

Este arquivo contém o texto completo do seguinte trabalho:

SILVA, Cibelle Celestino & MARTINS, Roberto de Andrade. A teoria das cores de Newton: um exemplo do uso da história da ciência em sala de aula. *Ciência & Educação* **9** (1): 53-65, 2003.

Este arquivo foi copiado da biblioteca eletrônica do Grupo de História e Teoria da Ciência <<http://www.ifi.unicamp.br/~ghtc/>> da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), do seguinte endereço eletrônico (URL):

<<http://ghtc.ifi.unicamp.br/pdf/ram-94.pdf>>

Esta cópia eletrônica do trabalho acima mencionado está sendo fornecida para uso individual, para fins de pesquisa. É proibida a reprodução e fornecimento de cópias a outras pessoas. Os direitos autorais permanecem sob propriedade dos autores e das editoras das publicações originais.

This file contains the full text of the following paper:

SILVA, Cibelle Celestino & MARTINS, Roberto de Andrade. A teoria das cores de Newton: um exemplo do uso da história da ciência em sala de aula. *Ciência & Educação* **9** (1): 53-65, 2003.

This file was downloaded from the electronic library of the Group of History and Theory of Science <<http://www.ifi.unicamp.br/~ghtc/>> of the State University of Campinas (UNICAMP), Brazil, from following electronic address (URL):

<<http://ghtc.ifi.unicamp.br/pdf/ram-94.pdf>>

This electronic copy of the aforementioned work is hereby provided for exclusive individual research use. The reproduction and forwarding of copies to third parties is hereby forbidden. Copyright of this work belongs to the authors and publishers of the original publication.

A TEORIA DAS CORES DE NEWTON: UM EXEMPLO DO USO DA HISTÓRIA DA CIÊNCIA EM SALA DE AULA

Newton's color theory: an example of the use of the History of Science in classroom situations

'Cibelle Celestino Silva'

'Roberto de Andrade Martins'

Resumo: Neste artigo, discutiremos o trabalho sobre luz e cores de Newton publicado em 1672 para vermos exemplos de questões que podem ser abordadas em sala de aula através da História da Ciência. No entanto, alguns cuidados devem ser tomados para não apresentarmos uma visão distorcida do método científico e uma idéia mítica sobre a Ciência. Este estudo analisa o experimento principal de Newton cuja intenção era mostrar que a luz branca é uma mistura de raios com diferentes refrangibilidades. Embora atualmente essa teoria seja aceita e ensinada sem discussão, um estudo histórico-crítico sobre ela levanta muitas questões que serão discutidas neste artigo.

Unitermos: Isaac Newton, História da Óptica, teoria das cores, ensino de ciências, método científico.

Abstract: *This paper analyses some features of Newton's theory of light and colors, especially as presented in his paper of 1672, as an example of the classroom use of History of Science. Although this theory is nowadays accepted and taught without discussion, it is not so simple as it seems and many questions arise from a critical study. Besides, an inadequate use of History of Science in Science Teaching may convey to the students a wrong conception of the scientific method.*

Keywords: *Isaac Newton, History of Optics, theory of colors, Science Teaching, scientific method.*

Introdução

Atualmente assume-se que o uso da História da Ciência é importante para o ensino de ciências³. Apesar disso, há uma grande carência de livros e artigos que apresentem exemplos de como utilizar a História da Ciência em sala de aula, principalmente na língua portuguesa. Neste artigo, discutiremos o trabalho sobre luz e cores de Newton publicado em 1672⁴ para vermos algumas questões que podem ser abordadas em sala de aula através da História da Ciência.

Normalmente a teoria das cores de Newton é apresentada nos livros didáticos como bastante simples e direta, além de ser considerada como um exemplo de apresentação do método científico. Os livros-texto também levam a crer que é fácil chegar às mesmas conclusões que Newton a partir dos seus experimentos. Veremos que a teoria das cores de Newton não é simples como os livros-texto a apresentam, já que seus argumentos não são tão diretos quanto parecem. Discutiremos certos detalhes de seus experimentos, as idéias implícitas em sua argumentação e também alguns outros trabalhos da época sobre o assunto.

¹ Pós-doutoranda no Grupo de História e Teoria da Ciência, DRCC, Instituto de Física "Gleb Wataghin", UNICAMP, Campinas, SP – e-mail: cibelle@ifi.unicamp.br

² Coordenador do Grupo de História e Teoria da Ciência, DRCC, Instituto de Física "Gleb Wataghin", UNICAMP, Campinas, SP – e-mail: rmartins@ifi.unicamp.br

* Os autores agradecem o apoio recebido do CNPq, CAPES e FAPESP.

³ Para mais detalhes sobre a importância da História da Ciência no ensino de Ciências veja, por exemplo, PEDUZZI 2001, BEVILACQUA & GIANNETTO 1996, MATTHEWS 1994.

⁴ Para uma tradução comentada em português deste artigo veja Silva & Martins, 1996.

Este trabalho de Newton é particularmente interessante para ser usado em sala de aula pois é possível acompanhar passo a passo a argumentação de Newton e também discutir certos aspectos epistemológicos da Física. No entanto, a História da Ciência (como qualquer outra coisa) pode ser mal usada em sala de aula levando a uma visão equivocada sobre a Ciência. Por isso, devemos tomar grande cuidado para garantir um uso adequado dos recursos históricos no ensino de Ciências.⁵

História da Ciência e Ensino

Há muitas formas de se usar a História da Ciência como um elemento no ensino de Ciências. A escolha depende do objetivo pedagógico e do tipo de estudantes, que pode incluir estudantes de nível médio, estudantes de graduação, professores, etc. O objetivo pode ser aprender teorias científicas e conceitos, discutir sobre a natureza da Ciência e seu método, a relação entre Ciência e o contexto social, entre outras coisas.

