

O ENSINO DE FÍSICA MODERNA NA ESCOLA MÉDIA: OS MODELOS E O REALISMO CIENTÍFICO NA SALA DE AULA

TEACHING MODERN PHYSICS IN THE MIDDLE SCHOOL: THE MODELS AND SCIENTIFIC REALISM IN THE CLASSROOM

Guilherme Brockington¹
Maurício Pietrocola²

¹USP/Faculdade de Educação – Instituto de Física, mercer112@hotmail.com

² USP/Faculdade de Educação – Instituto de Física, mpietro@usp.br

Resumo

Este trabalho pretende levantar uma discussão acerca da necessidade de ensinar tópicos de Física Moderna no Ensino Médio considerando seus aspectos filosóficos e epistemológicos. Brevemente, apresentamos a importância da modelagem na sala de aula e relatamos a aplicação de uma atividade que iniciou uma discussão acerca da ontologia dos objetos criados pela Física. Por ter poucas relações com a realidade experimentada, os temas de Física Moderna correm um sério risco de serem descartados pelos alunos. Procuramos mostrar que tais discussões parecem possuir um poder de sensibilizar os alunos de maneira que eles se esforcem em aprender a estranha natureza das coisas imposta pela Física Moderna. Levantamos a necessidade de se discutir aspectos da natureza ontológica dos objetos quânticos, de modo que uma sensação de realidade deva estar presente ao se ensinar estes saberes, para que não se corra o risco de torná-los inexpressivos.

Palavras-chave: Física Moderna, modelos, realismo, epistemologia.

Abstract

This study is intended to stimulate a discussion of the need to cover topics of ‘Modern Physics’ in the teaching at the intermediate level, considering the philosophical and epistemological aspects. Briefly, we treat the importance of modelling in the classroom and relate the application of an activity which initiated a discussion about the ontology of objects created by Physics. Since they have little relation to reality as it is experienced, the themes of Modern Physics run a serious risk of being discarded by the pupils. We seek to show such discussions appear to have the power to arouse the students, so that they make an effort to understand the strange nature of the things involved in Modern Physics. We raise the need to discuss the ontologic nature of the quantum objects, in such a way that a sensation of reality may be present in the teaching of these forms of knowledge, so that they do not run the risk of not being expressed properly.

Keywords: Modern Physics, models, realism, epistemology.

INTRODUÇÃO:

Fruto de uma dissertação de mestrado, este trabalho traz uma atividade pertencente a um curso introdutório de Física Quântica aplicado em uma turma do Ensino Médio de uma escola pública brasileira. Um dos principais objetivos deste curso era mostrar aos alunos como a física apreende a realidade através de seus modelos. Esta característica do conhecimento físico foi o que nos motivou e originou sua criação. Nossa intenção era introduzir alguns conceitos da Física Quântica a partir de uma seqüência didática que permitisse apresentar aos estudantes a dualidade onda-partícula, revelando assim as características estranhas acerca da natureza da luz (Feynman, 1985).

Com isso, desejávamos que os alunos pudessem ter um entendimento, mesmo que pequeno, sobre os problemas físico/epistemológicos enfrentados pela Teoria Quântica. Acreditamos fortemente que a formação dos estudantes do Ensino Médio deve contemplar, mesmo que em pequena dose, um vislumbre do acesso a essa ferramenta intelectual construída pelo homem para prospectar e compreender o mundo microscópico. Dessa forma é possível apresentar aos alunos a nova visão de mundo trazida pela Física construída no século passado. Estimulados e conduzidos por um embate de idéias, cremos que os alunos podem, então, realmente perceber as diferenças e rupturas trazidas por esta nova forma de descrever e entender a realidade física.

Cientes de que a discussão filosófica e epistemológica deveria emergir durante o curso, e que enfrentaríamos uma série de problemas que surgem com as várias interpretações da Física Quântica, nos antecipamos e começamos o curso com a atividade da “caixa-preta”. Desta maneira, desde o início, a discussão sobre o processo de modelagem, bem como acerca dos modelos científicos e formas de representação da realidade seria estimulada.

