Assim, quando a luz percorre distâncias menores na atmosfera (por exemplo, ao meio-dia), são essas as componentes que chegam em maior proporção aos nossos olhos. Como eles são menos sensíveis à luz violeta e mais sensíveis à luz azul, vemos o céu **azul**.

As gotas de água que formam as nuvens apresentam os mais diversos tamanhos e difundem, em conjunto, todas as componentes da luz solar. Por essa razão, as nuvens são **brancas**.

Ao contemplarmos o nascer e o pôr do sol, vemos o céu e o Sol **avermelhados**. Isso acontece porque a luz vermelha é a que menos se difunde e portanto a que se propaga mais facilmente pela atmosfera. Então, ao atravessar uma espessura maior nesses períodos do que ao meio-dia, a luz solar que chega aos nossos olhos está subtraída da luz azul e das luzes que lhe são próximas, que foram difundidas nas primeiras camadas da atmosfera. Nos locais em que a poluição é mais acentuada, com muitas partículas em suspensão, esse efeito é mais facilmente observado.



O melhor de Calvin

Bill Watterson



EXERCÍCIOS PROPOSTOS

- P. 211** Por que um corpo opaco tem, por exemplo, cor azul ao ser iluminado pela luz solar? Se esse corpo estiver num ambiente iluminado somente por luz monocromática vermelha, com que aparência será observado por nós?
- P. 212** Considere três corpos A, B, C. Expostos à luz branca, o corpo A se apresenta vermelho, o B se apresenta verde e o C, branco. Se os levarmos a um quarto escuro e os iluminarmos com luz vermelha, como os veremos?
- P. 213** Em que cores se apresentariam o retângulo, o losango, o círculo e a faixa central de uma bandeira brasileira iluminada por luz verde monocromática?

Objetivos

- ▶ Conhecer os princípios da Óptica Geométrica.
- ▶ Compreender a formação da sombra e da penumbra.
- ▶ Entender como ocorrem os eclipses solares e lunares.
- ▶ Descrever o funcionamento da câmara escura de orifício.
- ▶ Relacionar o ângulo visual com a distância do observador ao objeto.

Termos e conceitos

- sombra
- penumbra
- eclipse
- câmara escura
- ângulo visual
- acuidade visual

1 Princípio da propagação retilínea da luz. Sombra e penumbra

Considere uma fonte de luz puntiforme F , um corpo opaco C e um anteparo A colocados num meio homogêneo e transparente (fig. 9).

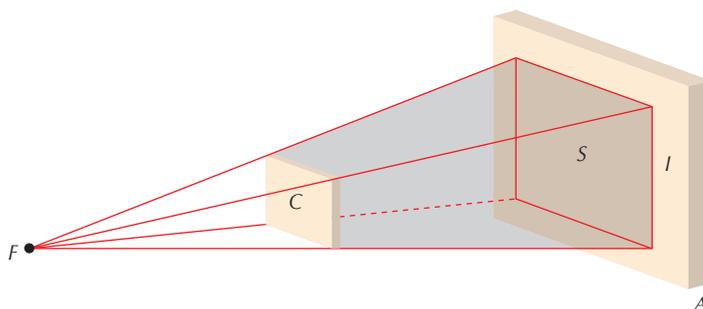


Figura 9. A projeção da sombra (S) de um corpo (C) por uma fonte (F) sobre um anteparo (A) evidencia que a luz se propaga em linha reta.

No anteparo A notam-se duas áreas distintas: uma área S , que não recebe luz de F , denominada sombra projetada, e uma área I , iluminada pela fonte. A semelhança geométrica entre a sombra projetada S e o corpo C constitui um dos fatos que sugerem o princípio da propagação retilínea da luz.

Nos meios homogêneos e transparentes, a luz se propaga em linha reta.

A região do ambiente compreendida entre C e S (fig. 9) também não recebe luz de F . Essa região é denominada **sombra**.



