

2. NEWTON E SUAS GRANDES OBRAS:
O PRINCIPIA E O ÓPTICA

André Koch Torres Assis¹

Introdução

Neste trabalho pretendemos fazer uma análise da obra de Newton, com o objetivo de apontar um caminho para uma possível integração no ensino entre a física e a literatura (Zanetic 1997). Ou seja, vamos abordar um cientista com veia literária, usando a denominação do professor João Zanetic.

Consideramos muito útil para a formação do espírito crítico levar aos estudantes informações sobre a história da física. É comum

1. Instituto de Física – Unicamp. E-mail: assis@ifi.unicamp.br; Internet: <http://www.ifi.unicamp.br/~assis>. É também professor colaborador do Departamento de Matemática Aplicada, Imecc, Unicamp, CEP 13081-970 Campinas – SP. Telefones: (019) 788-2515 e 788-2314. Fax: (019) 788- 2512.

em nossa prática de ensino ler e discutir em sala de aula trechos das obras de grandes autores, como Galileu, Huygens, Newton etc. Como algumas delas já estão traduzidas para o português, sugerimos que os professores indiquem a seus alunos essas obras, motivando-os a estudá-las e com isto adquirir um conhecimento real de como alguns dos principais cientistas que moldaram a nossa visão de mundo encaravam a ciência e quais procedimentos adotavam em seus trabalhos. Isto certamente será enriquecedor para todos e levará à formação de pessoas com um espírito crítico mais aguçado. Um artigo interessante sobre a abordagem histórica no ensino de física encontra-se em Pessoa (1996).

Neste trabalho vamos nos concentrar nos dois principais livros escritos por Newton. Antes de começar, algumas informações relevantes: Isaac Newton nasceu em 1642 e morreu em 1727, vivendo toda sua vida na Inglaterra. Um evento marcante em sua vida é a entrada no Trinity College, em Cambridge, em 1661, para iniciar seus estudos universitários. Forma-se em 1665, tornando-se professor em Cambridge em 1667. Em 1669, tornou-se professor lucasiano de matemática no Trinity College. Seu primeiro artigo científico, sobre óptica, é publicado em 1672, mesmo ano em que é eleito membro da Royal Society. Ingressa no parlamento inglês, em 1689, como deputado pela Universidade de Cambridge. Em 1696, foi nomeado diretor da Casa da Moeda da Inglaterra. Torna-se presidente da Royal Society, em 1703, cargo que ocupará até sua morte. Recebe o título de Cavaleiro (*Sir*) em 1705. Falceceu aos 85 anos, sendo sepultado na Abadia de Westminster, em Londres.

Em termos de desenvolvimento científico, uma época marcante em sua vida são os anos de 1664 a 1666, que ficaram conhecidos como *anni mirabiles*. É nessa época que obtém seus primeiros resultados importantes em matemática (teorema binomial, o método das fluxões, que é a origem do cálculo diferencial e integral etc.) e física (decomposição da luz solar nas cores do espectro ao atravessar um prisma, teoria das cores dos corpos naturais, primeiras idéias

sobre a gravitação universal, lei das colisões elásticas e inelásticas, lei de ação e reação, expressão da aceleração centrípeta, lei do paralelogramo das acelerações etc.). Durante parte desse período Newton ficou na casa da família em Woolsthorpe, sendo que a universidade de Cambridge ficou fechada entre agosto de 1665 e abril de 1667 devido à peste que assolou a Inglaterra.

Numa carta escrita ao final de sua vida, Newton refere-se a esse período nos seguintes termos (Westfall 1995, p. 39):

