

O período de desenvolvimento da física newtoniana como contraponto às concepções e opiniões problemáticas a respeito do fazer e do conhecimento científico

*(The development period of Newtonian physics:
counterviews and opinions surrounding advancement of scientific knowledge)*

Diego Aurino da Silva¹ e Luiz O.Q. Peduzzi²

¹*Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica,
Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil*

²*Departamento de Física/Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica,
Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil*

Recebido em 9/6/2010; Aceito em 6/7/2011; Publicado em 2/6/2012

O presente trabalho se utiliza do contexto de desenvolvimento da física newtoniana para servir como um contraponto às concepções problemáticas geradas pelas omissões dos aspectos epistemológicos e históricos da ciência. O objetivo é discutir os conteúdos (apresentando-os e separando-os por sua relevância) relativos a esse período, a fim de que possam contribuir com a categorização de formação científica apresentada: não visando apenas à reprodução dos conhecimentos, mas sim auxiliando tanto na sua compreensão quanto na sua contextualização cultural.

Palavras-chave: o período de desenvolvimento da física newtoniana, formação científica, concepções problemáticas.

Proposed is a reflection on the use of the development period of Newtonian physics as a means to argue against the simple concepts of scientific knowledge. The principal intent is to discuss topics of this historic era to reveal how they could support this new concept of scientific formation. Simple reproduction is not discussed but, rather, how this historical context could broaden cultural and notional scientific knowledge comprehension.

Keywords: the development period of Newtonian physics, scientific formation, simples conceptions of scientific knowledge.

1. Introdução

A educação científica, voltada unicamente para a resolução de problemas, tem se caracterizado (não há dúvidas) pelo seu perfil dogmático, fechado e aistórico. Uma série de estudos na área de ensino de ciência destacou nas últimas décadas grande número de problemas gerados por essa educação dogmática nas ciências [1-6]. É entre esses problemas que se encontram as concepções problemáticas a respeito do fazer e do conhecimento científico [7-8]. Apesar de serem analisadas distintamente em alguns trabalhos, todas essas concepções possuem um princípio comum: a ingenuidade quanto às características históricas, epistemológicas e ontológicas das ciências. Kuhn [9-10] é um dos filósofos que descreve essa propriedade da iniciação científica. Essas concepções problemáticas – fruto da educação dogmática

descrita por Kuhn [10] – não estão diretamente ligadas a filiações filosóficas [11]. Afinal de contas, não seria de nenhum modo “errado” ou “ingênuo” um aluno em formação científica defender o positivismo-lógico como uma ferramenta para a compreensão dos aspectos epistemológicos da ciência – desde que ele estivesse consciente de leituras concernentes a tal escola filosófica e aos aspectos históricos das ciências. No entanto, não é isso o que se encontra nas pesquisas sobre as concepções problemáticas; elas, em sua maioria, estão intimamente relacionadas a um imaginário descaracterizado e fantasioso sobre o fazer e o conhecimento científico.

É a ingenuidade epistemológica o alvo central a ser combatido. Só é possível combatê-la, entretanto, utilizando-se de estudos filosóficos e históricos sobre a ciência. Dessa forma, o estudo contextualizado de um determinado período de desenvolvimento ci-

²E-mail: peduzzi@fsc.ufsc.br.

entífico, com suas conjunturas sociais, epistemológicas, históricas e ontológicas, pode servir como um exemplo claro contra as minúcias opiniosas daquelas concepções na formação científica. Ao estudar e apresentar um dado período histórico da ciência, levando-se em conta toda a sua conjuntura epistemológica, é possível verificar também, com certo grau de clareza, como todas aquelas opiniões se relacionam intimamente umas com as outras, demonstrando a origem comum delas.

Espera-se com isso que o ensino de ciências tenha uma capacidade reflexiva sobre suas ações. Afinal, propagar os conteúdos como algo terminado em si mesmo e separado de todo o seu contexto histórico, filosófico e social, de certa forma, caminha no sentido contrário ao que se espera de uma formação científica reflexiva acerca do fazer ciência e das próprias características do conhecimento científico. Uma formação científica não deve visar apenas aos aspectos puramente técnicos (como a resolução de problemas e o simples adestramento), sob a pena de gerar uma série de dificuldades na própria compreensão do fazer e do conhecimento científico; sua ação também deve contemplar a formação cultural e filosófica dos sujeitos que futuramente farão parte da população esotérica das ciências. Todavia, não é possível aqui uma concentração em todos os problemas gerados pela formação dogmática; por essa razão, a atenção deste trabalho se volta tão-somente aos aspectos mais ligados à epistemologia, à sociologia e à história da ciência. Problemas esses que, por si só, já geram grandes dificuldades na formação científica, principalmente na propagação de concepções e opiniões problemáticas a respeito do fazer e do conhecimento científico.

2. O período de desenvolvimento da física newtoniana como contraponto às concepções e opiniões problemáticas a respeito do fazer e do conhecimento científico

O presente trabalho se utiliza do contexto de desenvolvimento da física newtoniana para servir como um contraponto às concepções problemáticas¹ geradas pelas omissões dos aspectos epistemológicos e históricos da ciência. É natural que nem todos os temas ligados a esse contexto possam ser tratados aqui, principalmente devido à limitação e formatação de um artigo; contudo, escolheu-se certa variedade de conteúdos que trazem em si uma grande gama de possibilidade para contraposições a opiniões e concepções problemática do conhecimento e do fazer científicos. O objetivo é discutir alguns conteúdos (apresentando-os e separando-os por sua relevância) relativos a esse período, a fim de que possam contribuir com a categorização de formação científica apresentada: não visando apenas à reprodução

dos conhecimentos, mas sim auxiliando tanto na sua compreensão quanto na sua contextualização cultural. Por essa razão, não há aqui uma preocupação “pedagógica” com a aplicação direta das idéias propostas; pois, pretende-se discutir de modo profundo quer a base do problema relativo às opiniões problemáticas, quer a recomendação do período de desenvolvimento da física newtoniana para que a contraposição se dê sobre bases mais sólidas e ricamente ancoradas na carga filosófica que o tema exige. Caso a atenção fosse direcionada à implementação da proposta, perder-se-ia tanto no aprofundamento quanto na viabilidade da implementação.