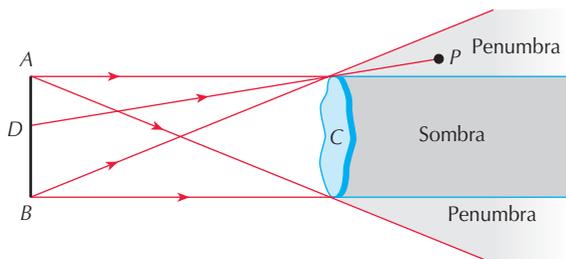
A propagação retilínea da luz é facilmente observável quando a luz do Sol penetra entre as árvores de uma floresta ou entre as aberturas do teto de uma igreja. Na foto da direita, a Basílica de São Pedro, no Vaticano.



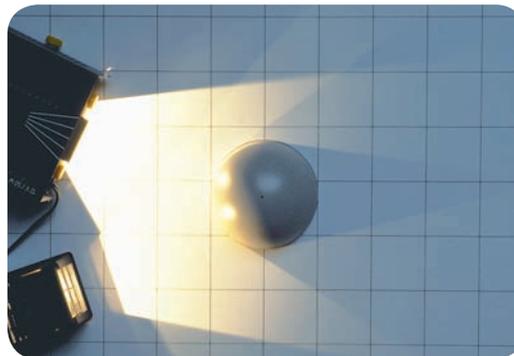
Situações cotidianas em que se formam sombras projetadas.



Considere agora uma fonte de luz extensa AB (fig. 10). Os raios de luz provenientes da fonte e que tangenciam o corpo opaco C determinam, no espaço além de C , duas regiões: **sombra**, que não recebe luz da fonte, e **penumbra**, que recebe luz apenas de alguns pontos da fonte AB . O ponto P da figura pertence à penumbra, estando iluminado apenas pelo trecho AD da fonte.



▲ **Figura 10.** Quando a fonte é extensa (AB), definem-se a sombra, que não recebe luz, e a penumbra, parcialmente iluminada.



▲ **Sombra e penumbra de uma esfera iluminada por uma fonte extensa.**



▲ **Quanto mais próximo o objeto estiver do anteparo, mais nítida é a sombra projetada.**

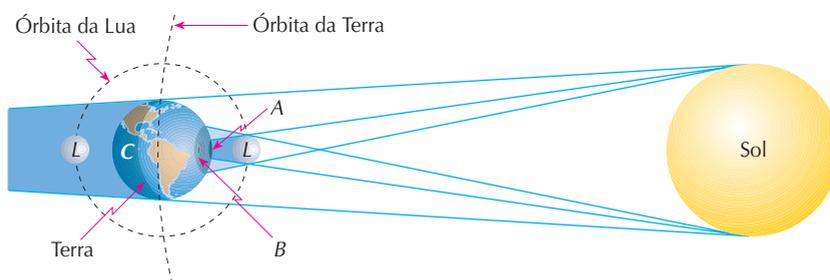
Outros fatos que comprovam o princípio da propagação retilínea da luz são a ocorrência de eclipses, a formação de imagens em câmaras escuras de orifício e o conceito de ângulo visual.

Eclipses

Quando a sombra e a penumbra da Lua, determinadas pela luz do Sol, interceptam a superfície da Terra, ocorrem os eclipses solares, que podem ser totais ou parciais (fig. 11).

O eclipse solar total ocorre para um observador situado na região de sombra assinalada por A na figura 11. Estando nessa região, ele não recebe luz do Sol, mas enxerga um halo oriundo da atmosfera externa desse astro (coroa solar).

O eclipse solar parcial ocorre para um observador situado na região de penumbra, assinalada por B na figura 11, o qual recebe luz de uma parte do Sol, ficando a outra parte encoberta pela Lua.