No caso do artigo de 1672 de Newton, poderíamos ter como objetivos: exibir um conceito particular de método científico; apresentar trabalhos científicos para não-cientistas; ensinar Física (a teoria clássica das cores). Vamos discutir cada um desses pontos:

Método científico

Professores de Física (mesmo do nível universitário) algumas vezes não entendem a natureza da Ciência. Ainda há uma crença muito difundida em um modelo indutivista de pesquisa científica (Abimbola, 1983; Hodson, 1985), que já foi rejeitado pelos filósofos da ciência recentes. Professores que não têm interesse e nem formação em História e Filosofia da Ciência, usualmente transmitem uma visão distorcida da pesquisa científica para seus estudantes (Matthews, 1988). Eles tentam mostrar como se obtém uma teoria a partir da observação e experimentos ou como se pode *provar* uma teoria – apesar da impossibilidade filosófica de ambas as tentativas. Às vezes os professores não estão cientes de sua falta de entendimento e usam a História da Ciência para melhorar o ensino. No entanto, o tipo de História da Ciência que eles usam é distorcida e simplificada – o tipo que os historiadores da Ciência chamam de “historiografia Whig”⁶ (Brush, 1974; Siegel, 1979).

O estudo cuidadoso da História da Ciência pode ajudar bastante a entender a natureza da Ciência. Pumfrey (1991), por exemplo, lista algumas importantes componentes da visão contemporânea sobre a pesquisa científica que podem ser apreendidas através da História da Ciência:

1. Uma observação significativa não é possível sem uma expectativa pré-existente.
2. A natureza não fornece evidências simples o suficiente que permitam interpretações sem ambigüidade.
3. Teorias científicas não são induções, mas sim hipóteses que vão necessariamente além das observações.
4. Teorias científicas não podem ser provadas.
5. O conhecimento científico não é estático e convergente, mas sim mutável e sem fim.
6. Uma formação prévia dentro de um mesmo paradigma é uma componente essencial para que haja acordo entre os cientistas.
7. O pensamento científico não se constrói sem influência de fatores sociais, morais, espirituais e culturais.
8. Os cientistas não constroem deduções incontestáveis, mas sim julgamentos complexos e especializados.
9. O desacordo é sempre possível.

⁵ Para uma discussão de um exemplo do mau uso da História da Ciência no ensino veja Martins & Silva, 2001.

⁶ A expressão “interpretação Whig da História” foi introduzida pelo historiador Herbert Butterfield para se referir ao tipo de História que interpreta o passado como uma evolução crescente, linear, que leva àquilo que se quer defender atualmente.

A análise do trabalho de Newton de 1672 que faremos aqui mostra um exemplo de quase todas essas componentes da natureza da ciência. Mas, para isso, é necessário *lê-lo e discuti-lo criticamente considerando seu contexto* para que os aspectos acima indicados sejam compreendidos.

Uma apreciação correta do trabalho de 1672 de Newton requer um conhecimento de seus trabalhos anteriores, bem como de outros pesquisadores da época. Também pode ser necessário o estudo dos contextos filosófico, tecnológico e social nos quais Newton desenvolveu suas pesquisas. Apenas assim, podemos adquirir uma boa idéia de como se desenvolve a prática científica.

Ciência para não cientistas

Muitos professores de Ciência desejam mostrar que qualquer um pode entender e gostar da Ciência. Há algo de verdadeiro nesta afirmação: as pessoas podem entender e gostar *de algumas partes ou aspectos* da ciência. Muitas pessoas podem gostar de música, mas poucas são capazes de entender sua estrutura, tocar ou compor boa música. Para ser um bom pianista, qualquer um deve passar por um treinamento técnico, que pode ser difícil e às vezes enfadonho. O mesmo tipo de coisa ocorre com a Ciência. Não devemos apresentar os cientistas como semideuses (é sempre bom lembrar que cientistas são humanos e falham). Por outro lado, as dificuldades do treinamento científico não devem ser subestimadas.

Ao ensinarmos Física para não cientistas há sempre o risco de apresentarmos uma Ciência “água com açúcar”, que evita os aspectos difíceis – como medidas, equações, argumentos complexos e outros. De fato, há muitas coisas interessantes sobre Ciência que podem ser aprendidas sem entrar em detalhes técnicos. No entanto, parece-nos que a História da Ciência não é a melhor maneira de apresentar os aspectos simples da Ciência. É claro que é possível usar a História da Ciência “externalista” – que enfatiza questões como a influência dos fatores sócio-culturais sobre o desenvolvimento de teorias científicas, a relação entre desenvolvimento técnico e científico – sem a análise dos aspectos “difíceis”. No entanto, se o objetivo é ensinar Ciência através da História da Ciência, será impossível evitar os detalhes técnicos.

Conhecimento científico

Há uma importante distinção entre *conhecimento científico* e *crença científica*. Dizemos que alguém tem conhecimento científico sobre algum assunto se ele ou ela sabe os resultados científicos, aceita esses resultados e *tem o direito de aceitá-los* pois sabe como este conhecimento é justificado e sobre o que está baseado.⁷ Crença científica, por outro lado, corresponde ao conhecimento dos resultados científicos, junto com sua aceitação como verdade, quando essa aceitação é baseada no respeito à autoridade do professor ou dos cientistas. Além do mais, é muito mais fácil adquirir crença científica do que conhecimento científico.

