# Oficina de Ensino de Óptica

Oficina de Ensino de Óptica.indd 1 14/11/2024 16:32:15

Jonny Nelson Teixeira
Mikiya Muramatsu

# Oficina de Ensino de Óptica

LF EDITORIAL

Oficina de Ensino de Óptica.indd 3 25/02/2025 11:46:12

Copyright © 2025 Jonny Nelson Teixeira e Mikiya Muramatsu

*Editores:* José Roberto Marinho e Victor Pereira Marinho
*Projeto gráfico e Diagramação:* Horizon Soluções Editoriais
*Capa:* Horizon Soluções Editoriais

*Texto em conformidade com as novas regras ortográficas do Acordo da Língua Portuguesa.*

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**
**(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)**

Teixeira, Jonny Nelson

Oficina de ensino de óptica / Jonny Nelson Teixeira, Mikiya Muramatsu . - 1. ed. - São Paulo: LF Editorial, 2025.

Bibliografia.
ISBN: 978-65-5563-540-9

1. Física - Estudo e ensino 2. Óptica (Física) I. Muramatsu, Mikiya. II. Título.

25-252201 CDD: 535

**Índices para catálogo sistemático:**

1. Óptica: Física 535

Eliete Marques da Silva – Bibliotecária – CRB-8/9380

ISBN: 978-65-5563-540-9

Todos os direitos reservados. Nenhuma parte desta obra poderá ser reproduzida sejam quais forem os meios empregados sem a permissão dos autores. Aos infratores aplicam-se as sanções previstas nos artigos 102, 104, 106 e 107 da Lei n. 9.610, de 19 de fevereiro de 1998.

Impresso no Brasil | *Printed in Brazil*

**LF Editorial**
Fone: (11) 2648-6666 / Loja (IFUSP)
Fone: (11) 3936-3413 / Editora
www.livrariadafisica.com.br | www.lfeditorial.com.br

# CONSELHO EDITORIAL

**Amílcar Pinto Martins**
Universidade Aberta de Portugal

**Arthur Belford Powell**
Rutgers University, Newark, USA

**Carlos Aldemir Farias da Silva**
Universidade Federal do Pará

**Emmánuel Lizcano Fernandes**
UNED, Madri

**Iran Abreu Mendes**
Universidade Federal do Pará

**José D'Assunção Barros**
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

**Luis Radford**
Universidade Laurentienne, Canadá

**Manoel de Campos Almeida**
Pontifícia Universidade Católica do Paraná

**Maria Aparecida Viggiani Bicudo**
Universidade Estadual Paulista - UNESP/Rio Claro

**Maria da Conceição Xavier de Almeida**
Universidade Federal do Rio Grande do Norte

**Maria do Socorro de Sousa**
Universidade Federal do Ceará

**Maria Luisa Oliveras**
Universidade de Granada, Espanha

**Maria Marly de Oliveira**
Universidade Federal Rural de Pernambuco

**Raquel Gonçalves-Maia**
Universidade de Lisboa

**Teresa Vergani**
Universidade Aberta de Portugal

Oficina de Ensino de Óptica.indd 6 14/11/2024 16:32:18

# Prefácio

O ano de 2007 foi um divisor de águas no que diz respeito a atuação do Instituto de Física da USP na formação continuada de professores em atuação, pois neste ano foram criados dois projetos que até hoje impactam na motivação dos estudantes e na formação geral dos professores das escolas do Ensino Básico de São Paulo.

O primeiro deles é o projeto "Arte & Ciência no Parque", importante ação de popularização da Ciência, que levava nesta época experimentos demonstrativos de algumas áreas da Física, diversos desafios matemáticos e oficinas de construção de peças artísticas aos muitos parques públicos da cidade de São Paulo e dos arredores.

A princípio, pode parecer que não há relação com a formação continuada dos professores, mas não é verdade. Geralmente as ações do projeto eram realizadas aos finais de semana, momento em que grande parte das pessoas que frequentavam os parques eram das famílias e moradores da região onde ele estava inserido. Mas muitas vezes o projeto entrava em contato com escolas do bairro, convidando professores, estudantes e as comunidades escolares a frequentarem os parques naquele mês, pois o projeto estaria presente.