Poucos períodos da história das ciências são tão ricos e complexos quanto o de desenvolvimento da física newtoniana. Por essa razão, aqui ele é escolhido para servir de contraponto às concepções problemáticas. Encontram-se, outrossim, em meio às riquezas de contextualização da ciência de Newton, muitos filósofos e historiadores das ciências com seus diferentes pontos de vista em relação a esse período, o que talvez fosse algo controverso para se apresentar na educação científica; todavia, são essas múltiplas possibilidades de interpretação uma ótima ferramenta para uma verdadeira formação científica (contextualizada e que não vise unicamente à resolução de problemas). Com isso, seriam fornecidas várias possibilidades a fim de ajudar o sujeito a se conscientizar sobre a complexidade do fazer científico em todo o seu caráter epistêmico. Por sua riqueza contextual, o período de desenvolvimento da física newtoniana oferece conjunturas que possibilitam diversas contraposições a todas as opiniões e concepções problemáticas do conhecimento e do fazer científico.

3. Possibilidades de contraposições a concepções puramente acumulativas do conhecimento científico

A concepção de acumulatividade do conhecimento científico encontra no contexto de desenvolvimento da física de Newton uma contraposição importante marcada principalmente pelas várias e novas correntes filosóficas que ofereciam muitas interpretações e explicações distintas para os fenômenos; os atomistas gassendianos, os mecanicistas cartesianos e os corpularistas boyleianos eram as correntes que mais se destacavam na busca de um lugar ao sol das novas ciências. Esse rico período era aquele em que Newton estava inserido de modo geral. O rompimento significativo no âmbito da ontologia do movimento era claro inclusive pelas novas possibilidades de aceções oferecidas pelos modernos filósofos naturais; aquela antiga noção aristotélica de natureza – como substância ou causa eficiente ou formal [13] – agora passaria a significar a ordem necessária das coisas [14].

¹ A respeito da adequação terminológica utilizada no presente trabalho, versou a terceira seção de Aurino da Silva [12].

Uma conseqüência importante da concepção aristotélica de natureza relaciona-se com a noção de movimento. Aristóteles [15] afirma com clareza a impossibilidade de haver movimento sem causa e, mais profundamente, de se conhecer o movimento sem a atribuição de uma causa específica. Essa concepção de movimento também possui uma íntima relação com a substancialidade, não havendo assim um determinismo mecânico ou eficiente [16]; isto é: não existe um determinismo sobre o fator que, por meio de uma ação, de uma intervenção ativa, gera um efeito. Esse fator, ao contrário, era defendido pela ciência moderna em vários pontos.

As concepções e opiniões dogmáticas e acumulativas do conhecimento científico encontram uma forte oposição; nesse evento, encontra-se uma das claras provas do rompimento entre o pensamento causal da nova filosofia natural e o aristotelismo. As críticas de Newton às explicações puramente causais na filosofia natural são claras em vários de seus textos. Nas duas primeiras regras do *Regulae Philosophandi*, em específico, indicam uma forte desaprovação ao estatuto pomposo das explicações causais; em outras palavras, Newton simplesmente tenta justificar a sua omissão das explicações causais da gravitação atacando os defensores do casualismo aristotélico [17]. Isso por si já seria suficiente para justificar uma compreensão contextualizada e afastada daquelas concepções aistóricas e dogmáticas do conhecimento científico. Contudo, para compreender verdadeiramente os problemas enfrentados pela ciência moderna, bem como os conceitos que estavam em constante transformação, faz-se necessário também um relativo conhecimento do método científico, da metafísica e da física aristotélica.

Falando outra vez dos rompimentos entre a ciência moderna e a tradição filosófica, é fácil perceber como as novas explicações ontológicas propostas abdicavam daquilo em vista de que algo se produz e de que algo é feito. As causas finais passaram para um plano secundário na nova ciência; como exemplo disso, tem-se que determinar o objetivo da gravidade deixou de ser necessário. Esse tipo de contextualização é um modelo claro contra a concepção que compreende o conhecimento científico devolvido linear e acumulativamente. Newton se tornou um dos grandes símbolos das omissões das explicações causais. Em carta para Bentley, ele profere:

Você, certas vezes, fala da gravidade como essencial e inerente à matéria. Peço-lhe que não atribua essa noção a mim, uma vez que a causa da gravidade eu não tenho a pretensão de saber. Por essa razão, levaria muito mais tempo para considerá-la. Eu temo que meu dito a respeito do infinito tenha lhe parecido obscuro. [18, tradução nossa]

No *Commercium Epistolicum*, Newton tenta deixar

claro o afastamento entre as possíveis qualidades ocultas, que decorreriam das formas específicas das coisas, e a ausência de explicações das causas finais, simplesmente por ainda não as conhecer. Fundamentando-se, mais uma vez, na força dos experimentos, o então presidente da Royal Society ataca claramente Leibniz.

Isso deve ser considerado, pois esses dois cavalheiros diferem muito na filosofia. Um deles procede utilizando-se de evidências retiradas dos experimentos e dos fenômenos, parando quando faltam evidências; o outro se abraça com hipóteses e as propõe sem examiná-las com experimentos, mas para se acreditar nelas sem examinação. [19, tradução nossa]

4. Possibilidades de contraposições a concepções meramente empírico-indutivistas e ateóricas do fazer científico

Voltando-se a falar sobre as regras do *Regulae Philosophandi*, na terceira delas Newton traz à tona uma discussão acerca do alcance da verificação experimental da qualidade dos corpos. Essas indagações newtonianas sobre a validação, verificação e capacidade conclusiva dos seus experimentos podem ser utilizadas como pontos de importante debate com as opiniões meramente empírico-indutivistas e ateóricas do fazer científico. Essa concepção tão fortemente atrelada à opinião de professores, de graduandos e, inclusivamente, de cientistas tende a destacar o papel neutro da observação e da experimentação, afastando-as de quaisquer noções apriorísticas e teóricas [20-21, 6]. Desse jeito, todo o processo de orientação e de possibilidades dos usos da experimentação e da observação é deixado de lado, havendo inclusive uma ingênua desconexão e vulgarização dos valores das hipóteses, bem como das constituições das teorias.

Newton procura justificar a possibilidade do alcance da verificação experimental da qualidade dos corpos por meio de uma valoração da observação astronômica. Porém, há algo mais profundo e interessante nessa indagação de Newton, pois o princípio da gravitação universal nada mais é do que uma generalização matemática (e não experimental) da lei da gravitação – esta sim, segundo Newton, comprovada por meio da observação [22]. Ele tinha em mente a busca de um “porquê” para essa generalização por meio de um único princípio matemático. No fundo, não há grande coerência nem segurança nessas afirmações de Newton, apesar de elas já fazerem parte da sua maturidade intelectual.