Uma forma de adquirir conhecimento científico, no sentido acima, é estudar História da Ciência – mas não a “Whig history”. É necessário estudar o contexto científico, as bases experimentais, as várias alternativas da época, o processo dinâmico de descoberta (ou invenção), justificação e difusão de teorias. Desta forma é possível entender como uma teoria foi justificada e por quais razões foi aceita.

Ao invés de discutirmos as componentes da visão contemporânea sobre a pesquisa científica que podem ser apreendidas através da História da Ciência apontadas anteriormente

⁷ Essa distinção foi apontada por Rogers, 1982, porém com uma diferença – ele assumiu que o conhecimento científico é verdadeiro. É claro que o conhecimento científico é aceitável, bem fundamentado e útil, mas ele é transitório e não verdadeiro, em um sentido filosófico.

de uma forma geral e abstrata, vamos nos aprofundar na teoria das cores de Isaac Newton, particularmente em seu artigo publicado em 1672.

A deflexão da luz por um prisma

Em 1672 Newton apresentou seu conceito de que a luz é “uma mistura heterogênea de raios com diferentes refrangibilidades” – cada cor correspondendo a uma diferente refrangibilidade. Apresentou também vários experimentos para corroborar sua teoria. No primeiro, um feixe de luz solar passava através de um prisma, formando uma mancha em uma parede. Newton notou que a mancha não era circular como o disco solar – ela era alongada. Para explicar este efeito, assumiu que a luz branca do Sol era composta de muitos raios diferentes. Cada tipo de raio seria refratado em uma direção diferente e seria associado a uma cor diferente: “os Raios menos refrangíveis são dispostos a exibir a cor Vermelha, e [...] os Raios mais refrangíveis são todos dispostos a exibir uma Cor Violeta profunda” (Newton, 1672a, p. 321).

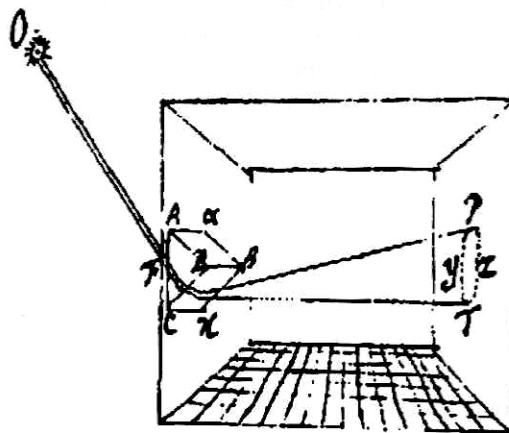


Figura 1. O esquema de Newton (não publicado em 1672) para o primeiro experimento de seu artigo de 1672.

Uma evidência importante a favor da teoria newtoniana foi seu *Experimentum Crucis*. Neste experimento, a luz passava através de dois prismas. O primeiro produzia um espectro colorido e o segundo era usado para estudar o desvio de cada cor. O experimento mostrou que cada cor do espectro não era separada pelo segundo prisma e que cada cor era desviada em um ângulo diferente. Em linguagem moderna, diríamos que a cada cor está associado um índice de refração diferente (para cada material transparente).

Os livros-texto modernos,⁸ apresentam o primeiro ou ambos os experimentos como evidência para a teoria de Newton de composição da luz branca. Veremos a seguir, que são necessários outros argumentos para chegarmos à teoria de Newton, além dos resultados experimentais.

A posição de mínimo desvio de um prisma

Quando Newton descreveu o experimento com um único prisma, comentou que a mancha projetada sobre a parede deveria ser circular e não alongada, de acordo com as “leis aceitas da refração”. Por que Newton esperava que a mancha deveria ser circular? Para entendermos

⁸ Veja por exemplo, Tipler, 1984, vol. 2b pp. 862-63 e Sears & Zemansky, 1973, vol. 2, p. 336. Não é apenas nos livros didáticos que existe uma apresentação equivocada da teoria das cores de Newton. Em alguns trabalhos de História da Ciência o mesmo tipo de exposição simplificada e ingênua é feito, veja por exemplo Tonnelat, 1960, vol. 2 pp. 115-38.

o que Newton quis dizer, é necessário analisarmos os detalhes de seu experimento e algumas considerações *implícitas* sobre a posição exata do prisma.

Há apenas uma posição do prisma que produziria uma mancha circular, de acordo com a lei cartesiana da refração. É a chamada “posição de mínimo desvio”. Se o prisma for rodado lentamente ao redor de seu eixo, veremos que a direção do raio refletido se altera. Há uma posição especial onde o ângulo entre a direção inicial do feixe e sua direção após passar através do prisma é mínimo. Nesta posição (Fig. 2), os raios incidente e refratado formam ângulos iguais dos dois lados do prisma. É possível provar que nesta posição, a mancha deveria ser circular.⁹

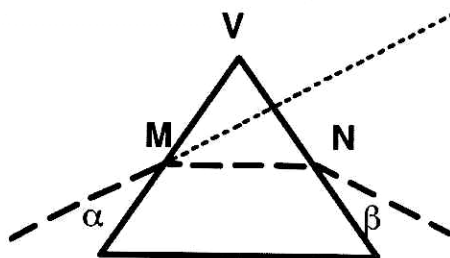


Figura 2. Um prisma na posição de mínimo desvio.