Os professores que frequentavam o parque sempre nos perguntavam se comercializávamos aqueles equipamentos ou se fazíamos apresentações

nas escolas, o que naquela ocasião não acontecia. Às vezes turmas inteiras de algumas escolas apareciam junto com os professores para fazer a visita, mas sempre ficava a pergunta: "o que os professores vão fazer com essa motivação que causamos nos estudantes?"

Com o passar dos anos o projeto começou a ser apresentado em algumas escolas, em feiras culturais, feiras de Ciências ou até mesmo por agendamento das escolas, e essa questão ficou mais evidente, principalmente em conversas informais com os professores que acompanhavam os estudantes nas interações com os mediadores e com os experimentos demonstrativos presentes no projeto, grande parte deles de Óptica.

O segundo projeto partiu da necessidade de formação continuada dos professores de Física, principalmente das escolas públicas de Educação Básica. Com iniciativa da Professora Vera Bohomoletz Henriques em conjunto com outros professores, como o professor Mikiya Muramatsu, foi criado o primeiro IFUSP-Escola, que oferecia cursos direcionados aos professores de Física e de Cências das escolas da capital de São Paulo.

Os cursos, inicialmente pensados apenas para os professores destes componentes curriculares, abordavam diversas áreas da Física e afins, como Astronomia, por exemplo. Dentre eles, surgiram os cursos de Óptica e de Som e Instrumentos Musicais, oferecidos pelo professor Mikiya Muramatsu e os mediadores do projeto Arte & Ciência. O segundo teve que ser completamente montado a partir de fontes retiradas de livros importados, já que a Física dos instrumentos musicais não é muito trabalhada no Brasil.

No entanto, o primeiro curso já possuía um material contendo as notas de aulas de Óptica, ministradas nos cursos de graduação em Física da USP. Essas notas de aula foram revistas e ampliadas por outros professores e por mediadores que trabalharam nestes cursos de Óptica do projeto,

Com o passar dos anos o projeto IFUSP-Escola se tornou USP-Escola, por causa do aumento significativo de cursos em outras áreas do conhecimento que, ao conhecer o projeto de formação continuada, quiseram somar e oferecer aos professores do Ensino Básico outras oportunidades para formação, mas o curso de Óptica é oferecido até hoje.

Em 2010 eu me tornei professor efetivo de Física do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP), no campus de Itapetininga, onde seria criado um curso de Licenciatura em Física. Na

criação desse curso levei a experiência das oficinas apresentadas aos professores nos cursos do projeto USP-Escola e criamos as disciplinas de Oficinas de Física, que abrangem todas as áreas da Física

Nestas disciplinas os licenciandos têm a possibilidade de aprenderem a planejar as aulas com diversas estratégias de ensino aprendizagem que utilizam ferramentas diferentes, das quais obrigatoriamente o experimento é uma delas. A forma com a qual o experimento é utilizado nas aulas depende de quais estratégias são utilizadas, como ensino por investigação, experimentação, demonstrações investigativas ou ilustrativas, entre outras.

As notas de aula confeccionadas para o curso de Óptica do projeto USP-Escola foram revisadas e ampliadas ainda mais para que fossem utilizadas na "Oficina de Ensino de Óptica", e os experimentos e teorias foram compilados neste livro, que espero que sirva para as discussões e para o planejamento das aulas de professores de Física e de Ciências do Ensino Fundamental.

Não podemos terminar este prefácio sem agradecer profundamente às pessoas que nos auxiliaram na criação e revisão das primeiras notas de aula. À professora Cecil Chow Robilotta, que revisou e auxiliou na confecção da parte de Física da visão e da audição presentes no livro, e aos ex alunos-mediadores William Fernandes, Rennan Pamplona, Ana Clara, Flavia Matioli, Talita Gishitomi, Carlos Rossatti, Aline Ribeiro Sabino, Aline Ribeiro da Silva e Guilherme Hernandez.

