

Preparação de material tátil-visual torna o ensino dos conceitos de óptica acessível para pessoas com deficiência visual – Exposição “Luz ao Alcance das Mãos”

H.H. Buzzá^{1,4*}, C.P. Campos^{1,4}, M.B. Requena^{1,4}, C.T. Andrade^{1,4,5}, I.S. Leite^{1,4}, T.C. Fortunato^{1,4}, M.D. Stringasci^{1,4}, M.C. Geralde^{2,4}, C.M. Faria^{1,4}, T.Q. Correa^{2,4}, R.A. Romano^{1,4}, R.G.T. Rosa^{1,4}, B. Ono^{1,4}, B.P. Oliveira^{1,4}, E.P. Camargo³, C. Kurachi^{1,4}

¹Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, Brasil

²Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, Brasil

³Faculdade de Ciências, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Bauru, SP, Brasil

⁴SPIE Student Chapter, USP-SC SPIE Student Chapter, São Carlos, Brasil.

⁵Instituto Federal de Alagoas, Piranhas, AL, Brasil

*E-mail: hilde.buzza@usp.br

Introdução

Estima-se que, nos dias atuais, 285 milhões de pessoas possuam deficiência visual no mundo, dentre as quais 39 milhões sejam cegas e 246 milhões tenham baixa visão. Desse total, aproximadamente 90% vive em países em desenvolvimento [1]. No Brasil, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística há aproximadamente 6 milhões de pessoas que se enquadram na classificação de pessoa com baixa visão e 500 mil pessoas cegas [2]. O restante das pessoas que possuem algum problema visual que pode ser corrigido com instrumentos ópticos e que totalizam, segundo os dados do IBGE, em torno de 29,2 milhões de indivíduos, não podem ser enquadrados legalmente como pessoas com deficiência visual, de acordo com a classificação do decreto 5.296 de 2004. Inúmeros obstáculos são enfrentados pela pessoa com deficiência visual em seu processo de inclusão na sociedade, o que significa que um número elevado de pessoas encontra maiores dificuldades no acesso à informação, à educação, à cultura e ao mercado de trabalho.

De acordo com a lei número 13.146 de 6 de julho de 2015, capítulo IV, “a educação constitui direito da pessoa com deficiência, assegurando um sistema educacional inclusivo em todos os níveis e aprendizado ao longo de toda a vida”. Além disso, a lei diz que “é um dever do Estado, da família, da comunidade escolar e da sociedade assegurar educação de qualidade à pessoa com deficiência”. Fávero defende que esse direito deve ser exercido sem discriminações, inserindo as pessoas com deficiência

no mesmo espaço que os demais alunos e oferecendo um cuidado complementar, mas nunca impedindo o acesso ao ambiente de ensino comum [3]. Dessa forma, é de fundamental importância focar em elementos de aprendizagem que contribuam para a construção desse ambiente.

Em aulas de física, a comunicação feita pelos professores geralmente se fundamenta em linguagem audiovisual interdependente combinada com padrão discursivo retórico [4]. Essa metodologia resume-se a aulas expositivas, em que a visualização é de extrema importância para a compreensão do assunto em questão. Portanto, uma das limitações desse processo é a dificuldade de inclusão de alunos com algum tipo de deficiência, seja ela visual ou não.

Uma área da física cujo ensino para pessoas com deficiência visual é particularmente desafiador é a óptica. Essa frente estuda a luz e fenômenos associados a ela e, portanto, a luz é o primeiro elemento a ser compreendido no aprendizado. Por ser um elemento que está visualmente presente no dia a dia, para o vidente, a luz é intuitiva e rapidamente entendida, enquanto que, para o cego, se torna um conceito abstrato. As ideias de cor, transparência e opacidade, por exemplo, são transmitidas subjetivamente aos cegos de

nascimento, porque encontram-se estruturadas em experiências empíricas que eles nunca tiveram. Já as ideias interpretativas acerca da natureza da luz (onda e partícula) e que possuem basicamente caráter geométrico

são de natureza vinculada, um conceito que pode ser relacionado às características concretas. Por esse motivo, podem ser representadas por meio de registros táteis e

No Brasil há 6 milhões de pessoas com baixa visão e 500 mil pessoas cegas; elas enfrentam inúmeros obstáculos em seu processo de inclusão na sociedade como acesso à informação, à educação, à cultura e ao mercado de trabalho

Apesar ser previsto por lei, o acesso a uma educação de qualidade à pessoa com deficiência ainda encontra grandes obstáculos, especialmente no ensino de física, onde predomina o caráter expositivo das aulas e forte dependência com elementos gráficos. O desenvolvimento de abordagens alternativas que facilitem a aprendizagem de conceitos físicos para pessoas com deficiência visual, assim como para videntes, foi o objetivo desse trabalho. Foram construídos 27 painéis, que constituíram a exposição “Luz ao alcance das mãos”, com recursos tátil-visuais e auditivos para explicar conceitos e fenômenos de óptica, além de demonstrar para professores a possibilidade de desenvolver um material completo e inclusivo para o ensino de física. Abordando tópicos desde óptica geométrica até ondas eletromagnéticas e dualidade onda-partícula, em cada um dos painéis foram implementados textos explicativos em sua forma gráfica, em braille e na forma de áudio-descrição, adaptados para conter a localização dos elementos táteis nos painéis.

visuais e serem plenamente comunicadas tanto às pessoas cegas como às videntes. Já o conceito da luz como uma forma de energia não apresenta relação sensorial, pois, na física, energia é um conceito abstrato. Para o caso dos significados relacionados à energia, Gaspar argumenta que: “os físicos sabem muito sobre energia, conhecem inúmeras formas de energia e expressões matemáticas para calcular o seu valor. Sabem que é algo indestrutível na natureza, cujo valor total num determinado fenômeno é sempre o mesmo. Mas não sabem o que é energia.” [4-5]. Por isso, entender a luz sob essa perspectiva coloca cegos e videntes num patamar igualitário.