No início do ano de 1665, descobri o método de aproximação a uma série desse tipo & a regra para reduzir qualquer potência de qualquer binômio a tal série. No mesmo ano, em maio, descobri o método das tangentes de Gregory & Slusius &, em novembro, obtive o método direto das fluxões, & no ano seguinte, em janeiro, a teoria das cores, & em maio seguinte desvendei o método inverso das fluxões. &, no mesmo ano, comecei a pensar na gravidade como se estendendo até a órbita da Lua & (depois de descobrir como calcular a força com que [um] globo girando dentro de uma esfera pressiona a superfície da esfera), a partir da regra de Kepler de que os períodos dos planetas estão numa proporção sesquialtera com suas distâncias do centro de suas órbitas, deduzi que as forças que mantêm os planetas em suas órbitas devem [variar], reciprocamente, como o quadrado de sua distância do centro em torno do qual eles giram: & a partir disso, comparei a força necessária para manter a Lua em sua órbita com a força da gravidade na superfície da Terra, & descobri que elas se correspondem bem de perto. Tudo isso foi nos dois anos da peste, 1665-1666. Pois, nessa época, eu estava no auge de minha fase de invenção & me interessava mais pela matemática & pela filosofia do que em qualquer outra ocasião posterior.

Passamos agora a discutir seus principais livros.

Newton publicou dois grandes livros durante sua vida, o *Principia* e o *Óptica*.

A primeira grande obra de Newton tem como título *Princípios matemáticos de filosofia natural*, sendo usualmente conhecida por seu primeiro nome em latim, *Principia*. Ela foi escrita em latim e traduzida para o inglês por Andrew Motte. A versão em inglês, revisada por Florian Cajori, encontra-se em Newton (1934). A primeira parte dessa obra já se encontra traduzida para o português, de onde tiramos as citações: Newton (1990). Foram publicadas três edições em sua vida: 1687, 1713 e 1726.

Já o *Óptica* foi publicado originalmente em inglês, com quatro edições: 1704, 1717, 1721 e 1730 (Newton 1979). Esta última foi corrigida pelo próprio Newton, embora publicada após sua morte. As edições em latim foram publicadas em 1706 e 1719. Ele já encontra-se totalmente traduzido para o português (Newton 1996), de onde tiramos as citações.

Embora a data de publicação da primeira edição de cada obra difira em 17 anos (1687 e 1704), boa parte do *Óptica* já estava pronta nos primeiros anos da década de 1690, quando se perdeu por um incêndio. Logo, pode-se dizer que foram escritas por volta da mesma época. Newton trabalhou sobre os assuntos de mecânica, gravitação e óptica desde a década de 1660 até quase o final de sua vida. Seu primeiro artigo, por exemplo, foi sobre óptica, já estando traduzido para o português (Silva e Martins 1996).

O conteúdo dos livros é completamente distinto. No *Principia* temos a formulação da mecânica clássica como a conhecemos e a descrição dos movimentos de corpos macroscópicos sobre a superfície da terra e dos corpos astronômicos em relação ao plano de fundo das estrelas fixas. São apresentadas as três leis do movimento, o movimento de corpos em meios resistivos, a lei da gravitação universal e o

movimento dos corpos do sistema solar. Já no *Óptica* temos essencialmente um tratamento experimental dos fenômenos da reflexão e da refração da luz, da decomposição da luz branca nas cores do espectro ao atravessar um prisma, das cores dos corpos naturais, do arco-íris, do telescópio refletor, das cores produzidas por corpos transparentes delgados e espessos (anéis de Newton), da difração da luz etc.

Além do conteúdo, a primeira coisa que chama a atenção quando comparamos as duas obras é o idioma em que foram escritas. Enquanto que o *Principia* foi escrito originalmente em latim, língua culta universal da época, o *Óptica* foi escrito originalmente em inglês. Há duas possibilidades para isto. A primeira é que isto tenha sido intencional por parte de Newton, querendo demonstrar que uma obra seria de cunho eminentemente acadêmico, enquanto que a outra poderia ser mais popular em termos de conteúdo ou de alcance. Uma outra possibilidade é que o *Óptica* contém boa parte de material praticamente reimpresso de obras anteriores de Newton sobre este assunto (grande parte do livro I e quase todo o livro II), material este já escrito em inglês, e então seria mais simples e menos trabalhoso para Newton publicar como estava. Obviamente as duas possibilidades não se excluem mutuamente.

A estrutura dos livros

O *Principia* começa com oito definições (quantidade de matéria, quantidade de movimento, inércia, força etc.) e em seguida vem um Escólio onde Newton discute os conceitos absolutos e relativos de espaço, tempo e movimento; assim como as famosas experiências do balde e dos dois globos. Em seguida, vêm os três axiomas ou leis do movimento e seis corolários, seguidos por um Escólio onde Newton apresenta as regras de colisão entre dois corpos etc. Logo após vêm os três livros do *Principia*. O primeiro trata do movimento dos corpos, contendo 98 proposições (50 teoremas e 48 problemas).

