

O EXPERIMENTUM CRUCIS DE NEWTON MULTISSENSORIAL

THE MULTISENSORY NEWTON'S EXPERIMENTUM CRUCIS

Kim Silva Ramos¹, Maria da Conceição Almeida Barbosa-Lima² Luiz Pinheiro Cordovil da Silva³,

¹Pós-graduação em Ensino em Biociências e Saúde/IOC-Fiocruz, prof.kim.amos@gmail.com

²UERJ/ Instituto de Física Armando Dias Tavares/Departamento de Física Aplicada e Termodinâmica/IOC-Fiocruz, mcablina@uol.com.br

³UERJ/Instituto de Física Armando Dias Tavares/Departamento de Eletrônica Quântica, luiz.pinheiro@gmail.com

Resumo

Apresentamos neste trabalho a metodologia de montagem de uma representação multissensorial tátil-visual de um diagrama do *Experimentum Crucis* descrito por Isaac Newton no seu artigo “Nova Teoria da Luz e das Cores”, publicado em 1672. A partir de uma busca em bibliográfica histórica e experimental em óptica, encontramos modelos e diagramas que descrevem este polêmico experimento. A transposição em modelos tátil-visuais deste e de outros “experimentos cruciais” em óptica faz parte de uma pesquisa de mestrado que visa trazer para ambientes de ensino momentos importantes da história da luz e das cores, de maneira inclusiva e acessível a alunos com deficiência visual. Para tanto, revisamos o conceito de multissensorialidade e apontamos alguns resultados sobre práticas de montagem de experimentos históricos em aulas de ciência. Por fim, propomos um diálogo entre Ciência e Arte e deficiência visual de forma a apontar caminhos para práticas inclusivistas em ambientes de ensino formais e não-formais.

Palavras-chave: Experimentum crucis, Isaac Newton, multissensorialidade, deficiência visual, experimentos históricos

Abstract

In this work we present the methodology for assembling a multisensory tactile-visual representation of a diagram of the Experimentum Crucis described by Isaac Newton in his article “New Theory of Light and Colors”, published in 1672. From a search in historical and experimental bibliography in optics, we find models and diagrams that describe this controversial experiment. The transposition in tactile-visual models of this and other “crucial experiments” in optics is part of a master's research that aims to bring to teaching environments important moments in the history of light and colors, in an inclusive and accessible way to students with disabilities visual. For this, we reviewed the concept of multisensory and pointed out some results on the practice of setting up historical experiments in science classes. Finally, we propose a dialogue between Science and Art and visual impairment in order to point out ways for inclusive practices in formal and non-formal teaching environments.

Keywords: Experimentum crucis, Isaac Newton, multisensory, visual impairment, historical experiments

Introdução

19 de fevereiro de 1672, nas palavras de Isaac Newton, publicadas na “Philosophical Transactions of the Royal Society of London” e traduzidas por Silva e Martins em 1996:

“A remoção gradual dessas suspeitas finalmente levou-me ao *Experimentum Crucis*, que era este: tomei uma prancha e coloquei uma delas perto da janela e atrás do prisma de tal forma que a luz pudesse passar através de um pequeno buraco feito nela (...) e incidir na outra prancha (...) tendo primeiro feito um pequeno buraco nela também, para um pouco da luz Incidente passar através dele. Então eu coloquei um outro Prisma atrás dessa segunda prancha, de tal modo que a luz que atravessou ambos os anteparos pudesse passar através dele também e ser novamente refratada antes de atingir a parede.” (SILVA; MARTINS, 1996, p. 318).

Lohne (1968), que esmiuçou a história em torno deste experimento, o descreve como exemplo de “supremo interesse para a história da óptica” e que com frequência é utilizado “como modelo de um verdadeiro método científico”. E devido ao estilo limpo, pessoal e sincero com o qual Newton apresenta seu método experimental, Lohne ainda considera que este tratado é “ciência popularizada em seu melhor” com uma excepcional clareza de exposição (LOHNE, 1968, p. 181 tradução nossa).