Dessa forma, fica claro que há a necessidade de que um professor de física seja apto a conduzir atividades de ensino que incluam tanto as especificidades dos alunos videntes quanto as dos alunos com deficiência visual. Uma forma de se atingir essa meta é fornecendo ao educador ferramentas que facilitem tanto o ensino quanto o aprendizado. No ensino de óptica, a experimentação é uma das principais barreiras no aprendizado de alunos com deficiências visuais, por isso torna-se cada vez mais importante a criação e a exploração de métodos que permitam a inclusão desses alunos [6]. A introdução de materiais didáticos em ambientes não-formais de educação pode ser o primeiro passo para despertar o interesse dos estudantes e mostrar um caminho de ensino para professores que possuem na sala de aula alunos com algum grau de deficiência visual.

Em geral, a principal ferramenta de ensino usada no cotidiano é o material impresso e, para o acesso de pessoas com deficiência visual, há a impressão em braille. Entretanto, a alfabetização em braille é considerada mais comum e eficaz para pessoas que nasceram com deficiência visual ou tiveram problemas na visão ainda na infância. Torna-se uma tarefa mais complicada e menos comum introduzir o braille para pessoas que já foram alfabetizadas com o sistema de linguagem em tinta. Além disso, não é toda a população com deficiência que tem acesso a esse aprendizado. De acordo com uma estimativa da Fundação Dorina Nowill para Cegos, apenas 10% dos deficientes visuais são alfabetizados em braille no Brasil. Dentre eles, muitos não

A alfabetização em braille é considerada mais comum e eficaz para pessoas que nasceram com deficiência visual ou tiveram problemas na visão ainda na infância. Torna-se uma tarefa mais complicada e menos comum introduzir o braille para pessoas que já foram alfabetizadas com o sistema de linguagem em tinta

o utilizam por dificuldade de desenvolver a habilidade tátil ou por perder parte dessa habilidade [6,7].

Nas últimas décadas, o surgimento de recursos tecnológicos vem proporcionando avanços valiosos no processo ensino-aprendizagem [8]. O acesso a textos digitais a partir de *software* de leitura de tela ou mesmo *software* ampliador de imagens, no caso de pessoas com baixa visão, tem contribuído para o aprendizado (6). Dessa forma, pode-se afirmar

que o acesso, principalmente de crianças cegas que não foram alfabetizadas em braille, tem sido facilitado. No entanto, em física e particularmente em óptica, o conteúdo gráfico é abundante e essencial para o aluno. Azevedo e colaboradores desenvolveram metodologias

para facilitar o ensino de alguns conceitos de óptica, demonstrando fenômenos como propagação da luz por meio de modelos conceituais [9-10].

É válido e importante ressaltar que, de acordo com Vygotsky, a audição e o tato não realizam, em termos de percepção da realidade física, as funções do olho e, portanto, não há a substituição da visão. O que acontece é que o cego realiza uma relação dialética com a dificuldade do mundo dos videntes, que é o seu ambiente não natural. Isso significa que não há uma compensação biológica dos sentidos, mas uma compensação social para a compreensão do mundo [11].

Baseado no que foi exposto, este artigo mostra o desenvolvimento de uma ferramenta para auxiliar educadores com o intuito de incluir pessoas com deficiência visual no ensino de diversos fenômenos e conceitos de óptica, com base em trabalhos já existentes e consolidados [4,12-13]. Com esse propósito, foram desenvolvidas maquetes e painéis abordando diversos assuntos da física, todos com o recurso tátil-visual. O objetivo foi desenvolver materiais que facilitem o ensino e a aprendizagem de óptica por meio de uma exposição interativa, mostrando aos educadores que é possível ensinar sobre os conceitos de luz utilizando materiais simples e incluindo pessoas com deficiência visual.

Há a necessidade de que um professor de física seja apto a conduzir atividades de ensino que incluam tanto as especificidades dos alunos videntes quanto as dos alunos com deficiência visual

Métodos e Resultado

Painéis tátil-visuais

Os painéis foram construídos visando uma exposição em ambientes como museus e feiras de ciências e, por isso, precisavam de uma estrutura autossuficiente, isto é, que o próprio painel incluísse uma mesa com a descrição em braille e que fosse estável o suficiente para que as pessoas pudessem tocá-lo. Além disso, para o transporte de um ambiente a outro, era preciso que toda a estrutura fosse robusta e prática para os deslocamentos.

Para tanto, foram projetadas caixas basculantes que podiam ser transportadas (quando fechadas) e que podiam ter acoplados os “pés da mesa” (abertas). As dimensões da caixa fechada foram 1024 mm x 600 mm x 200 mm.

