

Interiorização do conceito científico de reflexão da luz por estudantes do Ensino Médio⁺

*Wilson Fábio de Oliveira Bispo*¹

Instituto Federal de Educação

Catu – BA

*José Luis de Paula Barros Silva*¹

Faculdade de Educação – Universidade Federal da Bahia

*José Fernando Moura Rocha*¹

Departamento de Física – Universidade Federal da Bahia

Salvador – BA

Resumo

Este trabalho busca ampliar os conhecimentos sobre o processo de ensino-aprendizagem do conceito científico de luz na Educação Básica, especificamente compreendendo o processo de interiorização do conceito científico de reflexão da luz por estudantes do Ensino Médio. Fundamentados na Teoria Histórico-Cultural, elaboramos uma sequência didática que foi implementada em uma turma do 2º ano do Ensino Médio de um Instituto Federal. Os dados foram produzidos pela exteriorização dos conceitos interiorizados, posto que, só é possível acessar o interior de uma pessoa por aquilo que ela exterioriza. A análise qualitativa dos dados escritos produzidos pelos estudantes revelou grandes modificações na exteriorização das propriedades do conceito de reflexão da luz e dos termos científicos que lhes estão vinculados, em relação aos conhecimentos prévios ao ensino, o que qualifica positivamente a sequência didática. Por outro lado, também foi constatado que parte dos estudantes empregou o sistema conceitual da reflexão da luz em desacordo com o que foi ensinado e sem utilizar termos científicos, indícios de que tais estudantes não se desenvolveram muito além do pensamento por conceitos espontâneos, o que sugere o

⁺ Interiorization of the scientific concept of light reflection by high school students

^{*} Recebido: 10 de outubro de 2022.

Aceito: 6 de março de 2024.

¹ E-mails: wilsonfabio@gmail.com; joseluis@ufba.br; jofer@ufba.br

aprimoramento da referida sequência didática e continuidade da pesquisa.

Palavras-chave: *Conceito de Reflexão da Luz; Teoria Histórico-Cultural; Interiorização de Conceitos.*

Abstract

This work seeks to expand knowledge about the teaching-learning process of the scientific concept of light in Basic Education, specifically, understanding the process of interiorization of the scientific concept of light reflection by high school students. Based on Historical-Cultural Theory, we developed a didactic sequence that was implemented in a 2nd year high school class at a Federal Institute. Data were produced by the exteriorization of interiorized concepts, since it is only possible to access people's interior through what they exteriorize. The qualitative analysis of the written data produced by the students revealed major changes in the exteriorization of the properties of the concept of light reflection and scientific terms linked to them, in relation to knowledge prior to teaching, which positively qualifies the didactic sequence. On the other hand, it was also found that some of the students used the conceptual system of light reflection in disagreement with what was taught and without using scientific terms, which indicates that such students did not develop much beyond thinking through spontaneous concepts, which suggests the improvement of the aforementioned didactic sequence and the continuity of the research.

Keywords: *Concept of Light Reflection; Cultural-Historical Theory; Interiorization of Concepts.*

I. Introdução

Adotamos o pressuposto que uma das finalidades da escola é ensinar às novas gerações os saberes sistematizados produzidos pela humanidade, possibilitando aos mais jovens desenvolver uma reflexão crítica acerca do mundo (da natureza) ao nosso redor e participar ativamente da vida social, contribuindo assim com a formação de uma identidade cultural (Libâneo, 2013; Saviani, 2011). Como exemplo podemos citar o estudo dos fenômenos naturais, que é imprescindível para o entendimento do mundo. A luz destaca-se em meio aos fenômenos naturais pela importância que adquiriu na sociedade, ao ponto de termos desenvolvido modos de produzi-la artificialmente, ampliando sua disponibilidade para

nosso uso na ausência de suas fontes naturais. A decretação de 2015 como Ano Internacional da Luz, pela Unesco (Nações Unidas, 2015), dá uma medida do reconhecimento global da importância social da luz.

No ensino de Física, a luz, seja do espectro eletromagnético visível ou não visível, é um tema que merece destaque por ser bastante presente no nosso cotidiano, de modo que as novas tecnologias desenvolvidas a partir dos estudos relacionados – como celulares, GPS, televisores de CD e plasma, comunicação por fibras ópticas, sensores de presença etc. – evidenciam a importância de aprimorar sua conceituação (Araújo; Braga; Killner, 2015). Dessa forma, é imprescindível que o estudante do Ensino Médio conheça os fundamentos da tecnologia atual, já que ela atua diretamente em sua vida e certamente influenciará no seu futuro profissional (Valadares; Moreira, 1998).

Teorias acerca da luz, sua interação com a matéria e suas aplicações tecnológicas fazem parte dos conteúdos de Ciências Naturais na Educação Básica, o que levou a numerosas investigações acerca do ensino do conceito de luz nesse nível educacional. Haagen-Schützenhöfer (2017), por exemplo, verificou que, mesmo após a instrução em óptica introdutória, muitos estudantes não apresentaram um conceito adequado de luz branca; Henriksen *et al.* (2018) identificaram que o ensino da dualidade onda-partícula da luz resultou em dois tipos de compreensão: conciliadora dos modelos de onda e partícula e questionadora da dualidade; Kanli e Ilican (2020) verificaram que o desempenho de estudantes relativos aos conceitos de luz e sombra dependeu dos formatos de avaliação empregados. Além disso, Bispo (2019) constatou que, apesar de relevantes, os trabalhos que tratam do ensino do conceito de luz no Ensino Médio são escassos e, segundo Araújo, Braga e Killner (2015), é um conceito pouco explorado nas escolas.

Outros pontos são tratados na literatura acerca do conceito de luz e conceitos relacionados. Driver *et al.* (2006) relacionam as seguintes dificuldades: estudantes concebem a luz como fonte, efeito ou um estado, sem considerá-la como uma entidade física existindo no espaço entre a fonte e o efeito; outros estudantes reconhecem a luz como entidade, sendo que a maioria usa essa noção para explicar sombra, mas somente onde a luz foi intensa o suficiente para produzir efeitos perceptíveis; outros, quando questionados sobre raios de luz, pensam neles como longos, finos e brilhantes, diferentes da luz comum e, por vezes, associados a contextos de ficção científica; e, por fim, estudantes apresentam dificuldades para representar a trajetória da luz devido ao fato de essa trajetória não estar visível. Tais problemas são parte da preocupação de diversos pesquisadores, na medida em que buscam novas formas de ensinar o conceito de luz. Fanaro, Elgue e Otero, (2016), por exemplo, elaboraram uma sequência para ensinar conceitos relativos à luz que enfatizam seu aspecto quântico, baseados na Teoria dos Campos Conceituais; Albuquerque, Santos e Ferreira (2015) elaboraram uma proposta didática para conteúdos de óptica empregando a abordagem dos Três Momentos Pedagógicos; Kaur *et al.* (2017) propuseram o ensino da natureza corpuscular da luz por meio de modelos físicos e analogias; entre outros.

No caso específico da pesquisa sobre ensino do conceito de reflexão da luz – que constitui uma parte do conceito de luz – também há uma escassez de trabalhos: não encontramos artigos referentes ao Ensino Médio, mas apenas duas propostas de ensino. Na primeira, Pathare *et al.* (2021) propõem uma atividade para facilitar o ensino sobre a reflexão especular da luz no Ensino Médio, por meio do estímulo ao questionamento e explicação da trajetória da luz e da lei da reflexão. Já a segunda proposta (Lanchester, 2014) – que tem vínculo com o Ensino Médio por se dirigir a estudantes universitários recém-ingressos – consiste de experimentos para estudar as leis básicas de reflexão e refração da luz em uma interface ar-vidro e reflexões múltiplas internas a um bloco de vidro, com aparelhagem de baixo custo, a fim de reforçar o conhecimento básico de ótica de estudantes universitários recém-ingressos.

Estudantes também apresentam dificuldades com relação ao conceito de reflexão da luz, como as crenças de que a luz só reflete em espelhos, mas não em outros objetos ou que, ao refletir, a luz permanece no espelho. Outros explicavam a sombra de um objeto como reflexão ou reflexão escura. Em menor quantidade, foram identificadas dificuldades em descrever a reflexão da luz, bem como compreender a relação entre reflexão da luz em objetos e sua visualização (Driver *et al.*, 2006).

Diante do exposto, o trabalho aqui apresentado busca ampliar os conhecimentos sobre o processo de ensino-aprendizagem do conceito de luz na Educação Básica, especificamente, compreendendo o processo de interiorização do conceito de reflexão da luz por estudantes do Ensino Médio. Este trabalho é parte de uma pesquisa de doutorado (Bispo, 2019) que tratou do desenvolvimento do conceito de luz por estudantes do Ensino Médio. Nessa pesquisa elaboramos e aplicamos uma sequência didática, na qual usamos uma abordagem contextualizada, simultaneamente histórica, experimental e matemática, explorando as potencialidades de cada um desses aspectos e visando ao ensino de conceitos. Adotamos como referencial teórico a Teoria Histórico-Cultural, de base vigotskiana, a qual orientou o ensino, a coleta e a análise de dados, conforme apresentaremos mais adiante, tendo o conceito de luz sido abordado através dos fenômenos de propagação, reflexão, refração, difração, interferência e efeito fotoelétrico.

