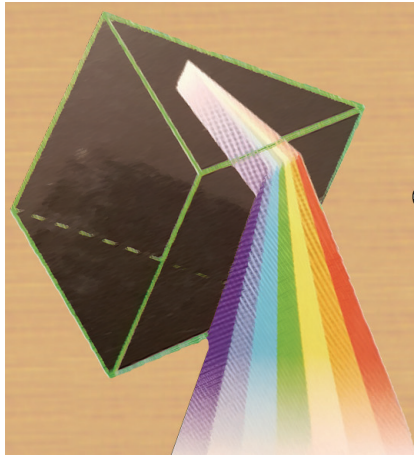


Uma análise da ilustração do *experimentum crucis* de Newton em materiais de divulgação científica



Anabel Cardoso Raíck

Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil
E-mail: anabelraick@gmail.com

Luiz O.Q. Peduzzi

Departamento de Física, Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil
E-mail: luizpeduzzi@gmail.com

José André Peres Angotti

Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil
E-mail: zeangotti@gmail.com

Introdução

A concepção e o reconhecimento de ‘experimentos cruciais’ na ciência são matérias controversas. Há posturas antagônicas tanto entre filósofos da ciência – que admitem desde a existência desses experimentos somente em retrospectiva àquelas que não aceitam que eles possam existir – quanto entre cientistas, que, em seus relatos científicos, utilizam a expressão com divergentes significados [1].

Ao longo dos séculos XVII e XVIII, período mais fortemente influenciado pelas novas concepções experimentais que surgiram na ciência, sobretudo com o método indutivo de Francis Bacon (1561–1626), identificam-se, entre outros, Robert Boyle (1627–1691), Robert Hooke (1635–1703), Isaac Newton (1643–1727), Luigi Galvani (1737–1798) e Alessandro Volta (1745–1827) empregando o termo ‘crucial’ para designar alguns de seus experimentos. Boyle parece ter sido o primeiro a fazer isso, utilizando a expressão *experimentum crucis* com apelo demonstrativo.

Na perspectiva baconiana, a *instantia crucis* pode se literalmente traduzida como ‘instância de encruzilhada’, uma vez que Bacon tomou o termo por referência/analogia às cruzes que se colocam nas estradas para indicar bifurcações. Boyle acreditava que, quando de um impasse teórico, apenas um experimento que mostrasse um efeito explicado por apenas uma teoria deveria ser buscado. Reside aqui “um exemplo quase perfeito de uma instância crucial de Bacon” [2, p. 55].

No curso da nova filosofia natural

experimental, os relatórios empíricos começaram a se fazer presentes na comunidade científica. Isto fez emergir a necessidade de ‘disciplinar’ a apresentação dos resultados contidos nessas narrativas. Bacon argumenta a favor de métodos de comunicação. Segundo ele, pode-se descrever o que foi feito experimentalmente de forma ‘magistral’ à luz do pressuposto que “requer que se deve acreditar no que é dito” e com métodos ‘iniciativos’ que, por sua vez, mostram os processos pelos quais se chega a determinadas conclusões [3, p. 515–516]. Para se obter credibilidade, era imprescindível que a experiência fosse efetivamente comunicada ao público [4].

Nessa perspectiva, embora de modo não descomedido, o zelo de Bacon levou Boyle a desenvolver formas literárias de comunicação de experimentos [3]. Ele buscou designar convencionalidades específicas à maneira de falar sobre a natureza e o conhecimento natural. Direta ou indiretamente, esse *status* ‘normativo’ influenciou a forma como as narrativas experimentais eram apresentadas entre os estudiosos e, posteriormente, às recém-criadas sociedades científicas.

Boyle preocupou-se com a reprodutibilidade dos experimentos. Isso o fez considerar como um dos quesitos mais relevantes dos relatos a elaboração e a veiculação de imagens¹ experimentais, sobretudo aquelas naturalísticas – que possuem detalhes circunstanciais que não são visíveis, por exemplo, em

representações mais esquemáticas. Em seus próprios estudos ele registra detalhadamente e sob diferentes circunstâncias os experimentos que realizava. O papel da imagem, associada à sua descrição, estava fortemente relacionado, então, com a

Ao longo dos séculos XVII e XVIII, período mais fortemente influenciado pelas novas concepções experimentais que surgiram na ciência, muitos estudiosos importantes empregaram o termo ‘crucial’ para designar alguns de seus experimentos

O artigo analisa a contextualização dos estudos de Newton sobre a teoria da luz e cores, particularmente a ilustração do *experimentum crucis*, em livros de divulgação científica. Para subsidiar a compreensão da importância dada às ilustrações e aos recursos literários dos experimentos em meados do século XVII, resgata as narrativas experimentais apresentadas por Boyle. Aponta, ainda, possíveis implicações para o ensino de ciências.

reprodução dos experimentos pelos pares, seja de forma física ou mental.

Em meio a essa intensa valorização experimental, Newton remete em 1672 um artigo, redigido em forma de carta, ao secretário da Royal Society relatando sua nova teoria sobre luz e cores [5]. O artigo, juntamente com outros escritos, serviu de base para a publicação da *Óptica* [6], em 1704, quase duas décadas depois [7]. No decorrer da apresentação desse seu estudo, pelo qual explica o fenômeno da formação das cores devido à refração, ele apodera-se com apelo retórico tanto do termo *experimentum crucis* para designar um de seus experimentos quanto de imagens que o ilustram, apresentadas em outro artigo em 1672 [8] e na *Óptica*. A análise histórica desse episódio mostra, nitidamente, a incongruência de se admitir que um experimento é capaz de apresentar resultados que, de forma decisiva e instantânea, alcançam o consenso científico [9-12].