O segundo trata do movimento dos corpos em meios resistivos, contendo 53 proposições (41 teoremas e 12 problemas). Já o terceiro livro trata do sistema do mundo com um tratamento matemático. Ele começa com quatro regras de se raciocinar em filosofia e em seguida apresenta 6 fenômenos celestes (os planetas descrevem áreas proporcionais aos tempos etc.). Na sequência apresenta 42 proposições (20 teoremas e 22 problemas). Ao final do livro apresenta o famoso Escólio Geral do *Principia*.

O *Óptica* também é dividido em três livros, assim como o *Principia*. O primeiro livro é dividido em duas partes. Na primeira temos oito definições (raio de luz, refringência, reflexibilidade etc.), oito axiomas, oito proposições (6 teoremas e 2 problemas) e 16 experiências. Na segunda parte há 11 proposições (5 teoremas e 6 problemas) e 17 experiências. O livro II é dividido em quatro partes tratando das cores produzidas por corpos delgados. Na primeira há 24 observações, a segunda contém comentários sobre essas observações, na terceira parte há 20 proposições e na quarta, 13 observações. No livro III há 11 observações sobre a difração da luz e em seguida vêm as famosas 31 Questões ao final do *Óptica*.

A estrutura formal dos dois livros é bem similar, embora isto seja mais aparente do que real. O *Principia* parece ter como modelo o livro *Os elementos*, de Euclides (~ 300 a.C.). Essa é a principal e mais influente obra de matemática que já surgiu. É dividida em 13 livros, sendo que o primeiro livro contém 23 definições (ponto, linha, ...), cinco postulados, cinco noções comuns e 47 proposições. O segundo livro tem duas definições e 14 proposições, e assim sucessivamente. As proposições do *Principia* são do tipo daquelas de *Os elementos*, sendo provadas por raciocínio matemático a partir das definições e dos três axiomas ou leis do movimento. Uma proposição importante e típica é a que aparece na Seção XII (As forças atrativas de corpos esféricos) do Livro I do *Principia*: Proposição 70, teorema 30:

Se para cada ponto de uma superfície esférica tenderem forças centrípetas iguais, que diminuem com o quadrado das

distâncias a partir desses pontos, afirmo que um corpúsculo localizado dentro daquela superfície não será atraído de maneira alguma por aquelas forças.

Já na proposição 71, teorema 31, temos:

Supondo-se o mesmo que acima, afirmo que um corpúsculo localizado fora da superfície esférica é atraído em direção ao centro da esfera com uma força inversamente proporcional ao quadrado de sua distância até este centro.

As provas dessas e de outras proposições são totalmente matemáticas.

Embora formalmente similar ao *Principia* em estrutura, as provas das proposições e teoremas do *Óptica* são, nas palavras de Newton, realizadas por meio de experiências e não por raciocínio matemático, deduzindo os teoremas com base nos axiomas. Isto já começa em sua primeira proposição, teorema 1 (Newton 1996, pp. 50-51):

As luzes que diferem em cor diferem também em graus de refringência. Demonstração por experiências. Experiência 1. Tomei um pedaço retangular de cartão preto terminado por lados paralelos, e com uma linha reta perpendicular de um lado ao outro dividi-o em duas partes iguais passando uma reta perpendicular de um lado ao outro. Pinteí uma das partes com uma cor vermelha e a outra com uma cor azul. (...)

A mesma coisa acontece em praticamente todas as proposições. E o assunto dos livros II e III do *Óptica* trata de observações sobre fenômenos novos, não contidos nem deriváveis dos axiomas iniciais descritos no livro I.

Uma outra maneira de ver esta distinção entre o *Principia* e o *Óptica*: é comum encontrar, no primeiro livro, páginas cheias de fórmulas e figuras geométricas. Já no segundo não aparece praticamente fórmula nenhuma, mas apenas texto, e a maior parte das figuras são descrições de experiências e de observações.