Devido à sua extensão, discutiremos aqui apenas os resultados referentes à interiorização do conceito de reflexão da luz. Para tanto, analisamos respostas dos estudantes a questões referentes ao sistema conceitual da reflexão, buscando entender quais fatores influenciaram, positiva e negativamente, nesse processo de interiorização, quais propriedades dos conceitos e termos científicos foram mais utilizados pelos estudantes e se foram empregados de acordo com o que foi ensinado. Artigos que visam a apresentar outras partes da referida pesquisa doutoral, a exemplo da sequência didática supracitada, já estão em processo de escrita.

Este trabalho foi estruturado da seguinte forma: na seção II apresentamos o referencial teórico adotado; na seção III introduzimos o conceito de reflexão da luz abordado;

na seção IV descrevemos os procedimentos metodológicos utilizados e aspectos considerados na análise de dados; já na seção V discutimos os resultados encontrados; e, por fim, na seção VI expomos nossas conclusões e considerações finais referentes a este trabalho.

II. Conceitos e sua interiorização

II.1 Um conceito de conceito

O conceito de conceito sofreu variações ao longo da história (Conceito, 1965; 2007). A acepção que adotamos considera o conceito de três pontos de vista diferentes: o filosófico, por ser objeto de reflexão; o psicológico, por fazer parte dos nossos processos cognitivos; e o semiótico, já que é veiculado por signos.

Em poucas palavras, podemos dizer que um conceito é uma generalização abstrata, elaborada intersubjetivamente, vinculada sistematicamente a outros conceitos, que abarca todos os casos específicos que apresentam propriedades (ou características) comuns invariantes e é expresso por signos (Hardy-Vallée, 2013; Vigotski, 2009). Por casos entendemos coisas² ou situações (conjuntos de coisas relacionadas) estáticas ou dinâmicas.

O conceito é o conteúdo de um signo, seu significado. Se tomarmos como exemplo o conceito do signo *lâmpada elétrica*, vemos que a criança pequena aprende a palavra *lâmpada* em sua casa e logo também aprende que serve para designar mais de um objeto na própria casa; à medida que a criança toma conhecimento do mundo, passa a conhecer lâmpadas de outras casas, de iluminação pública, de automóveis etc., e o termo lâmpada vai se generalizando cada vez mais. Para incluir tantos objetos diferentes na palavra lâmpada, a criança identifica e seleciona as propriedades comuns a todas as lâmpadas – emitir luz e ser operada por energia elétrica – e as vincula ao termo. Pelo fato de as propriedades serem comuns a todas as lâmpadas, não variam de uma para outra. Por se referir a todos esses objetos e, simultaneamente, a nenhuma lâmpada específica, o conceito de lâmpada constitui-se em uma generalização abstrata. As características específicas de cada lâmpada, tais como: tamanho, formato, potência, entre outras, são desconsideradas.

O critério para que algum caso venha a ser conhecido ou reconhecido como pertinente a um conceito – a exemplo de uma lâmpada – é apresentar as propriedades deste conceito. Tais propriedades funcionam como uma descrição genérica dos casos que o conceito abrange, de modo que, o conjunto de todos os conceitos existentes produz uma descrição do mundo. Note-se que cada propriedade também constitui um conceito, que está associado a outros tantos, de modo que, cada conceito faz parte de um sistema conceitual, formado por conceitos mais gerais e mais específicos.

Entender conceitos é essencial para organizar e estruturar o pensamento e o conhecimento, por serem seus elementos últimos. Contudo, como a comunicação entre seres

² De acordo com Heidegger (1992), *coisa* significa aquilo que existe ou pode existir, seja acessível aos sentidos (p. ex.: cadeira, luz visível) ou não (p. ex.: átomo, luz não visível).

humanos só pode ser estabelecida por meio de signos, os conceitos são aprendidos em processos comunicativos relacionados aos casos que abarca e, desse modo, se constituem como os elementos que unificam o pensamento e a linguagem (Hardy-Vallée, 2013; Vigotski, 2009).

II.2 Interiorização de conceitos

De acordo com o comentado acima para o caso da lâmpada, as pessoas não aprendem o signo e seu conceito sozinhas, mas na interação com outras pessoas que a cercam e em contato com os casos e/ou outros conceitos. Porém, como já assinalou Vigotski (2009, p. 246):

Quando uma palavra nova, ligada a um determinado significado, é apreendida pela criança, o seu desenvolvimento está apenas começando; no início ela é uma generalização do tipo mais elementar que, à medida que a criança se desenvolve, é substituída por generalizações de um tipo cada vez mais elevado, culminando o processo na formação dos verdadeiros conceitos.

Dizemos que uma pessoa interiorizou um conceito quando emprega seu signo ou termo conceitual de modo que faça sentido para nós, em situações comunicativas que reconhecemos como sendo coerentes com aquele conceito. Em outras palavras, reconhecemos que uma pessoa interiorizou um conceito quando o exterioriza sob a forma de um signo que faz sentido em situação comunicativa específica. Como a pessoa só pode exteriorizar aquilo que lhe é interior, a exteriorização de conceitos passa, portanto, por sua anterior interiorização (Vigotski, 1991; Vygotski; Luria, 2007).

O processo de interiorização consiste na “transferência dos modos sociais de comportamento ao interior do sistema das formas de adaptação individuais” (Vygotski; Luria, 2007 p. 66). Essa transferência envolve numerosas e complexas operações com o signo, o conceito e o caso, reconstruindo o comportamento social de modo individual, o que altera sua estrutura e sua função³.

Retomemos o exemplo da lâmpada, no qual, uma criança interioriza uma palavra nova ligada a um determinado significado (ver citação acima). Imaginemos uma situação na qual a criança é posta em contato com o objeto, de modo a despertar-lhe a atenção e, ao mesmo tempo, a palavra lhe é ensinada por uma outra pessoa, a exemplo de um adulto que aponta para uma luminária próxima e diz: Olhe a lâmpada! A criança, movida por sua curiosidade acerca do mundo e das pessoas com quem convive, dirige o olhar ao objeto, toma-o nas mãos (se lhe permitem), examina-o, acende e apaga a lâmpada sob orientação, procura interiorizar o som da palavra, repetindo-o e sendo orientada a corrigir essa ou aquela articulação sonora, enfim, interage simultaneamente com o objeto e o adulto por meio do signo.

³ Para uma revisão crítica do conceito de interiorização ver Álvarez Espinoza; Balmaceda (2018).

Tais atividades dão início à interiorização do conceito de lâmpada. A interação com o objeto conduz à uma percepção da lâmpada, formada interiormente pela integração das sensações que a lâmpada provocou na criança, a exemplo de: forma, cor, variações de aparência (acende, apaga), acionamento por interruptor etc. A interação com o adulto conduz à formação de uma percepção do som do signo e, além disso, à percepção da relação entre o som e o objeto. As experiências e percepções são registradas na memória (Luria, 1979). A consolidação desses registros é uma das condições para sua posterior exteriorização.

À medida que a criança vivencia mais experiências com lâmpadas, vai se desenvolvendo intelectualmente, estendendo o signo e as percepções vinculadas a uma única lâmpada para outras. A articulação dessas experiências pode ser realizada pelos seus aspectos comuns, em um processo que produz generalizações mais abstratas, pois os aspectos comuns desconsideram as características específicas das experiências individuais. A formação do conceito prossegue à medida que a generalização e a abstração se desenvolvem, atingindo um ponto em que a criança se torna capaz de operar apenas com signos e seus significados, sem recorrer aos objetos propriamente ditos. Esse estágio de pensamento conceitual, segundo Vigotski (2009), é atingido na adolescência.

Quando um conceito se refere a casos empíricos, suas propriedades podem ser captadas pelos sentidos. A atenção – atraída por indícios específicos, orientada por registros da memória ou por outrem – discrimina dentre as propriedades do caso em foco (cor, forma, peso, uso etc.) aquelas que, relacionadas a seus conhecimentos anteriores de casos semelhantes, contribuem para conhecê-lo ou reconhecê-lo, formando percepções. Sendo assim, em termos gerais, conceitos podem ser criados e/ou aprendidos nas tentativas de resolver problemas que surgem das necessidades de interagir com o mundo e com outras pessoas (Luria, 1979; Vigotski, 2009).

O processo de abstração se completa com a aglutinação das características selecionadas dos casos sob uma expressão linguística (signo), isto é, termo ou locução, que se torna a expressão do conceito e possibilita seu emprego em situações nas quais os estímulos sensoriais não estejam mais presentes. Os vestígios dessa experiência são conservados na memória (Luria, 1979), de modo que, o emprego adequado da expressão linguística de um conceito ou de suas propriedades, em situações similares e análogas àquelas nas quais tomaram seu conhecimento, se constituem em indícios de que a interiorização desse conceito ocorreu.

Ao longo desse processo, o signo se vincula ao caso, de modo que, ao ouvir ou ler a palavra *lâmpada*, a pessoa poderá lembrar do objeto lâmpada. Essa relação entre signo e caso altera substancialmente a percepção, a atenção, a memória e o pensamento, além da ampliação da linguagem por adição de um novo termo conceitual. Quando o caso ou o signo se apresentam novamente à pessoa, estão interligados pelo conjunto de características próprias das experiências vividas com ambos.

A aprendizagem de um conceito ocorre por um processo complexo que envolve um conjunto de interiorizações relacionadas entre si e referentes tanto ao conceito em si quanto ao seu uso.