A FÍSICA QUÂNTICA E O OPERACIONALISMO:

As teorias clássicas da física deram lugar a uma nova maneira de enxergar o mundo a partir da primeira metade do século XX. Surgia a Mecânica Quântica, que não só parecia estar em desacordo com toda a física construída até então, como se mostrava, e ainda mostra, em total desacordo com o senso comum. A Física Quântica passa então a ser um desafio ao entendimento. Ela traz a noção de que a Natureza parece estar além da imaginação, ou seja, para que realmente se possa entendê-la é necessário que se criem representações de “coisas” que não são possíveis de serem exatamente imaginadas! Isso impõe a criação de novas idéias, novos pensamentos e, principalmente, uma nova percepção das coisas. Em contrapartida, pode-se também criar a impressão de que ela não traduz nada da realidade, sendo algo totalmente desvinculado do mundo real.

Em face à natureza, no mínimo, estranha dos conceitos revelados pela Física Moderna e, principalmente, pela ruptura que se deu com os já cristalizados conceitos da Física Clássica a comunidade científica adotou uma atitude pragmática. Dessa maneira, passou a ser exigido que estas novas teorias apenas fossem capazes de descrever quantitativamente os dados experimentais. Daí a ênfase dada ao formalismo matemático. Com uma estrutura matemática coerente, forte e autocontida os físicos eram capazes de se esquivarem dos problemas filosóficos e epistemológicos que a interpretação destes novos conceitos trazia.

Em um diálogo entre Bohr e Schrödinger, este declara suas angustias em relação à teoria que o teve como um dos principais arquitetos: “*se toda maldita pulação quântica realmente estivesse aqui para ficar, eu lamentaria ter algum dia me envolvido com a teoria quântica!*” (Heisenberg, 1971, apud French e Kennedy, p.166).

Logo, como esta teoria descrevia de maneira notável as evidências experimentais do mundo microscópico, esse “mal estar” interpretativo, que pode ainda ser encontrado, entre tantos exemplos, foi deixado de lado permitindo que a Mecânica Quântica avançasse independentemente das divergências filosóficas e epistemológicas.

Com relação à descrição matemática e suas interpretações, Werner Heisenberg, enquanto jovem, revela suas preocupações sobre sua compreensão da Teoria da Relatividade em uma conversa com Wolfgang Pauli, em 1921, numa hospedaria em Grainau. Heisenberg, um dos principais arquitetos da Mecânica Quântica, ao refletir se finalmente houvera compreendido a teoria de Einstein, diz o seguinte:

Sinto-me meio ludibriado pela lógica implícita nesse arcabouço matemático. Talvez você possa até dizer que aprendi a teoria com o cérebro, mas não ainda com o coração. (Heisenberg, 2000, p.42)

Embora Heisenberg tenha se expressado desta forma em relação à Relatividade, curiosamente ele parece ter abandonado, ao menos durante um longo período, a necessidade da compreensão dos elementos da Mecânica Quântica além do arcabouço matemático, aproximando-se do operacionalismo¹. Heisenberg passa, em sua formulação da teoria quântica, a utilizar a terminologia observáveis (para indicar as grandezas representativas dos sistemas) para enfatizar a idéia de que apenas as quantidades mensuráveis devem ser introduzidas na Física. Entretanto, os valores desses observáveis são determinados, ou mesmo definidos, a partir de operações experimentais (Bunge, 1969).

Segundo Bunge (1973), o operacionalismo tornou-se a filosofia vigente nas universidades e centros de pesquisa. De modo geral, segue-se estudando e pesquisando a Física sem refletir acerca dos problemas filosóficos e epistemológicos intrínsecos à construção de cada teoria. Isso não quer dizer que estes problemas não sejam percebidos ou que, ao menos intimamente, perturbe algum pesquisador.