Leitura das obras

Enquanto que o *Principia* é bem abstrato e árido, o *Óptica* oferece uma leitura bem mais agradável e acessível ao leigo. É difícil seguir o primeiro sem um amplo conhecimento de matemática, enquanto que o segundo pode ser acompanhado por um público bem maior. Enquanto que o *Principia* discute aspectos filosóficos em poucas partes (essencialmente nas primeiras páginas, até introduzir as leis do movimento, nas regras de se raciocinar em filosofia, e no Escólio Geral, ao final do livro), temos diversas porções do *Óptica* discutindo esses temas, principalmente nas Questões ao fim do livro. Enquanto que no Escólio Geral ao fim do *Principia* só havia quatro páginas (sendo a gravitação o ponto de discussão principal), as Questões do *Óptica* ocupavam 70 páginas. O escopo também era bem mais amplo no *Óptica*, discutindo assuntos de óptica, de química, de gravitação, da coesão dos corpos, do vácuo e do éter, de visão e dos sentidos, de metabolismo e de fisiologia, de religião, de como realizar experiências, de filosofia etc. Ele demonstra um conhecimento muito grande de áreas bem distintas do conhecimento humano. O *Óptica* inclusive poderia ser utilizado como ponto de partida para uma análise e reflexão sobre a interdisciplinaridade no ensino de física. Para uma discussão crítica importante sobre a interdisciplinaridade e seus limites no ensino de ciências, ver Kawamura (1997).

O *Óptica* oferece ao leitor um painel bem mais completo de como Newton raciocinava sobre física, por ser mais aberto sobre

diversos temas. Apenas um exemplo para aguçar a curiosidade: Newton aceitava a idéia corpuscular da luz. Apesar disto, afirma na Seção 3 do Livro II, Proposição 8, o seguinte: “A causa da reflexão não é o choque da luz, com as partes sólidas ou impenetráveis dos corpos, como geralmente se acredita.” Ora, se Newton aceitava o modelo corpuscular da luz, então por quais motivos não compartilhava da noção comum de que a reflexão da luz por um espelho, por exemplo, seria causada pela colisão ou pelo choque dos corpúsculos de luz com as partes sólidas do espelho? Se não aceitava isto, então que outra explicação Newton oferecia? Sua argumentação nas páginas 199 a 203 de *Óptica* (Newton 1996) é brilhante. Ao segui-la temos a grande oportunidade de ver como raciocinava e como conseguia chegar a conclusões tão profundas com base em observações e em fenômenos tão simples. Seria interessante que se utilizasse em sala de aula, por exemplo, uma discussão entre a visão corpuscular sobre a luz de Newton e a visão ondulatória de Huygens (Almeida 1996). Deve-se lembrar que a principal obra sobre óptica de Huygens também já se encontra traduzida para o português (Huygens 1986).

Uso de hipóteses

No *Principia* há a famosa frase *hypotheses non fingo* (não faço ou não invento hipóteses).

Apesar desta afirmação, deve-se enfatizar que há algumas embutidas nesta obra. Exemplos: a de que os corpos atraem-se à distância por meio de forças centrais, a validade de ação e reação neste caso, a de que as forças gravitacionais só dependem das distâncias entre os corpos e de suas massas, a existência do espaço e do tempo absolutos desvinculados da matéria distante etc.

O *Óptica* é cheio de hipóteses e de suposições. Isto é evidente nas Questões ao final do livro; alguns exemplos (Newton 1996, pp. 250-251 e 271):

Questão 1: Os corpos não agem sobre a luz à distância e, por sua ação, não curvam os seus raios? E essa ação (*coeteris paribus*) não é mais forte na distância menor?

Questão 2: Os raios que diferem em refringência não diferem também em flexibilidade? E não se separam uns dos outros por suas diferentes inflexões, de modo a produzir as cores nas três franjas descritas acima após a separação? E de que maneira eles são infletidos para formar essas franjas?

(...)

Questão 29: Os raios de luz não são corpos minúsculos emitidos pelas substâncias que brilham? Pois tais corpos atravessarão meios uniformes em linhas retas sem se curvar em direção à sombra, o que é da natureza dos raios de luz. Também serão capazes de possuir várias propriedades, e de conservar imutáveis suas propriedades ao atravessar vários meios, o que é outra condição dos raios de luz. (...)