Os conceitos denominados espontâneos (Vigotski, 2009) são interiorizados na experiência cotidiana, na ausência de um processo propositadamente sistematizado de ensino-aprendizagem, a exemplo dos conceitos de mãe, lâmpada, chuva etc. Sua característica principal é que a pessoa não tem consciência deste tipo de conceito, já que os utiliza de forma adequada, coerente com a situação comunicativa, mas não consegue explicar claramente suas propriedades nem justificar porque usa um determinado conceito em determinada circunstância. Em outras palavras, a pessoa reconhece as situações adequadas ao emprego do conceito, mas não consegue justificar a adequação. É por isso que, entre 10-11 anos, crianças denominam de luz à claridade, ao Sol, às lâmpadas, aos artefatos para iluminação (Driver, 2006).

À medida que as crianças entram na adolescência, aumenta sua percepção da complexidade do mundo e surge a necessidade de compreendê-la. Tal compreensão requer maior sistematização conceitual, própria dos conceitos científicos. Embora os conceitos científicos sejam introduzidos pela educação escolar desde cedo, é na adolescência que se criam as condições para a sua plena formação (Vigotski, 2009).

Um conceito científico é interiorizado de forma proposital e sistematizada, com a explicitação de suas propriedades, de modo que, a pessoa torna-se capaz de reconhecer as situações adequadas ao emprego do conceito e ainda dispõe das propriedades do conceito – que são parte do seu sistema – para fundamentar a justificativa do seu emprego em diversas situações (Vigotski, 2009).

Todo conceito faz parte de um sistema de conceitos. Por exemplo, o conceito científico de luz está relacionado a um conjunto de outros conceitos, como: energia, onda, partícula, reflexão etc., os quais, por sua vez, estão relacionados a mais outros conceitos, e assim sucessivamente, formando um grande sistema. Se não fosse assim, ficaríamos restritos aos vínculos diretos (empíricos) com os casos experimentados, sem capacidade de abstração e generalização. À medida que uma pessoa interioriza e acrescenta mais e mais elementos a um dado sistema conceitual, cria possibilidades de pensar e se expressar simbolicamente, ou seja: se desenvolve intelectualmente.

Retomando o que dissemos no início desta seção, as pessoas interiorizam o signo e seu conceito na interação com outras pessoas e em contato com os casos e/ou outros conceitos, ideia essa que constitui um dos princípios da educação escolar. A aprendizagem de um conceito requer interiorizações mais ou menos complexas, que dependem da quantidade de experiências proporcionadas aos estudantes e dos modos como são vividas por cada um, demandando tempo e orientação dos professores. Os resultados de aprendizagem dos estudantes podem ser bem diferentes (Driver *et al.*, 2006). É importante assinalar que a mesma pessoa pode interiorizar alguns conceitos de um sistema de modo científico e, outros,

de modo espontâneo. Ou seja: a interiorização dos conceitos constituintes de um sistema não ocorre, necessariamente, do mesmo modo e ao mesmo tempo.

Nos processos de comunicação, as pessoas deixam transparecer os conceitos interiorizados ao exteriorizarem-nos. O emprego correto de determinados termos e/ou propriedades conceituais por estudantes em uma situação de ensino-aprendizagem, é sinal de que reconheceram sua adequação àquela situação. Em outras palavras: é indício de que os estudantes perceberam que a situação requer o emprego de determinado conceito, o qual tem expressão linguística e características próprias, que foram expressos por haverem sido memorizados anteriormente, em experiências similares. Analogamente, o emprego errado de termos e/ou propriedades conceituais indica que as interiorizações relativas àquele conceito ocorreram de modo equivocado ou não ocorreram.

As propriedades de um conceito formam um sistema e suas relações possuem significados definidos, que podem ser expressos por uma multiplicidade de modos linguísticos, os quais indicam como se deu sua interiorização. Por exemplo: uma reprodução literal da definição de um conceito, conforme ensinada, pode ser interpretada como falta de segurança do estudante quanto à compreensão das relações entre as propriedades do conceito e, conseqüentemente, dificuldade para tentar uma paráfrase. Mas, o estudante também pode ter considerado a definição ensinada como uma formulação perfeita, que perde significado ao ser modificada.

Entendemos que o ensino deve estimular paráfrases das definições com a correspondente discussão dos sentidos que pode provocar em cada um. As paráfrases se prestam sobremaneira à discussão das propriedades dos conceitos e suas relações expressas nos modos de redigir o texto. Outrossim, são importantes na discussão das distinções entre os termos científicos especializados, próprios das áreas de conhecimento na qual o conceito foi elaborado e os termos coloquiais, frutos de interiorizações espontâneas. O recurso à sinonímia influencia nos sentidos que cada estudante dá aos termos conceituais ensinados, possibilitando um esclarecimento coletivo do sistema conceitual.

Outro modo de obter indícios de interiorização de um conceito é por meio da solicitação de exemplos diferentes daqueles estudados, pois tais exemplos indicam o quanto o conceito está sendo utilizado no reconhecimento de situações similares às de ensino.

III. Conceito de reflexão da luz

Nesta seção, comentaremos o conceito de reflexão da luz que é o objeto deste artigo, apesar de o trabalho aqui apresentado fazer parte de uma pesquisa mais ampla, na qual os modelos de onda e partícula foram empregados para explicar vários fenômenos óticos: propagação, reflexão, refração, difração, interferência e efeito fotoelétrico. A reflexão da luz constitui-se em uma situação dinâmica (processo, fenômeno), cujo conceito é dado pela seguinte descrição: a luz que se propaga em um meio, encontra a superfície de separação de outro meio e retorna ao meio original. Assim, as propriedades relativas ao conceito de

reflexão da luz – doravante denominadas, abreviadamente, propriedades da reflexão – foram consideradas como: (a) propagação da luz em um meio; (b) incidência da luz sobre uma superfície de separação entre dois meios distintos; (c) volta ou retorno da luz ao meio de origem. Estas propriedades estão relacionadas na descrição do fenômeno pela ordem (a) → (b) → (c). Portanto, qualquer apresentação dessas propriedades em sequência diferente, deve empregar recursos linguísticos que façam exprimir essa ordem, como no caso do material didático distribuído aos estudantes: “a luz incide sobre uma superfície e volta [ou retorna] para o meio em que estava se propagando” (Bispo, 2019, p. 269).

A reflexão pode ocorrer de modo regular ou difuso. A reflexão regular ou especular se caracteriza especificamente pela incidência de raios de luz paralelos sobre uma superfície refletora plana e retorno dos raios de luz ao meio de origem de modo também paralelo. A reflexão difusa tem como característica específica a incidência de raios de luz paralelos sobre uma superfície refletora rugosa ou irregular e retorno dos raios de luz ao meio de origem de modo não paralelo, em várias direções. As relações entre as propriedades dos dois tipos de reflexão seguem a mesma ordem do conceito geral de reflexão (acima).

Esses conceitos de reflexão da luz, reflexão regular e difusa e suas respectivas propriedades formam um sistema conceitual complexo.

Vale ressaltar que, o critério para a escolha dos termos empregados no ensino do conceito de luz foi sua proximidade com o vocabulário que os estudantes utilizam, tornando-os mais acessíveis. Contudo, tais termos foram ensinados de modo sistematizado, o que lhes confere cientificidade no sentido histórico-cultural.

IV. Procedimentos metodológicos

A pesquisa doutoral foi realizada em uma turma do 2º ano – devido ao fato da Ótica estar incluída na sua programação dos conteúdos de Física – de um curso técnico de nível médio de um Instituto Federal, no turno matutino. Participaram como sujeitos da pesquisa 23 (vinte e três) estudantes, da faixa etária 16-18 anos, os quais assinaram (ou seus representantes legais) um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, informando claramente que tais estudantes não seriam identificados em nenhum momento, inclusive em nenhuma publicação que pudesse resultar da referida pesquisa, sendo seus nomes substituídos por siglas: E1, E2, ..., E23.

O primeiro autor deste trabalho, que é docente da Educação Básica, atuou como professor da turma em razão da familiaridade com o referencial teórico da pesquisa, com o conteúdo e com a metodologia da sequência didática elaborada.

Trata-se de uma investigação qualitativa, empírica, de cunho interpretativo (Bogdan; Bicklen, 1994; Lichtman, 2010). Para a produção dos dados, elaboramos uma sequência didática (Bispo, 2019) para o sistema conceitual da luz, em uma abordagem que empregou, simultaneamente, aspectos históricos, experimentais e matemáticos. A História das Ciências foi utilizada na estruturação do curso, organizando os conteúdos e apresentando os conceitos

de forma contextualizada. A experimentação contribuiu para facilitar a percepção dos fenômenos discutidos, criando outra forma de entendimento dos conceitos e propiciando também uma contextualização histórica de alguns experimentos, a exemplo da experiência da dupla fenda de Young. Utilizamos argumentos geométricos e demonstrações matemáticas no intuito de esclarecer e justificar os modelos para a luz.

Tal sequência didática considerou a luz como forma de energia que impressiona nossa visão e possui um comportamento dual – no sentido de que pode ser interpretada como se comportando como onda ou como partícula – a depender das condições experimentais da observação do fenômeno. Entendemos que tal conceito torna-se facilmente acessível aos estudantes do 2º ano do ensino médio, porque remete à luz como condição necessária para ocorrer a visão humana e porque o conceito de energia já havia sido discutido no 1º ano conforme programação oficial da escola, além de ter sido informado por 95% dos estudantes ao responder teste de verificação das concepções prévias ao ensino. O desafio ficou por conta de explorar ou utilizar os modelos de partícula e de onda. Esse conceito de luz foi explorado por meio do estudo dos fenômenos de: propagação, reflexão, refração, difração, interferência e efeito fotoelétrico – sendo cada um destes fenômenos tema de um encontro com duas aulas em sequência, e cada aula, por sua vez, com duração de 50 minutos.