No ensino de ciências é corrente a ideia de que experimentos cruciais podem estabelecer a ‘verdade’ científica. Isto é, que o experimento, por si só, é capaz de gerar resultados definidores e incontestáveis. Essa imagem está implícita ou explicitamente presente, além de em livros didáticos, em diferentes meios de divulgação da ciência, como em filmes, séries, documentários e textos de divulgação científica. Ao seu modo, esses materiais – que cada vez mais fazem parte de atividades didáticas nas salas de aula – transmitem concepções e imagens sobre a ciência.

Por certo, a divulgação científica visa atingir um amplo público, não necessariamente alfabetizado cientificamente. Assim sendo, seus materiais utilizam recursos como ilustrações, infográficos, metáforas que, se não devidamente contextualizados, podem penalizar a precisão de informações [13]. Como ressalta Forato [14], muitos deles contemplam perspectivas anacrônicas e descontextualizadas da construção da ciência, especialmente sobre o período tido como o ‘nascimento da ciência moderna’. Dessa forma, especialmente quando usados em sala de aula, requerem cuidados historiográficos, uma vez que podem reforçar concepções inadequadas ou limitadas *sobre* a ciência,

A análise histórica dos estudos newtonianos sobre a teoria da luz e cores mostra, nitidamente, a incongruência de se admitir que um experimento, por si só, é capaz de gerar resultados definidores e incontestáveis

Ao utilizar o termo *experimentum crucis* Newton emprega um poder de legitimação, confiabilidade e persuasão em sua narrativa experimental

como a que se refere ao mito do experimento crucial.

Este artigo busca investigar como uma amostra de livros de divulgação científica, de autores com distintas formações, contextualiza os estudos de Newton sobre a teoria da luz e cores na perspectiva das ilustrações dos experimentos por ele desenvolvidos, particularmente do *experimentum crucis*. Para tanto, discute brevemente as narrativas experimentais apresentadas por Boyle e a importância concedida por ele, em meados do século XVII, às ilustrações e aos recursos literários dos experimentos quando de suas publicações. Em conclusão, apresenta implicações da análise desenvolvida para o ensino de ciências.

Relatos experimentais no século XVII: a relevância das ilustrações

Robert Boyle, com seu olhar perspicaz, persuadiu consideravelmente a identidade do novo praticante científico no final do século XVII [15], tornando-se uma das figuras mais influentes da Royal Society. Defendendo que os relatos experimentais deveriam ser escritos em uma linguagem acessível aos seus contemporâneos, influenciado por Bacon, ele percebe que até então as narrativas continuavam a ser redigidas de forma indisciplinada e a sua confiabilidade era matéria de preocupação.

Em vista disso, Boyle argumenta que ao manipular a natureza era preciso não apenas buscar informações dos processos naturais, mas também melhorar o nível dessas informações. “A qualidade que tinham os experimentos de resultar em matérias de fato dependia não somente de sua real execução, mas também (...) da certificação por parte da comunidade relevante de que eles haviam sido assim executados”

[16, p. 95]. O próprio Boyle “ao reportar experimentos que eram particularmente cruciais ou problemáticos” escolhia suas testemunhas e julgava suas qualificações, para que suas demonstrações atestassem legitimidade.

O desenvolvimento de relatos experimentais que facilitassem a reprodução de experimentos pelos leitores era outra maneira de garantir o depoimento coletivo. Para isso, alguns desafios à época tinham de ser contornados, como aquele que se

refere à dificuldade de acesso a determinados aparatos experimentais, pelo seu custo e locomoção, e à falta de habilidade de alguns dos estudiosos.

Não obstante, a forma mais relevante de se conseguir a multiplicação de testemunhas, que, vale frisar, era um critério de cientificidade experimental, era por meio de ‘testemunhos virtuais’ [16]. Essa estratégia empregava os mesmos recursos linguísticos de incentivo para a reprodução física do experimento ou para produzir na mente do leitor uma imagem naturalística da cena do experimento. As narrativas experimentais deveriam ser escritas de maneira que estudiosos não presentes como testemunhas ‘reais’, pudessem replicar efetivamente os efeitos relevantes do experimento. É importante ressaltar que para Boyle, portanto, o testemunho era uma questão de evidência e não de autoridade [17].

As imagens naturalísticas priorizadas por Boyle tinham por função complementar o testemunho por meio da imaginação. Elas não eram meros desenhos, mas figuras que apresentavam detalhes circunstanciais que, como ele alegava, não seriam visíveis em representações mais esquemáticas. “Produzir imagens desse tipo consistia em uma atividade onerosa em meados do século dezessete e os filósofos naturais as utilizavam com parcimônia” [16, p. 99]. Boyle também valorizava e fazia uso de imagens esquemáticas, desde que as mesmas apresentassem comentários e descrições.

Por certo, Boyle buscou organizar textos que, “com detalhes circunstanciais inseridos nos limites de uma estrutura gramatical”, poderiam imitar a simultaneidade da experiência por meio das representações pictóricas [3, p. 493]. Ele foi, sem dúvida, um personagem marcante na ciência, que ilustra a posição empírica afirmada claramente por Bacon [18]. Newton foi seu contemporâneo, e, embora se possa destacar em seus estudos diversos recursos linguísticos ressaltados por Boyle, ele não teve, a contento, as mesmas preocupações.

Enquanto um andou humildemente e falou e escreveu em uma língua na qual as pessoas sem instrução poderiam ler e entender – e isso explica em grande medida a influência que exerceu –, o outro redigiu em latim o *Principia* [19] e viveu em uma esfera em que poucos poderiam penetrar [15]. Já na *Óptica* essa diferença é minimizada. Ela foi escrita originalmente em inglês, possivelmente para torná-lo mais popular em termos de conteúdo e de alcance [20].