*Gabriel Steinicke*

Agradecimento especial a este amigo essencial na construção das primeiras notas e que nos deixou recentemente. Estará sempre nas nossas lembranças e nos nossos corações.

Oficina de Ensino de Óptica.indd 6 14/11/2024 16:32:18

# Sumário

Introdução, 11

**Capítulo 1**
**A construção histórica da Óptica: o que é a luz e como enxergamos?, 15**

**Capítulo 2**
**Interação da luz com a matéria, 23**

**Capítulo 3**
**Princípios básicos da óptica, 29**
Oficina 1: Câmara escura, 31
3.1 Formação de Imagem, 34
3.1.1 Lei da Reflexão: Princípio do tempo mínimo, 36
Atividade 1: Determinação do caminho mais curto, 38
Experimento 1: Determinação da 2ª lei da reflexão, 39
3.1.2 Espelhos Planos: Imagens virtuais, 42
3.1.3 Associação de espelhos planos, 43
Demonstração 1: Associação de espelhos planos em ângulo, 44
Atividade 2: Construção gráfica de imagens nos espelhos planos
e em associações de espelhos em ângulos, 46
Oficina 2: Construção do túnel infinito, 48
Demonstração 2: Caleidoscópio, 53
Oficina 3: Caleidoscópio, 55
Oficina 4: Periscópio, 59
Oficina 5: Estereoscópio, 62
3.1.4 Espelhos Curvos: cilíndrico, esférico e parabólico, 66
Oficina 6: Anamorfose, 69
Atividade 3: Construção de imagens em espelhos esféricos, 73
3.1.5 Relações métricas nos espelhos esféricos, 74
Experimento 2: Determinação do foco através do método da projeção, 75
3.1.6 Espelhos parabólicos, 79
3.2 Refração da luz, 80

Demonstração 3: Bolinha que desaparece, 81
Experimento 3: Determinação do índice de refração de substâncias, 83
Demonstração 4: Moeda no copinho, 85
Demonstração 5: Arco-íris com borrifador, 88
Demonstração 6: miragem na água com álcool, 89
3.2.1 Reflexão interna total, 90
Demonstração 7: reflexão interna total em um aquário, 92
3.2.2 Birrefringência, 93
3.2.3 Lentes delgadas, 94
Atividade 4: Formação de imagens por lentes delgadas, 98
Experimento 4: Determinação do foco pelo método de projeção, 100
Demonstração 8: lentes de ar, 103
3.3 Olho como sensor, 105
3.3.1 Defeitos e correções, 109
3.3.2 Instrumentos ópticos, 111
3.3.2.1 Máquina Fotográfica, 112
3.3.2.2 Lupa, 115
3.3.2.3 Luneta, 116
Oficina 7: construção de luneta de cano de PVC, 118
3.3.2.4 Telescópio refletor, 120
3.3.2.5 Microscópio composto, 123
3.4 Cores, 124
Oficina 8: Disco de Newton, 126
3.4.1 Cores da luz e de pigmentos, 129
Demonstração 9: Sombras coloridas, 130
Atividade 5: Misturas de cores de pigmentos, 133
3.4.2 Cores por reflexão, absorção e transmissão seletiva, 134

**Capítulo 4**
**Difração e interferência da luz, 137**
4.1 Difração, 137
4.1.1 Difração de uma fenda simples, 138
Oficina 9: espectroscópio, 140
4.2 Interferência, 143

**Capítulo 5**
**Laser, 149**
5.1 Laser de Rubi, 151
5.2 Laser de Diodo (caneta laser), 152
5.3 Laser de gás carbônico, 152
5.4 Propriedades da luz laser, 153
5.5 Aplicações da luz laser, 155

**Referências, 163**

Anexo A: Equipamento de sombras coloridas com LED, 165
Anexo B: Bolinha de soma de cores, 171
Anexo C: Caixinha para estudo de cores, 175

Oficina de Ensino de Óptica.indd 10 14/11/2024 16:32:19

# Introdução

A Física está presente em nosso cotidiano inteiramente. Não existe uma única vez que não nos depararmos com um fenômeno físico, proveniente de equipamentos tecnológicos ou até mesmo da natureza, caso dos sons da nossa fala, dos movimentos do cotidiano, da luz emitida pelo Sol e pelas estrelas, da eletricidade e calor gerados pelos raios e relâmpagos, etc.