Foram projetados dois tipos de painéis: o primeiro do tipo vertical e posicionado na frente da caixa, como mostrado no esquema da Fig. 1A, de tal modo que permanecesse apoiado na tampa, permitindo a estabilidade do toque, enquanto o segundo era do tipo maquete, em que a descrição textual estava ao fundo do painel e a parte tátil à frente, como mostrado na Fig. 1B. Todos continham uma parte acoplada com a descrição em braille, fixada na própria tampa frontal da caixa, indicada na seta da Fig. 1A, que continha dobradiças com travas para evitar que, quando manipulados durante a experiência tátil, os painéis se fechassem. Ainda visando a autossuficiência, para que a caixa se transformasse em uma mesa, quando aberta, quatro pés de alumínio foram acoplados em cada extremidade do retângulo (Fig. 1C), sendo um dos pés regulável em altura para garantir a estabilidade da caixa. O pé com ajuste de nível é mostrado na Fig. 1D.

A escolha do material para a fabricação das caixas foi realizada considerando o peso e o tamanho e, principalmente, a

funcionalidade do painel e o melhor custo-benefício. O material escolhido foi o plástico obtido por termoformagem (*vacuum forming*), uma vez que esse é um material leve e durável. O painel

levando o conteúdo tátil-visual a ser fixado dentro da caixa, entretanto, foi feito com madeira de 1 cm de espessura, com dimensões de 100 cm x 58 cm, garantindo a estabilidade do painel quando tocado pelos participantes. A montagem das caixas foi realizada na oficina mecânica do Grupo de Óptica do Instituto de Física

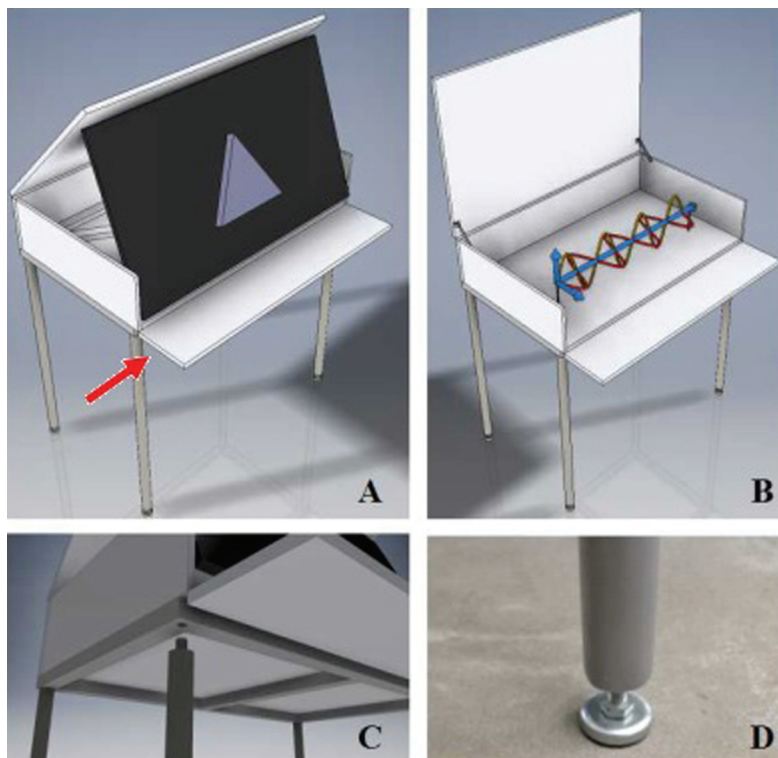


Figura 1: Esquema de montagem de dois tipos de painéis tátil-visuals, vertical (A) e maquete (B); a seta indica o local da leitura em braile. Detalhes dos pés de sustentação da caixa do painel em forma de mesa (C) e do pé ajustável para regulação de nível (D). Fonte: Elaborada pelos autores.

de São Carlos.

Como a exposição tinha o intuito não só de ser acessível às pessoas com deficiência visual, mas também de atingir pessoas videntes, em cada painel foi projetado um fundo textual com as informações didáticas. Para isso, essas informações foram impressas em um adesivo que foi, então, colado sobre a madeira. Os elementos táteis foram fixados sobre esse adesivo, sincronizando a localização do texto com os elementos táteis.

O material cuja descrição em braile foi realizada também foi importante, já que era preciso limpá-lo sem que perdesse as

propriedades para leitura. Desse modo, a descrição em braile foi feita em plástico de transparência. A Fig. 2 mostra um painel do tipo maquete (Fig. 2A) e sendo tocado por um visitante da exposição (Fig. 2B). Nela, é possível notar a explicação conceitual textual impressa ao fundo, enquanto os elementos táteis estão na frente do painel, estando a escrita em braile perpendicular ao observador.

Audiodescrição dos painéis

A não alfabetização em braile de pessoas com algum tipo de deficiência visual mostrou a necessidade de os painéis con-

terem, além da descrição escrita para videntes e não videntes, a audiodescrição, indicando tanto o conteúdo didático como a localização de cada elemento tátil.

Os áudios foram colocados em um *tablet* que permaneceu disponível durante a exposição nos museus. Assim, o áudio de cada painel podia ser selecionado no *tablet* por algum ajudante e a reprodução era feita no fone de ouvido para os visitantes que possuíam algum tipo de deficiência visual. Para deixar a audiodescrição completa, foi incluído um primeiro áudio explicando as dimensões das caixas, seu formato e os dois tipos de painéis, além de sua disposição no espaço do museu, para que eles pudessem seguir com a ideia da exposição já explicitada.