Parece, então, não ter sido realmente necessário para os físicos a compreensão dos conceitos quânticos além da descrição matemática. E no ensino desta física? Deve-se fazer o mesmo? Esta atitude pragmática é a que impera na imensa maioria dos cursos de graduação em Física. Assim, passa-se aos universitários a falsa impressão de que apenas dominando todo o formalismo matemático necessário à descrição quântica certamente seus conceitos serão compreendidos, ou pior, que estes conceitos são de compreensão dispensável. Para aqueles que desejam ir além do formalismo matemático é comum sentirem-se confusos quando os problemas filosóficos e epistemológicos afloram, visto que:

Mesmo com os avanços das discussões epistemológicas dos últimos anos, ainda não é consenso, nos cursos de graduação em Física do país – Licenciatura e Bacharelado, a oferta de pelo menos uma disciplina de cunho epistemológico. Não será essa lacuna um dos problemas da educação em Ciências e Tecnologia? (Angotti, 2002, p.130)

Logo, como na imensa maioria das vezes não há espaços para o tratamento de questões acerca, por exemplo, da realidade descrita pela quântica ou a ontologia de seus objetos e modelos teóricos, é comum aos estudantes desistirem de fazer tais reflexões e abraçarem o pragmatismo que cega.

Não é o foco deste trabalho discutir se esta vem ou não a ser a melhor forma de tratar a Física Quântica no ensino superior. Porém, acreditamos que no Ensino Médio a busca por uma

¹ Operacionalismo: pode ser entendido no contexto de uma filosofia pragmática da ciência. Esta filosofia sustenta que todo construto só tem significado físico na medida em que diz respeito a uma operação possível. Para Bunge, “a idéia de sujeitar a teoria à técnica de medida exerceu um efeito mutilante nas ciências naturais, alijando construtos de alto nível que não poderiam possivelmente estar ligados a operações operacionais”. (Bunge, 2002).

forma de compreensão dos conceitos quânticos deva começar a partir de uma reflexão epistemológica.

A MATEMÁTICA E O ENSINO DA FÍSICA QUÂNTICA:

Forjada no bojo de um formalismo matemático complexo, transpor conceitos de Física Quântica para o Ensino Médio torna-se um grande desafio. A tentativa de encontrar um caminho alternativo à análise quantitativa, devido a sua total inadequação ao conhecimento dos alunos nesta fase escolar, é a utilização de modelos clássicos e analogias, sempre na tentativa de tornar os elementos teóricos desta física mais “reais” para os estudantes. Mesmo que não haja pesquisas no ensino da Física Quântica que possibilitem relacionar erros conceituais com o uso de analogias e modelos clássicos (Stefanel, 1998) alguns pesquisadores sugerem fortemente sua não utilização. Assim, por exemplo, Fischler e Lichtfeldt propõem o ensino da Mecânica Quântica, em nível médio, excluindo totalmente o modelo de Bohr, considerando que seu uso torna-se um obstáculo para a aprendizagem dos conceitos atômicos modernos. Para que possamos refletir acerca de suas considerações ressaltamos algumas frases presentes no artigo por eles escrito em 1992. Neste trabalho eles afirmam que:

Na física, este modelo [de Bohr] foi substituído há 65 anos pela Mecânica Quântica **na qual a descrição do átomo dispensa todas as visualizações**. (Fischler e Lichtfeldt, 1992, p.181 grifo nosso).

Esta afirmação é correta, pois o formalismo matemático da Mecânica Quântica é o que define sua descrição. Com isso, sua descrição conceitual e seus fundamentos passam a ser secundários. Isso se revela na plena concordância dos cientistas com este formalismo, entretanto há entre eles sérias e profundas discordâncias acerca das interpretações da Teoria Quântica, divergências existentes mesmo entre alguns de seus principais artífices (Jammer, 1966). Pode com isso parecer que a Mecânica Quântica se resume à matemática, visão que é indiretamente passada aos alunos de graduação em Física na maioria das Universidades. Basta notar que quase nunca há espaço para as discussões filosóficas e epistemológicas desta teoria nos cursos universitários, priorizando-se fortemente a utilização do instrumental matemático, muitas vezes efetuado de forma automatizada e sem significado.