Seguindo esse mesmo caminho, porém voltando-se rapidamente a atenção para a aistoricidade apresentada nos manuais acadêmicos, encontram-se nestes as

características científicas afastadas historicamente das explicações e intenções teológicas. É quase natural aos olhos de hoje compreender a ciência como um corpo de conhecimentos separados de qualquer intento teológico; nada mais correto, pois o objetivo das ciências contemporâneas passa longe das explicações e conjecturas para esse fim. Contudo, a história das ciências mostra uma realidade diferenciada sobre a evolução do conhecimento científico; durante o desenvolvimento da ciência moderna, por exemplo, os conhecimentos e saberes divinos e naturais estavam, com freqüência, intimamente entrelaçados e harmonizados. Robert Boyle e John Ray não eram apenas grandes filósofos e cientistas, mas também consideráveis teólogos; eles tentavam utilizar-se das novas descobertas da ciência moderna em favor de uma possível prova da existência de Deus (ente infinito, eterno, sobrenatural e existente por si só; causa necessária e final de tudo que existe). Newton, em não poucas vezes, abriu mão da sua “rigidez” metodológica para, de modo aberto, justificar as causas finais como atributos do deus judaico-cristão [17].

O *Escólio Geral* da segunda edição do *Principia* é muito conhecido por trazer uma relação entre Deus e o universo físico newtoniano. Não há aqui a rigidez metodológica proposta pelo filósofo de Woolsthorpe, mas sim meras conjecturas de fundo puramente teológico e dogmático.

Esse ser governa todas as coisas, não como uma alma do mundo, mas como o senhor de tudo; e, por conta do seu domínio, ele é habitualmente chamado de senhor deus *παντοκράτωρ* [Pantokrator] ou legislador do universo, pois deus é uma palavra relativa e está ligado aos servos; e a divindade é o domínio de Deus (mas não sobre o seu próprio corpo, como aqueles imaginam fantasiando ser Deus a alma do mundo) sobre os seus servos. [23, tradução nossa]

As concepções rígidas, aistóricas e puramente empíricas da ciência encontram nesses simples exemplos adversários praticamente incontestáveis. É possível ainda encontrar um pouco de confusão dentro do próprio método rigoroso defendido por Newton; ele, nessas afirmações teológicas, passa para o mero campo da divagação teológica, abrindo mão da inflexibilidade afirmada no *Opticks*.

Essas defesas de Newton a respeito das correlações entre as causas finais e a ação divina se encontram em um campo muito próximo ao sentido lato da palavra hipótese. Mesmo assim, Newton se tornou um grande símbolo do combate contra as interpretações hipotéticas na filosofia natural. Com relação às causas finais das propriedades gravitação, afirmou que não era capaz de descobri-las e, por isso, ao contrário de outros pensadores, não inventaria hipóteses para os fenômenos. O professor de Cambridge deixa clara sua posição na “Regra

4”, na qual expressa a importância de os argumentos da indução não se evadirem pelas hipóteses.

Na filosofia experimental, nós olhamos com respeito para as proposições coletadas pela indução geral a partir dos fenômenos, com exatidão ou muito próximo da verdade, apesar de quaisquer hipóteses contrárias que possam ser imaginadas, até que, em um dado momento, outro fenômeno ocorra, pelo qual ele possa ser realizado de modo mais exato ou propenso a exceções. [24, tradução nossa]

É nesse contexto confuso, amplo e controverso (praticamente impossível de se desentrançar em sua totalidade aqui) que se encontra igualmente o valor da noção de hipótese em Newton. De acordo com Shapiro [25], o mecanicismo cartesiano, bem como de outras correntes posteriores à física aristotélica e escolástica, firmava uma forte oposição ao aristotelismo; a física aristotélica alegava ontologicamente que compreender o funcionamento interno da natureza era uma das necessidades para se conhecer [26], enquanto os mecanicistas declaravam a impossibilidade da determinação desse funcionamento interno. Dessa maneira, restaria ao filósofo natural apenas fazer uma descrição mais provável a fim de explicar os fenômenos, isto é, formular hipóteses. No entanto, a formulação de tais hipóteses mostrou-se rapidamente fora de controle; não foram poucos os modelos criados pelo simples livre-arbítrio do intelecto. A imaginação dos mecanicistas estava transformando a ciência moderna em uma mera conjectura sobre mecanismos invisíveis e hipotéticos.

Muitas das defesas realizadas pelos seguidores de Newton faziam parte das disputas de afirmação teórica entre a física newtoniana e a física cartesiana. Newton ainda cedo se demonstrou insatisfeito com o tom metafórico da física de Descartes; os vórtices de matéria possuíam forte caráter hipotético, e o professor lucasiano, durante o processo de amadurecimento dos aspectos causais da gravidade, evidenciou sua defesa do *hypotheses non fingo*, opondo-se claramente à física cartesiana [27].

Voltaire [28, tradução nossa] faria um comentário bastante ácido a esse respeito:

O chanceler Bacon mostrara, de longe, o caminho pelo qual poderíamos seguir; [...] Descartes então apareceu, e ele fez o contrário do que deveria fazer: no lugar de estudar a natureza, quis apenas adivinhá-la. [...] O primeiro dos matemáticos nada mais fez que romances em filosofia.

É claro que a aparente admiração de Voltaire por Bacon é, de certa forma, ingênua, além de não condizer com o seu apreço pelo “método” newtoniano defendido por ele. Afinal, há uma clara e intensa distinção entre o método de Newton e o do barão de Verulam; pois “o alvo de Bacon era um ideal de extensão e amplificação, ao passo que a ideia de Galileu e Newton

era de intenção e simplificação” [29, tradução nossa]. Essa citação de Voltaire, contudo, ficam evidentes as interpretações, às vezes, pueris dos seguidores diretos de Newton a respeito do que seria o método newtoniano de fazer ciência.

Isaac Newton tornou-se o filósofo natural que mais bem expressa essa preocupação: [...] *até agora, eu não sou capaz de descobrir a causa dessas propriedades da gravidade a partir dos fenômenos e não invento hipóteses* [30, tradução nossa]. A própria desvalorização do papel das hipóteses é muito controversa, mas, sem dúvida, pode ser utilizada para uma contraposição significativa às concepções acumulativas e aistóricas do fazer científico. A ciência moderna trouxe maior importância para o termo, bem como aprofundou o valor das hipóteses. Essa reestruturação do conceito de hipótese também está relacionada com as novas características indutivas e descritivistas das ciências, uma vez que as nascentes teorias científicas necessitavam, em certa medida, desse novo aporte. A relação de Newton com as hipóteses ainda pode servir como ponto de discussão a respeito da opinião rígida do fazer científico, a qual apresenta o método científico como um conjunto de etapas a serem seguidas mecanicamente. Tem-se o exemplo dado pela maioria dos seguidores de Newton, como é o caso também de Maclaurin; o matemático britânico sempre divulgou o *hypotheses non fingo* na qualidade de grande alicerce da física e, principalmente, do método newtoniano de fazer ciência, esquecendo-se de importantes traços do estilo newtoniano, como o papel de deus no universo físico, conforme mencionado anteriormente.