Newton conhecia essas propriedades do prisma e executou seus experimentos sobre cores na posição de mínimo desvio do prisma. Apesar disso, em seu artigo de 1672, forneceu apenas uma pequena descrição sobre a posição do prisma no primeiro experimento¹⁰ onde encontramos a seguinte observação: “Também as Refrações nos dois lados do Prisma, isto é, dos Raios Incidentes e Emergentes, eram tão próximas quanto pude fazê-las iguais [...]” (Newton, 1672a, p. 316). Mas qual a relevância de o prisma estar nesta posição? Newton calculou o ângulo formado entre os raios solares após atravessarem o prisma “e encontrou que os Raios emergentes deveriam compreender um ângulo de cerca de 31’, como faziam antes de incidir [no prisma]” (Newton, 1672a, p. 317). No entanto, o ângulo medido entre os raios era 2° 49’ ao invés de 31’. A discrepância entre os ângulos previstos e observados exigia uma explicação e a teoria de Newton tinha este objetivo.

Tudo isso mostra que a posição de desvio mínimo é uma condição necessária do primeiro experimento de Newton. Apesar disso, Newton não deixou claro em 1672 que esta posição era importante e também não ensinou como encontrá-la.

Quando Newton publicou seu primeiro artigo, muitas pessoas não entenderam que todo seu argumento dependia da posição do prisma. O primeiro crítico foi o padre francês Ignace Pardies que analisou o problema da incidência calculando o ângulo entre os raios emergentes do prisma para uma posição particular do mesmo, mostrando que seria possível dois raios atingirem a primeira superfície do prisma formando entre si um ângulo de 30’ e emergirem da segunda superfície formando um ângulo maior que 3° (Pardies, 1672, p. 87).¹¹

⁹ Para conhecer a demonstração de Newton da forma circular da imagem veja Silva, 1996, pp. 115-118.

¹⁰ Neste artigo, vamos nos referir ao primeiro experimento descrito por Newton em seu artigo de 1672 como “primeiro experimento de Newton”. Devemos nos lembrar que este não foi seu primeiro experimento óptico. É possível encontrar uma descrição de suas primeiras observações em seu caderno de anotações mantido entre 1664 e 1665. Veja Mcguirre & Tammy, 1983.

¹¹ Os cálculos de Pardies estão errados, embora seu método seja correto. Assim, em princípio Pardies está correto: é possível explicar o comprimento da mancha alongada de Newton supondo que todos os raios têm a mesma refrangibilidade. É notável que Newton não comentou sobre o erro nos cálculos de Pardies.

Em sua resposta a Pardies, Newton aceitou os cálculos do padre. No entanto, chamou a atenção de que eles não valeriam para seu experimento, pois assumiu que o prisma estava ajustado na posição de mínimo desvio, enquanto que Pardies não considerou esta posição particular. Após entender a importância da posição do prisma, Pardies concordou que a mancha formada pela luz refratada pelo prisma deveria ser redonda. O comportamento de Pardies mostra que ele não entendeu somente com a leitura do artigo de Newton de 1672 que a posição do prisma é uma condição crucial para a teoria de Newton. Estudando sua argumentação, vemos que suas críticas não eram tolas como podem parecer à primeira vista.

Apesar da importância da posição de desvio mínimo para a análise dos experimentos de Newton, os livros-texto não a discutem. Muito pelo contrário, apresentam as conclusões de Newton como óbvias e muito fáceis de serem atingidas.

Eliminação de diferentes hipóteses

Após compreendermos os aspectos teóricos existentes por trás do primeiro experimento de Newton, é possível entendermos sua primeira conclusão: os fatos estão em desacordo com a teoria de refração aceita. O que mais pode ser concluído deste experimento?

Tanto Newton quanto seus contemporâneos (Pardies, Hooke, Huygens, etc.) sugeriram *várias* explicações para este efeito. No artigo de 1672, Newton explorou algumas possibilidades. Ele testou se a forma alongada da mancha poderia ter sido causada pelas diferentes espessuras do prisma, pelo tamanho do buraco da janela, ou pela localização do prisma (dentro ou fora da sala).¹² Em todas essas variações do primeiro experimento, a mancha permanecia alongada.

No *Opticks* de Newton¹³ (publicado pela primeira vez em 1704) é muito mais evidente que ele não interpretou seu primeiro experimento de 1672 como evidência da composição da luz solar. Para provar esta proposição, apresentou este experimento seguido do comentário:¹⁴

Então, por esses dois experimentos, aparece que em incidências iguais, há refrações diferentes. Mas de onde esta diferença surge, se é por que alguns raios são mais refratados, e outros menos constantemente ou por acaso, ou se um mesmo raio é perturbado pela refração, dilatado, e como se fosse partido e dilatado em muitos raios divergentes, como Grimaldi supõe, não surge ainda deste experimento, mas aparecerá pelos seguintes. (Newton, 1996, p. 59).

Após esta observação, Newton apresentou 6 experimentos (Newton, 1996, p. 59-76) acompanhados por muitas variações e comentários, antes de concluir a prova de sua proposição. Portanto, vemos claramente que o próprio Newton percebeu que seu primeiro experimento não era suficiente para provar que a luz do Sol consiste em “raios com diferentes refrangibilidades”. Após eliminar várias explicações alternativas, Newton apresentou um importante novo experimento. Ele o chamou de *Experimentum Crucis* – uma referência óbvia a Francis Bacon – e provavelmente o considerou decisivo.

Os livros-texto apresentam este experimento como evidência suficiente para Newton concluir que a luz do Sol era heterogênea. Mas *não* era possível concluir isso, pois existiam outras explicações possíveis. Eram necessários outros experimentos e uma análise mais sofisticada.

¹² Sobre as modificações de Newton do primeiro experimento, veja Mamiani, 1976, p. 115.

¹³ Há uma tradução para o português deste importante livro de Newton, veja Newton, 1996.

¹⁴ Para mais informações sobre a teoria óptica de Grimaldi, veja Hall, 1987.

