

A HISTÓRIA DA CIÊNCIA ILUMINANDO O ENSINO DE VISÃO

Marcelo Alves Barros*

Anna Maria Pessoa de Carvalho**

Resumo: Nosso objetivo neste artigo é discutir as contribuições da História da Ciência para o ensino de Física. Apontaremos duas maneiras de se utilizar a História da Ciência em sala de aula: por uma lado, servindo de instrumento para auxiliar o professor a compreender as dificuldades dos estudantes e, por outro, promover uma reflexão sobre a própria natureza da Ciência.

Unitermos: História da Ciência, Ensino de Física, Mudança Conceitual, Atividade de investigação, Óptica, Ciência e Tecnologia, Telescópio.

Abstract: *Our aim in this article is to discuss the contributions of History of Science to the teaching of Physics. We will show two ways to use the History of Science in the classroom: by one side, serving as a tool to help the teacher to understand the difficulties of the students and, by other side, to promote a reflection on the own nature of Science.*

Keywords: *History of Science, Teaching of Physics, Conceptual Change, Investigation Activity, Optics, Science and Technology, Telescope.*

1. INTRODUÇÃO

É consenso entre a maioria dos professores e pesquisadores em ensino de Física a utilização da História da Ciência como uma ferramenta para promover a construção dos conhecimentos científicos em sala de aula e estudos têm apontado um parentesco entre as concepções alternativas dos estudantes e os modelos científicos que predominaram em determinado período histórico nos mais diversos campos do conhecimentos.

Segundo Laranjeiras (1994), tem-se observado duas grandes tendências de abordagem histórica no ensino de Ciências. Uma perspectiva que concebe a História da Ciência enquanto elemento auxiliar para a compreensão das teorias científicas e, outra, que entende a História da Ciência como elemento constituinte da própria Ciência.

Ignorar a dimensão histórica da Ciência reforça uma visão distorcida e fragmentada da atividade científica (Castro, 1995), pois ao desprezar o papel do pensamento divergente e de opiniões conflitantes no processo de construção do conhecimento científico estamos subestimando a criatividade do trabalho científico.

Tal perspectiva acaba criando um obstáculo para o ensino de Ciências, moldando o comportamento do estudante a uma imagem indutivista da Ciência, baseada em observações e experimentações não sujeitas a idéias apriorísticas, com a desconsideração do papel das hipóteses e teorias, ignorando-se o papel da comunidade científica, os equívocos, as crenças metafísicas, os compromissos epistemológicos, os dilemas éticos etc.

* *Professor de Física da Escola de Aplicação da Faculdade de Educação da USP e doutorando em Ensino de Ciências pela Faculdade de Educação da USP*

** *Professora Titular da Faculdade de Educação da USP (e-mail: ampdcarv@usp.br)*

2. PRESSUPOSTOS TEÓRICOS PARA A ELABORAÇÃO DO ENSINO

Nossa visão de ensino é construtivista e, portanto, entendemos que o conhecimento não é recebido passivamente, mas ativamente construído pelo sujeito.

Segundo Wheatley (1991), podemos afirmar que:

“Idéias e pensamentos não podem ser comunicados, no sentido dos significados serem empacotados em palavras e “enviados” a outra pessoa que os desempacota das frases. Não importa o quanto desejássemos que fosse diferente, não podemos colocar idéias nas mentes dos estudantes, eles devem e irão construir seus próprios significados”.

Outro pressuposto sobre a questão da construção do conhecimento considera que tudo o que se aprende depende dos conhecimentos que já se tinha antes. Nesse sentido o conhecimento é sempre contextual e indissociável do sujeito (Wheatley, 1991).

A partir desses pressupostos alguns autores (Driver, 1986; Gil-Pérez, 1993; Wheatley, 1991 e Duschl, 1995) irão conceber a aprendizagem das Ciências não apenas como uma mudança conceitual, senão como uma mudança conceitual e metodológica na forma de resolver os problemas, buscando aproximar as situações de aprendizagem com as características de uma atividade de investigação científica.

Entre as principais características de um trabalho de investigação científica podemos citar: o tratamento de situações problemáticas abertas de interesse, a análise qualitativa da situação problemática, a invenção de conceitos e a emissão de hipóteses, a elaboração de estratégias de resolução e a análise dos resultados obtidos através da confrontação com aqueles obtidos por outros grupos.