As ilustrações de Newton do *experimentum crucis*

No artigo “Nova Teoria sobre Luz e Cores”² [5], Newton relata os resultados de vários anos de estudos e explica o fenômeno da formação das cores devido à refração [7, 9, 10, 21]. Desenvolvendo inúmeros experimentos com prismas, ele conclui que a luz branca é uma mistura heterogênea de raios com diferentes graus de refrangibilidade. Nesse artigo, ele não explorou abundantemente o artifício pictórico, mas utiliza o termo *experimentum crucis* para um de seus experimentos que, pode-se dizer, emprega um poder de legitimação, confiabilidade e persuasão em sua narrativa experimental.

Newton inicia seu relato descrevendo uma experiência que permitia a passagem de luz branca do Sol por um prisma de vidro:

(...) tendo escurecido meu quarto e feito um pequeno orifício na veneziana de minha janela, para admitir a entrada de uma quantidade conveniente de luz solar, coloquei meu prisma à entrada dele, para que a luz fosse refratada para a parede oposta. A princípio, foi uma diversão muito agradável observar as cores vívidas e intensas assim produzidas, mas, depois de algum tempo empenhando-me em examiná-las com maior circunspeção, surpreendeu-me vê-las em uma forma oblonga, porquanto, segundo as leis aceitas da refração, eu esperava que ela fosse circular [5, p. 3076].

De acordo com Granés [9, p. 29] o parágrafo acima é “magistral, por sua precisão e poder de síntese”. Podem-se perceber aspectos circunstanciais, relevantes para Boyle, explanados por Newton ao descrever esse experimento. O quarto escurecido, o orifício na veneziana da janela, a função desse orifício, a colocação do prisma, o seu encantamento, a surpresa ao constatar algo imprevisto pela teoria vigente, são detalhes com os quais se pode evidenciar que, de fato, a “atenção para com a escrita de relatórios sobre experimentos tinha uma importância prática que era pelo menos igual à própria realização dos experimentos” [3, p. 492].

Por certo, o caminho trilhado por Newton o conduzia a encontrar uma teoria para o fenômeno da formação das cores que permita explicar a forma oblonga do espectro sem abandonar a lei da refração de René Descartes (1596–1650) – que admitia que o raio incidente e o raio refratado que saem de um prisma se comportam de maneira simétrica na posição de desvio mínimo do prisma. A pergunta que

ele se faz é: “a inesperada forma alongada do espectro sobre a parede não poderia, talvez, ser causada por elementos que dependem inteiramente das circunstâncias específicas que enquadram a realização particular do experimento?” [9, p. 32].

Newton verifica a hipótese de serem os componentes de seu experimento os causadores dessa forma alongada. Constatando sua improcedência, ele segue formulando novas conjecturas e fazendo (e criando) novas experimentações. Supõe que o alongamento era devido a uma irregularidade no prisma de vidro ou ainda a uma falta de paralelismo do feixe de luz proveniente do Sol que penetra o orifício da persiana, devido ao tamanho do astro e sua distância finita da Terra.

A eliminação dessas suspeitas levou Newton ao seu *experimentum crucis*, que consistia de uma lente à frente de um prisma, pela qual passava a luz branca do Sol. A lente possibilitava produzir um espectro fino e com cores bem definidas em um anteparo. Um furo no anteparo permitia que uma pequena faixa do espectro passasse por um segundo prisma, que não decompunha a luz em novas cores, apenas produzia uma mancha da cor selecionada.

Curiosamente, a primeira imagem (Fig. 1) do experimento crucial irá aparecer apenas em um artigo publicado quatro meses depois, em junho de 1672 [8], no *Philosophical Transactions*.

De acordo com Newton, essa figura (Fig. 1) foi desenvolvida por causa das dúvidas e debates que surgiram após a publicação do artigo sobre a luz e as cores.

Finalmente, como a melhor confirmação, acrescento o Experimento a que eu já dei o nome de Crucial em vários lugares: já que as condições [sob os quais o experimento havia sido realizado] apresentaram dúvidas, eu decidi desenvolver esta figura [8, p. 5016, tradução dos autores].

Conforme Boyle, as ilustrações nos relatos experimentais eram fundamentais para aqueles que requeriam auxílio visual, por não possuírem facilidade de imagina-

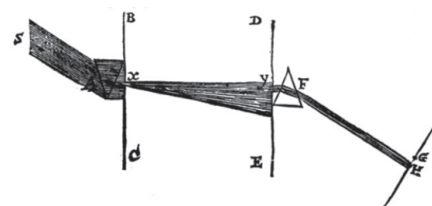


Figura 1: O *experimentum crucis* de Newton, publicado em 1672 [8].

ção [3]. A função da imagem newtoniana do experimento crucial pode ter sido a de ilustrar, ainda que superficialmente, como se dispôs o experimento, e evidenciar, sobretudo para os testemunhos, que ele de fato havia sido realizado, conferindo maior confiabilidade ao seu resultado.

Isso se justifica principalmente porque, após a publicação do seu primeiro artigo sobre o assunto, Newton recebeu muitas críticas. Diversos filósofos naturais escreveram à Royal Society indicando que os experimentos newtonianos não davam os resultados indicados por ele ou propondo outros que contrariavam a sua teoria [21]. “Para resolver a questão experimental, Robert Hooke foi encarregado de repetir diante da Royal Society os experimentos de Newton, e conseguiu reproduzi-los sem problemas” [21, p. 325]. Cabe ressaltar que, na época, Hooke era curador oficial da Royal Society, isto é, responsável por reproduzir os experimentos descritos nos artigos submetidos e/ou publicados pela academia. Apesar de aceitar como corretos os experimentos newtonianos, ele continuou a negar sua teoria.