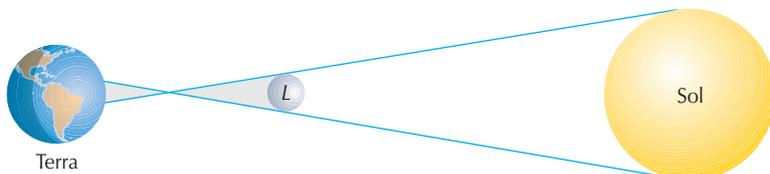
▲ **Figura 11.** Os eclipses solares (total em A e parcial em B) ocorrem quando a sombra e a penumbra da Lua (L) interceptam a Terra. O eclipse lunar ocorre quando a Lua penetra na região de sombra da Terra (para o observador em C).

O eclipse lunar ocorre quando a Lua penetra na região de sombra determinada pela luz do Sol ao tangenciar a Terra. Na região assinalada por *C* na **figura 11** (noite na Terra), um observador não poderia ver a Lua no céu, pois, estando na sombra, o satélite não refletiria a luz do Sol para a Terra. Entretanto, durante o eclipse total, a Lua pode ser vista com um tom avermelhado. Esse fenômeno ocorre porque uma pequena fração da luz solar é desviada pela atmosfera terrestre e incide na Lua. As cores azul, anil e violeta são mais difundidas do que a luz vermelha e as que lhe são próximas. Por isso são estas últimas que se refletem na Lua, determinando a tonalidade observada.



◀ Fotomontagem com diversos estágios do eclipse lunar total visto em Brasília, sobre o Congresso Nacional, em 3/3/2007. As imagens foram captadas a cada três horas, a partir do pôr do sol.

Um tipo de eclipse parcial do Sol, denominado **anular**, ocorre quando o prolongamento do cone de sombra da Lua intercepta a superfície terrestre (**fig. 12**). Os habitantes da Terra que presenciam esse eclipse observam um anel solar ao redor da Lua, isto é, a Lua encobre a parte central do Sol.



◀ **Figura 12.** O eclipse anular do Sol ocorre quando o prolongamento do cone de sombra da Lua intercepta a superfície terrestre e o observador se encontra nessa região.



▶ Eclipse parcial do Sol.



▶ Eclipse total do Sol. A Lua encobre o disco solar, deixando visível apenas a coroa solar.



▶ Eclipse anular do Sol.



Conteúdo digital Moderna PLUS <http://www.modernaplus.com.br>
A Física em nosso Mundo: *As fases da Lua*

◀ **Entre na rede** No endereço eletrônico <http://br.geocities.com/saladefisica3/laboratorio/faseslua/faseslua.htm> (acesso em agosto/2009), você pode visualizar as fases da Lua de um modo interessante. No endereço eletrônico <http://www.cosmobrain.com.br/res/fasesdalua.html> (acesso em agosto/2009), você pode consultar o calendário lunar mensal, que mostra qual fração do disco lunar estará iluminada a cada dia do mês corrente.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

P. 214 (Vunesp) Em 3 de novembro de 1994, no período da manhã, foi observado, numa faixa ao sul do Brasil, o último eclipse solar total do milênio. Supondo retilínea a trajetória da luz, um eclipse pode ser explicado pela participação de três corpos alinhados: um anteparo, uma fonte e um obstáculo.

- Quais são os três corpos do sistema solar envolvidos nesse eclipse?
- Desses três corpos, qual faz o papel: de anteparo? De fonte? De obstáculo?

P. 215 (PUC-SP) Leia o texto seguinte e responda às questões propostas.

Lua tem último eclipse do século

“Às 22h21 de hoje começa o último eclipse total da Lua do século. Ele será visível de todo o Brasil.

[...] Os eclipses totais da Lua ocorrem a cada 18 anos, mas só são visíveis de aproximadamente $\frac{1}{3}$ da superfície terrestre. Assim, para um mesmo ponto da Terra, eclipses totais acontecem a cada 54 anos.”

(Folha de S.Paulo, 16 ago. 1989)

- Explique como o eclipse total da Lua acontece, esquematizando a situação.
- Que propriedade da luz possibilita que esse tipo de fenômeno ocorra?