5. Possibilidades de contraposições a concepção neutra, individualista e elitista do fazer científico

Agora, fala-se de duas opiniões problemáticas do fazer científico que se relacionam de modo significativo: a concepção socialmente neutra e a individualista e elitista. A primeira tende a propagar uma opinião de que os cientistas são sujeitos fechados em torres de marfim e acima do bem e do mal, esquecendo-se das múltiplas relações entre a ciência, a tecnologia e a sociedade; já a segunda, de forma muito próxima à primeira, divulga os conhecimentos científicos como simples obras de gênios isolados, deixando de lado toda a função da comunidade científica e dos trabalhos em equipes. Nesse caminho, mais uma vez, o contexto de desenvolvimento da física newtoniana pode ser utilizado com facilidade para uma contraposição segura desde os seus mais longínquos princípios. Diz-se isso, pois a ciência moderna havia sofrido grandes influências das camadas em ascendência da sociedade, como é o caso da jovem e poderosa burguesia.

O poder alcançado pela burguesia passara a finan-

ciar a nova ciência, a fim de fazer do “homem” o mestre e o senhor da natureza [31]. Isso convivía com a busca pela valorização da *vita activa*, desconectando-se aos poucos da *vita contemplativa*, tão estimada nos tempos antigos em demérito da outra. Da mesma forma, o *scientia activa* passou a ser o alvo do homem burguês (dos artesões, dos engenheiros, dos comerciantes, entre outros), que desejava um maior apreço aos trabalhos manuais. O homem burguês passou a alcançar grandes lucros com os novos aperfeiçoamentos técnicos, os quais haviam possibilitado as grandes navegações, as novas armas e, gradativamente, uma nova escala social. Passava assim a haver uma grande discordância entre o novo mundo de possibilidades proporcionadas pelas novas técnicas e descobertas sobre as antigas ciências teóricas; as ciências contemplativas tão fortemente inspiradas em Aristóteles e no escolasticismo não eram compatíveis com os aperfeiçoamentos tecnológicos e, por conseqüência, práticos.

Várias outras conseqüências vieram ao encontro das novas correntes filosóficas, fazendo com que as ciências práticas, tão importantes no desenvolvimento das melhores maquinarias experimentais, lutassem para adquirir um *status* tão elevado ou relevante quanto o das ciências teóricas – o que é claro na obra-prima de Bacon [32]. A operacionalidade da ciência com suas claras características práticas foi fortemente defendida por Newton na qualidade de um reflexo das mudanças. O professor lucasiano defendeu a exatidão dos trabalhos manuais por parte dos novos filósofos naturais: o filósofo natural deveria ser um artífice perfeito na execução e no planejamento dos experimentos.

Os antigos consideravam a mecânica sob dois aspectos: um racional, em que decorre rigorosamente a demonstração, e outro prático. À mecânica prática pertencem todas as artes manuais, das quais a mecânica tomou seu nome; mas, como os artesãos não trabalham com rigor perfeito, acontece a diferenciação da mecânica e da geometria: o que é perfeitamente precioso é chamado geométrico, o que é menos rigoroso é chamado mecânico. No entanto, os erros não estão na arte, mas nos artífices. Os que trabalham com menos perfeição são mecânicos imperfeitos. Se algum pudesse trabalhar com perfeita precisão, ele seria o mais perfeito dos mecânicos, haja vista a descrição das linhas retas e dos círculos, em que se fundamenta a geometria, pertencer à mecânica. [33, tradução nossa]

Afora essas conseqüências de cunho mais econômico e social, têm-se alguns pontos mais ligados aos interesses particulares (e de alguns seguidores de Newton), bem como a importância da Royal Society no desenvolvimento e na aceitação da física newtoniana. Quem

conhece o contexto de desenvolvimento da física newtoniana sabe como as críticas dos pares e as preocupações sociais em referência à aceitação dos seus feitos foram importantes para o amadurecimento e a maior coesão das teorias, dos conceitos e dos métodos defendidos por Newton. O exemplo mais forte dessas preocupações é a publicação do *Commercium Epistolicum*, livro publicado em nome da Royal Society para “defender” os direitos de autoria de Newton em relação aos ataques e às disputas de Leibniz. Em essência, tanto o *Commercium* quanto as “xposições” tinham como objetivo demonstrar que Leibniz havia plagiado Newton. Apesar de redigido em nome da Royal Society, o próprio Newton, então presidente dessa sociedade, havia redigido o livro em total sigilo. A maquinação do professor lucasiano é um exemplo muito forte dos jogos de interesse sociais da época; há aqui com total clareza alguém disposto a usar de todas as armas necessárias para manter sua posição e o *status* das suas descobertas e impô-las como a doutrina magna a ser seguida. As disputas por autoria com Hooke e Leibniz talvez sejam o mais nítido exemplo da inquietação de Newton quanto à sua imagem e importância diante do meio científico da época. Desde muito cedo, o jovem professor lucasiano se mostrava demasiadamente preocupado com o reconhecimento social dos seus trabalhos. Newton queria, o mais rápido possível, ser reconhecido como mecanicista. Já em 1672, ele escreveu uma carta cheia de personalidade ao então presidente da Royal Society, Henry Oldenberg, defendendo a verdade epistêmica extraída dos seus experimentos.

Eu não posso julgar eficiente, na determinação da verdade, o exame de muitos caminhos pelos quais os fenômenos possam ser explicados, a não ser que possa haver uma perfeita enumeração de todos esses caminhos. Você sabe, o método adequado para investigar a propriedade das coisas é deduzi-las por meio dos experimentos. [tradução nossa]

O jovem Newton demonstrou sua preocupação em ter seus trabalhos aceitos. Mesmo assim, a validade de seus trabalhos foi friamente contestada devido a pouca continuidade de experimentos válidos e a omissão de não poucos dados qualitativos. A preocupação com o reconhecimento como filósofo natural (e, em especial, como mecanicista) pode ser encontrada também nas suas várias correspondências trocadas com Robert Boyle. Na verdade, no início de sua carreira científica, o jovem Newton procurou imitar os trabalhos de Boyle, e inspirou-se nisso para modificá-los, usando os prismas para um fim diferenciado [34]. O reconhecimento social dele começou a aumentar com a invenção do telescópio de reflexão, instrumento que lhe rendeu um lugar de membro na Royal Society.