Por certo, o objetivo principal do *experimentum crucis* foi descobrir se as cores poderiam ser transformadas e criadas, ou não. Todavia, segundo Silva e Martins [21], o discurso por trás do seu experimento crucial muda durante as árduas discussões com seus críticos. Na *Óptica* [6], 32 anos depois, Newton também descreve e ilustra (Fig. 2) o que seria o *experimentum crucis*, porém nessa obra ele não explicita essa terminologia. Em seu livro, fica mais evidente a dependência desse experimento com outros para que se pudesse mostrar, conclusivamente, que as cores não eram uma mistura de luz e sombras, como pensavam alguns desde Aristóteles, nem produzida no ato da refração [11, 22].

A ilustração é acompanhada de um longo comentário, em que Newton busca explicar os aspectos circunstanciais pelos quais o experimento foi realizado. Todavia, é um texto despersonalizado e um tanto argumentativo, escrito com uma frieza objetiva e uma concisão que deixa de lado aspectos secundários [10] priorizados por Boyle.

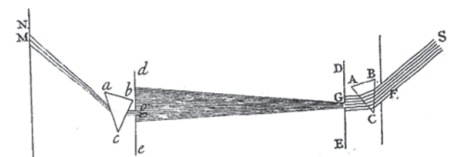


Figura 2: Ilustração do *experimentum crucis* apresentado na *Óptica* em 1704.

Para Newton, as premissas de sua teoria emanam diretamente, de maneira natural e quase evidente, do experimento que denominou crucial. Para Boyle, há uma retórica de convencimento inerente aos textos científicos. Encontram-se nos textos boyleanos uma preocupação em fornecer ao leitor uma imagem muito vívida da realização de cada um dos experimentos. Muitos dos leitores newtonianos, todavia, teriam dificuldades em replicar alguns de seus experimentos, pois teriam de ‘inventar’ detalhes técnicos da sua realização. Isso pode ser explicado pelo fato de que Newton, diferindo de Boyle, escreveu para um público mais especializado.

O certo é que “a famosa frase, *experimentum crucis*, tornou-se quase sinônimo de teoria newtoniana” [23, p. 354]. As imagens, apresentadas em diferentes textos, propiciaram ainda mais a disseminação do experimento e sua popularidade para diferentes públicos, gostando Newton ou não.

A ilustração em si revela ainda mais a sua importância na publicação da segunda edição da *Óptica* em Paris, no ano de 1722. Varignon, responsável por essa edição, solicitou a Newton uma imagem que representasse seu trabalho sobre óptica [11]. Dentre inúmeras opções, Newton escolheu o *experimentum crucis* (Fig. 3). Além disso, havia no desenho a seguinte frase: *Nec variat lux colorem*, que quer dizer “a luz não muda de cor quando é refratada” [11].

O discurso da divulgação científica: as ilustrações dos experimentos sobre luz e cores de Newton

Quando Boyle buscou estabelecer textos científicos com determinados recursos linguísticos, ele visava, sobretudo, a popularização da ciência [16]. Ele defendia o que frequentemente é utilizado na litera-

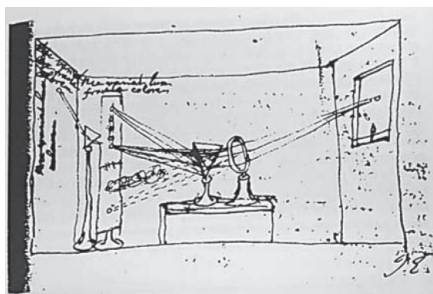


Figura 3: Ilustração selecionada por Newton para representar seus estudos ópticos. A escolhida para a tradução francesa, publicada em 1722, foi uma versão aprimorada. Imagem extraída de Assis [11].

tura como ‘divulgação científica’: o uso de recursos técnicos para a comunicação científica ao público em geral [24]. Newton, no entanto, admitia que o conhecimento deveria ser restrito aos iniciados, ou seja, a escrita deveria ser feita de forma específica para pessoas minimamente instruídas. Ele priorizava o que se pode chamar de ‘comunicação científica’, ou seja, um texto transcrito em códigos especializados, para um público seletivo formado de especialistas [13]. Cabe ressaltar que nem Boyle, nem tampouco Newton, utilizaram as expressões ‘comunicação’ ou ‘divulgação científica’.

Independentemente de como os relatos são escritos, tanto para os pares como para o público em geral, o certo é que o papel da divulgação científica vem evoluindo ao longo do tempo [24]. O reconhecimento de que o processo de divulgar a ciência implica em uma transformação da linguagem científica com vistas a sua compreensão pelo público é um dos aspectos mais relevantes às problematizações relacionadas ao ‘por que’ e ao ‘como’ divulgar [25].

Como salienta Fahnestock [26], há mudança de informação de um discurso para outro. A linguagem deve ser adaptada de acordo com o público ao qual se destina. Nos discursos ditos primários, ou seja, nas ‘comunicações científicas’, há enfaticamente o recurso de persuasão do leitor à relevância e legitimação dos novos conhecimentos apresentados [27]. Os textos de ‘divulgação científica’, por sua vez, são prioritariamente epídóticos, isto é, possuem a finalidade de celebrar, e não de validar as informações [26].

De acordo com Massarine e Moreira [27, p. 1], de modo geral pode-se distinguir três discursos: “os discursos científicos primários (escritos por pesquisadores para pesquisadores), os discursos didáticos (como os manuais científicos para ensino) e os da divulgação científica”. A despeito dessa distinção, a comunicação científica, entendida como o discurso primário, quando devidamente retrabalhada, pode contribuir no processo de divulgação científica. Inclusive, “em muitos casos, citações literais de material ou reprodução de falas identificadas com a comunicação científica são repassadas ao público leigo” [13, p. 6]. Podem ser discernidas várias estratégias de alteração na linguagem utilizada no processo de mudança de um discurso para outro, dentre elas a utilização de ilustrações.