Certamente que a matemática possui um valor inestimável no sentido que é impossível usar o entendimento adquirido na interação com o mundo macroscópico para compreender os conceitos da Física Quântica. Assim, a afirmação de que a “descrição do átomo dispensa todas as visualizações” é plenamente compreensível no contexto científico, já que um físico não necessita criar nenhuma representação além daquela fornecida pela estrutura matemática que suporta sua teoria. Contudo, cabem os seguintes questionamentos: no contexto escolar vale esta mesma afirmação? Será que os alunos do Ensino Médio não necessitam de nenhuma forma de “visualização” para compreender a estrutura atômica? Além disso, é possível fazer com que a Mecânica Quântica tenha sentido sem o uso de todo este formalismo matemático?

Obviamente que nosso trabalho não tem a pretensão de responder definitivamente estas questões, porém é preciso que, como pesquisadores em ensino de Física preocupados com a inserção efetiva da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio, delineemos algumas respostas.

Inicialmente, não achamos possível que haja uma dispensa a qualquer tipo de “visualização” na inserção dos conteúdos físicos no Ensino Médio. Isso se baseia justamente no fato desta dispensa se dar somente por meio do domínio de todo um instrumental matemático sofisticado que faz com que uma série de equações se torne mais “visível” que qualquer outra forma usual de visualização. Desta forma, para um físico, ao olhar para uma equação,

imediatamente há uma intermediação entre ela e o que ela pretende representar. Porém, resta saber se os alunos devem pagar o alto preço de dominar esta matemática avançada para que possam fazer uma re-interpretação do mundo em que vivem. Sabemos que o manuseio desta ferramenta matemática inexistente nos alunos das salas de aula brasileira. Em nossa opinião, a incapacidade de dar significado às equações que definem os modelos atômicos quânticos se traduz na impossibilidade de iniciar um curso introdutório de Física Quântica no Ensino Médio (que não seja meramente informativo) a partir de algum modelo mais sofisticado que o de Bohr, dispensando qualquer tipo de visualização.

Assim, achamos que uma visão operacionalista da ciência não é a mais adequada para o ambiente escolar. A intenção de trabalharmos com a “caixa-preta” repousa em uma postura filosófica que aceita o realismo científico, de maneira que as entidades não-observáveis construídas pelos cientistas têm um referente real. Com isso, a idéia é mostrar, por meio dos modelos e do processo de modelagem, como a Física pode apreender a realidade de forma que seja possível “ver o invisível”.

O PAPEL DOS MODELOS:

É inegável que os modelos desempenham um papel imprescindível na construção do conhecimento científico. Para Bunge (1973), a modelagem é a essência do processo científico, pois é por meio dos modelos criados que se pode apreender conceitualmente a realidade. Segundo Martinand, os modelos permitem essa apreensão da realidade por possibilitarem a criação de representações do oculto, do que foge aos sentidos, pois “*substituindo as primeiras representações por variáveis, parâmetros e relações entre variáveis, fazem com que se passem a representações mais relacionais e hipotéticas*”. (in Astolfi, 1995, 103).

Com isso, é possível encontrar no Ensino das Ciências uma extensa literatura que salienta o papel que desempenham os modelos e o processo de modelagem no domínio didático, sendo assim objeto de diversas pesquisas². Entretanto, raramente aborda-se no Ensino Médio, de maneira explícita, o papel dos modelos nas ciências. Devido sua importância fundamental na construção da Física, cremos que seja extremamente relevante para o Ensino de Física convidar os alunos a refletirem sobre o assunto. Para iniciar a discussão a respeito dos modelos e seu papel na ciência realizamos com os alunos a atividade da “caixa-preta”.

DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE:

Foi entregue aos alunos uma pequena “caixa-preta” de papelão, com dois palitos, um em cada lateral, unidos entre si por meio de um sistema de transmissão de forças que não poderia ser visto por eles.



² Ver, por exemplo, Gilbert & Boulter, 1988, 2000; Colinvaux, 1988; Hesse, 1966.