Além disso, Gil-Pérez & Carrascosa (1985) têm apontado que a existência de um certo paralelismo entre as concepções alternativas dos estudantes e a evolução histórica da Ciência parece supor que tal coincidência não pode ser meramente acidental, senão uma forma também similar de resolver os problemas. Esta forma similar de abordar os problemas é fruto daquilo que podemos denominar “metodologia da superficialidade”, caracterizada pela ausência de dúvidas e consideração de possíveis soluções alternativas, por respostas rápidas e seguras baseadas na evidência de senso-comum, por tratamentos pontuais, pela ausência de coerência global etc.

Outro aspecto importante do ensino construtivista está relacionado ao caráter social da construção dos conhecimentos em sala de aula. Pesquisas demonstram que quando aumentam as oportunidades de discussão e argumentação, também se incrementam as habilidades dos alunos compreenderem os temas submetidos à investigação e os processos de raciocínio (Newman, 1989; Resnick, 1987; Rogoff, 1984, apud Duschl, 1995).

Como sabemos, os estudantes por si sós não são capazes de construir os conhecimentos que tanto tempo e esforços exigiram dos cientistas e, por isso, o trabalho em grupo passa a desempenhar um papel central na aprendizagem.

Segundo Wheatley (1991), no processo de contar aos outros como pensam sobre um problema, os estudantes elaboram e refinam seus pensamentos e aprofundam sua compreensão.

Cabe ressaltar aqui a importância da interação entre os grupos como uma etapa fundamental do trabalho do aluno, na medida em que a limitação das hipóteses e dos resultados obtidos por um único grupo e a necessidade de confrontação com outros grupos constitui-se

em um aspecto marcante da pesquisa científica e, portanto, de acordo com um modelo de aprendizagem como investigação.

Destacamos, todavia, que não se trata simplesmente de fazer do “método científico” o objetivo único do ensino, mas de exigir a participação ativa dos alunos na construção dos conhecimentos. Nesse sentido, Gil-Pérez (1986) assinala que a construção de conhecimentos e a familiarização com a metodologia devem se converter em objetivos inseparáveis, ao lado dos problemas experimentais e das atividades de introdução de conceitos.

Quanto ao papel do professor nesse processo devemos mencionar que ele deve considerar seus alunos como membros de uma equipe de investigação, auxiliando-os a superarem suas dificuldades, atuando como um facilitador das informações, coordenando as discussões e formulando perguntas desafiadoras com o objetivo de valorizar a explicação científica, ou seja, adotando práticas que permitam o desenvolvimento das habilidades dos estudantes com relação aos objetivos sociais, cognitivos e epistemológicos do que representa aprender e praticar Ciência.

3. EVOLUÇÃO DAS IDÉIAS EM ÓPTICA¹

A seguir apresentaremos uma descrição da evolução das idéias em óptica desde os antigos pensadores da Grécia Antiga (séculos V-III a.C.), passando pela Escola Árábica (séculos IX-X) e, finalmente, chegando até a Óptica Moderna (século XVII em diante). Com isso pretendemos mostrar quais têm sido os principais obstáculos encontrados pelos cientistas - e a forma como foram superados - ao explicar como enxergamos os objetos, buscando identificar as dificuldades que os estudantes também encontram ao tentar explicar fenômenos relacionados à luz e visão e aos processos de formação e observação de imagens em uma situação de ensino.

É comum atribuímos ao século XVII o surgimento da óptica geométrica tal como a conhecemos nos dias de hoje. No entanto, de um ponto de vista histórico, a óptica geométrica tem suas raízes em especulações muito mais remotas, feitas pelos principais pensadores da Antigüidade, e remonta a vinte longos séculos de discussões.

Entre os principais obstáculos encontrados pelos antigos pensadores para explicar a visão, podemos destacar o fato de não se poder apelar nem para um tipo de contato direto entre o objeto e o olho, nem tampouco a alguma exalação ou uma vibração transmitida pelo meio, pois nesses meios de comunicação os efeitos podiam ser sentidos no decorrer de um determinado intervalo de tempo.

Além disso, as formas e cores dos objetos podiam ser vistas mesmo a distância e, se havia alguma coisa emitida do objeto observado para o olho do observador, ela não poderia ser alguma exalação sem forma, mas, ao contrário, deveria ser algo que transportasse a forma e a cor do objeto.

Desde que os filósofos da Antigüidade não admitiam a possibilidade de ação a distância, logo algum tipo de ligação entre a fonte e o objeto deveria ser admitida a fim de explicar como o olho adquiria conhecimento sobre as propriedades dos corpos.

Uma teoria aceita na Antigüidade atribuía a toda sensação o resultado de algum tipo de contato ou toque. Desse modo, todas as nossas percepções seriam tácteis, todos os nossos sentidos seriam uma forma de toque e, desde que a alma não poderia ir até os objetos, logo estes objetos deveriam tocar a alma, passando através dos órgãos dos sentidos.