As ilustrações, no âmbito dos diferentes discursos, têm sido utilizadas em número significativamente maior ao longo do tempo [27]. Elas são importantes

recursos para a comunicação científica, como defendia Boyle, e para a divulgação científica, podendo apresentar distintas funções nos textos e servindo indiscutivelmente como um recurso de visualização. Também desempenham um papel fundamental na constituição das idéias científicas e na sua conceitualização [28]. Há, ainda, um consenso entre vários autores sobre o fato de as imagens desempenharem importante papel pedagógico no processo de ensino-aprendizagem [29]. Nesse sentido, apresenta-se a seguir uma análise das ilustrações exibidas em materiais de divulgação científica sobre a teoria da luz e cores de Newton.

A amostra de livros para a apreciação levou em conta distintas formações dos autores. Dessa forma, foram analisados os seguintes livros: *Newton: a Órbita da Terra em um Copo d’Água* [30], de Eduardo Campos Valadares; *Isaac Newton o Último Feiticeiro: uma Biografia* [31], de Michael White, e *Os Grandes Experimentos Científicos* [32], de Michel Rival. Valadares, autor de um dos livros, é doutor em ciências. Rival é especialista em questões científicas e técnicas e White é jornalista de divulgação científica.

As ilustrações foram classificadas à luz de quatro categorias – contextualização histórica, iconicidade, relação com o texto principal, função da imagem – desenvolvidas com base em Perales e Jiménez [33]: 1) por meio da *contextualização histórica*, procurou-se analisar se houve contextualização da ilustração, ou apenas do assunto; 2) a *iconicidade*, que se refere à complexidade da ilustração, foi analisada sob quatro vieses: imagem naturalística (possuem detalhes circunstanciais que não são visíveis, por exemplo, em representações mais esquemáticas), esquemática (apresenta uma representação, mas dispensa detalhes) ou figurativa (é simplesmente simbólica); 3) na *relação com o texto principal*, buscou-se verificar se existe um vínculo explícito entre a ilustração e o texto ou se cabe ao leitor fazer a ligação entre eles; 4) a *função da imagem*, na sequência do discurso apresentado, foi classificada como decorativa (motivacional), representativa (ilustrativa), organizacional (descritiva, apresenta aspectos circunstanciais) ou explicativa. Além disso, analisou-se a complexidade da linguagem utilizada nessa relação.

O livro *Os Grandes Experimentos Científicos* [32] apresenta, cronologicamente, alguns experimentos desenvolvidos na física, desde o século III a. C., com Arquimedes, por exemplo, até a década de 1958, com as ondas gravitacionais. No período que correspondente ao ano de 1672, o

livro discute brevemente o experimento crucial de Newton.

O título da seção é “Experimentum crucis” e o autor apresenta uma tradução literal para o termo: ‘experimento decisivo’. O livro inclui quatro páginas sobre o assunto e, embora sucinto, exhibe pequenos trechos originais. Ademais, veicula ao discurso duas imagens. A primeira delas, refere-se ao primeiro experimento descrito por Newton no artigo de 1672 [5] (ou o terceiro na *Óptica*), em que constata a forma oblonga do espectro. A segunda ilustração é a do experimento crucial, a mesma apresentada por Newton na *Óptica* e já exibida na seção anterior deste artigo [Fig. 2], ou seja, é uma ilustração primária, mas o livro não salienta isso, não contextualiza historicamente a imagem, descrevendo apenas que: “Essa foi a ‘experiência decisiva’, o experimentum crucis” [32, p. 27].

A ilustração, assim como está presente na obra original de Newton, é esquemática e sua função na sequência do livro de Rival pode ser classificada tanto como representativa (ilustrativa), quanto organizacional, já que o livro apresenta uma explicação do esquema experimental. Desta forma, há uma relação explícita entre a imagem e o texto principal que a descreve.

Como antes, Newton dispôs um prisma ABC atrás de um diafragma F, isolando um feixe de luz solar, e produziu assim um espectro na tela DE. Essa tela tinha um orifício G e era seguida de outra tela também com um orifício. Esses dois diafragmas isolavam um feixe luminoso pertencente a uma parte estreita do espectro que vinha iluminar um segundo prisma abc. Fazendo girar o prisma ABC, o segundo prisma abc recebia sucessivamente e sob uma incidência crescente os raios pertencentes às diferentes partes do espectro, e projetava sobre uma tela MN situada atrás dele as “imagens” de diferentes cores, ordenadas entre M e N como no espectro inicial [32, p. 27].

Neste trecho, pode-se perceber algumas mudanças em alguns termos utilizados na descrição, em relação a maneira com que o próprio Newton apresenta. As “imagens” de diferentes cores, na realidade, refere-se à luz refratada. Ademais, essa descrição está muito mais sucinta em relação a apresentada na *Óptica*, embora descreva muito bem o experimento.

Ao final da seção, Rival salienta que com as duas experiências, aquela em que Newton constata a forma oblonga do espectro e a do experimento crucial, pode-

se concluir que elas apresentam: “por si mesmas: ‘os raios de luz que diferem em cor também diferem em grau de refrangibilidade’; e ‘a luz do Sol é composta de raios diferentemente refrangíveis’” [32, p. 28].

Todavia, essas duas proposições são demonstradas por Newton com uma série de experimentos, inclusive variantes fundamentais do *experimentum crucis*. Nenhum experimento *per se* apresenta uma conclusão sem que haja reflexão sobre ele. As observações não são neutras, o modo de interpretar um mesmo resultado experimental pode diferir de acordo com os pressupostos teóricos de cada estudioso. Isso, de fato, ocorreu com o *experimentum crucis*, por exemplo, com as objeções de Hooke e de alguns jesuítas, como Pardies, Linus e Lucas [10]. Por fim, o livro evidencia que o experimento crucial serviu para *demonstrar* a dispersão da luz branca, e que os dois experimentos descritos permitiram *evidenciar* duas proposições de Newton, que estão descritas no trecho acima.