Câmara escura de orifício

A câmara escura de orifício é uma caixa de paredes opacas, existindo em uma delas um pequeno orifício. Um objeto luminoso ou iluminado AB é colocado na frente da câmara. Os raios de luz que partem de AB e atravessam o orifício O determinam na parede oposta ao orifício uma figura $A'B'$ semelhante ao objeto e invertida (fig. 13). Essa figura é usualmente chamada “imagem” de AB .

A relação entre m (altura do objeto), n (altura da “imagem”), a (distância do objeto à câmara) e b (comprimento da câmara) é obtida pela semelhança entre os triângulos OAB e $OA'B'$.

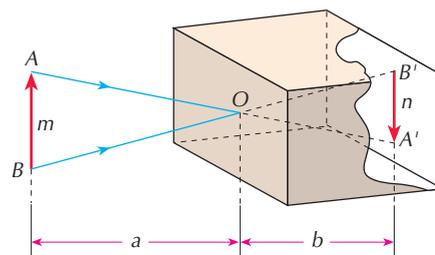


Figura 13. Câmara escura de orifício: $\frac{m}{n} = \frac{a}{b}$

$$\frac{m}{n} = \frac{a}{b}$$

Se a parede oposta ao orifício for substituída por uma folha de papel vegetal, um observador posicionado atrás dessa parede poderá ver “imagens” projetadas sobre o papel (fig. 14A).

Aumentando-se o diâmetro do orifício, aos pontos do objeto (A, B etc.) correspondem manchas luminosas (A', B' etc.), como esquematizado na figura 14B. Isso faz com que diminua a nitidez da “imagem”, embora aumente sua luminosidade.

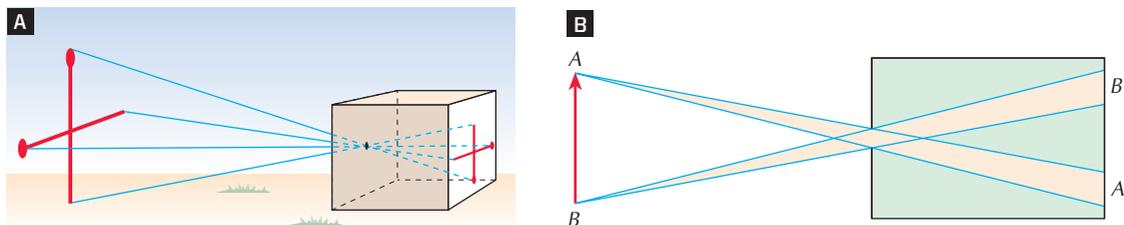


Figura 14. (A) A “imagem” obtida por meio de uma câmara escura de orifício é invertida. Além disso, o lado direito da “imagem” corresponde ao lado esquerdo do objeto e vice-versa. (B) Aumentando-se o diâmetro do orifício, a luminosidade que chega à folha de papel aumenta, mas a nitidez da “imagem” diminui.



Ângulo visual

Uma pessoa observa um objeto AB . De todos os raios de luz que partem de AB e chegam aos seus olhos, vamos considerar apenas os raios de luz que partem dos extremos A e B (fig. 15).

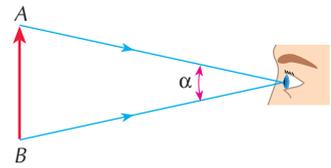


Figura 15. Ângulo visual (α) é o ângulo segundo o qual o observador vê o objeto.

Esses raios definem um ângulo α , através do qual o observador vê o objeto AB . Esse ângulo é denominado **ângulo visual**.

O ângulo visual depende da extensão do objeto e de sua posição em relação ao observador. Quanto maior a distância do objeto ao olho do observador, menor o ângulo visual (fig. 16) e menor parece ser o objeto AB .