¹ Uma descrição mais completa da história da óptica e algumas atividades de ensino encontram-se em Barros (1996).

Contudo, como o que chegava até nossos olhos não poderia ser o objeto real, então algum tipo de imagem ou pele que se desprendia do corpo deveria atingir os olhos do observador, transportando para a alma as formas, as cores e todas as outras qualidades do corpo. Esse raciocínio conduziu à concepção da *eidola*, ou peles, ou imagens ou, como elas eram chamadas na Idade Média, *species*.

Diante dessa concepção vários obstáculos se colocavam para os antigos pensadores: Como explicar que a imagem de um objeto tão grande quanto uma montanha pudesse entrar na pupila do olho do observador? Por que um objeto, mesmo se fosse muito pequeno, parecia borrado quando estava muito próximo do olho? Por que em certos momentos as coisas não eram vistas, como uma agulha sobre o chão e, de repente, apareciam?

Para resolver essas dificuldades, inúmeras hipóteses passaram a ser atribuídas às imagens. Um exemplo típico consistia em conferir-lhes a propriedade de contraírem-se ao longo do caminho até tornarem-se pequenas o bastante para entrar na pupila do olho do observador.

No entanto, essa propriedade se tornava ainda mais peculiar caso se considerasse que a pupila do observador poderia estar localizada em qualquer ponto, perto ou longe do objeto. Assim, as imagens que fossem transmitidas ao longo de qualquer direção teriam que diminuir de tamanho em diferentes proporções, a fim de serem capazes de ajustar-se à pupila, que poderia estar em qualquer posição.

Apesar dos esforços dos defensores dessa teoria para superar as dificuldades mencionadas, um problema ainda permanecia sem solução e dizia respeito à questão da distância da qual um objeto realmente poderia ser visto.

Como havia um número infinito de objetos, todos de diferentes dimensões, o objeto tinha que estar localizado no espaço a uma distância definida. Mas, como já era sabido, as imagens não transmitiam qualquer informação para a determinação desses dois fatores geométricos, a distância e as dimensões, e, portanto, essa teoria tornou-se incapaz de explicar satisfatoriamente o fenômeno da visão.

Paralelamente, outra teoria bastante difundida na Antigüidade sustentava a hipótese dos raios visuais. Essa teoria supunha que do olho emanavam segmentos retilíneos, capazes de examinar o mundo externo e trazer para a mente dados necessários para conhecermos e apresentarmos as formas e cores dos corpos.

No entanto, diversos obstáculos também se apresentavam para os defensores dessa teoria: Por que os raios visuais não eram capazes de examinar o mundo exterior quando estávamos no escuro? Por que os raios visuais não permitiam que enxergássemos um corpo colocado muito próximo do olho? Como os raios visuais eram capazes de alcançar corpos distantes como o Sol, a Lua e as estrelas?

Entre os principais defensores dessa teoria podemos citar o filósofo grego Pitágoras (~580-500 a.C.). Segundo ele, os raios visuais emanavam do olho, propagavam-se em linha reta e se chocavam com o corpo observado, sendo a visão a consequência deste choque. Como esses raios eram divergentes, a certa distância do olho se tornava apreciável o espaço que os separava, o que explicaria que, a grandes distâncias, os objetos pequenos poderiam escapar à ação visual. Essa idéia foi admitida pela maioria dos filósofos da Antigüidade, estendendo-se seu êxito durante toda a Idade Média.

Já para o filósofo Platão (428-347 a.C.), a visão de um objeto era formada por três jatos de partículas: um partindo dos olhos, um segundo proveniente do objeto percebido e um terceiro vindo das fontes luminosas. Assim, um feixe de raios luminosos partia dos olhos até o objeto observado, lá se combinava com os raios provenientes da fonte iluminadora, retornando então aos olhos, o que lhes dava a sensação de visão.

O desenvolvimento do modelo pitagórico do vínculo entre objeto e olho somente foi realizado pelo matemático grego Euclides (~323-285 a.C.). No tratado denominado Óptica, Euclides preocupou-se em estudar a visão de objetos de formas diversas, sustentando a idéia pitagórica de raios emitidos pelos olhos. Ele postulou que os raios visuais eram emitidos pelos olhos na forma de um cone, cujo ápice estaria no olho e a base, na extremidade do objeto observado, e que estes raios propagavam-se em linha reta com velocidade constante. Criou, ainda, o conceito de raio, que permitia tratar o problema da retilinearidade da propagação da luz de um ponto de vista puramente geométrico, exercendo, assim, uma influência decisiva na construção das teorias sobre a luz e visão.