O livro *Isaac Newton o Último Feiticeiro: Uma Biografia* [31] apresenta longas páginas biográficas sobre Newton e discorre sobre diferentes aspectos de sua vida e seus trabalhos. No capítulo 8, intitulado “Contendas”, o autor aborda o *experimentum crucis*.

Em 24 páginas de contextualização histórica acerca do assunto, o autor apresenta vários trechos de fonte primária e três ilustrações. A primeira delas é um diagrama, ou esquema, do experimento crucial (Fig. 4). A imagem é apenas ilustrativa e não apresenta uma relação explícita com o texto principal; fica a cargo do leitor relacionar a imagem com o texto. A segunda imagem mostra a luz de um prisma através de uma lente, ilustrativa somente, e a última exhibe a produção de cores isoladas com a utilização de um disco dentado.

O experimento crucial é apresentado e descrito de forma muito simplista, inicialmente:

Usando pouco mais que alguns pedaços de cartão e dois prismas de vidro, a primeira destas novas experiências, depois conhecida como *experimentum crucis*, foi o primeiro e tardio sinal que o mundo científico teve de seu gênio como experimentador, porque era tão bela em sua simplicidade quanto eficaz para encapsular a teoria de Newton [31, p. 163].

Nesse trecho, vê-se claramente que o autor não menciona, assim como também não o faz Rival, que o próprio Newton

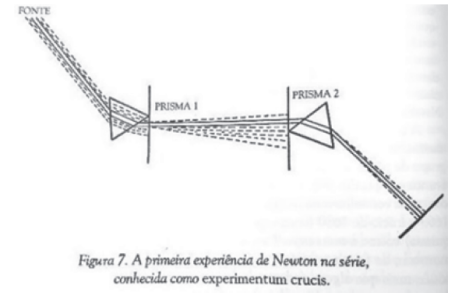


Figura 7. A primeira experiência de Newton na série, conhecida como experimentum crucis.

Figura 4: Ilustração do *experimentum crucis* e sua legenda, apresentada por White [31].

denominou um de seus experimentos de crucial. Aliás, o experimento não revela a genialidade newtoniana por ser simples e encapsular a sua teoria, tanto que houve inúmeras discussões acerca dos resultados e explicações por ele apresentados, gerando inclusive consideráveis controvérsias. Além disso, o autor apresenta o experimento como se Newton não tivesse pensado nos componentes de sua composição, como se o tivesse desenvolvido com meros materiais encontrados aleatoriamente em seu ‘laboratório’.

White salienta, especificando melhor em que consistia o experimento crucial newtoniano, que:

A primeira das novas experiências (o *experimentum crucis*) fazia mais uma vez a luz do sol passar por um prisma. Partes do espectro produzido passavam então por um minúsculo orifício num cartão colocado a pouca distância. Assim Newton pôde fazer com que apenas uma das cores do espectro passasse pelo orifício. Essa luz atravessava então o orifício de um outro cartão e depois um segundo prisma, para finalmente cair em um cartão branco. Newton descobriu que se só deixasse a luz de uma das extremidades do espectro (a luz azul) passar pelo sistema, ela seria muito mais refratada do que se usasse a luz vermelha [31, p. 164].

Essa descrição está mais detalhada do que o trecho anterior. Há algumas palavras que foram introduzidas, possivelmente a fim de deixar mais claros os materiais utilizados na experiência original. Fazendo um contraste com a *Óptica*, Newton ressalta que usou anteparos; White, por sua vez, os chama de cartões.

O autor expõe alguns variantes desse experimento, que foram importantíssimos para a consolidação de duas das proposições sobre luz e cores apresentadas na *Óptica*. Além disso, enfatiza que a demonstração de como a luz é refratada ia contra a visão dominante na época, como salienta também Rival. Não obstan-

te, não era a demonstração em si, mas a explicação de Newton que diferia de concepções teóricas daquele período histórico acerca do fenômeno.

O livro *Newton: a Órbita da Terra em um Copo d'Água* [30], assim como White, discorre sobre os mais diversos estudos e trabalhos de Newton, tanto na óptica, na mecânica e na alquimia como seus estudos bíblicos, por exemplo. No capítulo quatro, "Invenção do Cálculo, Gravitação e Experiências com a Luz", o autor apresenta uma subseção denominada "Experiências com prismas".

De modo muito sucinto, Valadares descreve a experiência em que Newton constata a forma alongada do espectro e, a seguir, diz que ele "concebeu um novo experimento que demandava um segundo prisma (...) demonstrando assim que a luz branca era, de fato, composta" [30, p. 64-65]. Esse trecho está se referindo ao *experimentum crucis*. Todavia, o autor em nenhum momento apresenta esse termo. Por vezes, utilizar o termo sem contextualizar seu significado pode ser um problema maior, talvez, do que não explicitá-lo, pois nesse caso caberia ao leitor interpretá-lo. Prosseguindo, Valadares frisa que:

Com seus experimentos, Newton derubou o dogma da luz branca 'pura' que persistia por mais de dois mil anos. Além disso, ele demonstrou que cada componente da luz branca, ao incidir em um prisma, é desviado de um ângulo diferente em relação a uma reta perpendicular à superfície do prisma no qual a luz incide (veja figura), fenômeno conhecido como dispersão [30, p. 65-66].

A ilustração apresentada (Fig. 5) tem uma relação explícita com o texto principal, no entanto o autor não a descreve. A imagem é meramente figurativa e somente assume significado com sua legenda. Ela não parece adquirir sentido na sequência do texto, pois mostra diversos experimentos sem descrição e/ou explicação.

Com esse tipo de ilustração, fica a cargo do leitor decifrar que uma flecha, por exemplo, indica a incidência de um raio de luz e que o desenho de um triângulo simboliza um prisma. Ou seja, por não haver descrição da imagem ao longo do texto principal, há uma linguagem em códigos implícita na mesma, que dificulta a compreensão do leitor e relega a imagem à mera função de ilustrar experimentos.