A referida sequência didática foi composta por nove encontros. No primeiro, foi aplicado um teste de verificação das concepções prévias dos estudantes e discutido o planejamento, metodologia, objetivos e avaliações. Nos seis encontros seguintes, cada um possuía um tema (propagação, reflexão, refração, difração, interferência e efeito fotoelétrico), um episódio histórico e, no mínimo, um experimento – no caso da reflexão, foram realizados dois experimentos. O penúltimo encontro foi um debate e o encontro final uma avaliação escrita individual, a qual também era uma exigência da instituição⁴.

Foram elaborados textos sobre os fenômenos discutidos em cada encontro e distribuídos aos estudantes para serem utilizados em estudo extraclasse, contendo questões a serem respondidas e entregues ao professor na aula seguinte, as quais constituíram parte dos dados. A validação dos textos didáticos com suas questões e do texto da avaliação individual, ocorreu separadamente, com cada documento sendo enviado para três professores pesquisadores diferentes.

O teste de verificação das concepções prévias foi validado com uma turma do 2º ano do Ensino Médio de uma escola diferente daquela em que a sequência didática foi aplicada, produzindo alguns ajustes neste instrumento para dar mais precisão às questões. A versão final constou de onze questões acerca de: conhecimentos matemáticos; conceitos de energia, de onda, de partícula e fenômenos luminosos, incluindo a reflexão da luz (ver resultados e discussões, na seção V). O teste foi elaborado para ser respondido em até 50 minutos.

As respostas do teste de verificação das concepções prévias dos estudantes possibilitaram a adequação da sequência didática, de modo que, tais concepções prévias

⁴ Para um maior detalhamento da sequência didática ver Bispo (2019).

fossem retomadas durante as aulas, visando a interiorização e o desenvolvimento dos novos conceitos.

As aulas obedeceram à seguinte estrutura: o professor apresentava uma situação-problema por meio de um experimento demonstrativo e os estudantes eram solicitados a propor soluções, discutindo entre si e orientados pelo professor. Em seguida, o professor realizava uma discussão histórica do problema e de possíveis explicações, solicitando nova discussão a partir das informações fornecidas. Com base nas discussões, o professor sistematizava os conceitos utilizados durante a aula, explicava os fenômenos através dos modelos de onda e de partícula da luz e estabelecia as leis e os princípios. Por fim, os estudantes eram solicitados a resolver exercícios em sala de aula, dirigidos e orientados pelo professor e estimulados a estudar o texto da aula em casa, bem como a responder às questões propostas.

As atividades conduzidas no plano social da sala de aula foram gravadas em áudio e vídeo (Pereira; Lima Jr., 2014), as quais registraram a linguagem oral dos estudantes. Já as respostas às questões dos textos didáticos e à avaliação individual, bem como ao teste de verificação das concepções prévias, foram fotocopiadas, registrando a linguagem escrita.

Durante as aulas, o professor conduziu experimentos, organizou discussões, direcionou questionamentos entre os estudantes, pediu justificativas de conceitos empregados, procurou explicar as limitações de formulações inadequadas, solicitou e deu exemplos, procurando criar um ambiente estimulante e agradável para que os estudantes interagissem a todo momento. Por fim, foi realizada uma avaliação individual escrita, conforme exigido pela Instituição de Ensino.

IV.1 Análise de dados

Para os propósitos deste artigo nos restringiremos aos resultados das análises dos dados escritos relativos à interiorização do conceito de reflexão da luz. Tal conceito foi escolhido por ser científico – ensinado sistematicamente – e por apresentar vários sentidos de uso comum, espontâneo – aprendidos pela vivência de situações cotidianas – possibilitando a obtenção de mais informações da parte dos estudantes que os outros fenômenos luminosos estudados.

O teste de verificação das concepções prévias dos estudantes, realizado no início do curso, foram respondidos sem consulta, bem como a avaliação individual, realizada no final do curso. Contudo, ao responder, em casa, às questões do texto didático sobre reflexão, os estudantes puderam consultar esse texto.

Os dados analisados neste artigo consistiram em respostas a uma questão do teste de verificação das concepções prévias dos estudantes, duas questões do texto didático sobre reflexão da luz e duas da avaliação individual, por serem aquelas que requeriam maior exteriorização do conceito de reflexão da luz aqui adotado.

A análise dos dados considerou os seguintes aspectos indicativos da interiorização do conceito de reflexão da luz, em ordem decrescente de generalidade:

(i) reconhecimento, pelo estudante, de situação referente ao fenômeno da reflexão, evidenciada por coerência entre os fenômenos luminosos citados na resposta e no enunciado da questão;

(ii) emprego do sistema conceitual da reflexão da luz, por meio das propriedades do conceito e suas relações, de modo explícito: (a) propagação da luz em um meio; (b) incidência da luz sobre uma superfície de separação de dois meios distintos; (c) volta ou retorno da luz ao meio de origem;

(iii) emprego dos termos científicos ensinados (reflexão; propagar/propagação; meio; incidir/incidência; superfície; voltar ou retornar; superfície regular/plana; superfície irregular/não plana; reflexão regular; reflexão difusa);

(iv) coerência entre exemplos citados e o sistema conceitual da reflexão da luz.

Consideramos que, o simples reconhecimento do termo reflexão sem menção aos aspectos (i) a (iv) indica conceitualização espontânea.

Por outro lado, quanto mais itens dos aspectos (i) a (iv) os estudantes apresentarem em suas respostas, maior terá sido a interiorização do conceito científico de reflexão da luz. Não foi possível estabelecer níveis de interiorização porque os dados apresentaram numerosas combinações de itens, as quais comprometeram as possibilidades de hierarquizá-los.

As respostas foram transcritas conforme grafadas pelos estudantes. A análise foi realizada do geral ao particular, ou seja: do aspecto (i) ao (iv). A inspeção e leitura das respostas dos estudantes buscaram verificar:

(1) se houve identificação do fenômeno da reflexão;

(2) quais e quantas citações das propriedades da reflexão;

(3) quais e quantos termos científicos ou sinônimos ou expressões que os lembravam;

(4) coerência entre exemplos de reflexão e seus conceitos.

Parte desses resultados foi sintetizada nas Tabelas 1, 2 e 3, apresentadas mais adiante, cujos valores percentuais devem ser entendidos como termos não exatos de comparação, pois a interiorização e a exteriorização são processos complexos.

V. Resultados e discussões

V.1 Concepções de reflexão da luz prévias ao ensino

No primeiro encontro da sequência didática foi realizado um teste escrito para verificação de concepções prévias dos estudantes, conforme sinalizado na seção anterior. Dos 23 alunos da turma, 21 responderam-no. Uma questão se referiu à reflexão da luz, a saber:

Questão 10 - Você já estudou alguma característica ou fenômeno da luz (reflexão, refração, difração, interferência etc.)? Caso já tenha estudado, você pode citar exemplos indicando a que fenômeno ou característica se refere?

Seis estudantes informaram que não haviam estudado a luz e quinze disseram haver estudado algo sobre a luz, por exemplo:

E3 - Já estudei na 7ª série oitavo ano e lembro dos nomes reflexão, refração, difração e interferência, mas não lembro muito.

E14 - Em ciências a muito tempo atrás quando foi estudado os olhos.

Apenas um forneceu exemplo:

E16 - Sim, porém não lembro nada que posso dar exemplo. Lembro da reflexão que posso citar o exemplo da imagem no espelho.

Outros procuraram explicar os fenômenos estudados:

E18 - Sim. A refração se refere a um ponto não se reflete. Reflexão se refere a um feixe de luz que se refere a um mesmo ponto. Interferência se refere a um feixe de luz que não pode transferir em um ponto de luz.

E21 - Sim, reflexão é quando a onda vai e volta para a origem, refração metade da onda volta para a origem e outra passa para o outro meio, difração é quando a onda passa por uma fenda e interferência só lembro que tem construtiva e destrutiva.

Considerando que estudantes com idade entre 16 e 18 anos já tivessem experiência prática com o fenômeno da reflexão – por exemplo, ao mirar sua imagem em um espelho (E16) – faltava-lhes conhecimento das propriedades do conceito de reflexão, assim como da sua terminologia científica. Por isso, os conceitos de reflexão dos estudantes, anteriores ao ensino, podem ser considerados como espontâneos, já que não apresentam os aspectos (i) a (iv), indicados acima.

Esses resultados nos levaram a adaptar as atividades de ensino planejadas para atender às necessidades dos estudantes, apresentando, discutindo e conceituando explicitamente os termos científicos relacionados à luz durante as aulas; mostrando as limitações de alguns dos termos e significados apresentados pelos estudantes, discutindo-os de forma sistematizada.

No segundo encontro da sequência didática foi discutida a propagação da luz; e, no terceiro encontro (2 aulas), foi abordada a reflexão da luz. Ao final de cada encontro foi distribuído um texto didático correspondente ao conteúdo ensinado, cada qual contendo questões para serem respondidas e entregues ao professor.

Nas próximas subseções (V.2 e V.3) serão apresentados os resultados referentes às respostas de duas das questões que fazem parte do texto didático sobre reflexão da luz distribuído aos estudantes, as quais mostraram-se mais ricas que as respostas do teste para verificação de concepções dos estudantes prévias ao ensino.

V.2 Análise das respostas à questão 1 do texto didático sobre reflexão da luz

Questão 1: Explique com suas palavras o fenômeno da reflexão da luz. Dê exemplos relacionados com o seu cotidiano.