O “experimentum crucis”

Um experimento é sempre planejado após uma análise teórica. A idéia ingênua de que devemos ir para o laboratório com a “mente vazia” ou que “os experimentos falam por si só” é um velho mito científico. Quando Newton dedicou-se ao estudo das cores, estava profundamente preocupado com algumas teorias sobre a luz: teorias guiam os experimentos – e não o contrário.

No primeiro experimento de Newton, a forma alongada da mancha era produzida por diferentes cores. Cada cor emergia do prisma em uma direção diferente. Atualmente, interpretamos isso como uma *separação* das cores previamente existentes na luz branca. No entanto, essa não é a única (ou mesmo a mais intuitiva) interpretação.

A primeira idéia que ocorreu a todos da época – inclusive ao próprio Newton – foi que o prisma *produzia* cores – isto é, a luz branca seria *transformada* em uma série de cores pelo prisma. De fato, a luz branca sempre pareceu ser o tipo mais simples de luz. Quando ela passa através de um corpo colorido transparente ou translúcido ela adquire cores – e isso parece ser uma *transformação* da luz. Da mesma maneira, acreditava-se que o prisma *criava* as cores – isso não seria apenas uma *separação* das cores.

Em seu artigo de 1672, Newton já havia chegado à conclusão “correta”: cada cor espectral tem propriedades fixas e imutáveis; e cada cor tem uma refrangibilidade específica. Essa idéia de Newton não é intuitiva. Ela não surgiu automaticamente em sua mente, mas sim lentamente, após um trabalho intenso. O ponto principal foi descobrir se as cores podem ser transformadas e criadas ou não. Este é o objetivo principal do *Experimentum Crucis* de Newton.

Neste experimento (Fig. 3), um feixe de luz solar passa através de um primeiro prisma e atinge um anteparo com um pequeno furo, de modo que uma pequena parte do espectro (uma única cor) passe através dele. Este feixe secundário atinge um segundo prisma. Newton observou que o segundo prisma não mudava a cor do feixe secundário, notando também que cores diferentes sofriam deflexões diferentes no segundo prisma: a luz vermelha novamente sofria o menor desvio e a violeta o maior (Newton, 1672a, p. 318).

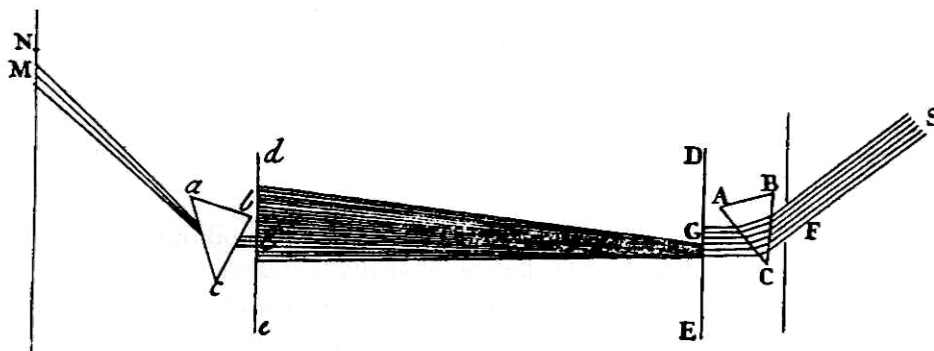


Figura 3. Esquema de *Optiks* mostrando uma das variantes do *Experimentum Crucis*.

Newton comparou este experimento ao que ocorria no caso da luz branca em um único prisma: cores diferentes aparecem e cada uma delas é defletida em uma direção diferente. Sua explicação foi que a luz branca consiste em uma mistura de todas as cores que aparecem no espectro, cada cor sendo *separada* das outras – mas não *criadas* – pelo prisma, devido suas diferentes refrangibilidades. Essa hipótese também explicaria a forma alongada da mancha do primeiro experimento:

[...] a verdadeira causa do comprimento da Imagem foi detectada não ser outra, senão que a Luz consiste em Raios diferentemente refrangíveis que, sem qualquer diferença em suas incidências, foram transmitidos em direção a diferentes partes da parede, de acordo com seus graus de refrangibilidade. (Newton, 1672a, p. 318)

A relação entre cor e refrangibilidade estabelecida por Newton não causou grande controvérsia. A questão problemática foi a composição da luz branca. Essa questão levou a uma controvérsia entre Newton e Hooke, Huygens e Pardies.¹⁵ Quando Newton publicou seus estudos sobre luz e cores, a obra *Micrographia* (publicada em 1665) de Hooke era um trabalho influente. Hooke defendia que a luz branca era um tipo simples de vibração não periódica e a luz colorida era uma modificação adquirida da luz branca ao ser refratada obliquamente (Hooke, 1961).¹⁶

No artigo de 1672, ele combinou as cores produzidas pelo prisma com a ajuda de uma lente convergente, produzindo luz branca, como mostra a figura 4.¹⁷ A luz branca composta produzida desta forma era visivelmente igual à luz solar. No entanto, nem este experimento nem o *Experimentum Crucis* provaram que esta luz resultante era realmente igual à luz solar. Poderia ser – como Hooke acreditava – que a luz branca do Sol fosse simples, e que as diferentes modificações da luz branca (as diferentes cores) poderiam se combinar pela compensação mútua de suas diferenças para produzir outro tipo de luz branca. Em todos os experimentos de Newton, a luz é refratada ao menos uma vez. Poderia acontecer que o meio refrator agisse sobre a luz mudando-a, de modo que todas as modificações permanecessem imutáveis nas refrações subseqüentes.