De fato, esta experiência “crucial”, segundo a visão de Newton, é primorosa pela capacidade de conduzir indutivamente o pensamento do leitor às conclusões dele. Mais do que a experiência em si, estas conclusões e seu impacto no pensamento científico da época carregam a marca da controvérsia presente na base da atividade filosófica e científica dos anos de 1670, a década da luz e das cores (LOHNE, 1968; BERNARDO, 2009).

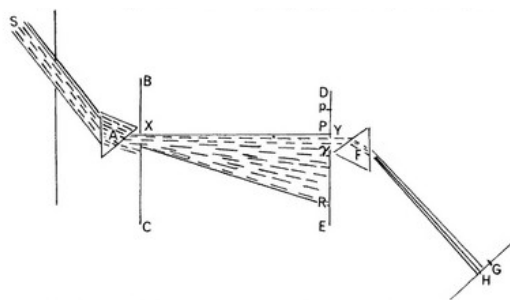
Continuando, Newton afirmava:

“Eu vi pela variação daqueles lugares [na parede] que a luz (...) sofreu no segundo Prisma uma Refração consideravelmente maior que a luz tendendo para a outra extremidade. E assim a verdadeira causa do comprimento da Imagem foi detectada não ser outra, senão que a *Luz* consiste em *Raios diferentemente refrangíveis* que, sem qualquer diferenças em suas incidências, foram, de acordo com seus graus de refrangibilidade, transmitidos em direção a diversas partes da parede” (SILVA; MARTINS, 1996, p. 318).

Para Newton, portanto, estaria “crucialmente” provado que a luz branca é constituída de raios com diferentes propriedades propagatórias, a refrangibilidade.

As pesquisas sobre o contexto histórico e filosófico do *Experimentum Crucis*, a origem do termo, as bases experimentais da época e a polêmica em torno das conclusões que Newton chegara são abundantes¹. Neste trabalho, restringiremo-nos na sua reprodução, mais exatamente na construção tátil-visual de um dos diagramas que Newton fez deste experimento (Figura 1). Propomos uma maneira diferente de reproduzir o *Experimentum Crucis*, quase 350 anos depois de sua divulgação, uma que possibilite entendê-lo sem fazer rigorosamente o uso da visão. O quadro que é produto deste trabalho é parte de uma pesquisa de mestrado que busca realizar reproduções históricas desta e de outras experiências em óptica de modo multissensorial e inclusivo para pessoas com deficiência visual. Como um quadro, ele foi planejado para ser inserido no contexto práticas de ensino assentadas nos vínculos entre ciência e arte.

1 Ver Lohne (1968), Holstmark (1970) Silva e Martins (1996) e Bernardo (2009), Grusche (2015), Martins e Silva (2015), Raicik, Peduzzi e Angotti (2017a), Ribeiro (2017), entre outros.

Figura 1: Diagrama do *Experimentum crucis*

Fonte: Lohne (1968).

Experiências históricas no ensino inclusivo de óptica

Apesar de não estudarmos aqui o histórico das reproduções do *Experimentum Crucis*, referências sobre ele não faltam em livros didáticos (RAICIK; PEDUZZI; ANGOTTI, 2017b) e versões dele de baixo custo são acessíveis para estudantes em laboratórios de óptica (BARROS; SARAIVA; SCHMIEDECKE, 2017), não foi possível encontrar até o presente uma tentativa de montagem experimental que aliasse sua reprodução histórica com a acessibilidade para pessoas com deficiência visual. De fato, adaptar experimentos de física e, mais especificamente, em óptica, para a demanda inclusivista ainda é uma tarefa que precisa ser aprofundada.

Este experimento, em sua época, assumiu importância capital para a defesa de uma teoria física para o fenômeno das cores. Contemporâneos de Newton, antagonistas ou defensores de suas teses, construíram a reputação do *Crucis*. Hoje, temos referências dele estampadas em camisetas, capas de álbuns de rock, muros e murais pelas ruas... Além de um marco na história da ciência, ele tomou espaço em nossa cultura artística e cultural e celebra, por assim dizer, um construção histórica entre ciência e arte.