Foram os seguidores de Newton, contudo, os responsáveis pela propagação de uma série de idéias do método newtoniano, muitas vezes afastadas do real contexto de seu desenvolvimento social. Maclaurin, como já se disse, foi um dos grandes divulgadores e defensores da física e do “método newtoniano”; sua grande participação na defesa deste deve-se ao seu posicionamento, em diversas ocasiões, ingênuo, entusiasta e dogmático sobre as omissões das explicações causais [35]. Os seguidores de Newton vangloriaram em sua maioria a ciência experimental, descontextualizando-a e omitindo vários pontos importantes do aperfeiçoamento da física newtoniana, como é o caso da frustração da ciência matemática da cor nos *Lectiones Opticae* [25].

Os seguidores do método newtoniano foram um reflexo da própria insistência de Newton em convencer a todos (principalmente em relação aos seus estudos ópticos) de que havia provas experimentais suficientes para a confirmação das suas teorias; utilizou-se muitas vezes da sua autoridade perante a sociedade científica, mas antes de ter alcançado o reconhecimento, serviu-se também da apocada quantidade de experimentos para valer-se da autoridade da experimentação [36]. Nesse mesmo caminho, Newton, em suas disputas por autoria, quando os experimentos não se faziam suficientes, valeu-se da autoridade dos seus supostos predecessores. Durante as acirradas trocas de críticas com Hooke, encontra-se o emprego de frases como *se vi mais longe, foi porque estava sobre os ombros de gigantes*. Sentença que traz uma clara referência a Copérnico, Kepler e Galileu – esse último que foi uma das inspirações do jovem estudante de Cambridge sobre os estudos do movimento. Os trabalhos de Newton desde cedo podem sim ser vistos com um exemplo total das conquistas da nova ciência; estão longe, porém, de ser uma rede de teorias, doutrinas e conceitos desenvolvidos de modo descontextualizado, ou seja, realizados por uma mente brilhante enfiada solitariamente em uma torre de marfim. As cartas a Bentley com instruções relativas às leituras necessárias antes de se aventurar na compreensão do *Principia* são um claro exemplo disso.

As escolas filosóficas contemporâneas de Newton não lhe foram as únicas referências e inspirações; ele também se empenhou em uma espécie de retorno aos antigos. Newton procurou nestes um suporte que, de alguma forma, pudesse lhe fornecer alguma corroboração com suas teorias. Entre outras coisas, tentou mostrar como a sua doutrina da gravitação universal se identificava em textos da Antiguidade. Engana-se profundamente quem acredita na suposição de ele ter se utilizado dos textos antigos de maneira aleatória (ou, ainda, na qualidade de meros ornamentos literários). Newton empregou os dados antigos de modo sério e comprometido em seus textos. Usou os textos clássicos como um apoio a favor da corroboração e da justificativa de suas doutrinas da matéria, do espaço e, mais intensamente, da gravitação. São os *Escólios Clássicos* do *Principia*,

uma tentativa de corroborar a doutrina da gravitação universal e de questionar a natureza na posição de uma força cósmica [37]. Ele aceitou o conhecimento dos antigos como puros e verdadeiros e, de acordo com McGuire e Rattansi [38, tradução nossa], empregou-os no fortalecimento das proposições quatro a nove.

Eis que havia um conhecimento verdadeiro dos quatro princípios conseqüentes: que a matéria tem uma estrutura atômica e se move no espaço vazio por meio da gravidade; que a força gravitacional atua universalmente; que a gravidade diminui na razão do inverso do quadrado da distância entre os corpos; e que a verdadeira causa da gravidade está na ação direta de Deus.

Nos escólios das proposições 6 e 7, Newton procurou corroborar suas idéias com as de Tito Lucrécio Caro. Ele apresenta a preocupação para com a compreensão da gravidade na qualidade de uma força física real, que move os corpos perceptíveis e imperceptíveis em um vazio desprovido de matéria.

Mesmo os antigos estavam conscientes de que todos os corpos que estão ao redor da Terra (quer o fogo ou o ar, assim como o restante) têm uma gravidade em direção à Terra, e que a gravidade deles é proporcional à quantidade de matéria de que cada um se compõe. Lucrécio desse mesmo modo argumenta a favor do vazio. [39, tradução nossa]

Na “Questão 28” do livro *Óptica*, é explicitada a concepção newtoniana da luz; está nela uma referência não apenas aos gregos, mas também aos fenícios:

Para rejeitar de tal modo o médio, temos a autoridade dos mais antigos e mais celebrados filósofos da Grécia e da Fenícia, que fizeram do Vaccum, e do átomo, e da gravidade dos átomos, o princípio primeiro de sua filosofia; tacitamente atribuindo à gravidade outra causa que não a matéria densa. [40, tradução nossa]

O retorno aos antigos é muitíssimo importante; não há aqui o gênio da queda da maçã, mas um pesquisador na natureza extremamente inserido nos desenvolvimentos filosóficos de sua época e preocupado com justificativas ligadas a suas filiações filosóficas. A atenção nos estudos antigos da filosofia greco-latina permeou as obras de Newton; o cuidado com os textos antigos deve ser compreendido, entre outras coisas, como um empenho na busca pela verdade epistêmica.

Falando-se outra vez da obra-prima de Newton, tem-se ainda um ótimo ensinamento sobre os desafios sociais enfrentados pelo seu autor durante as lutas pela

aceitação de sua doutrina. Por meio de uma leitura mais contextualizada, é possível perceber que Newton defende sua doutrina dos seus oponentes do início ao fim do livro. No *Livro Terceiro*, percebe-se o professor lucasiano tentando abrigar sua teoria sobre os braços da matematização, fugindo das discussões de cunho ontológico, nas quais o *De motu* havia provado duras penas. Esse tomo em específico também foi escrito em uma linguagem mais popular, a exemplo de *Óptica*, a fim de esquivar-se de interpretações inseguras [22].

Por fim, ao se falar das concepções elitistas de fazer ciência, não se pode esquecer-se do período da vida de Newton mais marcado por ela; o *annus mirabilis* é sem dúvida a grande bandeira dos anedotistas da história das ciências. Ao escrever suas supostas memórias a respeito, Newton se tornou um dos grandes responsáveis pela mística que rodeia esses dezoito meses de afastamento de Cambridge [41]. Memórias essas que revelam os traços mais marcantes da personalidade do filósofo de Woolsthorpe.