A atividade foi constituída da seguinte forma: o aluno manuseava a caixa e constatava que cada vez que movimentava um dos palitos, o palito da lateral oposta “respondia” ao movimento feito por ele. Após todos os alunos manusearem a caixa, foi lhes pedido que desenhassem como deveria ser o sistema que possibilitava o movimento conectado dos palitos.

Ao terminarem os desenhos, cada um dos alunos mostrou seu sistema à turma, descrevendo-o e explicando seu funcionamento. Após todas as apresentações, uma grande discussão foi gerada para que se fosse considerada a plausibilidade de cada sistema apresentado. Durante a discussão, os alunos começaram a questionar se poderia haver uma “certeza” sobre como era o sistema que estava contido na caixa e, assim, determinar quem teria acertado. Findada a discussão, foi apresentado aos alunos um texto elaborado por nós para sintetizar as discussões.

Com isso, foi possível fazer com que estes alunos travassem este primeiro contato com uma outra forma de operacionalidade no ensino de Física que tinham até então, com uma atividade centrada no processo e não no produto da ciência. Segue a transcrição de trechos das gravações das aulas para ilustrar o ocorrido. Neste momento, surge a criação de hipóteses:

A professora (**P**) inicia a aula mostrando a caixa-preta aos alunos (**A**) e explicando seu funcionamento:

P: Temos aqui uma caixinha com uma coisa muito interessante. Se a gente mexe com o palitinho de um lado, mexe o do outro. O que vocês acham que está acontecendo aqui dentro?

(Enquanto a professora mostra a caixa, os alunos conversam entre si sobre seu funcionamento)

A1: Eles estariam ligados um ao outro, professora? Poderia também ser o ar que tá lá dentro.

P: Vocês acham que o ar que está lá dentro consegue fazer isso?

A2: Não. É o mesmo palitinho

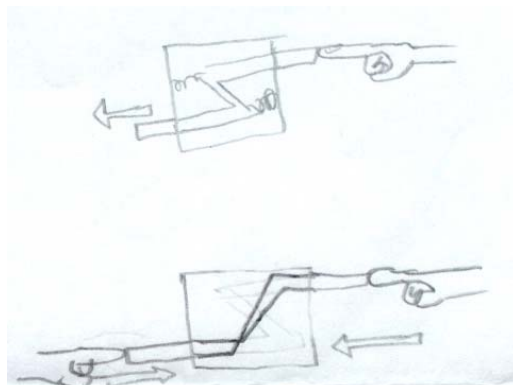
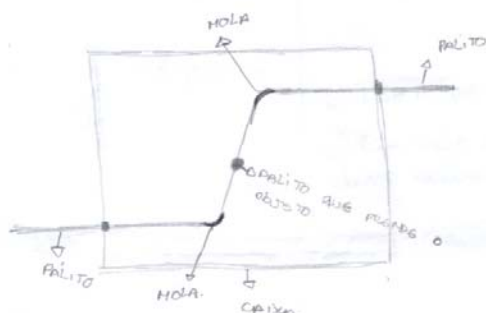
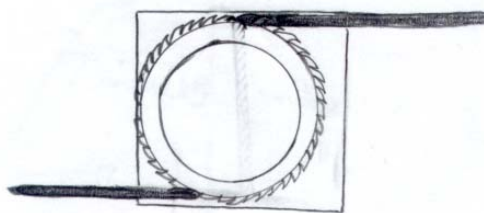
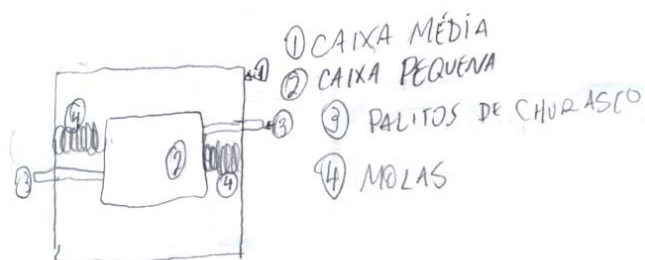
P: É o mesmo palitinho?

Alguns alunos: Não.