A natureza fenomenológica da luz e das cores pode, em primeira instância, ser absolutamente dominada pela percepção visual. Porém, como indica Camargo (2011), para entender a estrutura de um fenômeno óptico, criamos esquemas, diagramas e modelos geométricos que simplificam a complexidade do mundo material e do fenômeno luminoso. Estes esquemas são importantes para se construir imagens mentais dele. Modelos da natureza da luz, como o do “raio” e o de “onda”, ambos presentes no pensamento científico do século XVII, são signos ontológicos que constroem o pensamento abstrato e lógico sobre a luz, as cores e os fenômenos ópticos mais variados (RAMOS, 2019).

Além disso, como assegura-nos Leontiev, “é por meio da linguagem, da sua função comunicativa, que o homem pode se apropriar das aquisições históricas da humanidade (...) que estão no seu mundo e nas grandes obras da cultura humana” (LEONTIEV apud BOSS et al, 2008, p. 2).

Podemos aceitar que os impactos do *Experimentum Crucis* na ciência o colocam, polêmica ou consensualmente, como uma obra da cultura científica de grande envergadura. Reproduzi-lo nos dias de hoje é uma oportunidade de fazer comunicar um pouco desta da cultura. Seré, Coelho e Dias (2002) nos lembram que nas atividades experimentais os alunos são incitados a comunicarem-se com o mundo de suas ideias e com o mundo das teorias, mediados pela linguagem que a experimentação proporciona, dando um “verdadeiro sentido ao mundo abstrato e

formal das linguagens” (op. cit, p. 39). Esta verdadeira articulação mundo real x mundo abstrato é particularmente rica de ser explorada nas aulas de óptica para alunos com deficiência visual. Cor e luz estão na linguagem, na cultura, presentes muito além da percepção visual; assim, a experimentação em óptica apresenta para estes alunos – e para os normovisuais – uma especial condição de “encontrarem-se” e “comunicarem-se” com as bases teóricas físicas que sustentam fenômenos que extravazam o mundo material e encontram ecos em quase toda atividade humana.

Multissensorialidade e deficiência visual

A multissensorialidade é um conceito que orienta a metodologia didática para o ensino inclusivo de pessoas com deficiência visual e também com outras dificuldades. Apresentada por Soler (1999), sustenta-se em evidências de diversas áreas que demonstram que as informações sensoriais que fazemos do mundo são, por essência, uma síntese complexa de todos os sentidos. “Todo o conhecimento é construído socialmente como resultado de uma complexa atividade de funções intelectuais (VIGOTSKI, 2001), tendo-se na multissensorialidade uma condição ontológica” (BIANCHI, RAMOS, BARBOSA-LIMA, 2016, p. 160).

Esta “condição ontológica” nos autoriza a lançar mão de um pressuposto: pessoas com deficiência visual, inclusive a cegueira congênita, podem aprender conceitos sobre luz, cor e fenômenos ópticos. A multissensorialidade é uma ferramenta importante para orientar a produção de materiais didáticos especializados e, ao mesmo tempo, ser útil para o aprendizado de normovisuais.

Em termos da combinação de informações sensoriais, este trabalho aplica a multissensorialidade ao encontro daquelas de origens táteis e visuais, mas que poderia muito bem se basear em informações sonoras, gustativas e olfativas. Assegura-nos esta afirmação pesquisas em psicologia neurocognitiva sobre sinestesia audiovisual associada às cores (GOLLER; WARD; OTTEN, 2009) e algumas montagens multissensoriais tátil-visual-gustativas também com cores (CAMARGO et. al, 2009).

Metodologia

Como construir um quadro tátil-visual de um diagrama famoso na história da ciência que, em sua essência, representa um experimento que revolucionou as noções de cores e de luz? A multissensorialidade é a base deste processo de planejamento e confecção, mas, quais os limites da representação tátil? Como diferenciar cada uma das cores de maneira precisa, artística e fisicamente coerente? Estas questões são pertinentes uma vez que a percepção tátil segue referenciais cognitivos diversos daqueles que estruturam a visão (HATWELL; STRERI; GENTAZ, 2000). Tendo como base um conjunto de pesquisas em torno dos desafios da montagem destes tipos de materiais (CAMARGO; NARDI, 2007; CAMARGO et. al, 2009, entre outros), bem como a partir da experiência prévia dos autores deste trabalho, destacamos algumas condições, que devem estar presentes no planejamento e na confecção deste e de outros materiais que trabalhem conceitos de luz e cor de maneira tátil-visual: 1) é preciso diferenciar todas as cores através de diferentes texturas e utilizando materiais com gramaturas, formatos e sequenciamentos diferentes; 2) as representações dos diferentes raios (ou ondas) de luz e cor precisam estar espaçadas, ou de alguma maneira seccionadas por algum elemento tátil específico, para que cada uma delas seja perfeitamente reconhecível e diferenciável entre si; 3) o material tátil-visual todo não deve ter