3.1 A escola arábica (séc. IX-XI)

Para testemunharmos o declínio das antigas teorias sobre visão, devemos analisar detalhadamente as novas contribuições ao estudo da óptica geométrica que somente foram realizadas no século XI com a publicação da obra de Al Hazen (965-1039) - Tesouro da Óptica - por volta de 1038.

Al Hazen deu um golpe mortal na teoria dos raios visuais, após considerar que mesmo depois de olhar para o Sol e, então, fechar os olhos, uma pessoa continuava a ver o disco solar por algum tempo. Além disso, observou que enquanto permanecia olhando fixamente para o Sol, um observador sentia um efeito fisiológico associado com ofuscamento ou dor.

Esses dois fatos entravam claramente em conflito com a teoria dos raios visuais, pois, se a emissão desses raios envolvesse sofrimento, eles naturalmente não poderiam ser emitidos e, tão logo os olhos se fechassem, a visão deveria cessar. Segundo Al Hazen, o fenômeno real exigia um agente externo que deveria impressionar o olho do observador, além do que, se o agente fosse muito forte, ele afetaria o órgão do sentido de tal modo, que aquela impressão ainda permaneceria por algum tempo, mesmo após o observador ter fechado os olhos.

O mesmo sucedeu com a teoria das imagens, uma vez que Al Hazen procurou fornecer um mecanismo que afastasse das imagens a propriedade de contraírem-se ao longo do caminho antes de alcançarem o olho do observador. Segundo Al Hazen, se o objeto fosse menor do que a pupila, sua pequeníssima imagem poderia se propagar em linha reta e entrar na pupila sem qualquer necessidade de ter que se reduzir ao longo do caminho. Contudo, para qualquer outro objeto, era admitido que fosse formado por infinitos pontos, e que cada ponto emitia em todas as direções sua própria imagem, que poderia entrar na pupila sem ter de sofrer qualquer alteração ao longo do caminho.

Além disso, o fato de uma pessoa sentir dor quando olhava diretamente para o Sol levou Al Hazen a pensar que os raios solares deveriam consistir em alguma coisa capaz de afetar o sensorium a ponto de feri-lo, atribuindo, assim, aos raios o poder de arrancar os pontos imagens dos corpos, quando estes eram iluminados pelo Sol. Além disso, com argumentos originais procurou convencer-se de que este agente físico deveria existir e incumbiu-se de determinar sua natureza.

Segundo Ronchi (1957), a idéia de que os raios de luz eram as trajetórias de minúsculos corpúsculos materiais já estava expressa na obra de Al Hazen, tendo sido, inclusive, a primeira vez em que ocorrera uma discussão da entidade que os físicos hoje chamam luz e a primeira vez que a teoria corpuscular fora apresentada.

Portanto, as contribuições da obra de Al Hazen para a compreensão do mecanismo da visão foram decisivas e, com sua tradução para o Latim, exerceu grande influência sobre

os filósofos ocidentais da Idade Média.

Entre suas principais contribuições podemos citar, por um lado, a formulação de uma teoria sobre a formação das figuras dentro do olho por um mecanismo envolvendo pontos imagens e, por outro, a coexistência de um agente externo capaz de agir sobre o olho.

Contudo, em meio a todo esse período de fértil desenvolvimento das idéias em óptica geométrica, ainda faltava o descobrimento da chave para a compreensão do mecanismo da visão, que só viria a ser alcançada com o surgimento da nova óptica no século XVII.

3.2 A Óptica no século XVII

É somente com a publicação em 1604 do *Suplento a Witelo (Ad Vitellionem Paralipomena)* de Kepler (1571-1630) que encontramos a primeira explicação cientificamente aceita para o mecanismo da visão.

Para Kepler os corpos externos consistiam de agregados de pontos. Cada ponto emitia em todas as direções raios retilíneos que se propagavam indefinidamente, ao menos que encontrassem algum obstáculo. Se um olho encontrava-se em frente destes pontos, então, todos os raios que entrassem no olho do observador formariam um cone, tendo o ponto como vértice e a pupila como base. Além disso, esses raios refratados pela córnea e partes internas do olho formariam um novo cone, cuja base estaria na pupila, mas cujo vértice estaria num ponto sobre a retina.