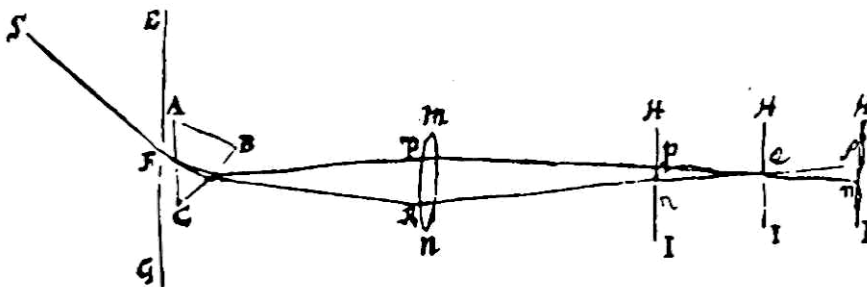


Figura 4. Esquema de 1672 mostrando a convergência dos raios coloridos, formando novamente luz branca.

A escolha entre a teoria de Newton e a “teoria de modificação” não pode ser decidida apenas por experimentos. De fato, é impossível perceber a existência de todas as cores na luz branca antes de ela ser refratada. Portanto, é sempre possível defender – seguindo Hooke – que, antes de qualquer transformação, a luz branca é simples e não composta.

Após as discussões com Hooke e Huygens, Newton percebeu que esta decisão teria que ser feita através de argumentos epistemológicos e não apenas através de experimentos (Newton, 1672b, p. 134). Para Newton não havia motivo para introduzir uma distinção entre dois tipos de luz branca se elas exibem as mesmas propriedades em todos os experimentos.

¹⁵ Para mais detalhes sobre essa controvérsia veja, por exemplo, Sabra, 1962.

¹⁶ Para mais detalhes sobre a teoria das cores de Hooke veja, por exemplo, Silva & Martins, 1997.

¹⁷ Além deste experimento, Newton apresentou vários outros experimentos para mostrar que a luz branca é uma mistura de raios diferentes, em resposta às críticas de Hooke.

A idéia por trás deste argumento epistemológico conhecido como *navalha de Occam* é que não devemos multiplicar as entidades se isso não for necessário: devemos escolher a teoria mais simples.¹⁸

Normalmente os livros-texto não discutem os detalhes da argumentação de Newton, supondo que os estudantes concluirão que a luz branca é uma mistura de raios apenas a partir do primeiro experimento ou, nos melhores casos, considerando também o *Experimentum Crucis*. No entanto, como mostramos acima, esta conclusão não é imediata e há outras interpretações possíveis dos experimentos de Newton – como, por exemplo, a interpretação de Hooke.

Cores primárias e compostas

Para entendermos todos os aspectos envolvidos na argumentação de Newton, é importante compreendermos sua distinção teórica entre cor simples (ou primária) e cor composta. Para desenvolver sua teoria, Newton criou um novo conceito de cor, distinguindo entre nossa sensação e as propriedades da luz em si. Ele estabeleceu cuidadosamente que raios diferentes de luz têm diferentes “disposições para exibir esta ou aquela cor particular”. O mesmo tipo de luz sempre produz a mesma sensação, mas a mesma sensação pode ser produzida por diferentes tipos de luz.

Nossos olhos não podem distinguir entre os dois tipos de luz. No entanto, elas podem ser distinguidas através de experimentos: a luz composta pode ser decomposta em duas ou mais componentes por um prisma, enquanto que a luz primária não. Segue-se desta *definição* que a luz branca não é simples – ela é composta pois pode ser decomposta em várias cores diferentes por um prisma¹⁹.

O *Experimentum Crucis* é útil pois mostra que, de fato, há cores puras. Pois se separamos um feixe estreito de luz, sua cor não será mudada por um segundo prisma. Além disso, é necessário mostrar que essa cor não pode ser decomposta ou mudada por outros meios (por exemplo: passando-a por um vidro colorido). Também é necessário testarmos se o conceito de cor composta se sustenta. Se misturarmos dois feixes puros de luz, por exemplo vermelho e amarelo, produzimos luz laranja. De acordo com o *conceito* de cor composta, este laranja não pode ser puro. No entanto, apenas a *experiência* pode mostrar se este laranja pode ser decomposto ou não. Poderia, em princípio, acontecer de a combinação de duas cores primárias diferentes, em alguns casos, resultar em uma cor diferente que não pudesse ser decomposta por um prisma.²⁰ Por essa razão, Newton teve que testar isso também, observando que sempre era possível obter as cores simples usadas para formar uma cor composta, com a ajuda de um prisma.

¹⁸ Newton usou constantemente esse tipo de argumento de simplicidade em seu trabalho. Em seu *Philosophiae naturalis principia mathematica* encontramos um conjunto de regras filosóficas. Duas delas, são: “Regra 1: Não admitimos mais causas para as coisas naturais do que aquelas que são verdadeiras e suficientes para explicar suas aparências. Regra 2: Portanto, para os mesmos efeitos naturais devemos, sempre que possível, atribuir as mesmas causas”. Essa uma apresentação clara da regra metodológica que Newton já havia usado antes em seus trabalhos sobre óptica. Veja Koyré et al, 1972, vol. 2, pp. 550-6.

¹⁹ Pode parecer que Newton estava apenas brincando com as palavras: se ele definiu cores simples e cores compostas, segue da definição que a luz branca é composta. Então toda a questão se reduz a uma escolha de definição. Se aceitarmos a definição de Newton, então, apenas um experimento – a “decomposição” da luz branca por um prisma – é suficiente para provar que a luz branca é composta. No entanto, essa definição não é arbitrária e está sujeita a testes experimentais de validação, como será mostrado adiante.