dimensões maiores que 50x50 cm² para garantir que durante o percurso tátil o aluno com deficiência visual consiga gerar uma imagem espacial mental efetiva.

Tendo em vista que o diagrama que utilizamos representa o fenômeno da dispersão cromática (ou refração prismática) a partir de informações visuais, as condições citadas acima trazem alguns problemas de ordem prático-metodológica, a saber: a partir da primeira condição, percebe-se a necessidade de elaborar uma estrutura lógica para representar analogicamente cada uma das cores. Esta estrutura deve, desde que possível, se orientar em informações físicas que não necessariamente estão contidas no diagrama original; a segunda condição conduz a uma alteração da *visualidade* do fenômeno. Isto é, para garantir o espaçamento ou diferenciação dos raios (ou ondas) de luz e cor, é necessário abdicar, por exemplo, da continuidade do espectro luminoso²; a última impõe restrições ao tamanho de qualquer material tátil-visual, bem como de seus elementos constituintes.

Materiais utilizados

Uma placa de papel pluma: 50x36 cm² (quadro); tiras de barbante branco; cola incolor para artesanato; dois primas triangulares equiláteros de acrílico com 3 cm de aresta; tintas acrílicas em oito cores: branco, vermelho, alaranjado, amarelo, verde, ciano, azul e violeta; spray de artesanato na cor preta; duas tiras de papel pluma com 36x1 cm²; estilete; régua de 30 cm e pincéis;

Para as texturas de cada cor, usamos, exceto para a cor branca, o conceito de *fotontátil*, uma construção semântica que sintetiza uma abordagem multissensorial da luz para representar a natureza da luz, o fóton. Este conceito foi criado e utilizado na Monografia de conclusão de curso de um dos autores (RAMOS, 2019). Para representar cada cor, usaremos diferentes granulados: vermelho (feijão azuki); alaranjado (miçanga rosca); amarelo (miçanga gota); verde (miçanga mini-rosca e fitilho); ciano (fitilho); azul (miçanga mini-rosca) e violeta (vidrilho).

Montagem

Riscamos no papel pluma de medidas 25x40 cm² o desenho escolhido do *Experimentum crucis*, com o feixe de luz branca incidindo no prisma da esquerda para a direita e os feixes dispersados saindo deste em sua face oposta. Aquele feixe branco foi composto de tiras de barbante. Com o prisma tendo um dos vértices para baixo, seguindo a conclusão de Newton que os raios violetas são os mais refrangíveis e os vermelhos, o oposto, os raios de luz do diagrama de Newton e de nosso quadro são, de cima para baixo: violeta, azul, ciano, verde, amarelo, alaranjado, amarelo e violeta. Procuramos garantir que a representação do violeta fosse, de fato, mais refratada ao passar e sair do prisma e a do vermelho, a menos.

As duas pranchas que Newton descreve foram representadas com as tiras de papel pluma de 30x1 cm², e os respectivos orifícios foram feitos com estilete como simples secções retas nestes papéis.

Colamos o sequenciamento de *fotontáteis*, depois passamos o spray preto, pintamos de cada cor e, por fim, colamos os prismas de acrílico. O *Experimentum crucis* de Newton multissensorial ficou assim (Figura 2):

2 A luz solar tem espectro contínuo, o que não é verdade para todas os tipos (fontes) de luz presentes em nossos dias.

Figura 2: O *Experimentum Crucis* de Newton multissensorial

Fonte: Autores (2020).