Convenções e materiais utilizados

Para facilitar a visita e o aprendizado das pessoas cegas, foi preciso estabelecer convenções e cuidados a serem adotados em todos os painéis. Cada tema abordado ocupava o espaço de, no máximo, 50 cm de largura, permitindo que, com as duas mãos, ela tivesse acesso ao conteúdo completo daquele quadrante específico. Os temas foram sempre dispostos nos quadrantes da esquerda para a direita e de cima para baixo. Além disso, os elementos que representavam o mesmo conceito, objeto ou ideia eram representados pelo mesmo material, em painéis diferentes. Por exemplo, os raios provenientes de objetos reais foram representados por um fio liso e arredondado, enquanto os raios provenientes de objetos imaginários foram representados por um fio duplo e achatado, padrão seguido em todas as representações.

A prioridade foi sempre a escolha de materiais de fácil acesso e baixo custo, como barbantes, fios e arames. Nos casos em que foram necessários materiais mais elaborados, foram escolhidos sempre aqueles de fácil acesso, como pedaços de metal ou acrílico.

Painéis

Com o objetivo de ensinar como a pessoa com deficiência visual poderia melhor aproveitar a exposição, e também convidar videntes para que fechassem os olhos e tatessem os painéis, foram posicionados dois painéis introdutórios explicativos, onde a exposição tinha início. O primeiro, com o nome “Luz ao Alcance das Mãos” escrito em braile e em letras impressas, apresentava o nome e um segundo possuía a explicação da exposição e demonstrava a presença da descrição em braile em todas as caixas

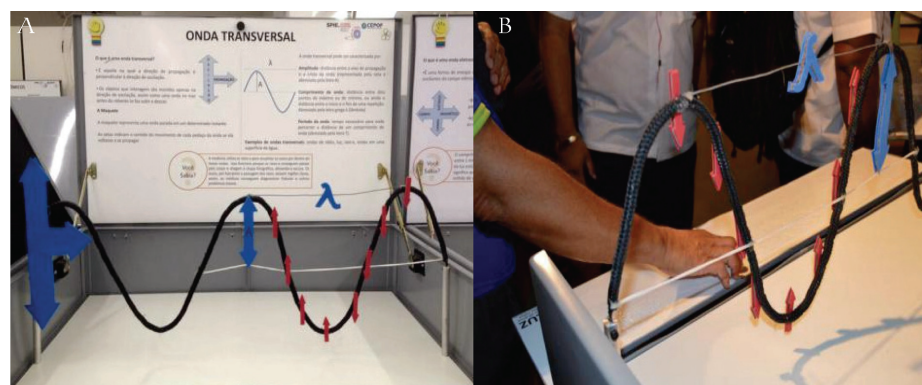


Figura 2: A imagem da esquerda (A) representa o painel autoexplicativo da onda transversal e a imagem à direita (B) mostra a localização da escrita em braile sendo tocada por um visitante da exposição. Fonte: Elaborada pelos autores.

O início de cada painel foi marcado pelo símbolo do projeto impresso em madeira do tipo MDF e com características tridimensionais. Sempre colocado exatamente na mesma posição, ele indicava o início de um novo tema. Essas convenções foram explicadas na descrição em braille e na audiodescrição dos painéis. O símbolo da exposição impresso em madeira está mostrado na Fig. 3a e um aluno identificando o símbolo, na Fig. 3B.

De modo a dar um caráter investigativo ao aprendizado, em cada painel também foi introduzida uma curiosidade relacionando os fenômenos presentes no dia-a-dia e o conceito físico abordado. Essas informações foram colocadas em quadros intitulados “você sabia” e localizadas sempre ao final do painel (e, portanto, no final da descrição em braille e da audiodescrição). Essa motivação adicional trazia elementos presentes na vida das pessoas com ou sem deficiência visual, motivando ainda mais a interação com os painéis e com o aprendizado.

Também foi necessário planejar a ordem dos painéis na exposição. Cada conceito novo apenas deveria ser apresentado quando um conceito prévio, requisito para entendimento daquele, já tivesse sido mostrado. Os temas abordados pela exposição completa e os painéis referentes a cada tema estão sumarizados, em ordem, na Tabela 1.

Para explicar os aspectos corpusculares e ondulatórios da luz, foi necessário introduzir o conceito das ondas longitudinais e transversais. A onda longitudinal é uma onda mecânica cuja direção de deslocamento (vibração) no meio é paralela à direção de propagação da onda (trajetória). Para a elaboração do painel da onda longitudinal (Fig. 4A), além de cordas, arames, molas de plástico e espuma vinílica acetinada (EVA) foi colocado um motor, mostrado no último quadrante do painel, que produzia um pulso de onda perceptível quando tocado. A representação estática foi feita em uma mola sem motor, na qual era possível sentir uma região de contração, que é chamada de pulso e vibra na direção horizontal. Outra mola representava um instante de tempo posterior à mola 1. O pulso se propagou para a direita e estava, portanto, mais à frente, próximo ao centro da mola, mostrando que a propagação é paralela ao deslocamento.

A onda transversal é aquela na qual a direção de propagação é perpendicular à direção de oscilação. Os objetos que interagem com essa onda são movidos apenas na direção de oscilação e a maquete representou uma onda parada em um



Figura 3: Imagens mostrando o símbolo da exposição impresso em madeira e em alto-relevo. Fonte: Elaborada pelos autores.

determinado instante. Ela foi feita com uma corda de 1,5 cm de diâmetro com um arame passado pelo seu interior, para adquirir o formato rígido de onda. Setas de EVA e arames foram fixados para mostrar as definições de comprimento de onda e amplitude. Esse painel é mostrado na Fig. 4B.