Para explicar a lei de refração, Newton também utiliza hipóteses ou suposições. A lei da refração é apresentada em sua sexta proposição, teorema 5 da primeira parte do Livro I do *Óptica* (Newton 1996, pp. 82-85): “O seno de incidência de cada raio considerado separadamente está para seu seno de refração numa dada razão.” Após apresentar uma experiência demonstrando este teorema ou proposição, Newton afirma: “E que ela é precisamente verdadeira pode ser demonstrado por esta suposição: Que os corpos refratam a luz ao agir sobre seus raios em linhas perpendiculares às suas superfícies.” Em seguida vem uma demonstração matemática deste fato.

O *Principia* essencialmente fecha todo o assunto da formulação da mecânica clássica, enquanto que o *Óptica* termina com Ques-

tões, indicando todo um universo de assuntos a ser explorado por futuras gerações de cientistas. São obras totalmente distintas em estilo, conteúdo, alcance e influência.

Similaridades entre as obras

Um ponto unificador entre as duas obras e altamente característico de Newton é sua capacidade de análise e de síntese. Na matemática, por exemplo, inventou o cálculo diferencial e integral, mostrando por meio do teorema fundamental do cálculo as relações ou propriedades inversas entre a derivação e a integração. Na gravitação, parte das leis de Kepler, da expressão da aceleração centrípeta e de sua segunda lei do movimento para provar que a força gravitacional cai com o quadrado da distância. Depois parte desta lei para derivar as leis de Kepler e uma infinidade de outras propriedades das órbitas celestes, como a precessão dos equinócios e a formação das marés terrestres. No prefácio à primeira edição do *Principia*, afirmou:

(...) ofereço este trabalho como os princípios matemáticos da filosofia, pois toda a essência da filosofia parece consistir nisso – a partir dos fenômenos de movimento, investigar as forças da natureza e, então, dessas forças demonstrar os outros fenômenos; e para esse fim dirigem-se as proposições gerais no primeiro e no segundo Livros. No terceiro Livro, dou um exemplo disso na explicação do Sistema do Mundo; pois, pelas proposições matematicamente demonstradas nos Livros anteriores, no terceiro derivo dos fenômenos celestes as forças de gravidade com as quais corpos tendem para o Sol e para os vários planetas. Então, dessas forças, por outras proposições que também são matemáticas, deduzo os movimentos dos planetas, dos cometas, da Lua e do mar. Gostaria que pudéssemos derivar o resto dos fenômenos da Natureza

dos princípios mecânicos pelo mesmo tipo de raciocínio, pois, por muitas razões, sou induzido a suspeitar de que todos eles possam depender de certas forças pelas quais as partículas dos corpos, por algumas causas até aqui desconhecidas, ou são mutuamente impelidas umas em direção às outras e se ligam em formas regulares, ou são repelidas e se afastam umas das outras. Sendo desconhecidas essas forças, os filósofos até agora têm tentado em vão a investigação da Natureza; mas espero que os princípios aqui expostos tragam alguma luz, seja a esse ou a algum outro método mais verdadeiro de filosofar.

No Escólio Geral ao fim do *Principia*, afirmou:

E agora podemos adicionar alguma coisa no que concerne a um espírito muito sutil que penetra e permanece escondido em todos os corpos grandes; espírito por cuja força e ação as partículas dos corpos atraem umas às outras a pequenas distâncias, e aderem-se, se contíguas; e os corpos elétricos operam a distâncias maiores, tanto repelindo quanto atraindo os corpúsculos vizinhos; e a luz é emitida, refletida, refratada, infletida, e aquece os corpos; e toda a sensação é excitada, e os membros dos corpos animais movem-se ao comando da vontade, pelas vibrações deste espírito, propagada mutuamente ao longo dos filamentos sólidos dos nervos, a partir dos órgãos externos ao sentido do cérebro, e do cérebro para os músculos. Mas estas são coisas que não podem ser explicadas em poucas palavras, nem estamos nós de posse com aquela quantidade de experiências que é necessária para uma determinação e demonstração acuradas das leis pelas quais operam os espíritos elétrico e elástico.