No início do ano de 1665, eu descobri o método das séries aproximadas e a regra para reduzir qualquer potência [dignidade] de qualquer binômio. No mesmo ano, em maio, eu descobri o método das tangentes de Gregory & Slusius, e, em novembro, alcancei o método direto das fluxões, e, no ano, seguinte, em janeiro, a teoria das cores, e, no maio seguinte, desvendi o método inverso das fluxões, e, no mesmo ano, eu comecei a pensar na gravidade como se estendendo até a órbita da Lua, e, a partir da regra de Kepler, de que os períodos dos planetas estão numa proporção sesquialtera com suas distâncias do centro de suas órbitas, eu deduzi que as forças que mantêm os planetas em órbitas devem ser inversamente proporcionais ao quadrado de sua distância do centro em torno do qual eles giram: e, a partir disso, eu comparei a força necessária para manter a Lua em sua órbita com a força da gravidade na superfície da Terra, e, eu descobri que elas se correspondem bem de perto. Tudo isso aconteceu nos dois anos da peste, 1665-1666. Pois, nessa época, eu estava no auge de minha fase de invenção e interessava-me mais pela matemática e pela filosofia do que em qualquer ocasião posterior. [41, tradução nossa]

Qualquer historiador da ciência sabe do contexto em que se insere essa memória; o que está em pauta são as lutas pela autoria com Leibniz. Assim, estipular uma data específica para suas idéias era uma questão necessária nesses conflitos. Independentemente de todas as complicações que circundam as disputas pessoais e por autoria, sabe-se que Newton não escreveu sua

obra-prima durante o *annus mirabilis*. Muito menos, ele sabia (ou havia descoberto) naquela época os conceitos fundamentais contidos no *Principia*, os quais foram fruto de longos amadurecimentos.

6. Possibilidades de contraposições a concepção metodologicamente rígida do fazer científico

Após essa exposição das contraposições às opiniões elitistas e socialmente neutras do fazer científico, concentra-se agora a atenção mais especificamente sobre as opiniões rígida e empírico-indutivista. Essas duas opiniões são as mais difundidas na literatura; contudo, são elas as que mais facilmente podem ser contextualizadas. Uma simples discussão a respeito do método, quer em relação à sua compreensão, quer em referência ao seu papel na ciência moderna e atual, pode contribuir em muito para a quebra desse problema.

Contrapondo-se às concepções rígidas do método científico, é importante lembrar também que o próprio Newton não estava muito seguro do seu “método” e “sistema” [27]. Isso pode ser visto, como já se comentou anteriormente, em suas cartas pessoais, em que ele procura explicar as fraquezas ontológicas de sua teoria baseando-se ou nas apoucadas possibilidades observacionais e experimentais ou em suas crenças pessoais. Como já se falou demasiadas vezes, os seguidores de Newton foram um dos grandes responsáveis pela propagação de uma compreensão ingênua a respeito do “método” newtoniano – se é que se pode dizer que Newton teve um método específico.

Cohen costuma chamá-lo de estilo newtoniano de fazer ciência. O professor lucasiano defendeu sim a experimentação-indutiva, como suas várias etapas, na estruturação no conhecimento “seguro”. A frase mais conhecida de Newton para evidenciar esse apreço pela indução é a *hypotheses non fingo*. A compreensão contextualizada dessa frase famosa, todavia, já serve como contraposição clara a concepções empírico-indutivistas ingênuas. No *Escólio Geral da Demonstração*, Newton diz “não inventar hipóteses”, pois ele teria supostamente deduzido seu conjunto de idéias diretamente dos fenômenos naturais. Se se seguir os dizeres de Newton, as concepções mais ingênuas a respeito da indução podem até encontrar significativos apoios. Isso, porém, só pode ser feito se todo o processo de desenvolvimento e de descoberta da física newtoniana for descontextualizado. Sabe-se que Newton se utilizava da experimentação, bem como do poder provindo desta, para tentar fugir das acusações de que sua teoria estaria banhada em qualidades ocultas e em hipóteses meramente metafísicas. É nesse contexto que aparece a frase *hypotheses non fingo*; pois, tempos antes da publicação do *Principia*, o padre Pardies (em não poucas correspondências) chamou a teoria newtoniana de conjunto de

hipóteses, provocando grande indignação do respeitado professor lucasiano. Em resposta às críticas do padre francês, Newton defende que as hipóteses somente poderiam ter validade na medida em que pudessem propor novos experimentos [27].

Os estudos sobre o papel das hipóteses em Newton são um caminho com muitas bifurcações; é possível encontrar justificativas em seus escritos que podem levar ao entendimento de que ele as aceitava em sua teoria ou mesmo a excluía por completo. Apesar de todas as possibilidades, isso antes de tudo é um forte afronte à concepção rígida do método científico. O método em Newton é, definitivamente, um caminho com muitas possibilidades. Ele se relaciona com muitas vias para se alcançar a “verdade” científica [27]; há muitos aspectos metodológicos diferentes em Newton, demonstrando uma oposição às concepções rígidas do método. Existe uma riqueza tão grande de caminhos no “método” newtoniano que racionalistas como Koyré e empiristas como Drake utilizam-se continuamente da física newtoniana para defender suas convicções [42]. Entres essas várias vias para se encontrar o valor epistêmico, o modo de conceber os experimentos e deles extrair conclusões é apenas um. Mesmo assim, o próprio Newton tentou defendê-lo como o único caminho possível para a verdade na ciência moderna. Para compreender o método em Newton, porém, é preciso ir muito além da simples experimentação e indução; faz-se necessária uma compreensão clara dos aspectos relacionados com as causas finais e metafísicas e, ao mesmo tempo, saber o papel da matemática nesse processo. Isso é importante, porque as omissões das necessidades explicativas das causas relacionam-se com o valor dado por Newton à experimentação. De acordo com Cohen e Westfall [43], *a experimentação tornou-se um princípio e um método para Newton*, e a base experimental da sua filosofia passou a ser o traço mais marcante da ciência newtoniana. Nesse mesmo caminho, a abertura do *Livro I de Óptica* apresenta a seguinte afirmação: *Meu intento neste livro não é explicar as propriedades da luz por meio de hipóteses, mas sim propô-las e prová-las com o uso da razão e dos experimentos* [44, tradução nossa].