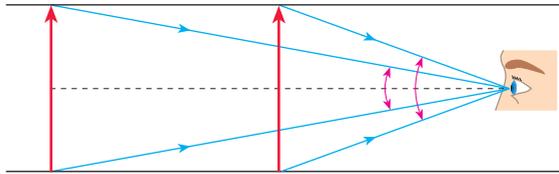


Figura 16. Quanto maior a distância do observador ao objeto, menor o ângulo visual.

O menor ângulo visual sob o qual o observador vê os pontos A e B , separadamente, chama-se **limite de acuidade visual**. Para o olho humano esse ângulo é da ordem de um minuto.

Um observador na Terra vê o Sol e a Lua sob ângulo visual da ordem de meio grau.

2

Princípio da reversibilidade dos raios de luz

Considere um raio de luz AB incidindo sobre a superfície S de separação de dois meios, e seja BC o raio refletido correspondente. Se um raio de luz partir de C , incidindo sobre B , refletirá segundo BA (fig. 17A). O mesmo acontece na refração (fig. 17B) ou em reflexões e refrações sucessivas (fig. 17C).

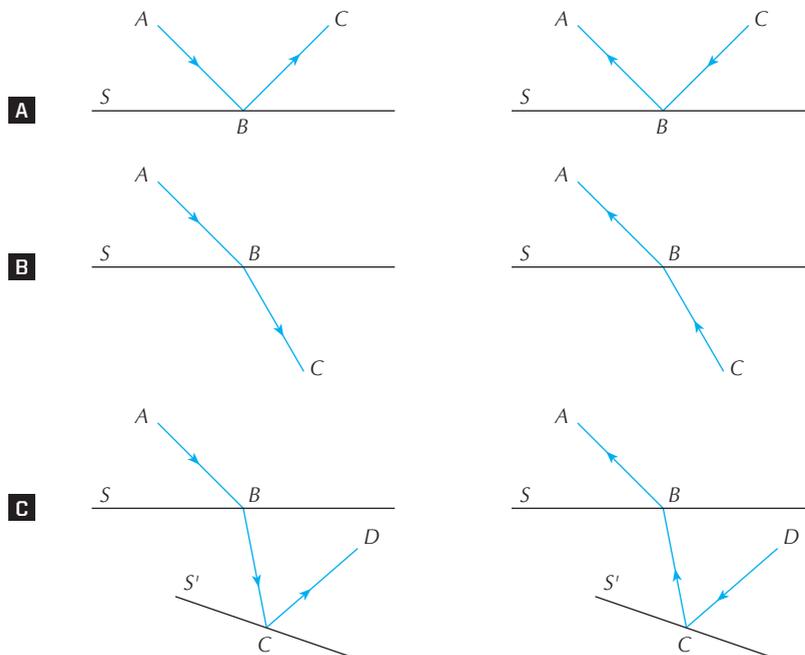


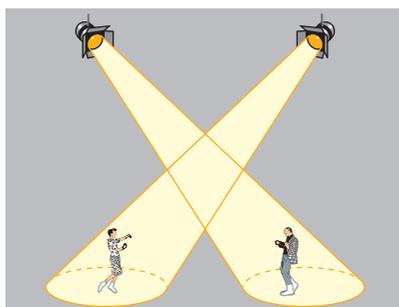
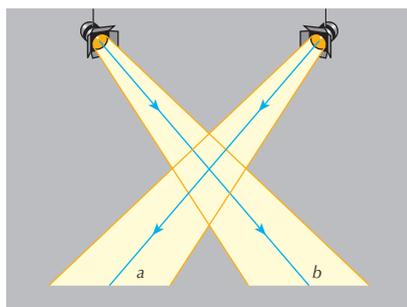
Figura 17. A trajetória da luz não depende do sentido de sua propagação.

Esses fatos sugerem o princípio da reversibilidade dos raios de luz:

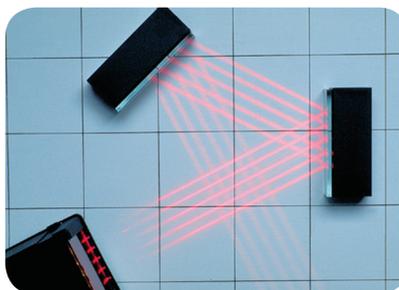
A trajetória seguida pela luz independe do sentido de sua propagação.