O enunciado da Questão 1 do texto didático sobre reflexão cita explicitamente a reflexão da luz, colocando-a no centro do questionamento. É de supor que o termo científico *reflexão da luz* tenha chamado a atenção de todos os estudantes, além da influência do contexto no qual a questão foi formulada – ao final de um texto didático relativo ao conceito de reflexão da luz – pois todos citaram o conceito de reflexão da luz em suas respostas, mesmo que de modo pouco coerente (E2, por exemplo). Contudo, 26,1% dos estudantes referiram-se à reflexão de modo implícito, por meio de suas propriedades, em uma escrita oralizada, como se estivessem em diálogo com o formulador da questão (a exemplo de E19). Um estudante (E13) referiu-se à refração em sua resposta, porém, citou propriedades e exemplo da reflexão, o que sugere engano ou confusão na escolha do termo conceitual, em razão da sua proximidade sonora e gráfica.

Esperava-se que, na explicação da reflexão da luz, os estudantes empregassem as propriedades da luz de (a) se propagar em um meio, (b) incidir sobre uma superfície e (c) voltar/retornar para o meio de origem (como o fez E11). As respostas dos exemplos citados a esta questão, são:

E2 - O sol, a lâmpada, entre outros. Ao experimento acima é denominado reflexão, quando a luz incide, está se propagando.

E19 - É quando a luz de um objeto colide sobre uma superfície, pela qual atravessa, e volta para o meio que estava se propagando. Exemplos: reflexo de um lago, quando ocorre incidência de luz solar, espelho e carro bem polido.

E13 - A refração da luz é um processo que ocorre quando a luz interage com determinada superfície e volta em direção ao ponto de propagação, um exemplo de refração pode ser a luz nos espelhos.

E11 - A reflexão da luz é um fenômeno que consiste no fato de a luz voltar a se propagar no meio de origem, após incidir sobre um objeto ou superfície. Como por exemplo o experimento com duas velas onde olhando através do vidro temos a impressão da vela estar acesa, porém olhando diretamente para a vela sem o vidro percebemos que a vela está apagada.

Conforme se vê na Tabela 1, abaixo, resultou que 52,2% dos estudantes apresentaram todas as três propriedades da reflexão da luz (como o fez E11), 30,4% apresentaram duas propriedades (E13, por exemplo) e os restantes, uma propriedade (a exemplo de E19). Considerando que somente 13,0% dos estudantes haviam apresentado noções vagas e confusas antes do ensino, podemos inferir que tais resultados têm relação com o ensino pelo qual passaram.

Tabela 1 – Quantidade de propriedades da reflexão citadas pelos estudantes nas respostas à Questão 1 do texto didático sobre reflexão.

Quantidade de propriedades citadas	3	2	1	0
Quantidade de estudantes que as citaram	12	7	4	0
Percentual de estudantes (%)	52,2	30,4	17,4	0

A propriedade da reflexão mais citada foi a de (propriedade b) *incidência sobre uma superfície* (82,6%), seguida por (propriedade c) *retorno para o meio de origem* (69,6%) e (propriedade a) *propagação* (52,2%).

Onze dos doze estudantes que citaram as três propriedades da reflexão relacionaram-nas coerentemente com o conceito científico ensinado, ou seja: conforme a ordem das propriedades na descrição do fenômeno da reflexão. Suas respostas são variações da formulação encontrada no texto didático distribuído pelo professor (E11, por exemplo). É compreensível que assim seja, já que os estudantes estavam no início do processo de ensino-aprendizagem do conceito de reflexão, de modo que, o texto didático lhes fornecia a segurança de estarem empregando um conceito correto, no sentido de ser o esperado pelo professor. De todo o modo, as tentativas de substituir alguns termos da formulação original indicam compreensão terminológica e conceitual. Algumas das variações (a exemplo de E11) modificaram a ordem do texto didático, porém sem perder sua coesão e coerência.

Cinco dos sete estudantes que citaram duas propriedades da reflexão estabeleceram relações coerentes entre elas. Porém, é notável o fato de que seis respostas do total (26,0%) não explicitaram qualquer relação entre as propriedades da reflexão citadas (E2, por exemplo), sugerindo que houve memorização de alguns aspectos da reflexão, mas sem os nexos necessários à compreensão do fenômeno e seu conceito.

As respostas dos estudantes incluíram termos científicos, sinônimos ou expressões que os lembravam. A Tabela 2 traz todos os termos usados nas explicações da reflexão, bem como a quantidade de vezes com que foram utilizados.

A grande maioria das respostas (82,6%) empregou tanto termos científicos quanto sinônimos ou expressões que lembravam os termos científicos. As demais respostas utilizaram termos científicos, apenas. Sinônimos e expressões que lembram termos científicos indicam que os estudantes interiorizaram algo do conteúdo do conceito, mas ainda não interiorizaram completamente os termos científicos ensinados. O fato de nenhum estudante ter empregado apenas sinônimos ou termos inadequados sugere que o ensino da reflexão da luz contribuiu para a interiorização inicial dos termos científicos.

O termo científico mais citado pelos estudantes nas respostas à Questão 1 do texto didático foi *superfície*, provavelmente pelo fato de ser familiar aos estudantes, dada a sua penetração na linguagem cotidiana. Caso tenha sido assim, os estudantes podem tê-lo interiorizado por uso assistemático e o empregado como conceito espontâneo.

Tabela 2 – Quantidades de termos científicos e sinônimos relativos às propriedades da reflexão empregados nas respostas à Questão 1 do texto didático sobre reflexão.

Termos Científicos	Sinônimos e Expressões que lembram	Quantidades	Percentual (%)
Reflexão	–	16	69,6
Propagar/propagação	–	12	52,2
	Movimento	1	4,3
Meio	–	8	34,8
	Onde ela estava	1	4,3
	Ponto	5	21,7
	Lugar	2	8,7
	Região	1	4,3
	Origem	1	4,3
Incidir/incidência	–	11	47,8
	Colide	2	8,7
	Bate	2	8,7
	Se projeta	4	17,4
	Interage	3	13,0
Superfície	–	18	78,4
	Meio (*)	1	4,3
Voltar ou retornar	–	16	69,6
	Redirecionar	1	4,3
	Mudar de direção (*)	1	4,3

(*) Apesar dos termos *meio* e *mudar de direção* não serem sinônimos dos termos científicos que adotamos, os modos como foram articulados nos textos das respostas indicaram seus sentidos como expressões que lembram *superfície* e *voltar/retornar*, respectivamente.

O segundo termo científico mais utilizado foi *reflexão*. Era de esperar que todos o citassem, por sua suposta experiência prática, porém, conforme já assinalamos, parte dos estudantes não se referiu explicitamente ao fenômeno em foco. *Voltar* e *retornar*, somados, também vêm em segundo lugar. Em razão dos verbos voltar e retornar serem muito empregados na linguagem cotidiana, seria de esperar que tivessem máxima presença nas respostas. Tal não aconteceu. O fato de que uma parte dos estudantes não interiorizou as três propriedades da reflexão (ver Tabela I), pode ser a explicação para o menor uso destes termos. Nota-se uma preferência pelo verbo voltar, em lugar de retornar, possivelmente, por ser mais familiar aos estudantes, seguido dos termos *propagar/propagação*, talvez estimulado pelas aulas anteriores recentes, cujo tema foi propagação retilínea da luz. O verbo *incidir* foi medianamente citado. Trata-se de um termo científico pouco empregado na linguagem coloquial dos estudantes. Aparentemente, sua interiorização sofreu influência da discussão que utilizou os versos da música do cantor Djavan, intitulada “Nem um dia”, do álbum

Malásia, lançada em 1996: “[...] Um dia triste, toda fragilidade incide [...]” fato que atraiu a atenção dos estudantes. Por fim, o termo *meio*, também discutido nas aulas sobre propagação retilínea da luz, foi o que teve uma quantidade menor de citações na explicação das propriedades da reflexão da luz. É de supor que o ensino não lhe tenha dado a devida ênfase.

Para cada um dos termos científicos foram empregados sinônimos ou expressões que os lembravam (ver Tabela 2), o que indica a pretensão dos estudantes de evitar a reprodução literal da definição fornecida pelo texto didático. Tais substitutos nem sempre se mostraram adequados, em razão das diferenças de significação relativas aos termos originais. Chamam a atenção expressões como: *bate*, *colide* e *se projeta*, em lugar de *incide*, que sugerem uma interpretação mecanicista da reflexão, com possível caráter corpuscular implícito (por exemplo, resposta E19, acima). Isso nos convida a refletir sobre como os conteúdos de Física estão sendo abordados no Ensino Médio, com o tema luz sendo discutido apenas de forma geométrica, a exemplo de alguns livros didáticos (Valio *et al.*, 2016).

A maior exteriorização de termos científicos presentes na linguagem cotidiana, assim como o uso de sinônimos ou expressões que os lembram, são indícios de pensamento concreto, fortemente vinculado à experiência de vida e próprio dos conceitos espontâneos. Este modo de pensar pouco emprega a abstração teórica do conceito científico. Tal inferência é corroborada pela ausência de correlações entre o conceito de reflexão exteriorizado e os exemplos citados. Por exemplo:

E8 – Reflexão da luz é um processo que ocorre quando a luz interage com determinada superfície e volta em direção ao ponto de propagação. Um ponto de reflexão no meu cotidiano seriam os faróis de carro já que a luz do farol é refletida por um espelho interno.