Kepler estabeleceu que o cone de raios emitidos por um ponto objeto, depois que entrava na pupila, reconvergia para um ponto sobre a retina do olho do observador, onde a estimulação do *sensorium* ocorria e onde os sinais que seriam transmitidos para a mente eram originados. Uma vez recebidos estes sinais, a mente criava, então, uma figura com a mesma forma do objeto e a localizava exatamente onde o objeto era visto.

Quanto ao problema da localização do objeto, Kepler estabeleceu que a direção dos raios, chegando à córnea vindos do ponto objeto, estava diretamente vinculada à posição do ponto sobre a retina que recebia o estímulo, fazendo com que, se a direção fosse alterada, o ponto estimulado também mudaria.

Para o problema da determinação da distância entre objeto e olho, Kepler recorreu ao cone de raios que tinha o ponto objeto como vértice e a pupila como base, inventando o termo triângulo telemétrico para designar o triângulo que tinha seu vértice no ponto objeto e sua base num diâmetro da pupila. Em outras palavras, ele assumiu que o olho era capaz de receber os raios divergentes formando dois longos lados de um triângulo. Sua conclusão era que a mente localizava o ponto luminoso no vértice do cone de raios alcançando a córnea, ou seja, que o ponto luminoso era visto naquele vértice.

Para um objeto extenso, o raciocínio era repetido ponto a ponto de tal modo que sobre a retina havia uma figura semelhante ao objeto em todos os aspectos. A mente do observador, informada pelos sinais recebidos através do nervo óptico, reconstruía a figura externa ponto a ponto e localizava-a na distância e direção indicada pelo triângulo telemétrico dos pontos individuais. Em suma, a figura vista era a projeção externa da figura interceptada sobre a retina.

Em síntese, devemos considerar que o sucesso da teoria de Kepler deveu-se ao fato de ela ter sido muito bem recebida no interior do movimento filosófico dominante no século XVII. Com a revolução da época, a Ciência, que havia sido predominantemente antropomórfica, tendo como principal objetivo explicar como a mente humana conhecia o mundo exterior, passou a investigar a estrutura e as leis do universo independentemente da presença do observador.

Para a óptica geométrica as conseqüências dessa mudança foram dramáticas.

Segundo Ronchi (op.cit.), a incorporação da lei do triângulo telemétrico de Kepler, de acordo com a qual o olho tinha de ver todos os pontos luminosos no vértice do cone de raios alcançando a córnea, conduziu à separação dos aspectos fisiológicos e psicológicos dos aspectos físicos da visão marcando, assim, o desaparecimento de duas distinções fundamentais: entre *lux* e *lumen*, por um lado e, entre *imagens das coisas* e projeções, por outro.

Lumen e *lux* foram substituídas e passou-se a utilizar simplesmente o termo *luz*. As *imagens das coisas* e as *projeções* combinaram-se no conceito de imagem óptica, que atualmente chamamos de *imagem real* e *imagem virtual*, abrindo definitivamente o caminho para o progresso da nova óptica.

4. O PROBLEMA DAS OBSERVAÇÕES ASTRONÔMICAS ATRAVÉS DA LUNETAS DE GALILEU NO SÉCULO XVII²

Discutiremos um episódio da História da Ciência que pode ser levado para a sala de aula. Trata-se das novas descobertas astronômicas proporcionadas pela utilização de telescópios, aperfeiçoados no século XVII pelo estudioso e inventor italiano Galileu Galilei. A partir desse episódio será possível discutir alguns aspectos das relações entre Ciência e Tecnologia, particularmente a idéia bastante comum da Ciência hierarquicamente superior à Tecnologia, encarada esta última como uma aplicação da primeira.

Durante o verão de 1609, um holandês visitou Pádua, cidade onde Galileu Galilei residia na época, trazendo consigo um instrumento através do qual avistava-se os objetos em tamanho três vezes maior que a olho nu. O estrangeiro tentou vendê-lo ao governo local, mas como preço solicitado era muito alto e ouvira-se da existência de instrumentos semelhantes com poder de aumento superior, este foi recusado. Soube-se então que o aparato consistia de um longo tubo, contendo uma lente de vidro em cada extremidade.

Galileu, além de professor, desenvolvia atividades de consultoria em problemas de engenharia civil e militar. Desta forma, provavelmente prevenido a utilidade de tal instrumento para a frota naval de Veneza, contra os turcos, decidiu tentar sua construção. E assim o fez, raciocinando que uma das lentes teria que ser côncava e a outra convexa. Lentes planas não produziam efeito algum; uma lente convexa ampliaria o objeto, mas sem resolução e nitidez, enquanto que uma lente côncava reduziria seu tamanho aparente, mas poderia talvez eliminar a falta de nitidez. Tentando esta combinação, com a lente côncava próxima de seu olho, verificou que o efeito era de fato produzido: era possível observar objetos com suas dimensões ampliadas em três vezes.