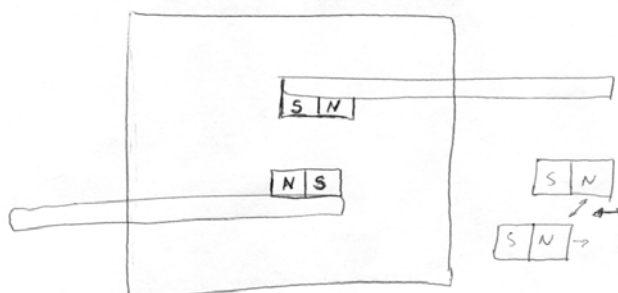
P: O que a gente tá fazendo outra vez?

Alguns alunos: Hipóteses.

Como havia uma única “caixa-preta” disponível, esta foi passada de mão em mão. Os alunos a manusearam para poderem tecer suas hipóteses, porém, muitos deles, mesmo antes de a terem em mãos, começaram a fazer conjecturas sobre seu funcionamento. Assim, mesmo estando sem a caixa, vários desses alunos desenharam o sistema interno, de forma que várias hipóteses diferentes foram criadas, como mostramos nos exemplos abaixo:



Após o término da aula, alguns alunos continuaram na sala discutindo como seria o funcionamento da caixa. Um deles, por exemplo, foi para o quadro negro e desenhou um engenhoso, e até coerente, sistema com ímãs, que depois foi reproduzido no papel:



Além da intensa participação, os alunos sentiram uma grande desconfiança ao não se verem diante da condição de escolha de uma resposta tida como correta. Com isso, ficaram incrédulos com o fato de poderem se posicionar livremente. Foi muito comum que diversos alunos se dirigissem até a professora com a mesma pergunta: “posso pôr o que eu quiser como resposta? Tem certeza? Posso pôr mesmo?”, o que revela a falta de hábito destes alunos com este tipo de questão, que não enfatiza a análise puramente quantitativa.

A partir da análise que fizemos, e que não será possível destacar devido às limitações deste trabalho, podemos afirmar que a quase totalidade dos alunos entendeu o significado da atividade proposta, bem como conseguiu compreender a idéia de modelo e modelagem na ciência. Podemos ilustrar nossa afirmação por meio do relato de um episódio ocorrido em sala de aula. Como não se pode, ao término da atividade, abrir a caixa, temendo a pressão dos alunos, a professora decidiu dizer que a mesma fora roubada. Imediatamente, um dos alunos (A4), que aprendeu técnicas de torneiro mecânico, se propôs a fazer outra. No desejo de criar a mesma atmosfera de suspense, disse que ao terminá-la também não revelaria o mecanismo. Nesse momento, um outro aluno faz o seguinte comentário:

A5: Aí, essa não vai ser mais a mesma caixa...a tua caixa não vai ser igual.

Pensando que este comentário foi feito com o intuito de questionar sua habilidade em construir a caixa, o aluno-torneiro diz que sabe muito bem como fazê-la. O outro aluno então explica que o motivo da caixa não poder ser igual não estava relacionado aos conhecimentos manuais, mas sim por não saberem realmente seu conteúdo, logo, mesmo construindo outra caixa que funcionasse de maneira semelhante, esta não poderia ser dita como idêntica a que havia sido roubada. Eles acabam a discussão revelando a compreensão do ato da modelagem:

A4: É, a gente fez um modelo da caixa preta.

A5: A gente idealizou a caixa preta.

A5: Modelo é a perfeição do momento.

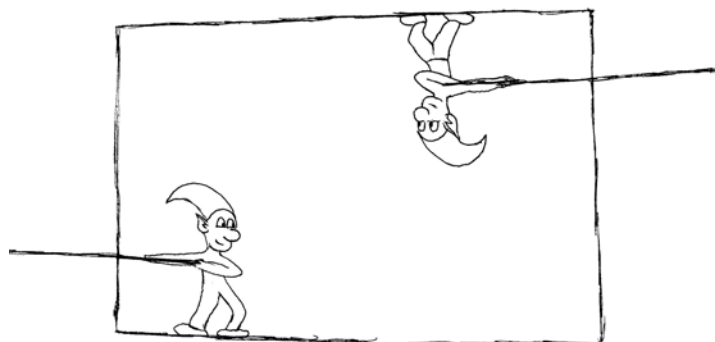
A4: É mesmo... o modelo é uma tentativa de atingir a perfeição.