²⁰ Para entendermos esta possibilidade, vamos comparar a mistura de luzes puras com a mistura de substâncias químicas puras. Em alguns casos, podemos misturar duas substâncias puras e depois separá-las por processos físicos (destilação, ou outro processo). No entanto, em outros casos, a união de duas substâncias puras pode resultar em uma terceira substância, que não pode ser decomposta por processos físicos. Poderia acontecer com a luz algo semelhante, isto é, a combinação de cores poderia não ser separável por um prisma.

Uma outra parte importante da argumentação de Newton pode ser vista em seus esforços para mostrar que as cores espectrais não podem ser transformadas em cores diferentes – isto é, as cores espectrais são “imutáveis”. Em seu primeiro artigo, Newton fez muitos experimentos tentando modificá-las, sem obter nenhum resultado positivo. Sobre estes experimentos, ele nos diz

[...] refratei [os raios de uma cor] com Prismas e refleti-os com corpos que na luz do Dia eram de outras cores. Interceptei-os com filmes coloridos de Ar entre duas placas de vidro comprimidas; transmiti-os através de Meios irradiados com outros tipos de Raios, e limitei-os de várias formas; e contudo nunca pude produzir qualquer nova cor deles. (Newton, 1672a, p. 321)

De acordo com a teoria de Newton, corpos coloridos não transformam as cores da luz que recebem: eles agem como filtros, permitindo apenas que algumas cores sejam refletidas e outras absorvidas. Isso significa que

[...] qualquer corpo pode aparecer de qualquer cor. Eles não têm cor própria, mas sempre aparecem da mesma cor da luz lançada sobre eles, no entanto com a diferença que eles são mais brilhantes e vívidos na luz de suas próprias cores à luz do dia. (Newton, 1672a, p. 323)

De uma maneira geral, o estudo crítico do trabalho de Newton nos mostra que sua teoria não foi construída por uma pura “indução” dos experimentos, como o próprio Newton afirmava. Mas sim por uma complexa argumentação utilizando, além de experimentos, argumentos teóricos e epistemológicos.

Conclusão

O primeiro artigo de Newton apresentava um experimento onde um feixe de luz solar passava através de um prisma ajustado na posição de desvio mínimo e atingia perpendicularmente uma parede. De acordo com a lei da refração de Snell-Descartes, a mancha na parede deveria ter a forma circular – mas apenas cálculos teóricos complexos poderiam mostrar isso. Newton observou que a mancha era alongada e sua explicação para essa anomalia foi que a luz branca é uma mistura de raios de diferentes cores que também diferem em refrangibilidade. Para justificar essas afirmações, Newton desenvolveu uma inteligente combinação de experimentos e argumentos teóricos.

Newton estudou a relação entre cor e refrangibilidade no *Experimentum Crucis*, afirmando que a cada cor corresponde uma refrangibilidade definida, e vice-versa. Esta propriedade aplica-se apenas para cores puras – aquelas que não podem ser decompostas por um prisma. Este novo conceito foi central em sua argumentação.

Em um conjunto de experimentos, Newton não observou a mudança ou criação de novas cores ou mudanças de refrangibilidade. Como cores puras são imutáveis e como cada cor se relaciona com uma dada refrangibilidade, esta última também é imutável. Da imutabilidade da refração segue-se que ela deve ser a mesma antes de a luz ser refratada pelo prisma. Isto significa que o prisma não modifica e nem introduz novas características nos raios. Portanto os raios coloridos já estão presentes no feixe de luz branca antes dele passar pelo prisma. Sendo assim, o prisma simplesmente “decompõe” a luz branca em suas cores componentes.

Para confirmar sua teoria, Newton apresentou um outro experimento: os raios coloridos provenientes do prisma atravessavam uma lente convergente e em seu foco era formada luz branca, com as mesmas características da luz do Sol. Nesse ponto Newton utilizou um argumento epistemológico conhecido como “navalha de Occam”: como não se devem

multiplicar as entidades sem necessidade, essas duas luzes brancas – a luz solar e a produzida pela convergência dos raios coloridos – devem ser aceitas como sendo iguais.

Os livros-texto não exibem a estrutura da argumentação de Newton. Os livros não levantam a possibilidade de surgirem outras interpretações para esse experimento, já que ele não elimina a possibilidade de o prisma produzir as cores quando o feixe de luz branca o atravessa. Os estudantes que estudam por esses livros são obrigados a aceitar a teoria de Newton como uma “crença” científica e não como um “conhecimento” científico, já que vários outros experimentos são necessários para justificá-la. Além disso, a interpretação do método científico presente nesses textos está em desacordo com o conhecimento histórico e filosófico atuais.

Um correto entendimento da estrutura e dinâmica científica é essencial no ensino de Ciências. A teoria das cores apresenta muitos pontos problemáticos que, desde que bem discutidos, podem ser úteis para clarear vários aspectos da dinâmica científica que raramente são abordados em sala de aula. O estudo histórico do artigo de Newton de 1672 é um exemplo de como essas questões podem ser discutidas com os estudantes, pois o complexo argumento de Newton não corresponde a uma mera “indução” dos experimentos. Ao ensinarmos a teoria de Newton em sala de aula, é necessário que a apresentemos como ela é: uma bela, porém complexa, parte do trabalho científico que exhibe a interessante relação entre teoria e experimento presente na Ciência. A discussão detalhada da argumentação de Newton é um bom exemplo de como a História da Ciência pode ser usada no ensino para discutir a complexidade do trabalho científico.

Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES e à FAPESP pelo suporte financeiro, bem como aos pareceristas pelos comentários.