À guisa de conclusão

O quadro tátil-visual apresentado pode ser pensado como uma comunicação histórico-científica inclusiva pautada na aplicação da multissensorialidade, com o objetivo de inserir didaticamente um experimento histórico em óptica que mudou a ciência em seu tempo. Este quadro pode ser apresentado de maneira acessória à reprodução histórica do *Experimentum Crucis*, como um material que garanta a acessibilidade em museus de ciência (CARAÇA, 1997, apud JARDIM; GUERRA, 2017), como um potencializador da reconstrução do aparato instrumental (HEERING; HÖTTECKE, 2014) a partir de narrativas históricas (CHANG, 2011, apud JARDIM; GUERRA, op. cit), como um material didático para ambientes formais de ensino, entre outras formas de aplicação.

Propor para professores e pesquisadores a confecção de materiais tátil-visuais que representem experimentos históricos também é um dos objetivos deste trabalho. As práticas da inclusão social de alunos com deficiência visual em aulas de física não devem encontrar nenhuma restrição; é necessário repensar as práticas laboratoriais na formação de professores, é preciso inserir e adaptar inclusivamente experimentos científicos em turmas do ensino básico regular, é preciso em que museus de ciências proliferem mais projetos de acessibilidade na essência de suas instalações e exposições...o ambiente social de ensino-aprendizado deve se preparar para a diversidade, para o outro, para a sua especificidade, e não ao contrário, como se evidencia sob o paradigma exclusivista, em que o outro deve se adequar ao social. De certa maneira, uma versão multissensorial do *Experimentum Crucis* de Isaac Newton é uma releitura, dentre muitas que este experimento já teve, inclusive desde antes de Newton³, e revisitá-lo criativamente frente às necessidades educacionais do mundo de hoje. Esta proposta de releitura que fazemos hoje cabe bem sob à égide da perspectiva Ciência e Arte: encontros entre o tradicional e o revolucionário, entre o afetivo e o objetivo, entre as sensações e razão (ROOT-

3 Em Lohne (1968, p. 175), checar um interessante antecessor do *Experimentum Crucis* de Newton, não assim chamado, de certo, nas experiências do boêmio Marcus Marci (1595-1667)

BERNSTEIN et. al, 2011) são apostas que reposicionam as criações artísticas e científicas em sinergia. Uma necessidade de saberes que conduzam à ações transformativas na materialidade dos nossos tempos. A deficiência visual, neste aspecto, pode ser – e segundo nossa defesa, deve ser – objeto investigativo-criativo daqueles e daquelas que levam a perspectiva Ciência e Arte para ambientes de ensino, apontando saberes e práticas para transformações reais na realidade da educação brasileira.

Por fim, como quando d'um diálogo que pretende se estender e se espriar por múltiplos caminhos e inúmeros encontro de interlocutores, mas já é tarde, o tempo é curto, propomos que se continue conversando através de uma pergunta-elo para esta cadeia comunicativa: como contar multissensorialmente a história da ciência experimental de maneira artística e acessível às pessoas com deficiência visual? É por este novelo que seguimos fiando...

Agradecimentos

Os autores agradecem a Sofia Castro Hallais pelas discussões e sugestões feitas durante o trabalho.