Apenas um estudante tentou justificar teoricamente o exemplo cotidiano:

E18 – O fenômeno da reflexão da luz ocorre quando a luz incide sobre uma superfície e retorna ao seu meio de origem, o espelho por exemplo são os principais instrumentos utilizados com base nesse fenômeno, ou seja a luz se incide e se reflete. A imagem é formada através desses raios refletidos.

Surpreendentemente – pois é de supor que todos os estudantes tenham tido experiências extracurriculares com reflexões em espelhos, vidraças e outras superfícies refletoras – apenas 39,1% das respostas trouxeram exemplos coerentes com o fenômeno da reflexão no cotidiano (como E19: reflexo de um lago, quando ocorre incidência de luz solar, espelho e carro bem polido), conforme solicitado no enunciado. Exemplos incoerentes (como E2: o sol, a lâmpada, entre outros) e a ausência de exemplos são indicativos da falta de percepção dos estudantes acerca dos vínculos entre a teoria da reflexão que estudavam na escola e sua prática na vida diária. Provavelmente o ensino falhou em não tornar essas relações mais explícitas.

Embora tais resultados possam ser explicados pela existência de rupturas entre conhecimento cotidiano e científico e, por conseguinte, entre conhecimento cotidiano e

escolar – já que este tem como sua referência o conhecimento científico (Lopes, 1999) –, o cotidiano e as ciências constituem esferas diferentes da atividade humana que a escola precisa articular a fim de contribuir para o enriquecimento cultural dos estudantes. A valorização das experiências dos estudantes por meio do conhecimento escolar, a interiorização de diferentes modos de pensar e falar, contribuem para seu desenvolvimento intelectual (Sangiogo; Zanon, 2014; Vigotski, 2009). Por outro lado, o estabelecimento de laços entre os aspectos teóricos/abstratos e empíricos/concretos do fenômeno de reflexão da luz favorece a interiorização dos conceitos e seu emprego em outros casos particulares (Vigotski, 2009). Por fim, tais rupturas não impedem que as ciências tenham a pretensão de explicar e, até, descrever a realidade cotidiana de modos próprios (Chalmers, 1993). É nesse viés que sugerimos melhorias nas relações entre a teoria da reflexão estudada e o cotidiano dos estudantes.

Outros 17,4% citaram exemplos de reflexão coerentes com a teoria encontrados no material didático fornecido pelo professor ou nas demonstrações de aula em lugar de exemplos do cotidiano. Vários estudantes forneceram exemplos incoerentes de reflexão – a saber: o sol e as lâmpadas – e poucos não deram exemplos.

De modo sintético, os resultados acima indicam que todos os estudantes reconheceram a Questão 1 do texto didático sobre reflexão como pertinente ao contexto de ensino-aprendizagem do conceito de reflexão da luz. Porém, os vários aspectos do conceito foram interiorizados de modos bem diferentes. Somente cerca de metade dos estudantes exteriorizou as três propriedades da reflexão e de modo coerente ao ensinado, o que é pouco. A metade restante revelou interiorizações parciais.

As respostas à Questão 1 do texto didático indicam que os estudantes interiorizaram parcialmente os termos científicos ensinados, embora, em casos de pouca familiaridade, ou como tentativa de parafrasear, os houvessem substituído por sinônimos ou expressões que os lembravam, nem sempre em correspondência com o significado original.

Também não foram encontradas correspondências entre a quantidade de propriedades da reflexão exteriorizadas e a quantidade de termos científicos empregados; e destas duas quantidades com a quantidade de exemplos coerentes. Tal resultado sugere que as interiorizações dos diferentes aspectos conceituais ocorreram de modo relativamente independente.

V.3 Análise das respostas à questão 2 do texto didático sobre reflexão da luz

Questão 2: Considerando a superfície da Lua irregular como a da Terra, quando a luz do Sol incide sobre a superfície da Lua, que tipo de reflexão ocorre: regular ou difusa? Explique.

A grande maioria dos estudantes (87,0%) reconheceu explicitamente que se tratava do fenômeno de reflexão difusa (a exemplo de E7 e E9) e um estudante (4,3%) reconheceu a reflexão como irregular (E22):

E7 - Graças à superfície irregular da lua a reflexão da luz sobre ela acaba sendo difusa.

E9 - Reflexão difusa: também conhecido como difusão da luz, esse tipo de reflexão ocorre quando a luz incide sobre uma superfície irregular e esta a reflete. Os raios de luz refletidos propagam-se em várias direções diferentes.

E22 - Na superfície da lua a reflexão é irregular por se tratar de território não plano, assim refletindo em diferentes direções.

Esperava-se que na explicação da reflexão difusa da luz, os estudantes empregassem as propriedades da luz de (a') se propagar como raios paralelos em um meio, (b') incidir sobre uma superfície irregular e (c') voltar/retornar como raios não paralelos para o meio de origem. Contudo, de acordo com as respostas, as propriedades gerais da reflexão ((a), (b) e (c)) foram ignoradas em favor das características específicas da reflexão difusa, possivelmente por influência do texto didático que, por ter explicado a reflexão difusa em seguida às propriedades gerais da reflexão, não as repetiu.

Em cerca de três quartos (71,4%) das respostas a difusão da luz foi atribuída à irregularidade da superfície da Lua (E7, por exemplo), mais da metade (52,2%) complementou a explicação coerentemente, citando a reflexão dos raios de luz em várias direções (a exemplo de E9 e E22) e, cerca de um terço (28,6%) explicou a reflexão difusa pela perda do paralelismo dos raios de luz incidentes, que são refletidos em várias direções não paralelas, coerente com a explicação ensinada (a exemplo de E10):

E10 - Ocorre a reflexão difusa. Como a superfície da terra é irregular, os raios que incidem paralelos entre si refletem em várias direções.

Embora os estudantes dispusessem do texto didático fornecido pelo professor para consultar ao responder à questão, ninguém reproduziu a representação pictórica da difusão da luz por uma superfície irregular (Fig. 1) contida no texto entregue aos estudantes e discutida em sala de aula.



Fig. 1 – Esquema de reflexão difusa. Fonte: Bispo, 2019.

Um estudante declarou não saber responder e três outros, produziram respostas confusas, como no caso citado abaixo:

E2 - Difusa. Porque dá várias voltas confusas, atrapalhadas sem nenhuma direção. Ou seja, não é plana.

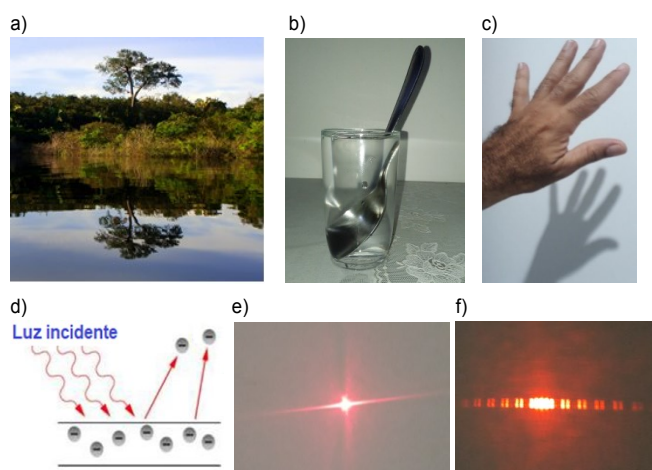
Tais resultados revelam a interiorização parcial do sistema conceitual da reflexão difusa, limitada, na maioria dos casos, a um dos aspectos empíricos do fenômeno (existência de superfície refletora irregular), visto que, poucos estudantes explicaram o papel da irregularidade da superfície na produção da reflexão difusa. Acreditamos que o ensino poderia ter contribuído para uma melhor compreensão desse fenômeno se houvesse utilizado explicitamente a lei da reflexão na sua explicação.

Os estudantes empregaram termos científicos específicos da reflexão difusa, com poucas substituições por sinônimos ou expressões que os lembravam (por exemplo: *território não plano* em lugar de *superfície irregular*). Isso pode ser explicado, possivelmente, porque a conexão da reflexão difusa com o conceito espontâneo de *iluminação* – no sentido de fazer incidir luz sobre um objeto para torná-lo visível – não foi suficientemente enfatizada, apesar da noção de iluminação ter sido trabalhado no primeiro encontro. Ora, se os estudantes não identificam a reflexão difusa com sua vivência cotidiana, não há como obter termos cotidianos que substituam os termos científicos.

Seis semanas depois, foi realizada uma avaliação individual escrita de aprendizagem com a turma, na qual duas questões se referiam à reflexão. Vale ressaltar que os estudantes não tiveram acesso ao texto didático durante essa avaliação. Suas respostas são analisadas nas subseções a seguir.

V.4 Análise das respostas à questão 1 da avaliação individual

Questão 1: Qual fenômeno óptico você relacionaria com cada uma das imagens abaixo? Explique por que você relacionou a imagem com o fenômeno.



A maioria dos estudantes (78,3%) identificou o fenômeno da reflexão na imagem (a), do enunciado. Pouco mais da metade (56,5%) justificou sua escolha pelo reflexo da paisagem na água (E5, E9, listados abaixo); três estudantes (13,0%) tentaram justificar teoricamente o fenômeno da reflexão (E11, também listado abaixo); dois estudantes (8,7%) justificaram a identificação do fenômeno por recordação das aulas (e das discussões ocorridas nestas) e/ou

dos textos; um (4,4%) explicou o fenômeno da reflexão sem associá-lo ao conteúdo da foto e dois (8,7%) não apresentaram justificativa:

E5 - a) Reflexão a paisagem está sendo refletida na água.