Acima de tudo, o filósofo britânico é um grande símbolo da preocupação moderna com o método nas ciências. Ele sabia que, para uma teoria ser bem-aceita pela comunidade científica, era preciso investir em uma metodologia adequada. Suas duas principais obras foram um reflexo disso: *Óptica* divulga ao público geral a correta arte do experimentador na concepção de Newton; *Principia* apresenta uma seção especial chamada *Regulae Philosophandi*. A experimentação teve um papel importantíssimo no desenvolvimento da óptica newtoniana; conceitos como refração foram extraídos da experiência [25]. No entanto, é necessário perceber que a experimentação não detinha tanta autoridade quanto possa parecer. Mesmo com sua relativa base experimental, a óptica de Newton ainda não havia alcançado

uma aceitação considerável no meio científico, apesar de o *Principia* já haver desfrutado de muitos seguidores. Tempo depois da divulgação do *Principia*, o professor lucasiano decidiu publicar *Óptica*; mais exatamente, apenas após a morte de Hooke, um dos grandes críticos dos experimentos newtonianos, *Óptica* chegou aos olhos dos leitores e críticos. Com a morte de Hooke, Newton se sentiu mais à vontade para basear ainda mais a sua óptica nos experimentos, mesmo que estes apresentassem muitas omissões e problemas estruturais e de formulação lógica. As teorias ópticas do filósofo britânico são mais do que experimentos; há nelas um dualismo claro entre o papel da matematização e o da experimentação. Esse dualismo pode servir, outra vez, como um exemplo contra as opiniões rígidas do fazer científico. O *Lectioes Opticae* é um modelo para esse dualismo; nele Newton estava decidido em divulgar uma ciência matemática da cor: a mensuração não era a chave, mas sim o cálculo [25]. Essa indecisão entre a matematização e a contingência da experimentação foi um dos traços notáveis do desenvolvimento lento e amadurecido de toda a óptica newtoniana.

Outro dualismo, aquele marcado pela equivalência entre o mundo físico e a construção matemática no *Principia*, por outro lado, tem considerável papel nessa contextualização; a gravidade (descrita e demonstrada por um axioma) seria o equivalente físico desse fenômeno [45]. Paralelamente, outros problemas ontológicos surgiram para o professor lucasiano; se o princípio das teorias newtonianas está estruturado pela matematização, logo eles não provêm da experiência ou da observação. Assim, o problema não era a matematização nem a experimentação, mas o porquê do fenômeno, isto é, o duelo entre o mundo físico e o matemático.

Após a frustração da teoria matemática da cor, há um novo artifício de Newton para a aceitação de suas teorias: o experimento crucial [46]. O *experimentum crucis* passa a fazer parte do contexto das disputas de aceitação da teoria newtoniana da cor e luz, uma vez que os experimentos anteriores não haviam ganhado a notoriedade esperada por Newton. Afinal de contas, os homens da nova ciência não eram ingênuos o suficiente para ficarem impressionados com a simples verificação experimental. Em essência, as teorias de Newton careciam de um maior apoio ontológico e epistemológico. Esse fato é um arrasador contraponto a concepções ingenuamente rígidas do fazer científico. Além disso, o professor lucasiano defendeu continuamente que a única prova a ser examinada provinha do experimento crucial. Contudo, ninguém conseguiu reproduzir os experimentos dele; principalmente, o mais importante (o *experimentum crucis*) não conseguiu ser reproduzido pelos pares – Newton muitas vezes omitia várias informações e dados, como se vê na carta de fevereiro de 1972 para Oldenburg.

No *Óptica*, Newton não usou mais o termo exper-

imento crucial, bem como omitiu os seus principais críticos, os quais sem dúvida contribuíram para o amadurecimento de todo o corpo teórico, como é o caso de Mariotte e Lucas [34]. De todos os críticos aquele que mais se destacou foi sem dúvidas Robert Hooke; ele ironizava constantemente o pequeno número de experimentos realizados por Newton [47]. A principal argumentação de Hooke era contra a valorização exacerbada sobre a verificação experimental, especialmente a baseada em poucos experimentos. Para esse filósofo, as comprovações experimentais de Newton não diziam nada a mais do que ele próprio poderia resolver com uma série de hipóteses diferentes.

7. Reflexão a propósito das implicações para o ensino

De modo teórico, sabe-se do potencial de discussões e apresentações como essas, quando se fala nos seus usos em sala de aula – quer em nível médio, quer na formação científica de nível superior. A concepção crítica no que concerne às características do conhecimento científico e do fazer ciência apresenta-se diretamente proporcional a noções mais abrangentes e claras do desenvolvimento histórico das ciências – o que, na maioria dos casos, liga-se também à história da filosofia. Não são poucos os trabalhos das últimas décadas que evidenciam esses pontos [48].

Há, a respeito dos trabalhos de Newton e de sua vida pessoal e acadêmica, caricaturas inadequadas, quando não fantasiosas, disseminadas por livros e professores nos mais variados níveis de estudo; essas disseminações induzem alunos e professores a várias associações ingênuas, levando-os a bastantes equívocos sobre a vida intelectual do filósofo de Woolsthorpe e sobre o período de desenvolvimento da física newtoniana.

Mesmo com a importância do assunto, a realidade dos cursos de formação científica se apresenta como obstáculo a ser superado; de fato, há lacunas gigantescas entre as reflexões históricas e filosóficas e os conteúdos atualmente abordados nos cursos científicos em geral. Seguindo esse caminho, sabe-se também da necessidade imprescindível de se reconhecer o que possa vir a ser uma formação científica adequada [12]; entretanto, na impossibilidade ou mesmo na inexistência desta, quando se fala no currículo tradicional, precisa-se reconhecer a necessidade de leituras que propiciem conhecimentos sólidos e bem-estruturados, a fim de que se evitem críticas contundentes [49]. Não se pode, de modo evidente, trazer à tona discussões filosóficas quanto à ciência utilizando livros-textos tradicionais como referência. Contudo, é fácil encontrar, nos mais variados periódicos de ensino de ciências, artigos com leituras acessíveis referentes a discussões epistemológicas; trabalhos esses que podem subsidiar os professores na estruturação de suas aulas, dando a elas uma roupagem diferenciada e mais adequada. Nessa

preparação do professor, a leitura de originais é desejável e oportuna; essa atitude, porém, exige tempo de aprofundamento e de maturação idéias e conceitos, o que infelizmente é incompatível, não poucas as vezes, com o tempo disponível pelos professores fora da sala de aula. Todavia, dependendo dos objetivos traçados pelo docente, a consulta a trabalhos de bons historiadores e filósofos da ciência pode suprir muitas das carências apresentadas, quer pelos livros-textos, quer pelos alunos.

Por fim, é necessário ressaltar a relevância do referencial educacional na aproximação e articulação da história da ciência a discussões sobre a natureza da ciência, qualquer que seja o episódio histórico. Nesse sentido, a atenção dada a vários aspectos do contexto de desenvolvimento da física newtoniana, no presente trabalho, cumpre uma primeira etapa de um processo mais amplo, que ainda carece de uma adequação pedagógica para a sua implementação em uma situação concreta de ensino.