Cabe apontar que Valadares, na capa de seu livro, apresenta uma ilustração decorativa (Fig. 6) da refração da luz por um prisma de vidro, notavelmente

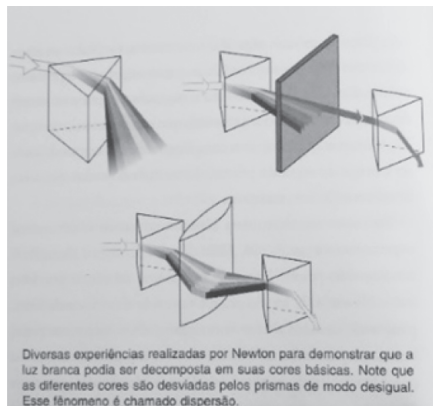


Figura 5: Diversos experimentos desenvolvidos por Newton, apresentados por Valadares [30].

fazendo alusão aos estudos newtonianos.

De modo geral, nas três obras analisadas verifica-se a tentativa dos autores de contextualizar os estudos de Newton sobre luz e cores. Notam-se elementos comuns apresentados na abordagem histórica, que indicam que novas explicações sobre o fenômeno das cores estavam surgindo com os experimentos newtonianos. No entanto, nenhuma delas contextualiza a imagem em si, tanto do experimento crucial, que é apresentada por Rival e White, quanto das demais ilustrações presentes em todas as obras.

Como já foi salientado, nos estudos ópticos desenvolvidos no século XVII e XVIII a ilustração exerceu um papel relevante no âmbito da *comunicação científica*. Já nos livros de divulgação científica analisados, o discurso em torno do recurso pictórico é modificado. As ilustrações apreciadas, quando inseridas na sequência de cada texto, embora algumas sejam retiradas da própria *Óptica*, perdem o rigor científico e apresentam, nitidamente, falta de aprofundamento de detalhes específicos quanto a sua descrição. Todavia, pode-se perceber nas três obras, muitas vezes, que essas perdas são compensadas pela abrangência e pela visão global com que o tema é abordado.

Vê-se, como salienta Fahnestock [26], que os textos epidícticos, aqueles da divulgação científica, priorizam os resultados científicos e não o processo pelo qual o conhecimento foi desenvolvido. Já nos originais de Newton, percebe-se um esforço maior em discorrer sobre o processo da construção do conhecimento. Embora Newton priorize uma reconstrução dos seus estudos, ou seja, enfatize os seus resultados, é nítido o seu envolvimento com diversos experimentos e hipóteses que o auxiliaram.

Newton e a divulgação científica: implicações para o ensino

Historicamente, a *comunicação científica* e a *divulgação científica* vêm crescendo dialogando de modo a consolidar uma intensa relação. Atualmente, a comunicação científica pode ser considerada fonte histórica de jornalistas e divulgadores para o desenvolvimento dos discursos da divulgação científica [13]. Nas obras analisadas, percebe-se claramente o uso de fonte primária.

Não obstante, apesar desse profícuo diálogo, não se pode obliterar que os discursos são evidentemente distintos, de acordo com o objetivo, a audiência, a situação [26]. A divulgação científica busca, prioritariamente, permitir que as pessoas leigas possam entender, ainda que parcialmente, o mundo em que vivem e as novas 'descobertas' científicas; em síntese, proporcionam a exteriorização da ciência [34].

Nesse sentido, o apelo visual é importante. Todavia, a ilustração é um recurso que pode penalizar a precisão das informações [13] ou, ainda, disseminar uma ideia equivocada de ciência. Como salientado, no século XVII Boyle priorizava o uso de ilustrações desde que fossem seguidas de descrições, de discursos que apresentassem aspectos circunstanciais. A função das imagens era de propiciar às testemunhas virtuais a reprodução do experimento; levar o leitor mentalmente para a cena do 'laboratório' [16]. Nos estudos de Newton, veem-se inúmeras imagens, sempre com descrições e comentários específicos, como no caso do experimento crucial.

Nos livros analisados, a imagem tem a função meramente ilustrativa, e mesmo que alguns autores busquem descrevê-las, muitas vezes passa-se a visão de que o experimento, por si só, apresenta uma 'verdade' científica. Além disso, nas entre-

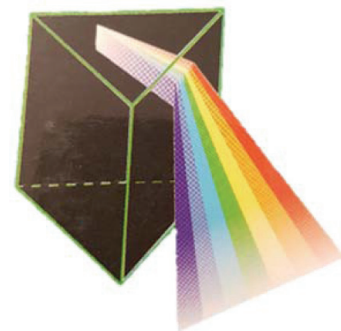


Figura 6: Uma das ilustrações da capa do livro *Newton: a Órbita da Terra e um Copo d'Água*.

linhas do discurso científico há implicitamente a ideia da construção do conhecimento por meio de um empirismo ingênuo. Assim, quando levado ao ensino de ciências, por exemplo, eles podem contribuir para a propagação de uma ciência unicamente empírica, com observações neutras, e que um dado experimental representa uma corroboração indiscutível. Por isso a necessidade de se tomar os devidos cuidados quando materiais de divulgação científica, ou uma ilustração não contextualizada, por exemplo, são trabalhados em sala de aula. Além disso, embora se reconheça que há distintos objetivos entre as obras originais e os livros de divulgação científica, o uso de imagens primárias em contextos diferentes, que por vezes não as contextualizam, distorcem o próprio sentido da natureza da imagem. Na filo-

sofia de Boyle, por exemplo, elas transportariam o leitor ao momento de realização do experimento, além de contribuir para sua replicação. Este último, por certo, não foi o foco das obras analisadas.