E9 - a) Essa imagem tem a ver com o fenômeno da reflexão pois dá para ver todo o reflexo da mata na água.

E11 - Reflexão pois mostra a luz incidindo em uma superfície e voltando ao meio que estava se propagando, resultando no reflexo do lago.

Os demais estudantes (21,7%) identificaram a foto (a) com o fenômeno de propagação da luz, sem que tivessem apresentado explicações plausíveis para tanto. Por exemplo:

E10 - A imagem está relacionada ao efeito de propagação da luz. Pois a luz atravessa uma superfície transparente (a água) para que possa ser observado o reflexo da árvore.

E18 - a) Propagação → a luz se propaga na água, formando a mesma imagem refletida.

Notemos que esta questão pode ser respondida com uma conceituação espontânea da reflexão – por exemplo: reflexão como produção de imagem visual (reflexo) do objeto original – posto que solicita explicação para a relação entre foto e fenômeno, mas não, uma explicação do fenômeno em termos de suas propriedades (a), (b) e (c), a qual requereria conceituação científica, conforme se vê na próxima subseção. Inferimos que, por isso, poucos termos científicos foram utilizados e em poucas respostas.

V.5 Análise das respostas à questão 2 da avaliação individual

Questão 2: Explique, com suas palavras, os fenômenos da: [...] reflexão da luz [...].

Essa questão complementa a identificação visual pedida na questão anterior, pois a explicação do fenômeno da reflexão deve ser feita pela explicitação das suas características conceituais. Sendo assim, os resultados poderão ser comparados com aqueles do teste de verificação das concepções prévias dos estudantes e os da Questão 1 do texto didático sobre reflexão respondidos no início da sequência didática anteriormente citada.

Todos os estudantes procuraram explicar o conceito de reflexão da luz, exceto um (E2), que confundiu reflexão com propagação e outro (E3), que não respondeu à questão. Tal resultado consiste em um avanço em relação à situação prévia ao ensino da reflexão da luz, na qual apenas 13% dos estudantes se expressaram de modo vago e confuso.

Houve uma mudança substancial dessas respostas em relação àquelas da Questão 1 do texto didático sobre reflexão, tanto na terminologia empregada quanto na exteriorização das propriedades da luz, conforme discutiremos a seguir.

Primeiro, houve uma redução de dois terços na quantidade de estudantes que apresentaram o conceito científico de reflexão citando suas três propriedades coerentemente – (a) se propagar em um meio, (b) incidir sobre uma superfície e (c) voltar/retornar para o meio de origem – e uma redução de pouco mais da metade na quantidade de estudantes que citaram

duas propriedades. Por outro lado, a quantidade de estudantes que citaram uma propriedade cresceu duas vezes, enquanto a quantidade de estudantes que não citaram propriedade alguma cresceu oito vezes. A Tabela 3 sintetiza esta comparação.

Tabela 3 – Quantidade de propriedades da reflexão citadas pelos estudantes nas respostas à Questão 1 do texto didático sobre reflexão (Q1Tx) comparadas à Questão 2 da avaliação individual (Q2Av).

Questões	Q1 Tx	Q2A v	Q1 Tx	Q2 Av	Q1 Tx	Q2 Av	Q1 Tx	Q2 Av
Quantidade de propriedades citadas	3		2		1		0	
Quantidade de estudantes	12	4	7	3	4	8	0	8
Percentual de estudantes (%)	52,2	17,4	30,4	17,4	17,4	34,7	0	34,7

Como na Questão 1 do texto didático sobre reflexão, a propriedade da reflexão mais citada foi (b) *incidência da luz sobre uma superfície* (56,5%), seguida por (c) *retorno para o meio de origem* (30,4%) e (a) *propagação da luz* (26,1%), porém, reduzidas a 68,4%, 43,7% e 50,0%, respectivamente. Tais reduções podem ser interpretadas como indicadoras de perdas de registros mnemônicos (esquecimento) do material inicialmente interiorizado, os quais não haviam se consolidado, possivelmente, por falta de uso repetido (Luria, 1979) ao longo do período das aulas acerca de refração, difração, interferência e efeito fotoelétrico. Assim, parte dos estudantes que havia citado três e duas propriedades logo após o ensino e leitura do texto, lembrou apenas de uma ou nenhuma propriedade na avaliação realizada depois de seis semanas. Outro fator que provavelmente influenciou nesses resultados foi a impossibilidade de consulta aos textos fornecidos, ou qualquer outro material de estudo, durante a avaliação individual.

Em segundo lugar, notamos a predominância de explicações tautológicas (52,0%) da reflexão em dois tipos de respostas (como as de E4 e de E6):

E4 – Reflexão da luz – Quando você consegue ver o reflexo de um objeto ou corpo em determinada superfície, sendo elas espelhos, água, etc.

E6 – Reflexão da luz, ocorre quando a luz incide em um meio homogêneo e os feixes de luz incidente reflete a imagem.

As respostas do tipo E4 indicam conceituação espontânea – interiorizada não sistematicamente, por meio de experiências vividas – da reflexão. Por exemplo: se há reflexo (imagem do objeto original) há reflexão.

As respostas do tipo E6 apresentam um conceito que explicita apenas uma propriedade relativa ao processo de reflexão, qual seja a incidência da luz sobre uma superfície (que E6 entendeu como meio homogêneo). Portanto, o ensino pouco contribuiu para a interiorização do conceito científico de reflexão da luz por metade dos estudantes.

Correspondentemente às mudanças nas quantidades de propriedades da reflexão da luz citadas nas respostas à Questão 2 da avaliação individual (Q2Av), ocorreram reduções no emprego de vários termos científicos em relação às respostas da Questão 1 do texto didático (Q1Tx), conforme Tabela 4.

Tabela 4 – Percentual da quantidade de propriedades da reflexão citadas pelos estudantes nas respostas à Questão 1 do texto didático sobre reflexão comparadas à Questão 2 da avaliação individual.

Termos	Propagação	Meio	Incidência	Superfície	Volta/retorna
Q1Tx	52,2%	34,8	47,8	78,4	69,6
Q2Av	21,7%	26,1	39,1	39,1	30,4

Também houve redução do emprego de sinônimos ou expressões que lembram os termos científicos.

A redução de 58,4% no uso do termo *propagação* pode ser explicada, por hipótese, pela menor importância atribuída à explicitação da propriedade da luz ter de propagar em algum meio para incidir sobre a superfície refletora. A incidência da luz sobre a superfície refletora ganhou prioridade na explicação da reflexão da luz e, possivelmente, incluiu a propagação.

Pensamos que a redução no uso dos termos *voltar e retornar* (56,3%) pode ser atribuída à pouca ênfase do ensino, devido ao fato de o feixe de luz ter de atingir os olhos do observador, após incidir na superfície refletora, para que a imagem seja percebida. Nesse caso, a prioridade da incidência da luz sobre a superfície excluiu o retorno da luz ao meio de origem para atingir o observador.

Notável é a redução no uso do termo *superfície* (50%), o mais empregado nas respostas logo após o ensino. Se nossa hipótese para esse maior emprego estiver correta – termo familiar aos estudantes, dada sua penetração na linguagem cotidiana – podemos supor que o contexto de avaliação de aprendizagem na disciplina inibiu o uso desta linguagem nas respostas à Questão 2 da avaliação individual.

As reduções no emprego dos termos *meio e incidência* foram menos significativas, posto que os valores dos percentuais são próximos. Parecem ser reflexo da menor citação das propriedades que os empregam nas respostas da Questão 2 da avaliação individual.

Devemos considerar que este conjunto de resultados depende dos critérios estabelecidos pelos pesquisadores para a produção das evidências de interiorização. Por outro lado, também depende de vários processos cognitivos dos estudantes, como: compreensão⁵ das propriedades e dos termos científicos durante o ensino e o estudo, sistematização do conteúdo compreendido, memorização, reconhecimento nos enunciados das questões dos

⁵ Como parte do processo de interiorização dos conceitos, a compreensão consiste em inferir sentidos dos contatos intersubjetivos por meio do pensamento sem que, necessariamente, sejam exteriorizados.

elementos necessários para respondê-las e transformação do pensamento resultante em linguagem para a produção dos dados que foram analisados. A elaboração de uma resposta requer uma atividade interior muito complexa de cada estudante cujas eventuais dificuldades não podem ser captadas inteiramente pelo analista ao examiná-la. Sendo assim, os valores atribuídos à interiorização não devem ser entendidos em sentido absoluto, mas, como termos de comparação.

VI. Considerações finais

Os resultados apresentados ampliaram nossa compreensão do processo de ensino-aprendizagem do conceito científico de luz na Educação Básica, a partir do processo de interiorização do conceito de reflexão da luz por estudantes do Ensino Médio e nos forneceram um ponto de apoio para a continuidade das pesquisas.

Não há dúvida de que o ensino realizado contribuiu para a grande mudança inicial verificada na exteriorização das propriedades do conceito de reflexão da luz e dos termos científicos que lhes estão vinculados (ver Tabelas 1 e 2), em relação aos conhecimentos prévios ao ensino. Tais resultados indicam que os estudantes interiorizaram, ao menos parcialmente, o conceito científico de reflexão da luz e qualificam positivamente a sequência didática.

Por outro lado, respostas de menos de 20% dos estudantes às Questões 1 e 2 do texto didático sobre reflexão expuseram limitações do ensino sob vários aspectos, indicando sua pouca contribuição para interiorização do conceito de reflexão da luz e a necessidade de modificações na sequência didática utilizada. Logo, concentraremos nossas discussões em tais aspectos, pois acreditamos ser mais significativo olharmos para os pontos que podemos melhorar.