3 Princípio da independência dos raios de luz

Quando raios de luz se cruzam, cada um deles segue seu trajeto como se os outros não existissem.



◀ **Figura 18.** Os raios *a* e *b* se cruzam e continuam a se propagar como se nada tivesse ocorrido.

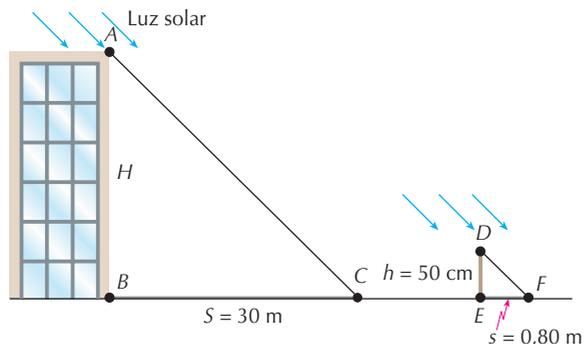


◀ As fotos ao lado evidenciam o princípio da independência dos raios de luz.

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

R. 65 Um observador nota que um edifício projeta no solo uma sombra de 30 m de comprimento no instante em que uma haste vertical de 50 cm de altura projeta no solo uma sombra de comprimento 0,80 m. Determine a altura do edifício.

Solução:



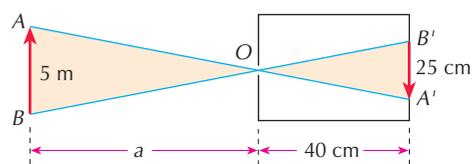
Considerando os raios solares paralelos, os triângulos ABC e DEF resultam semelhantes:

$$\frac{H}{h} = \frac{S}{s} \Rightarrow \frac{H}{50} = \frac{30}{0,80} \Rightarrow H = 1,875 \text{ m} = 18,75 \text{ m}$$

Resposta: $H = 18,75 \text{ m}$

R. 66 Uma câmara escura de orifício apresenta comprimento de 40 cm. De uma árvore de altura 5 m obteve-se, no anteparo fosco, uma imagem de 25 cm de altura. Determine a distância da árvore até a câmara.

Solução:



Da semelhança entre os triângulos ABO e A'B'O, temos:

$$\frac{5}{25} = \frac{a}{40} \Rightarrow a = 8 \text{ m}$$

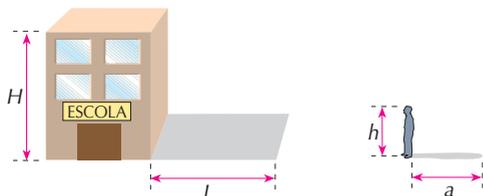
Resposta: 8 m



EXERCÍCIOS PROPOSTOS

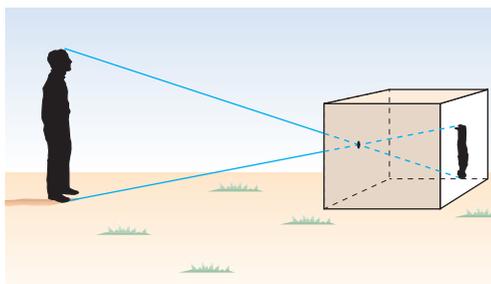
P. 216 Um muro de 2 m de altura produz uma sombra de 60 cm. No mesmo instante, um prédio produz uma sombra de 15 m. Determine a altura do prédio.

P. 217 (PUC-SP) A um aluno foi dada a tarefa de medir a altura do prédio da escola que frequentava. O aluno, então, pensou em utilizar seus conhecimentos de Óptica Geométrica e mediu, em determinada hora da manhã, o comprimento das sombras do prédio e a dele próprio projetadas na calçada (L e a , respectivamente). Facilmente chegou à conclusão de que a altura do prédio da escola era de cerca de 22,1 m. As medidas por ele obtidas para as sombras foram $L = 10,4$ m e $a = 0,8$ m. Qual é a altura do aluno?