Referências bibliográficas

- ABIMBOLA, I. O. The relevance of the "new" philosophy of science for the science curriculum. *School Science and Mathematics*, v.83, p. 181-193, 1983.
- BEVILACQUA, F.; GIANNETTO, E. The history of physics and European physics education. *Science & Education*, v.5, p. 235-246, 1996.
- BRUSH, S. G. Should the history of science be rated X?. *Science*, v.183, p. 1164-1172, 1974.
- HALL, A. R. Beyond the fringe: diffraction as seen by Grimaldi, Fabri, Hooke and Newton. *Notes and Records of the Royal Society*, v. 41, p.111-143, 1987.
- HODSON, D. Philosophy of science, science and science education. *Studies in Science Education*, v.12, p. 25-57, 1985.
- HOOKE, R. *Micrographia or some physiological descriptions of minute bodies made by magnifying glasses. With observations and inquires thereupon*. London: J. Martyn and J. Allestry, 1665. Reimpressão: New York: Dover, 1961.
- KOYRÉ, A.; COHEN, I. B.; WHITMAN, A. *Isaac Newton's Philosophiae Naturalis Principia Mathematica, third edition (1726) with variant readings*. Cambridge: Cambridge University Press, 1972. 2.v.
- MAMIANI, M. *Isaac Newton filosofo della natura: le lezioni giovanili di ottica e la genesi del metodo Newtoniano*. Firenze: La Nuova Italia Editrice, 1976.

- MARTINS, R. A. ; SILVA, C. C. Newton and colour: the complex interplay of theory and experiment. *Science & Education*, v.10, n.3, p. 287-305, 2001.
- MATTHEWS, M. R. A role for history and philosophy of science teaching, *Educational Philosophy and Theory*, v.20, p. 67-81, 1988.
- MATTHEWS, M. R. *Science Teaching – The role of History and Philosophy of Science*. New York: Routledge, 1994.
- McGUIRRE, J. E. ; TAMMY, M. *Certain philosophical questions: Newton's Trinity notebook*. Cambridge: Cambridge University Press, 1983.
- NEWTON, I. A letter of Mr. Isaac Newton, professor of the Mathematicks in the University of Cambridge; containing his new theory about light and colours; sent by the author to the publisher from Cambridge, Febr. 6. 1671/72; in order to be communicated to the R. Society', *Philosophical Transactions of the Royal Society*, v.6, n.80, p. 3075-3087, 1672a. Traduzido em SILVA, C. C. & MARTINS, R. A. A "Nova teoria sobre luz e cores" de Isaac Newton: uma tradução comentada. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v.18, p. 313-27, 1996.
- NEWTON, I. Mr. Isaac Newton answer to some considerations upon his doctrine of light and colours; which doctrine was printed in Numb. 80 of these Tracts', *Philosophical Transactions of the Royal Society*, v.7, p. 5084-5103, 1672b. Reimpresso em: COHEN, I. B. & SCHOFIELD, R. E. (eds.). *Isaac Newton's papers & letters on natural philosophy*. Cambridge, MA: Harvard University Press, pp. 116-135, 1978.
- NEWTON, I. *Óptica*. Traduzido por André K. Assis. São Paulo: Edusp, 1996.
- PARDIES, I. G. Some Animadversions on the theory of Light of Mr. Isaac Newton, Prof. of Mathematics in the University of Cambridge, printed in N.º. 80. In a letter of April 9, 1672. N. S. from Ignatius Gaston Pardies, prof. of Mathematics in the Parisian College of Clermont. Translated from Latin', *Philosophical Transactions of the Royal Society*, v.7, p.726-729, 1672. Reprinted in: COHEN, I. B. ; SCHOFIELD, R.E. (eds.). *Isaac Newton's papers & letters on natural philosophy*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1978, pp. 86-89.
- PEDUZZI, L. O. Q. Sobre a utilização didática da História da Ciência. In: PIETROCOLA, M. (ed.) *Ensino de Física: conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora*. Florianópolis: Editora da UFSC, 2001.
- PUMFREY, S. History of science in the National Science Curriculum: a critical review of resources and aims. *British Journal for the History of Science*, v.24, p. 61-78, 1991.
- ROGERS, P. J. Epistemology and history in the teaching of school science. *European Journal of Science Education*, v.4, p. 1-27, 1982.
- SABRA, A. I. *Theories of light from Descartes to Newton*. London: Cambridge University Press, 1981.
- SEARS, F. W. ; ZEMANSKY, M. W. *Física*. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico, 1973.
- SIEGEL, H. On the distortion of the history of science in science education. *Science Education*, v.63, p. 111-118, 1979.
- SILVA, C. C. ; MARTINS, R. A. A Nova teoria sobre luz e cores de Isaac Newton: uma tradução comentada. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v.18, p. 313-27, 1996.

- SILVA, C. C. ; MARTINS, R. A. A teoria das cores de Newton e as críticas de Hooke. *Atas do V Encontro de Pesquisadores em Ensino de Física*. Belo Horizonte: UFMG/CECIMIG/FAE, 1997, p. 230-37.
- SILVA, C. C. *A teoria das cores de Newton: um estudo crítico do Livro I do Opticks*. Dissertação (mestrado), Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Física "Gleb Wataghin", Campinas, 1996.
- TIPLER, P. A. *Física*. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1984.
- TONNELAT, M. A. O nascimento da Óptica Matemática. In: TATON, René. *História Geral das Ciências*. São Paulo: Difusão Européia do Livro, 1960.

**Artigo recebido em dezembro de 2002 e
selecionado para publicação em março de 2003.**