As propriedades da reflexão da luz mais bem interiorizadas foram aquelas associadas à percepção visual direta, como as necessidades de uma superfície refletora e de incidência de luz para haver reflexão. São sinais de pensamento concreto, próprio dos conceitos espontâneos, que recorre mais às experiências vividas que à sua representação abstrata e sistemática. Por exemplo: ocorre reflexão da luz quando há luz e o observador se encontra em frente a um espelho ou outra superfície polida.

Indícios mais fortes desse pensamento concreto são as dificuldades dos estudantes em lidar com conceitos que requerem maior elaboração, relacionando a percepção visual com conhecimentos teóricos, a exemplo da explicação requerida na Questão 1 da avaliação individual, da relação entre a imagem e o fenômeno da reflexão. Nessa etapa do desenvolvimento intelectual os estudantes empregaram os novos termos científicos relacionados ao fenômeno da reflexão com significação muito concreta, pois ainda não desenvolveram a abstração necessária ao conceito científico, qual seja: conceber a propagação da luz como um conjunto de ondas ou partículas em movimento que não podem ultrapassar a superfície de certos materiais e retornam ao meio de origem. A menor citação da propagação

da luz nas respostas dos estudantes sugere que o ensino trabalhe mais essa concepção da luz nas aulas de propagação e reflexão da luz.

A pequena quantidade de citações da propriedade de retorno da luz para o meio de origem pode ser explicada pelo seu entendimento, por parte dos estudantes, como desvio da luz, possivelmente porque ainda não haviam sido ensinados que a luz tanto pode retornar para o meio de origem dos raios incidentes (reflexão) quanto pode passar para o meio além da superfície sobre a qual incide (refração), dependendo do material. Um exame dos textos didáticos distribuídos aos estudantes, os quais espelham os conteúdos trabalhados em sala de aula, confere força a essas hipóteses: o termo retorno ao meio de origem não foi reforçado após a aula sobre reflexão. Em vista disso, uma sugestão é o ensino aprofundar a descrição teórica do fenômeno da reflexão, esclarecendo a propriedade de retorno ao meio de origem, além de explicar em que consiste a reflexão difusa reforçando mais a iluminação de um objeto e sua percepção pelo observador. Esses detalhamentos devem vir acompanhados de análises de situações diversas nas quais a teoria ensinada seja empregada para orientar o exercício da percepção pelos estudantes, assim como, para elaborar a descrição e a explicação da reflexão por meio das propriedades dos conceitos científicos envolvidos. Os exercícios possibilitam a identificação das propriedades comuns às várias situações de reflexão, de modo que os estudantes possam – com o auxílio do(a) professor(a) – abstraí-las e sintetizá-las em um conceito científico.

O ensino também pode contribuir para minorar o esquecimento das propriedades do conceito de reflexão pelos estudantes, aumentando a frequência do uso de seus termos científicos para favorecer a conservação dos seus registros na memória. Por exemplo, na continuação dos estudos dos conceitos relativos aos outros fenômenos óticos – nas aulas sobre refração, difração, interferência e efeito fotoelétrico – convém compará-los à reflexão, explicitando suas propriedades comuns, como a propagação da luz e sua incidência sobre uma superfície material participante do fenômeno.

Reconhecemos que tais sugestões requerem mais tempo para o ensino do conceito de reflexão da luz e da ótica em geral, acarretando adaptações que demandam esforço e cooperação no âmbito escolar – visto que só ocorreu uma aula sobre reflexão na sequência didática aqui considerada. Mas, se o ensino assim praticado contribuir para o desenvolvimento intelectual dos estudantes da Educação Básica – e só os resultados da pesquisa poderão confirmá-lo – valerá a pena.

Agradecimento

Agradecemos ao professor Dr. Olival Freire Júnior pelas frutíferas contribuições para a realização deste trabalho, feitas com extrema simplicidade, respeito e competência que estimula qualquer um ao seu redor.

Referências bibliográficas

ALBUQUERQUE, K. B.; SANTOS, P. J. S.; FERREIRA, G. K. Os três momentos pedagógicos como metodologia para o ensino de Óptica no Ensino Médio: o que é necessário para enxergarmos? **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 32, n. 2, p. 461-482, 2015.

ÁLVAREZ ESPINOZA, A.; BALMACEDA, C. S. El concepto dialéctico de internalização em Vygotski: aproximaciones a um debate. **Psicología, Conocimiento y Sociedad**, v. 8, n. 1, p. 4-29, 2018.

ARAÚJO, F. G.; BRAGA, A. S.; KILLNER, G. I. O conceito de luz no Ensino Médio: uma revisão bibliográfica. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, Águas de Lindóia, SP, 2015. **Atas...**

BISPO, W. F. DE O. **Desenvolvimento do conceito de luz por estudantes do ensino médio**. 2019. Tese (Doutorado em Ensino, Filosofia e História das Ciências) — Faculdade de Educação, Universidade Federal da Bahia, Universidade Estadual de Feira de Santana.

BOGDAN, R.; BIKLEN, S. **Investigação qualitativa em educação**: uma introdução à teoria e aos métodos. Porto: Editora Porto, 1994.

CHALMERS, A. F. **Que é a ciência afinal?** São Paulo: Brasiliense, 1993.

CONCEITO. In: ABBAGNANO, N. **Dicionário de Filosofia**. 5. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2007.

CONCEITO. In: FERRATER MORA, J. **Diccionario de Filosofía**. 5. ed. Buenos Aires: Sudamericana, 1965.

DRIVER, R. *et al.* **Making sense of secondary science: research into children's ideas**. Routledge Falmer: London, 2006.

FANARO, M. L. A.; ELGUE, M.; OTERO, M. R. Secuencia para enseñar conceptos acerca de la luz desde el enfoque de Feynman para la Mecánica Cuántica em la Escuela Secundaria: un análisis basado em la teoría de los campos conceptuales. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 33, n. 2, p. 477-506, 2016.

HAAGEN-SCHÜTZENHÖFER, C. Students' conceptions on white light and implications for teaching and learning about colour. **Physics Education**, v. 52, n. 4, 044003, jul. 2017.

- HARDY-VALLÉE, B. **Que é um conceito?** São Paulo: Parábola, 2013.
- HEIDEGGER, M. **Que é uma coisa?** Lisboa: Edições 70, 1992.
- HENRIKSEN, E. K. *et al.* What is light? Students' reflections on the wave-particle duality of light and the nature of Physics. **Science & Education**, v. 27, n. 3, p. 81-111, 2018.
- KANLI, U.; ILICAN, Ö. Student achievement on the concepts of light and shadow in different assessment formats: students' learning styles and gender. **Journal of Turkish Science Education**, v. 17, n. 4, p. 468-486, Dec. 2020.
- KAUR, T. *et al.* Teaching Einsteinian Physics at Schools: Part 2, Models and Analogies for Quantum Physics. **Physics Education**, v. 52, n. 6, 065013, 2017.
- LANCHESTER, P. C. Studies of the reflection, refraction and internal reflection of light. **Physics Education**, v. 49, n. 5, p. 532-536, 2014.
- LIBÂNEO, J. C. **Didática**. 2. ed. São Paulo: Cortez, 2013.
- LICHTMAN, M. **Qualitative research in Education: a user's guide**. 2. ed. Los Angeles: Sage, 2010.
- LOPES, A. R. C. **Conhecimento escolar: ciência e cotidiano**. Rio de Janeiro: Eduerj, 1999.
- LURIA, A. R. **Curso de psicologia geral**. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 1979.
- NAÇÕES UNIDAS. Unesco: 2015 é o Ano Internacional da Luz. **ONU News: perspectiva global reportagens humanas**. 2 jan. 2015. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2015/01/1497251-unesco-2015-e-o-ano-internacional-da-luz>. Acesso em: 06 out. 2021.
- PATHARE, S. R. *et al.* Why is the angle of incidence equal to the angle of reflection? An activity. **Physics Teacher**, v. 59, n. 8, p. 650-651, 2021.
- PEREIRA, A. P.; LIMA Jr. P. Implicações da perspectiva de Wertsch para a interpretação de teoria de Vygotsky no ensino de física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 31, n. 3, p. 518-535, 2014.

SANGIOGO, F. A.; ZANON, L. Conhecimento Cotidiano, Científico e Escolar: Especificidades e Inter-Relações enquanto Produção de Currículo e de Cultura. **Cadernos de Educação/UFPel**, n. 47, p. 144-164, 2014.

SAVIANI, D. **Pedagogia histórico-crítica**: primeiras aproximações. 11. ed. rev. Campinas: Autores Associados, 2011.

VALADARES, E. C. V.; MOREIRA, A. M. Ensinando Física Moderna no segundo grau: efeito fotoelétrico, laser e emissão de corpo negro. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 15, n. 2, p. 121-135, 1998.

VALIO, A. B. M. *et al.* **Ser protagonista: Física**. 3. ed. São Paulo: SM 2016. v. 2.

VIGOTSKI, L. S. **A construção de pensamento e da linguagem**. 2. ed. São Paulo: WMF Martins Fontes, 2009.

VIGOTSKI, L. S. **A formação social da mente**. 4. ed. São Paulo: Martins Fontes, 1991.

VYGOTSKI, L. S.; LURIA, A. R. **El instrumento y el signo en el desarrollo del niño**. Madrid: Infancia y Aprendizaje, 2007.



Direito autoral e licença de uso: Este artigo está licenciado sob uma [Licença Creative Commons](#).