No *Óptica* temos o mesmo procedimento estendido a diversas situações. Newton, por exemplo, separa a luz solar nas cores do espectro e depois combina estas cores formando o branco. Sua segunda proposição na parte I do livro I afirma que “a luz do sol

consiste em raios que se refratam diferentemente.” A quarta proposição é a de “separar um do outro os raios heterogêneos da luz composta.” Já sua quinta proposição, na parte 2, faz o oposto: “A brancura e todos os tons cinzentos entre o branco e o preto podem ser compostos de cores, e a brancura da luz do sol é composta de todas as cores primárias mescladas numa proporção devida. Prova por experiências. (...)” Sua décima-primeira proposição vai no mesmo sentido: “Misturando luzes coloridas, compor um feixe de luz da mesma cor e natureza de um feixe de luz direta do sol, verificando assim a verdade das Proposições precedentes.”

Um outro exemplo desta maneira de pesquisar os fenômenos e chegar até suas essências é apresentada por Newton ao comparar a influência dos corpos sobre a luz e da luz sobre os corpos, como vemos em sua quinta questão ao final do livro (Newton 1996, p. 251): “Os corpos e a luz não agem mutuamente um sobre o outro, quer dizer, os corpos sobre a luz ao emití-la, refleti-la, refratá-la e inflecti-la, e a luz sobre os corpos ao aquecê-los e ao imprimir em suas partes um movimento vibratório no qual consiste o calor?” Isto tem uma certa analogia com sua lei da gravitação universal, já que se a terra atrai a maçã e o sol atrai os planetas, então a maçã também deve atuar sobre a terra e os planetas sobre o sol. Ou seja, os corpos atuam sobre a luz, por exemplo, refletindo-a e refratando-a. Mas ao mesmo tempo a luz atua sobre os corpos, aquecendo-os (hoje em dia poderíamos citar outros exemplos desta influência, como a ionização de átomos, a transferência de momento linear na reflexão ou na absorção etc.). Mais uma vez vemos Newton explorando os dois lados do fenômeno, não apenas a influência da matéria sobre a luz, mas também o mecanismo inverso. Podemos ver isto como mais um exemplo de ação e reação, agora entre entidades aparentemente distintas, como os corpos materiais e a luz.

Newton então extrapola essa idéia de ação mútua entre os corpos para diversos fenômenos, inclusive na química, como vemos em sua última questão (Newton 1996, Questão 31, pp. 274-293). Alguns trechos:

Não têm as pequenas partículas dos corpos certos poderes, virtudes ou forças por meio dos quais elas agem a distância não apenas sobre os raios de luz, refletindo-os, refratando-os e inflectindo-os, mas também umas sobre as outras, produzindo grande parte dos fenômenos da natureza? Pois sabe-se que os corpos agem uns sobre os outros pelas ações da gravidade, do magnetismo e da eletricidade; e esses exemplos mostram o teor e o curso da natureza, e não tornam improvável que possa haver mais poderes atrativos além destes.

(...)

As atrações da gravidade, do magnetismo e da eletricidade alcançam distâncias bem perceptíveis, e assim têm sido observadas pelos olhos comuns, podendo haver outras que alcançam distâncias tão pequenas que escaparam à observação até aqui; e talvez a atração elétrica possa alcançar essas distâncias mínimas mesmo sem ser excitada pela fricção. Pois quando o sal de tártaro corre *per deliquium* [liqüefaz-se], isto não se dá por uma atração entre as partículas do sal de tártaro e as partículas da água que flutuam no ar na forma de vapores?

(...)

E assim a natureza será muito conforme a si mesma e muito simples, executando todos os grandes movimentos dos corpos celestes pela atração da gravidade que atua sobre esses corpos, e quase todos os pequenos movimentos de suas partículas por alguns outros poderes atrativos e repulsivos que atuam sobre as partículas.