Antes do final daquele mesmo ano, Galileu havia construído telescópios de qualidade satisfatória e poder de ampliação significativo para observações astronômicas.

Veja, abaixo, como é narrado o episódio através de um diálogo imaginado entre pessoas da época por Stillman Drake (1983), grande especialista em Galileu Galilei.

² Este tópico foi extraído do trabalho de mestrado de A.I.Vannucchi (1997). Cabe mencionar que eu fui o professor da turma que trabalhou sobre o tema em questão.

Sarpi: Por volta de novembro de 1608, recebi da Holanda um pequeno folheto descrevendo um instrumento, elaborado por um fabricante de óculos de Middlebourg. Este instrumento ampliaria objetos distantes, fazendo-os aparentarem estar mais perto.. Eu imediatamente escrevi para amigos no exterior indagando a veracidade do fato. (...) Jacques Badovere me respondeu dizendo que o efeito de ampliação era de fato real e que imitações da luneta holandesa já estavam sendo vendidas em Paris, onde ele mora, embora estas imitações fossem pouco potentes, praticamente brinquedos.

(...) Eu e Galileu tínhamos, por diversas ocasiões ao longo dos muitos anos de relacionamento, discutido sobre Ciência, de modo que ele não havia jamais demonstrado maior interesse pela astronomia, nem estava pensando em tal assunto quando ouviu falar da luneta holandesa.

Sagredo: Pelo que eu conheço dele, seu interesse deu-se pela possibilidade de obter vantagem para Veneza sobre os turcos, através da posse de uma luneta pela nossa marinha.

Sarpi: Você tem razão. Em junho, ele havia requisitado um aumento de salário ao nobre Signor Piero Duono, que visitava Pádua, mas as negociações provaram-se infrutíferas. Nosso amigo ouviu falar da luneta pela primeira vez numa breve visita a Veneza, em julho, e então percebeu que talvez pudesse construir uma de valor naval para a República. Tão logo ouviu os relatos, nos quais alguns acreditavam e outros ridicularizavam, ele me visitou para saber minha opinião. Eu mostrei-lhe a carta de Badovere atestando a existência do instrumento holandês e ele retornou imediatamente a Pádua para tentar, em sua oficina, a reinvenção e construção da luneta.

Sagredo: Quando eu voltei da Síria ouvi dizer que, justamente nessa época, um estrangeiro visitou Veneza com um desses instrumentos, tentando vendê-lo ao nosso governo por um preço alto, de modo que a oferta foi recusada. Tal coincidência de fato ocorreu?

Sarpi: De fato. E por coincidência ainda maior o estrangeiro chegou em Pádua imediatamente após nosso amigo tê-la deixado para visitar Veneza. Algumas pessoas em Pádua viram o instrumento, como nosso amigo descobriu em seu regresso, mas pelo mesmo golpe do destino, o estrangeiro havia acabado de partir para Veneza.

Sagredo: Então nosso amigo obteve considerável benefício prático, podendo saber por outras pessoas de Pádua como o instrumento era construído.

Sarpi: De modo algum, pois o estrangeiro não permitia a ninguém exame mais minucioso que olhar através da luneta. O preço que pedia por ela era de mil ducados, tanto que os senadores hesitaram agir sem aconselhamento e me indicaram para apreciar a questão. É claro que eu desejava estudar sua construção, mas fui proibido pelo estrangeiro de desmontá-la. Tudo que pude descobrir era que constava de duas lentes, uma em cada extremidade de um longo tubo. Portanto, isto é tudo que poderia ter sido relatado ao nosso amigo em Pádua. A luneta não era de fato muito

potente, ampliando uma linha distante em apenas três vezes. Sabendo pelo folheto que os holandeses já possuíam lunetas mais potentes, aconselhei o senado contrariamente a este gasto dos fundos públicos e o estrangeiro partiu contrariado.

(...) Justamente nesta época, recebi uma carta de nosso amigo, que dizia ter obtido o efeito de ampliação, embora fraco. Também estava confiante de poder melhorá-lo consideravelmente, num tempo curto.

Sagredo: Ele contou como havia descoberto o segredo tão rapidamente?