Não obstante, essas colocações não invalidam as obras que simplesmente traduzem o senso comum das pessoas em geral e visam disseminar a ciência para um público mais leigo. Diversos autores têm sugerido atividades didáticas que valorizem o contato dos alunos com diferentes tipos de textos, inclusive os de divulgação científica, que expressam uma variedade de formas de argumentação e pontos de vista [35]. Muitos benefícios são apontados por esse contato ampliado, dentre eles o acesso a uma maior diversidade e divergência de informação, habilidades de leitura e formas de argumentação

[36], além da reflexão sobre a ciência, que pode e deve ser estimulada.

Afinal, Newton não pretendia apenas corroborar ou refutar a teoria vigente, mas sim buscar entender e explicar uma anomalia: a forma oblonga da luz solar ao ser refratada por um prisma de vidro. Nesse sentido, como há mudança de um discurso para outro, os materiais de divulgação científica, quando levados ao uso didático, reforçam a importância do papel do professor como agente contextualizador, reflexivo e crítico. O docente pode propiciar uma maior compreensão do complexo episódio newtoniano com a luz e cores, a função das ilustrações para a comunicação científica e, ainda, seu envolvimento frutífero com a experimentação, aspectos esses não explorados, devidamente, em muitos materiais de divulgação científica.

Rerefências

- [1] A.C. Raicik, *Experimentos Exploratórios e Experimentos Cruciais no Âmbito de uma Controvérsia Científica: A Eletricidade Animal como Estudo de Caso*. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, em andamento.
- [2] C. Dumitru, *Society and Politics* **7**, 45 (2013).
- [3] S. Shapin, *Social Studies of Science* **14**, 481 (1984).
- [4] A. Davyt e L. Velho, *História, Ciências, Saúde Manguinhos* **7**, 93 (2000).
- [5] I. Newton, *Philosophical Transactions* **6**, 3075 (1672).
- [6] I. Newton, *Óptica* (Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002).
- [7] I.B. Cohen e R.S. Westfall, *Newton: Textos, Antecedentes, Comentários* (Contraponto, Rio de Janeiro, 2002).
- [8] I. Newton, *Philosophical Transactions* **7**, 4014 (1672).
- [9] J.S. Granés, *La Gramática de una Controvérsia Científica: El Debate Alrededor de la Teoría de Newton sobre los Colores de la Luz* (Editorial Unibiblos, Bogotá, 2001).
- [10] J.S. Granés, *Isaac Newton: Obra y Contexto una Introducción* (Pro-Offset Editorial, Bogotá, 2005).
- [11] A.T. Assis, *Óptica: Tradução, Introdução e Notas* (Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002).
- [12] C.C. Silva e R.A. Martins, *Ciência & Educação* **9**, 53 (2003).
- [13] W.C. Bueno, *Inf. Inf.* **15**, 1 (2010).
- [14] T.C.M. Forato, *Alexandria Revista de Educação em Ciência e Tecnologia* **1**, 29 (2008).
- [15] J.F. Fulton, *Isis* **18**, 77 (1932).
- [16] S. Shapin, *Nunca Pura: Estudos Históricos de Ciência Como Se Fora Produzida Por Pessoas Com Corpos, Situadas no Tempo, no Espaço, na Cultura e na Sociedade e Que Se Empenham por Credibilidade e Autoridade* (Fino Traço, Belo Horizonte, 2013).
- [17] R.M. Sargent, *Studies in History and Philosophy of Science* **20**, 19 (1989).
- [18] J.J. Renaldo, *Journal of the History of Ideas* **37**, 689 (1976).
- [19] I. Newton, *Principios Matemáticos de la Filosofía Natural* (Alianza Editorial, Madrid, 1987).
- [20] A.K.T. Assis, in *Mesa Redonda do II Encontro da Ciência, Leitura e Literatura*, Campinas, 1997.
- [21] C.C. Silva e R.A. Martins, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **18**, 313 (1996).
- [22] L.O.Q. Peduzzi, *A Relatividade Einsteiniana: Uma Abordagem Conceitual e Epistemológica* (Publicação interna, Florianópolis, 2015).
- [23] R.S. Westfall, *Isis* **53**, 339 (1962).
- [24] S. Albagli, *Ci. Inf.* **25**, 396 (1996).
- [25] M. Marandino et. al., in *Anais do IV Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciência*, Bauru, 2003.
- [26] J. Fahnestock, in *Terra Incógnita: A Interface entre Ciência e Público*, editado por L. Massarani, et al. (Vieira & Lent, Rio de Janeiro, 2005).
- [27] L. Massarine e I.C. Moreira, *MultiCiência: Linguagem da Ciência* **4**, 1 (2005).
- [28] I. Martins, G. Gouvêa e C. Piccinini, *Cienc. Cult.* **57**, 38 (2005).
- [29] H.C. Silva et al., *Ciência e Educação* **12**, 219 (2006).
- [30] E.C. Valadares, *Newton: A Órbita da Terra em um Copo D'Água* (Odysseus Editora, São Paulo, 2003).
- [31] M. White, *Isaac Newton o Último Feiticeiro: Uma Biografia* (Record, Rio de Janeiro, 2000).
- [32] M. Rival, *Os Grandes Experimentos Científicos* (Jorge Zahar Ed, Rio de Janeiro, 1997).
- [33] F.J. Perales e J.D. Jiménez, *Enseñanza de las Ciencias* **20**, 369 (2002).
- [34] H.C. Silva, *Ciência e Ensino* **1**, 53 (2006).
- [35] L.N.A. Ferreira, *Alexandria Revista de Educação em Ciência e Tecnologia* **5**, 3 (2012).
- [36] I. Martins, M. Cassab e M.B. Rocha, *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências* **1**, 1 (2001).

Notas

¹Neste artigo os termos ilustração, imagem, figura e desenho são utilizados como sinônimos.

²Traduções comentadas do artigo de Newton foram realizadas por Silva e Martins [21] e por Granés [9].