Por meio da comparação dos painéis dos tipos de onda foi possível, então, introduzir o conceito de onda eletromagnética para a luz. Para isso, foi montado um painel para mostrar que a luz é um

tipo de onda transversal formada por um campo elétrico e um campo magnético, perpendiculares entre si. Para representar as diferenças entre os campos elétrico e magnético da onda, os painéis contaram com diferentes cores (para os videntes) e diferentes texturas das ondas em cada um dos eixos, representando o campo elétrico e o campo magnético (Fig. 5A). É importante notar que, quando exploramos o espectro eletromagnético, é possível usar a ausência de visão como um fator positivo na abordagem dos comprimentos de onda

Tabela 1: Temas abordados pela exposição completa e os painéis produzidos e seus respectivos temas em ordem.

Abertura	Painel de abertura
Tipos de onda	Explicação da exposição
	Onda longitudinal
	Onda transversal
Ondas eletromagnéticas	Ondas eletromagnéticas
	Espectro eletromagnético
	Cores e temperatura
Polarização	Polarização
Difração da luz	Difração
Reflexão e refração	Conceitos de reflexão e refração
	Espelhos e lentes
	Reflexão em Espelhos planos e esféricos variando a posição do objeto (2 painéis)
	Lentes convergentes
	Lentes divergentes
Espalhamento	Prisma
Instrumentos ópticos	Telescópio ou luneta
	Câmera fotográfica
	Microscópio
Modelos atômicos	Modelos de Dalton e Thomson
	Modelos de Rutherford e Bohr
Dualidade onda-partícula	Explicação do fóton
Efeito fotoelétrico	Efeito fotoelétrico
	Fotomultiplicadora
Como se forma a visão	Explicação de onde partem os raios
	O olho humano
	Problemas de visão: miopia e hipermetropia

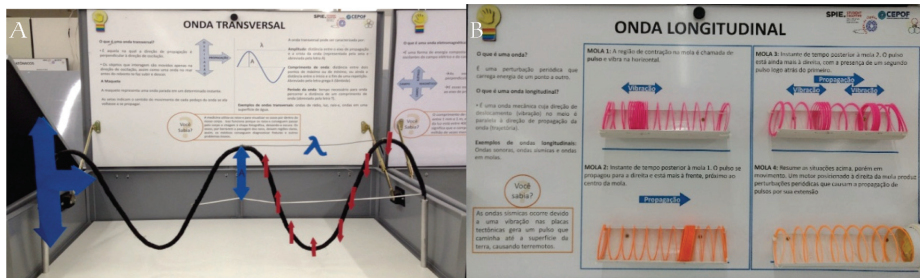


Figura 4: Painel explicativo da onda longitudinal (A) e painel explicativo da onda transversal (B). Fonte: Elaborada pelos autores.

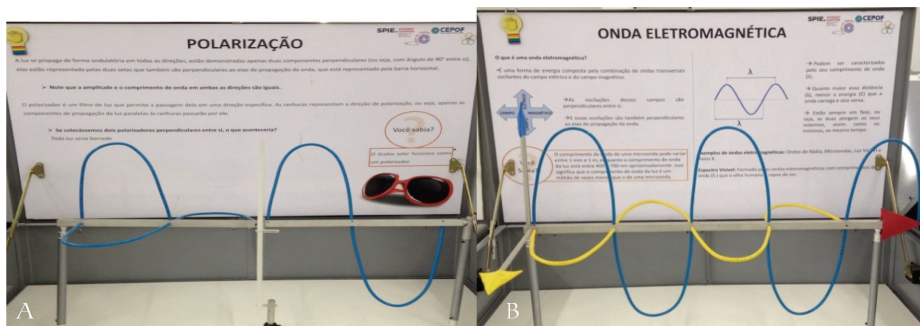


Figura 5: Painel da onda eletromagnética (A) e painel da polarização (B), onde a seta indica a lâmina polarizadora. Fonte: Elaborada pelos autores.

fora da região do visível, colocando cegos e videntes em patamares de compreensão semelhantes. Se o raio-X ou o infravermelho não são visíveis a olho nu, pode-se usar o mesmo mecanismo de ensino para as cores.

Considerando o campo elétrico e mantendo a mesma cor e textura do arame, foi construído o painel para explicação da polarização da luz. O “polarizador” é um filtro de luz que permite a passagem da onda transversal apenas em uma direção. Então, um disco de acrílico com ranhuras em uma direção específica podia ser girado de modo que apenas uma componente da onda estivesse presente depois do polarizador. Essa componente estava paralela às ranhuras, mostrando que, independentemente da direção em que a lâmina estava, a onda final seguiria polarizada nessa direção (Fig. 5B). Nesse ponto, é importante lembrar que, assim como a descrição nos painéis introdutórios, o braille e a audiodescrição ressaltam que a direção de propagação dessa onda luminosa é horizontal e com sentido para a direita, para evitar confusão quanto ao funcionamento do polarizador.

Tendo mostrado os conceitos de ondas eletromagnéticas e polarização, introduziu-se o conceito de espectro eletromagnético. Apesar de o fenômeno da cor possuir significado indissociável da representação visual (isto é, somente pode ser percebido e compreendido a partir da percepção e da representação visual), alguns de seus

conceitos, como os de comprimento de onda e frequência, podem ser explorados por meio de maquetes táteis. Por exemplo, os diferentes comprimentos de onda são relacionados com o inverso da temperatura, mostrando que são grandezas inversamente proporcionais. O significado abordado de cores pode ser, portanto, vinculado às representações táteis [5]. Por isso, utilizando um fio, foram mostrados os diferentes comprimentos de onda do espectro em um painel. Juntamente foram colocadas três placas metálicas ligadas a uma resistência com temperatura controlada em três regiões do espectro mostrado. As chapas de maior, média e menor temperatura foram colocadas, respectivamente, perto dos comprimentos de onda de cor azul, verde e vermelha.