Referências

- BARROS, N. R.; SARAIVA, C. P.; SCHMIEDECKE, W. G. *O “experimento crucial” das cores de newton e algumas contribuições no processo de formação de professores de física*. Suzano: Revista Interfaces, ano 9, n. 5, jul. 2017. ISSN: 2176-5227.
- BERNARDO, L. M. *História da luz e das cores*, v. 1. 2ª ed. Porto: Universidade do Porto, 2009.
- BIANCHI, C; RAMOS, K.; BARBOSA-LIMA, M. C. *Conhecer as cores sem nunca tê-las visto*. Ens. Pesqui. Educ. Ciênc. Belo Horizonte, v. 18, n.1, p. 147-164, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21172016180108>.
- BOSS, S. L. B.; MIANUTTI J.; SOUZA FILHO, M. P.; CALUZI, J. J. *O uso de experimentos de física no início da educação fundamental: uma análise à luz da psicologia sócio-histórica*. Anais do XI EPEF, Curitiba, 2008.
- CAMARGO, E. P. *Ensino de óptica para alunos cegos: possibilidade*. Curitiba: CPV, 2011.
- CAMARGO, E. P.; BIM, C.; OLIVO, J. S.; FREIRE, R. F. H. *Disco de Newton multissensorial*. Física na Escola, v. 10, n. 2, 2009.
- CAMARGO, E. P.; NARDI, R. *Dificuldades e alternativas encontradas por licenciandos para o planejamento de atividades de ensino de óptica para alunos com deficiência visual*. Rev. Bras. de Ens. de Fís., v. 29, n. 1, 2007.
- GRUSCHE, S. *Revealing the nature of the final image in Newton’s Experimentum Crucis*. Ame. J. of Physics, v 83, n. 7, jul., 2015, p. 583-589. <http://dx.doi.org/10.1119/1.4918598>.
- GOLLER, A. I.; OTTEN, L. J.; WARD, J. *Seeing sounds and hearing colors: an event-related potencial study of auditory-visual synesthesia*. Norwich: J. of Cognit. Neuros., v. 10, n. 21, 2009, p. 1869-1881.

HATWELL, Y.; STRERI, A.; GENTAZ, E. *Toucher pour connaître*. Psychologie cognitive de la perception tactile manuelle. Collection: Psychologie et sciences de la pensée. Paris: Presses universitaire de France, 2000.

HEERING, P.; HÖTTECKE, D. *Historical-Investigative Approaches in Science Teaching*. In: MATTHEWS, M. R. (Org.). *Internacional handbook of research in history, philosophy and science teacing*. New York: Springer, 2014, p. 1473-1502.

HOLSTMARK, T. *Newton's Experimentum Crucis Reconsidered*. *Ame. J. of Physics*, v. 38, n. 10, out. 1970. p. 1229-1235.

JARDIM, W. T.; GUERRA, A. *Experimentos históricos e o ensino de física: agregando reflexões a partir da revisão bibliográfica da área e da história cultural da ciência*. *Investigações em Ensino de Ciências*, v 22 (3), dez. 2017, p. 244-263.

LOHNE, J. A. *Experimentum Crucis*. *Notes and Records of the Royal Society of London*, v. 23, n. 2, dez., p. 169-199, 1968.

MARTINS, R. A.; SILVA, C. C. *As pesquisas de Newton sobre a luz: Uma visão histórica*. *Rev. Bras. de Ens. de Fís.*, v. 37, n. 4, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-11173731817>.

RAIČIK, A. C.; PEDUZZI, L. O. P.; ANGOTTI, J. A. P.; *Da instantia crucis ao experimento crucial: diferentes perspectivas na Filosofia e na ciência*. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 22 (3), dez. 2017a, p.192-206. DOI:10.22600/1518-8795.ienci2017v22n3p192.

_____: *Análise da ilustração do experimentum crucis de Newton em materiais de divulgação científica*. *Física na Escola*, v. 15, n. 2, 2017.

RAMOS, K. S. *Ondas, cores e "fotontáteis" de luz: um quadro tátil para o ensino de óptica ondulatória para deficientes visuais*. 2019 , p. 67. (Monografia, Licenciatura em Física) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

RIBEIRO, J. L. P. *"Sobre as cores" de Isaac Newton: uma tradução comentada*. *Rev. Bras. de Ens. de Fís.*, v. 39, n. 4, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2016-0307>.

ROOT-BERNSTEIN, B.; SILER, T.; BROWN, A.; SNELSON, K. *ArtScience: Integrative Collaboration to Create a Sustainable Future*. *ISAST, Leonardo*, v. 44, 2011, p. 192.

SILVA, C. C.; MARTINS, R. A. *A "Nova teoria sobre luz e cores" de Isaac Newton: uma tradução comentada*. *Rev. Bras. de Ens. de Fís.*, v. 18, n. 4, dez. 1996.

SOLER, M. A. *Didáctica multisensorial de las ciencias*. Barcelona, Ediciones Paidós, S. A., 1999.

VIGOTSKI, L. S. *A formação social da mente*. 7 ed, São Paulo: Martins Fontes, 2001.