Os nossos sentidos, sobretudo o da visão, são responsáveis pela maioria das informações que captamos e que nos ajudam a perceber toda a beleza do Universo. Sabemos que podemos enxergar somente com a presença da luz, mas assim como ela, outros tipos de radiação estão presentes em nosso cotidiano sem serem detectadas pelos olhos, uma vez que eles não são adaptados para que as percebamos, caso do infravermelho, do ultravioleta e das micro-ondas, por exemplo.

Estes outros tipos de ondas eletromagnéticas estão cada dia mais presentes no cotidiano das pessoas. A utilização das micro-ondas, por exemplo, vai desde o aquecimento de alimentos no eletrodoméstico, até a ligação para os conhecidos no celular. Ondas de rádio estão presentes no *wi-fi* da casa e nos sinais de TV aberta e de radiodifusão recebidas nos aparelhos presentes em quase todos os lares do mundo. Outras mais energéticas, como o Raio X e o raio gama são necessárias para diagnósticos médicos e tratamentos de diversos tipos de tumores. Mas todos eles têm algo em

comum: são ondas eletromagnéticas, assim como a luz que conseguimos enxergar, chamada de **luz visível**.

Muitos fenômenos ligados a essa luz estão presentes em diversas ações que desempenhamos diariamente, tanto que muitas vezes nos deparamos com questões do tipo:

- Por que a bolha de sabão é colorida?
- Por que os olhos dos gatos brilham tão intensamente à noite quando iluminados com um feixe de luz? Por que eles não são tão brilhantes assim durante o dia? Por que nossos olhos não brilham como os olhos dos gatos?
- Por que a palavra "AMBULÂNCIA" aparece invertida na frente das viaturas?
- Por que os espelhos utilizados nos ônibus diminuem a nossa imagem?
- Por que aparecem aquelas cores nos CDs?
- Por que aparecem aquelas manchas coloridas nas poças de gasolina no chão dos postos? Tem alguma coisa a ver com os arco-íris?

Por causa do aumento significativo do conhecimento científico ao longo do século XX, mais especificamente a partir de meados deste século, as escolas se deparam hoje com um volume enorme de conhecimento construído ao longo da história da humanidade. O tempo para que os alunos tenham contato com as bases destes conhecimentos, no entanto, ficou curto demais, fazendo com que os conteúdos conceituais na área de Óptica fossem reduzidos.

Isso fez com que a escolha dos conteúdos conceituais de Física para o Ensino Básico privilegiasse outros assuntos, reduzindo os conteúdos de Óptica a apenas compreender de forma muito superficial o funcionamento de espelhos e lentes que, embora importantes e dentro do contexto dos alunos, estão muito aquém dos fenômenos observados cotidianamente por eles.

Soma-se a isso o ensino de Ciências que privilegia a repetição e a memorização, com conteúdos descontextualizados, numa educação onde o protagonista é o professor e os alunos são apenas coadjuvantes no proces-

so de ensino-aprendiza-gem, o que torna o processo desmotivador e entediante para o aluno. Além disso, grande parte das escolas públicas do Brasil não possuem um espaço para a prática da experimentação das Ciências, que desmotiva também o professor em incentivar a investigação, já que a aula expositiva com avaliações somativas são menos trabalhosas.

Por estes motivos nesse livro tentaremos responder a essas questões e outras curiosidades do dia-a-dia, incentivando alunos e professores a investigarem, transformando a sala de aula em um espaço significativo de ensino aprendizagem e fazendo da Óptica uma área divertida e o aprendizado motivador.

A motivação do aluno pode ser incentivada a partir da proposição de uma série de oficinas para a confecção de equipamentos e brinquedos, que podem ser utilizados como demonstrações na área da Óptica. A confecção destes equipamentos será feita utilizando, na medida do possível, materiais de baixo custo e procurando abordar temas relacionados ao cotidiano do aluno. Serão introduzidos temas contemporâneos como LASER e holografia.