Esse painel está mostrado na Fig. 6A, onde se pode notar as placas metálicas e o fio (branco) mostrando o comprimento de onda.

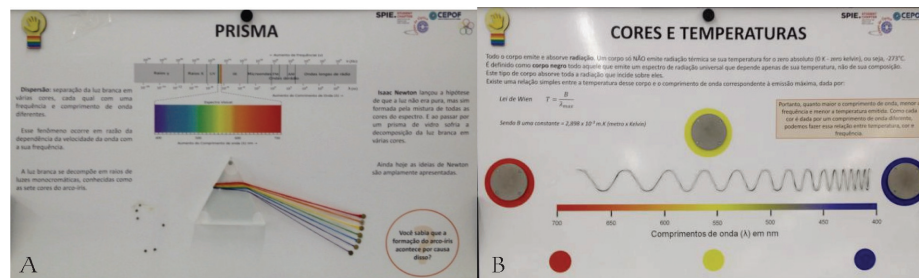


Figura 6: Painel explicativo dos conceitos de cores e temperaturas (A) e painel explicativo dos conceitos do prisma (B). Fonte: Elaborada pelos autores.

A partir do entendimento dos conceitos de frequência e comprimento de onda para diferentes cores, foi possível introduzir o conceito de dispersão da luz branca quando incidente em um prisma. Foi tomado o cuidado de mostrar que a luz branca era formada por diferentes comprimentos de onda – nesse caso, representados por barbantes diferentes, com diferentes espessuras e texturas. A luz passa por dentro do prisma, que possuía uma tampa móvel sobre ele, e o feixe de luz, ao sair, possui ângulos diferentes para as diferentes cores. Para os videntes, a cor dos barbantes também muda de acordo com a sua dispersão para facilitar o entendimento (Fig. 6B). Deve-se notar que além da dispersão da luz branca, esse painel auxilia na compreensão do espectro eletromagnético e abre caminho para os tópicos de óptica física e geométrica.

Quando a luz encontra um objeto de mesma ordem de grandeza dos comprimentos de onda da luz visível, acontecem os fenômenos de difração e interferência. Esses fenômenos foram mostrados utilizando o relevo dos desenhos presentes nos livros didáticos, bem como o comportamento da luz quando encontra uma superfície refletora (representada por material metálico) e refratora (acrílico), sendo a luz branca representada sempre pelo mesmo material. Com esse conjunto de materiais foram explorados os conceitos teóricos desses fenômenos, como a lei da reflexão e a lei de Snell.

Uma sequência de painéis mostrou os fenômenos de refração e reflexão, com todas as possibilidades de formação de imagens a partir de um objeto em frente a espelhos planos e esféricos e a lentes divergentes e convergentes. Um painel introdutório com todos esses elementos foi elaborado com a descrição de cada um. A Fig. 7a mostra esse painel, com suas representações. Além dos espelhos e lentes, que foram diferenciados pelo material metálico e pelo acrílico, respectivamente, o “objeto” sempre era representado por uma seta de EVA áspera, enquanto a “imagem” era representada por uma seta de EVA lisa. O

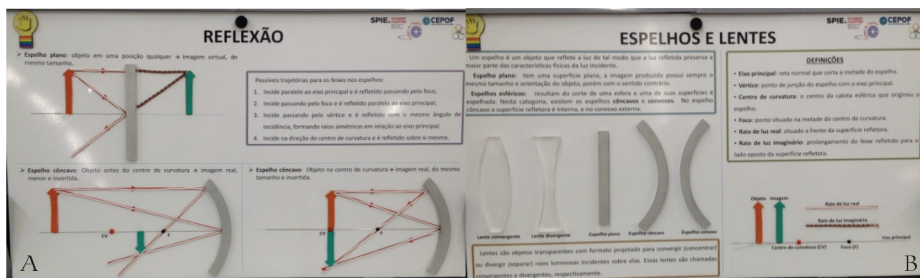


Figura 7: Painel explicativo sobre espelhos e lentes (A) e painel explicativo sobre reflexão (B). Fonte: Elaborada pelos autores.

raio de luz real era representado por um fio único e liso e o raio imaginário, por um fio duplo e achatado. Além disso, o centro de curvatura era representado por uma miçanga cilíndrica e o foco por outra miçanga esférica, ambas cortadas ao meio. Um exemplo dos painéis com a formação das imagens a partir de espelhos esféricos e plano está mostrado na Fig. 7B.

Com a fixação dos elementos de formação de imagem, então, foi possível fazer os painéis com instrumentos ópticos comuns. Foram feitos painéis mostrando o telescópio, a máquina fotográfica e o microscópio. Como as pessoas que não estão em um ambiente acadêmico ou de pesquisa em geral não têm contato com alguns desses instrumentos, além de mostrar o arranjo de lentes presentes em seu interior foram colocados instrumentos reais para que o visitante pudesse tocar um objeto com dimensões e características reais. Como mostrado na Fig. 8, uma luneta pela metade foi colada no painel juntamente com as lentes utilizadas em painéis anteriores. A imagem formada em uma lente, que é o objeto de outra, foi representada por texturas diferentes do objeto inicial e da imagem final, seguindo os padrões dos painéis anteriores.