P. 218 Uma fonte puntiforme ilumina um disco metálico de raio 10 cm. A fonte e o centro do disco pertencem a uma reta perpendicular a um anteparo. Sabendo-se que a distância da fonte ao disco é de 20 cm e do disco ao anteparo é de 50 cm, determine o raio da sombra do disco projetada no anteparo.

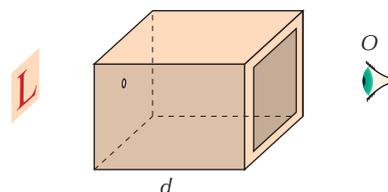
P. 219 (Cefet-CE) Uma pessoa se encontra a 10 metros de uma câmara escura. Sua imagem, projetada na parede posterior da câmara, tem comprimento de 20 cm. Se a pessoa se aproximar 2 metros da câmara, qual será a variação percentual no tamanho da sua imagem?



P. 220 Uma câmara escura de orifício fornece a imagem de um prédio, que se apresenta com altura de 5,0 cm. Aumentando-se 100 m a distância do prédio à câmara, a imagem se reduz para 4,0 cm de altura. Determine a distância do prédio à câmara em sua primeira posição.

P. 221 Um observador mantém diante dos olhos uma escala milimetrada a uma distância de 60 cm. O ângulo visual, através do qual o observador abrange oito andares de um edifício, delimita uma extensão de 10 cm na régua. Sabendo-se que cada andar tem uma altura de 3 m, determine a que distância se encontra o observador do edifício.

P. 222 (Fuvest-SP) Um aparelho fotográfico rudimentar é constituído por uma câmara escura com um orifício em uma face e um anteparo de vidro fosco na face oposta. Um objeto luminoso em forma de L encontra-se a 2 m do orifício e sua imagem no anteparo é 5 vezes menor que seu tamanho natural. a) Esboce a imagem vista pelo observador O indicado na figura. b) Determine a largura d da câmara.



P. 223 O motorista de um carro olha pelo espelho retrovisor interno e vê o passageiro do banco traseiro. Se o passageiro olhar para o mesmo espelho verá o motorista. Qual princípio da Óptica Geométrica podemos utilizar para explicar esse fato? Faça uma figura explicativa.

P. 224 Um raio de luz atravessa um bloco de vidro, imerso no ar, conforme mostra a figura. Se um raio de luz, propagando-se no ar, incidisse no bloco de vidro segundo FE, como seria a trajetória desse raio? Faça no caderno uma figura explicativa.



P. 225 Um raio de luz emitido pela fonte F_1 ilumina o ponto A do anteparo (figura I). Desligando-se a fonte F_1 e ligando-se F_2 , o raio de luz emitido ilumina o ponto B do mesmo anteparo (figura II). Ligando-se F_1 e F_2 simultaneamente, os pontos A e B serão iluminados? Em que princípio da Óptica Geométrica você se baseou para sua conclusão?

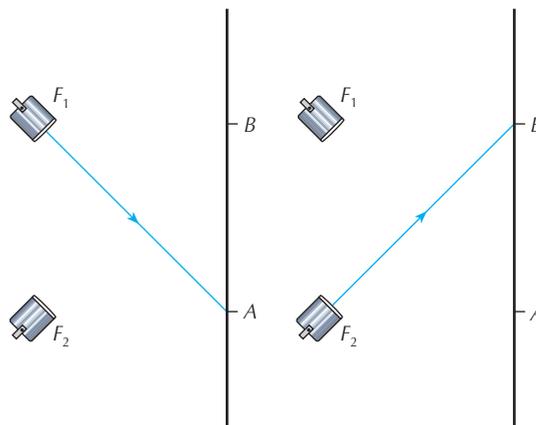


Figura I.

Figura II.