Sarpi: Não naquela carta rápida. Mas posteriormente disse ter raciocinado que uma das lentes deveria ser convexa e a outra côncava. Uma lente plana não produziria efeito algum; uma lente convexa ampliaria os objetos, mas sem resolução e nitidez, enquanto que uma lente côncava reduziria seu tamanho aparente, mas talvez pudesse eliminar a falta de nitidez. Experimentando duas lentes de óculos, com a côncava próxima de seu olho, ele constatou o efeito desejado. Os problemas eram, então, polir a lente côncava mais profundamente que se faz óculos para míopes e, também, moldar a lente convexa no raio de uma esfera grande, aguçando seu efeito. Por motivos óbvios, ele o fez por si mesmo, pois não desejava que nenhum polidor de lentes soubesse seu plano. No meio de agosto, ele retornou a Veneza com uma luneta que ampliava oito vezes ou mais. Com ela, da campânula em São Marco, descreveu navios que se aproximavam, duas horas antes que pudessem ser avistados por observadores treinados.

Sagredo: Sabemos que ele presenteou a luneta ao Duque e em retorno recebeu um salário dobrado e posição vitalícia na universidade, embora ele tenha logo deixado o magistério e se colocado a serviço de Cosimo II de Medici, na corte toscana. Agora, o que fez com que ele voltasse este instrumento comercial e naval para os propósitos da astronomia?

Sarpi: O folheto dizia, no final, que estrelas invisíveis a olho nu eram observadas através da luneta. Talvez nosso amigo tenha logo verificado tal fato, ou tenha-o descoberto ele próprio (...).

Salviati: Talvez eu possa esclarecer o que aconteceu a seguir. Tendo presenteado sua primeira luneta ao Duque, nosso amigo desvencilhou-se de suas obrigações ao príncipe e aluno. Apresentou a Cosimo, em Florença, um instrumento semelhante, útil para fins militares. Ocorreu-lhe que, outro, ainda mais potente, seria um presente apreciável para o jovem grão-duque. Tencionava aperfeiçoar ainda mais a luneta. Entretanto, para tal finalidade, necessitava de vidro duro e cristalino de espessura que não era utilizada pelos fabricantes de óculos. Receando que outros o antecipssem, caso tomassem conhecimento do material de que necessitava, solicitou o vidro em Florença, na qualidade e tamanho que desejava. Poliu, então, lentes apropriadas para um telescópio duas vezes mais potente que aquele construído anteriormente, que já era quase três vezes mais potente que os brinquedos feitos com lentes de óculos. Ele completou o empreendimento no fim de novembro, e enquanto testava-o ao entardecer, ocorreu de apontá-lo em direção à lua, então crescente.

Através do telescópio a luz apresentou-se tão diferente do esperado, tanto em relação à sua posição iluminada, quanto à escura, que durante todo um mês ocupou a atenção exclusiva de nosso amigo.

Assim, embora Galileu tenha transformado a luneta num instrumento que possibilitava até a observação astronômica, não sabia explicar porque e como funcionava aquele objeto. Somente no ano seguinte, um astrônomo da época, Johannes Kepler, escreve um livro no qual deduz os princípios de funcionamento do telescópio, analisando geometricamente a refração da luz por lentes. Mas a formulação correta da lei da refração não era conhecida, como também não se tinha ainda um modelo aceitável para explicar porque, afinal, a luz era refratada pelas lentes. Estes fatos só seriam esclarecidos cerca de 70 anos mais tarde pelo holandês Christian Huyghens.

Ou seja, apenas no ano seguinte ao aperfeiçoamento da luneta por Galileu, Kepler explicou como se dava seu funcionamento. Entretanto, porque o instrumento funcionava daquela forma só pôde ser compreendido 70 anos mais tarde.

5. CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS

A partir dessas considerações sobre a evolução das idéias em óptica e do episódio do aperfeiçoamento da luneta por Galileu podemos destacar alguns aspectos que consideramos essenciais para a elaboração de uma proposta de ensino sobre óptica baseada nas contribuições da História da Ciência.

Inicialmente devemos lembrar que, segundo Ramadas & Driver (1989), a partir do estudo sobre o desenvolvimento histórico das idéias sobre luz e visão podemos descobrir a extensão das idéias e explicações que têm sido documentadas em diferentes culturas e, deste modo, conceber maior credibilidade às idéias dos estudantes.

Uma relação particularmente importante do paralelismo existente entre as concepções alternativas dos estudantes e as idéias em óptica está a ligação entre as idéias sobre luz com as idéias sobre visão, uma vez que foi dentro deste contexto que as antigas teorias se desenvolveram.

Por outro lado, o parentesco entre as idéias dos estudantes e os modelos históricos revela a existência de fatores lingüísticos na construção dos esquemas conceituais dentro da óptica como um indicativo da presença de fortes componentes perceptuais na descrição das experiências cotidianas sobre luz e visão.