Tendo finalizado os conceitos de óptica geométrica, partiu-se finalmente para a explicação do efeito fotoelétrico. Entretanto, para isso foi necessário mostrar antes a estrutura do átomo e os modelos atômicos pensados ao longo da história. Os modelos de Dalton (da esfera maciça) e de Thomson (com o pudim de passas) foram elaborados com bolas grandes e pequenas de poliestireno expandido (EPS), conhecido no Brasil pelo seu nome comercial Isopor, representando o núcleo e os elétrons, respectivamente. Em outro painel, foram representados os modelos de Rutherford e Bohr, com o núcleo menor e os elétrons em órbitas representadas por um arame fino.

A partir do conceito de Bohr, então, foi introduzida a dualidade onda-partícula. O fóton é o conceito fundamental para o entendimento do comportamento cor-

puscular da luz. Os pacotes de energia foram representados por círculos de borracha EVA com texturas e diâmetros diferentes para representar a energia relacionada aos fótons de diferentes comprimentos de onda (e, portanto, diferentes cores), relacionando a quantidade de energia com diferentes comprimentos de onda.

Quando se faz incidir luz sobre uma superfície metálica, há emissão de elétrons. Para tanto, o efeito fotoelétrico foi demonstrado com o uso de tubos de PVC cortados na metade representando os emissores de fótons e círculos de EVA representando os fótons em si. A interação de fótons de energias diferentes (representados no painel por tamanhos distintos) com uma placa metálica poderia ou não

liberar um elétron da placa, representado por um pequeno cilindro metálico. Os painéis da representação atômica e o efeito fotoelétrico estão mostrados nas Figs. 9A e 9B, respectivamente.

Mostrados os conceitos da física que envolvem a óptica, foi introduzida uma das aplicações do entendimento da luz. Visto que os painéis foram acessíveis às pessoas com algum tipo de deficiência visual, a exposição continha três painéis finais para explicar como a visão é formada e como a história sobre esse tema evoluiu ao longo do tempo. Foram usadas semi-esferas de EPS cobertas por fita de textura lisa para representar o sol, EVA recortado no formato de uma árvore representando o objeto, além de triângulos e círculos de EVA para representar alguns elementos extras. As diferentes teorias sobre como as pessoas enxergavam foram mostradas então com esse conjunto de elementos. Esse painel se destaca por mostrar que possíveis concepções alternativas dos visitantes são semelhantes às posições filosóficas e históricas de antigos e importantes personagens da ciência (Fig. 10A). Mostrar que a hipótese elaborada pelo visitante de como nós enxergamos, talvez antes equivocada, já foi a visão de grandes filósofos da humanidade, o que cria uma postura diferente frente ao erro e toma



Figura 8: Painel explicativo que traz os conceitos e explicações sobre telescópio ou luneta. Fonte: Elaborada pelos autores.

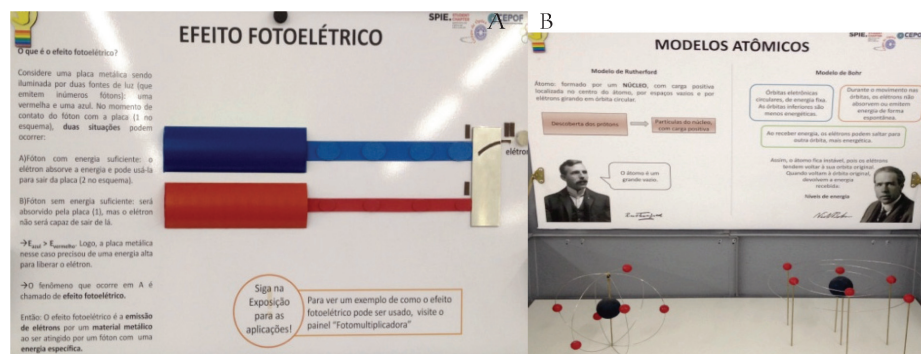


Figura 9: Painel da representação dos modelos atômicos (A) e painel do efeito fotoelétrico (B). Fonte: Elaborada pelos autores.

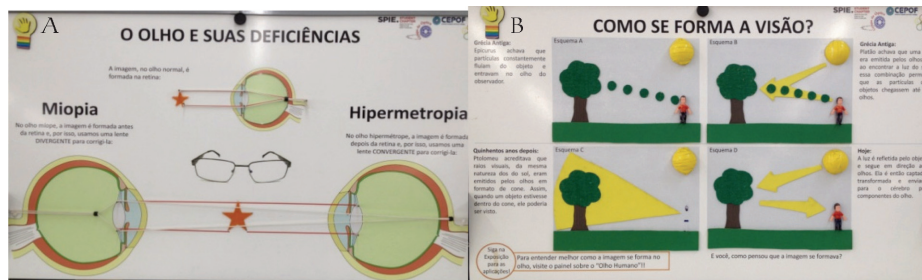


Figura 10: Imagem dos painéis de como se forma a visão (A) e do olho e suas deficiências (B). Fonte: Elaborada pelos autores.

por referencial de certo e errado o conhecimento científico.

Ainda para mostrar como a visão se forma, foi feito um painel mostrando os elementos do olho humano, com elementos simples representando as estruturas responsáveis pela formação da imagem. Fios, lentes de acrílico e borracha representavam as diferentes estruturas. Com a representação da retina e, portanto, do local de formação da imagem, foi feito outro painel mostrando o olho e os problemas de miopia e hipermetropia, pela formação da imagem antes e depois da retina, respectivamente. Os painéis de como se forma a visão e dos problemas de visão estão mostrados na Fig. 10.