Oficina de Ensino de Óptica.indd 14 14/11/2024 16:32:21

Capítulo 1

# A construção histórica da Óptica: o que é a luz e como enxergamos?

Para começar, propomos uma reflexão sobre a principal protagonista da óptica: **a Luz**.

A luz pode ser definida hoje como uma forma de energia que se propaga nos meios materiais e também no vácuo. A principal fonte de luz é proveniente do Sol (estrela mais próxima da Terra), e sabe-se que ela demora 8 minutos e 20 segundos para chegar ao nosso planeta, pois sua velocidade é de aproximadamente 300.000 km/s.

Mas a forma com que a luz se propaga e como ela interage com os materiais foi motivo de grandes discussões ao longo da história. Vários filósofos gregos refletiram sobre a natureza da luz como, por exemplo, os **atomistas** Demócrito e Leucipo (50 a.C.) que acreditavam que da matéria emanariam partículas muito mais sutis que os átomos (partículas indivisíveis que a formaria, segundo eles) e que poderiam transmitir ao organismo humano sensações como odor. Algumas dessas partículas, chamadas de **eidola** ou simulacros, penetrariam nos olhos reproduzindo o formato dos objetos em pequenas proporções.

Os **pitagóricos**, por sua vez, acreditavam que a luz sairia dos olhos dos seres vivos através do que eles chamavam de **quid,** um tipo de "raios visuais" que emanavam do *fogo interior* dos seres vivos e, para que se conseguisse enxergar, estes raios precisariam "encontrar" e "tocar" o objeto que

se vê. Aristóteles teve uma ideia que se assemelha mais a uma propagação ondulatória. Para ele a luz era advinda de uma perturbação em um determinado meio entre o objeto observado e o olho, ideia semelhante à teoria do éter do século XIX.

Um trabalho mais completo da óptica foi descrito pelos árabes Al--Kindi e Ibn-al-Haitiam (conhecido como Alhazem) em seu livro Kitab AL-Manazir (Livro de Óptica) por volta do século X d.C. Neste trabalho os filósofos contestavam a existência do *quid* e dos *eidola*, através de observações simples, caso da interferência da intensidade luminosa na acuidade visual, que contestaria a existência dos *eidola* e do ofuscamento do olho pela luz do Sol, derrubando os argumentos gregos que embasavam a teoria do *quid.*

No mundo ocidental filósofos e cientistas do iluminismo começaram a retomar as ideias dos filósofos gregos. A ideia dos atomistas foi retomada por **Isaac Newton** (1642-1727) para sua discussão sobre a teoria da propagação da luz. Newton propôs que a luz era composta por partículas que se moviam em linha reta e interagiam com os diversos materiais na natureza para se comportar nos seus diversos fenômenos. No caso da reflexão da luz, por exemplo, Newton acreditava que haveria o que ele chamou de "forças refrativas" entre as partículas de luz e o material, desviando a luz em uma trajetória parabólica de dimensões muito pequenas, fazendo com que o ângulo de incidência da luz fosse igual ao ângulo de reflexão, fato já conhecido desde a Grécia antiga.

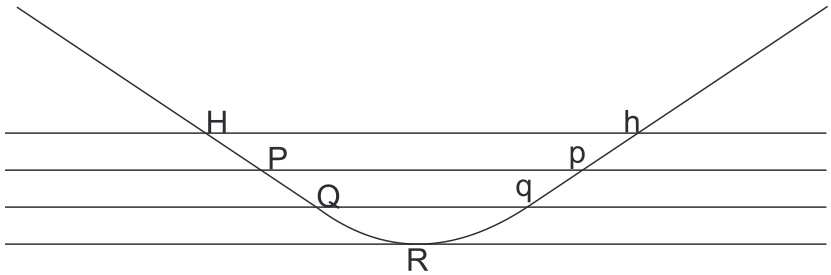


**Figura 1:** representação do modelo corpuscular para a reflexão da luz