Nesse sentido, segundo Jung (1991), desde o início do curso de óptica deveria tornar-se claro para os estudantes que a luz física é algo muito diferente do que uma qualidade perceptível e o olho deveria ser substituído por outros instrumentos sensíveis a radiação.

Quanto ao papel dos referenciais conceituais no trabalho científico destacamos, segundo Matthews (1994) (apud Vannucchi, 1997):

“Uma deficiência fundamental (...) é a aparente suposição de que a Ciência seja uma espécie de atividade do senso comum, e que as “habilidades” apropriadas constituem-se no principal ingrediente para o trabalho produtivo. Parece não haver reconhecimento explícito do papel poderoso dos sistemas de referência conceitual com os quais os cientistas e as crianças operam e às quais estão fortemente vinculados. Estas visões do mundo físico requerem tratamento cuidadoso ... por uma série de recursos”.

O respeito exacerbado pela Ciência, por sua categorização de verdade, encontra base na visão da Ciência como investigação racional e disputa racional entre teorias rivais, tendo como objetivo final o conhecimento da natureza. Esta visão vem sendo criticada por sociólogos e filósofos da Ciência, como Khun e Feyerabend, para os quais o desenvolvimento científico nem sempre está condicionado a fatores racionais. Numa abordagem mais rica e realista da Ciência, aspectos individuais, sociais e políticos, entre outros, deveriam ser levados em consideração (Vannucchi, 1997).

Portanto, a elaboração de uma proposta de ensino de óptica baseada na História da Ciência poderá servir como um instrumento para promover a aprendizagem deste conteúdo em sala de aula, proporcionando ao professor subsídios para alcançar um melhor entendimento das respostas dos seus alunos frente a fenômenos associados à propagação retilínea da luz, reflexão, refração, imagens, cores, sombras etc., além de uma compreensão mais aprofundada da natureza da Ciência e das complexas relações entre desenvolvimento científico e tecnológico.

Deste modo, acreditamos que o professor deverá se sentir mais seguro para ouvir as respostas dos seus alunos e, conseqüentemente, conduzir mais adequadamente suas aulas de laboratório, as perguntas desequilibradoras, a resolução de problemas, a análise dos resultados etc.

6. Bibliografia

- BARROS, M.A. *A evolução das concepções dos estudantes secundários sobre visão em situação de ensino*. Dissertação de Mestrado. Instituto de Física e Faculdade de Educação da USP. São Paulo, 1996.
- CASTRO, R.S & CARVALHO, A.M.P. *The historic approach in teaching: analysis of an experience*. Science Education, no 4, p. 65-85, 1995.
- DRIVER, R. *Psicología cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos*. Enseñanza de las Ciencias, 4 (1), p. 3-15, 1986.
- DUSCHL, R. *Más allá del conocimiento: los desafíos epistemológicos y sociales de la enseñanza mediante el cambio conceptual*. Enseñanza de las Ciencias, 13 (1), p. 3-14, 1995.
- GIL-PÉREZ, D. & CARRASCOSA, J. *Science learning as a conceptual and methodological change*. European Journal of Science Education, 7 (3), p. 231-236, 1985.
- GIL-PÉREZ, D. *La metodología científica y la enseñanza de las ciencias: unas relaciones controvertidas*. Enseñanza de las Ciencias, 4 (2), p. 111-121, 1986.
- GIL-PÉREZ, D. *Contribución de la historia y de la filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación*. Enseñanza de las

Ciencias, 11 (2), p. 197-212, 1993.

JUNG, W. *Probing acceptance, a technique for investigating learning difficulties*. Proceedings of an International Workshop held at the University of Bremen, p. 278-295, 1991.

LARANJEIRAS, C.C. *Redimensionando o ensino de física numa perspectiva histórica*. Dissertação de Mestrado. Instituto de Física e Faculdade de Educação da USP. São Paulo, 1994.

RAMADAS, J. & DRIVER, R. *Aspects of secondary student's ideas about light*. Centre for Studies in Science and Mathematics Education, University of Leeds, 1989.

RONCHI, V. *Optics: the science of vision*. New York University Press, 1957.

VANNUCCHI, A.I. *O papel dos referenciais teóricos: um exemplo de discussão sobre a natureza da ciência em sala de aula*. Dissertação de Mestrado. Instituto de Física e Faculdade de Educação da USP. São Paulo, 1997.

WHEATLEY, G.H. *Constructivist perspectives on science and mathematics learning*. Science Education, 75 (1), p. 9-21, 1991.