Exposição "Luz ao Alcance das Mãos"

A exposição "Luz ao alcance das mãos" visou, além de atingir pessoas com algum tipo de deficiência visual, mostrar aos professores que é possível preparar um material completo que permita o acesso a todos os alunos, ensinando conceitos de óptica de forma completa e inclusiva. É também uma nova estratégia de ensino, na qual o aprendizado de pessoas sem deficiência visual é facilitado, mostrando um

caminho diferente do tradicional.

Essa exposição foi inaugurada no Museu Ciência e Vida de Duque de Caxias, no Rio de Janeiro, onde permaneceu por três meses. Depois, esteve presente na Feira de Ciências da exposição voltada ao público jovem do 67º Encontro da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, na Universidade Federal de São Carlos e, desde 2016, está alocada no Museu da Ciência de São Carlos Professor Mario Tolentino, em um empréstimo de três anos.

Quando essa exposição foi para o Museu da Ciência de São Carlos, foi realizada uma adaptação de todo o Museu, com introdução de faixas de localização para cegos, o que tornou o museu muito mais inclusivo a partir disso. Isso mostra que a presença de elementos inclusivos em um ambiente pode transformá-lo completamente, extrapolando a ação de ensino de um painel.

Conclusão

Este artigo apresenta um método para o ensino de vários conceitos e propriedades ópticas com o desenvolvimento de ferramentas de ensino usando materiais simples e de baixo custo. Desse modo, foi pos-

sível explorar conceitos de óptica de uma forma que tanto pessoas com deficiência visual quanto videntes pudessem aproveitar a exposição e aprender. Além disso, essa ferramenta favorece a capacitação de professores para realização de atividades de ensino que incluam as particularidades de qualquer aluno. Assim como a óptica, acredita-se que outras áreas com conteúdo gráfico também possam utilizar essa metodologia para facilitar o ensino de pessoas com deficiência visual.

Agradecimentos

Os autores agradecem a colaboração de todo o Instituto de Física de São Carlos, em especial ao professor Tito José Bonagamba e ao Herbert Alexandre João; à equipe da oficina mecânica, em nome do Ademir Moraes e Leandro de Oliveira; ao Grupo de Óptica, mais precisamente a Evaldo José Pereira de Carvalho, Vanda Pinto de Moura, Leandro Serillo Pingueiro, Lilian Tan Moriyama, José Dirceu Vollet-Filho, e ao Laboratório Instrumentação Eletrônica (LIEPO) e ao João Marcelo Nogueira, por auxiliarem na confecção dos painéis. À equipe do Museu Ciência e Vida e a Monica Santos Dahmouche e Liliana Coutinho, ao apoio da Secretaria Municipal da Pessoa com Deficiência e Mobilidade Reduzida da prefeitura de São Carlos, em nome da Tamy Aline Sato e ao Museu de Ciências de São Carlos Professor Mario Tolentino e seu diretor Paulo Roberto Milanez. Agradecemos também ao apoio financeiro da FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - processo: 2013/07276-1 (CEPOF - CEPID Program)), da Olimpíada Brasileira de Física e à SPIE (International Society of Optics and Photonics) pelo apoio financeiro via SPIE Student Chapter. Agradecemos, em especial, ao professor Vanderlei Salvador Bagnato pelo apoio na execução e pelas ideias na elaboração de vários painéis, além de viabilizá-la de forma geral.

Referências

- [1] World Health Organization, Visual impairment and blindness. Disponível em <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs282/en/>, acesso em 3/8/2017.
- [2] Portal Brasil, Dia mundial da visão alerta para a prevenção da cegueira no País. Disponível em <http://www.brasil.gov.br/saude/2012/10/dia-mundial-da-visao-alerta-para-a-prevencao-da-egueira-no-pais>, acesso em 3/9/2017.
- [3] E.A.G. Fávero, *Direito das Pessoas com Deficiência: Garantia de Igualdade na Diversidade* (WVA, Rio de Janeiro, 2007), p. 37-38.
- [4] E.P. de Camargo, *Saberes Docentes para a Inclusão do Aluno com Deficiência Visual em Aulas de Física* (Editora Unesp, São Paulo, 2012), v. 1, p. 274.
- [5] A. Gaspar, *Introdução à Eletricidade* (Ática, São Paulo, 2000), v. 3.
- [6] E.F. Torres, A.A. Mazzoni, A.G. de Melo, *Educação E Pesquisa* **33**, 369 (2007).
- [7] E.P. De Camargo, R. Nardi, E.V. Veraszto, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **30**, 3401.1-3401 (2008).
- [8] J.B. Cerqueira, M.A. Ferreira, *Revista Benjamin Constant* **5**, 24 (1996).
- [9] A.C. Azevedo, A.C.F. Santos, *Physics Education* **49**, 1 (2014).
- [10] A.C. Azevedo, L. P. Vieira, C. E. Aguiar, A. C. F. Santos, *Physics Education* **50**, 15 (2014).
- [11] L.S. Vygotzky, in: *Problemas Especiais da Defectologia* (Editorial Pueblo Y Educación, Havana, 1997), p. 74-87.
- [12] E.P. De Camargo, *Inclusão e Necessidade Educacional Especial: Compreendendo Identidade e Diferença Por Meio do Ensino de Física e da Deficiência Visual* (Editora Livraria da Física, São Paulo, 2016), p. 23-47.
- [13] E.P. De Camargo, *Ensino de Óptica para Alunos Cegos: Possibilidades* (CRV, Curitiba, 2011), 1ª ed.