Agradecimento

Este trabalho foi desenvolvido com apoio parcial do CNPq.

Referências

- [1] D. Hodson, *Science Education* **72**, 19 (1988).
- [2] J. Campanario, *Enseñanza de las Ciencias* **17**, 397 (1999).
- [3] J. Gustafson and P. Rowell, *International Journal of Science Education* **17**, 589 (1995).
- [4] J. Praia and F. Cachapuz, *Enseñanza de las Ciencias* **12**, 350 (1994).
- [5] J. Sandoval, J.S. de Salinas, L.C. Colombo e M. Jaen, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **17**, (1995).
- [6] M.F. Thomaz, M.N. CRuz, I.P. MArtins y A. Cachapuz, *Enseñanza de las Ciencias* **14**, 315 (1996).
- [7] D. Gil-Pérez, I.F. Montoro, J.C. Alís e A. Cachapuz, *J. Ciência & Educação* **7**, (2001).
- [8] I. Fernández, et al. *Enseñanza de las Ciencias* **20**, 477 (2002).
- [9] T.S. Kuhn, *A Tensão Essencial* (Edições 70, Lisboa, 1977).
- [10] T.S. Kuhn, *The Structure of Scientific Revolutions - Internacional Enciclopedia of Unified Science* (University of Chicago Press, Chicago, 1979), v. 2, n. 2.
- [11] A. Mengascini, A. Menegaz, S. Murriello y D. Petrucci, *Enseñanza de las Ciencias* **22**, 65 (2004).
- [12] D. Aurino da Silva, *Aspectos Epistemológicos da Física Newtoniana na Formação Científica*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, 2009.
- [13] Aristóteles, *Física* (Gredos, Madrid, 1995), II, 8, 199 b 32.
- [14] I. Newton, *Opticks or a Treatise of the Reflections, Refractions, Inflections & Colours of Light* (Dover, New York, 1952), III, 1, q. 31.
- [15] Aristóteles, op. cit., VII, 1.
- [16] Aristóteles, *Metafísica* (Gredos, Madrid, 1970), θ , 8.
- [17] I. Newton, *Mathematical Principles of Natural Philosophy and System of the World* (Berkeley, University of California Press, 1934), Book III.
- [18] I. Newton, *Original Letter from Isaac Newton to Richard Bentley* (Trinity College Library, Cambridge, 1692), disponível em www.newtonproject.sussex.ac.uk, acesso em 3/2/2009.
- [19] I. Newton, *Philosophical Transaction of the Royal Society of London* **342**, 173 (171?).
- [20] D. Gil-Pérez, *Enseñanza de las Ciencias* **1**, 26 (1983).
- [21] D. Gil-Pérez, *Enseñanza de las Ciencias* **4**, 111 (1986).
- [22] I. Newton, *Mathematical Principles of Natural Philosophy and System of the World* (University of California Press, Berkeley, 1934), book II.
- [23] I. Newton, *Mathematical Principles of Natural Philosophy and System of the World* (University of California Press, Berkeley, 1934), p. 544.
- [24] I. Newton, op. cit, p. 400.
- [25] A. Shapiro, *Physics Today* **37**, 34 (1984).
- [26] Aristóteles, *Física* (Gredos, Madrid, 1995), libro I, 1, 184 a.
- [27] B. Cohen and R. Westfall, *Newton: Textos, Antecedentes, Comentários* (Contraponto, Ed. UERJ, Rio de Janeiro, 2002).
- [28] Voltaire, in *Voltaire's Prose*, edited by A. Cohn and B. Woodward (D.C. Heath & CO. Publishers, Boston, 1906), p. 54.
- [29] E. Cassirer, *The Philosophical Review* **52**, 370 (1943), disponível em www.jstor.org/stable/2180670, acesso em 21/5/2010.
- [30] I. Newton, *Mathematical Principles of Natural Philosophy and System of the World* (University of California Press, Berkeley, 1934), p. 547.
- [31] A. Koyré, *Newtonian Studies* (The University of Chicago Press, Chicago, 1965).
- [32] F. Bacon, *Novum Organum* (Globus Publishing, New York, Berlin, 200?).
- [33] I. Newton, *Mathematical Principles of Natural Philosophy and System of the World* (University of California Press, Berkeley, 1934), p. 152.
- [34] S. Schaffer, in *Newton: Textos, Antecedentes, Comentários*, edited by B. Cohen and R. Westfall (Contraponto, Ed. UERJ, Rio de Janeiro, 2002), p. 250-269.
- [35] C. MacLaurin, *An Account of Sir Isaac Newton's Philosophical Discoveries* (Printed for the author's children, London, 1748).
- [36] A. Hall and M. Hall, *Newton: Textos, Antecedentes, Comentários*, edited by B. Cohen and R. Westfall (Contraponto, Ed UERJ, Rio de Janeiro, 2002), p. 100-118.

- [37] J. McGuire and P. Rattansi, Notes and Records of the Royal Society **21**, 108 (1966).
- [38] J. McGuire and P. Rattansi, Notes and Records of the Royal Society **21**, 112 (1966).
- [39] I. Newton, Notes and Records of the Royal Society **21**, 112 (1966).
- [40] I. Newton, *Opticks or a Treatise of the Reflections, Refractions, Inflections & Colours of Light* (Dover, New York, 1952), p. 369.
- [41] I. Newton, in *A Biography of Isaac Newton*, editado por R. Westfall (Cambridge University Press, Cambridge, 1983).
- [42] P. Abrantes, *Imagens de Natureza, Imagens de Ciência* (Papyrus, Campinas, 1998).
- [43] B. Cohen and R. Westfall, *Newton: Textos, Antecedentes, Comentários* (Contraponto/Ed. UERJ, Rio de Janeiro, 2002), p. 189.
- [44] I. Newton, *Opticks or a Treatise of the Reflections, Refractions, Inflections & Colours of Light* (Dover, New York, 1952), p. 1.
- [45] I. Newton, *Mathematical Principles of Natural Philosophy and System of the World* (University of California Press, Berkeley, 1934), Book I.
- [46] I. Newton, *A Theory Concerning Light and Colours* (Trinity College Library, Cambridge, 1692), disponível em www.newtonproject.sussex.ac.uk, acesso em 3/2/2009.
- [47] R. Hooke, The History of the Royal Society of London **3**, 10 (1757).
- [48] M. Clough and J. Olson, Science & Education **17**, 143 (2008).
- [49] R. Martins, in *Estudos de História e Filosofia da Ciência: Subsídios para Aplicação no Ensino*, organizado por C. Silva (Livraria da Física, São Paulo, 2006).