No final, Newton afirma (1996, pp. 292-293):

Como na matemática, também na filosofia natural a investigação das coisas difíceis pelo método da análise deve sempre preceder o método da composição. Essa análise consiste em fazer experiências e observações, em tirar conclusões gerais delas por indução e em não admitir objeções contra as conclusões exceto aquelas que decorrem das experiências ou de algumas outras verdades. Pois as hipóteses não devem ser consideradas na filosofia experimental. E, embora a argumentação pela indução a partir da experiência e observações

não seja a demonstração de conclusões gerais, ainda assim é o melhor caminho de argumentação que a natureza das coisas admite, e pode ser considerada tanto mais forte quanto mais geral é a indução. E se não aparece nenhuma exceção dos fenômenos, a conclusão pode ser afirmada em termos gerais. Mas se depois, em qualquer época, aparecer qualquer exceção relativamente às experiências, ela poderá então começar a ser afirmada com as exceções que aparecem. Por esse modo de análise podemos passar dos compostos aos ingredientes, e dos movimentos às forças que os produzem; e, em geral, dos efeitos às suas causas, e das causas particulares às causas mais gerais, até que o argumento termine na causa mais geral. Tal é o método da análise; e a síntese consiste em admitir as causas descobertas e estabelecidas como princípios, em explicar por elas os fenômenos que delas procedem e em provar as explicações. Nos dois primeiros livros desta *Óptica* procedi a essa análise para descobrir e provar as diferenças originais dos raios de luz com respeito à refringência, à reflexibilidade e à cor, aos seus estados alternados de fácil reflexão e fácil transmissão e às propriedades dos corpos, tanto opacos quanto transparentes, das quais dependem suas reflexões e cores. E, uma vez provadas essas descobertas, elas podem ser admitidas no método da composição para explicar os fenômenos que dela resultam, e dei um exemplo desse método no final do primeiro livro.

Esperamos com isto motivar o leitor a se aprofundar no conhecimento dessas obras tão influentes e que elas sejam utilizadas na medida do possível em sala de aula, auxiliando no ensino de física e na formação do espírito crítico dos estudantes.

Agradecimentos

Agradeço à professora Maria José P. M. de Almeida o convite para participar da Mesa Redonda *Literatura e Cultura Científica*, em

16 de julho de 1997, no II Encontro da Ciência, Leitura e Literatura que ocorreu como parte do 11^o COLE – Congresso de Leitura do Brasil (Campinas, Unicamp), onde apresentei este trabalho. Suas sugestões relativas à primeira versão deste artigo foram extremamente úteis para seu aprimoramento. As falhas que restam são de minha inteira responsabilidade.

Referências bibliográficas

- ALMEIDA, M.J.P.M. (1996). A luz: enfoque no ensino médio e representações de estudantes, *Pro-Posições*, vol. 7, pp. 34-40.
- HUYGENS, C. (1986). Tratado sobre a luz, *Cadernos de História e Filosofia da Ciência*, Supl. 4, pp. 1-99, tradução de R. de A. Martins.
- KAWAMURA, M.R.D. (1997). Disciplinaridade, sim!, *Ciência & Ensino*, vol. 2, pp. 3-6.
- NEWTON, I. (1934). *Mathematical principles of natural philosophy* (Berkeley, University of California Press), tradução de A. Motte, revisada por A. Cajori.
- _____. (1979). *Opticks*. Nova York, Dover.
- _____. (1990). *Principia – Princípios matemáticos de filosofia natural, volume 1*. Tradução de T. Ricci, L. G. Brunet, S. T. Gehring e M.H.C. Célia. São Paulo, Nova Stella/Edusp.
- _____. (1996) *Óptica*. Tradução de A.K.T. Assis. São Paulo, Edusp.
- PESSOA JR., O. (1996). Quando a abordagem histórica deve ser usada no ensino de ciências?, *Ciência e Ensino*, vol. 1, pp. 4-6.
- SILVA, C.C. e MARTINS, R. de A. (1996). A “nova teoria sobre luz e cores” de Isaac Newton: uma tradução comentada, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 18, pp. 313-327.
- WESTFALL, R.S. (1995). *A vida de Isaac Newton*. Rio de Janeiro, Nova Fronteira.
- ZANETIC, J. (1997). Física e literatura: uma possível integração no ensino. *Cadernos Cedes*, vol. 41.