A5: O modelo é o “rascunho”, um projeto que você tem em mente e quer passar para a realidade, construí-lo.

Ao término do curso, durante a última aula, cerca de 7 meses depois desta atividade, discutiu-se a relação entre modelo e realidade. Os alunos mostraram que haviam significativamente entendido o porquê de ser impossível abrir a caixa. Depois de toda a discussão acerca da natureza da luz, as interpretações da Mecânica Quântica e a questão ontológica subjacente a essas interpretações, um dos alunos chegou até a professora e fez o seguinte comentário:

Esse negócio aí da luz... é como no caso da caixinha né? Cada hora sai um desenho melhor, mas saber o que tem dentro mesmo não tem jeito.

Porém, é preciso que indiquemos as potencialidades e cuidados em se trabalhar com a relação modelo-realidade da forma por nós escolhida, revelando a necessidade do professor em dominar as inúmeras possibilidades que podem aparecer em aulas mais abertas. Com esse intuito, relatamos um interessante episódio ocorrido na primeira aula. Durante a execução da atividade da caixa-preta, um dos alunos desenhou seu sistema interno composto por dois gnomos que se incumbiam de movimentar os palitos. Temeroso com o que havia feito, ele resolveu apenas mostrar à professora o desenho (reproduzido abaixo), sem colocá-lo na folha própria da atividade. Sua justificativa para a professora foi exatamente esta: “Você não falou que eu posso pôr o que eu quiser? Eu que eu acho que existe aí dentro? Então...”



Obviamente, o aluno não acreditava na existência de gnomos no interior da caixa, porém este episódio demonstra os perigos e as inúmeras possibilidades que podem surgir ao se trabalhar com esse tipo de atividade. Para um professor atento, preparado para tecer discussões epistemológicas, tem-se aqui uma chance de se discutir com todos seus alunos sobre aquilo que distingue as ciências de qualquer outro corpo de conhecimento, como a magia, a própria filosofia ou a religião.

A NECESSIDADE DA REALIDADE:

Como os temas de Física Moderna estão muito afastados de nosso senso comum e, na maioria das vezes, não se pode mais utilizar conceitos que são familiares para que se possa compreender as sutilezas envolvidas na Física Quântica, é comum que esse desconforto se traduza em um sentimento de ausência de realidade. Ou seja, pode-se passar a impressão que toda explicação e descrição envolvidas nessas teorias são apenas artifícios matemáticos e científicos, sem referentes no mundo real e percebido. Junta-se a isso o fato de que a Teoria Quântica tem a peculiaridade de permitir diversas interpretações, e que a grande maioria delas flerta com alguma forma de anti-realismo (Chibeni, 1997).

Niels Bohr, o principal arquiteto da interpretação da complementaridade, que prevaleceu durante muito tempo na comunidade científica e que domina a totalidade dos livros técnicos e didáticos, afirma que “[...] *uma realidade independente no sentido físico ordinário não pode ser atribuída nem aos fenômenos, nem aos agentes da observação.*” (Bohr, apud Pessoa Jr, 2000).

Assim, o aparecimento, no ato da medida, de um valor preciso que não existia anteriormente a ela ganha a interpretação de que a observação cria a realidade. Esse tipo de interpretação, defendida por Bohr, Heisenberg, Dirac, Van Fraassen, entre outros, obriga uma revisão profunda de nossas concepções filosóficas e físicas acerca da realidade. Por outro lado, físicos do peso de Einstein, Schrödinger e de Broglie, que também participaram da construção da Teoria Quântica, não acreditavam que ela fosse capaz de descrever de maneira completa a realidade.

Não faz parte do escopo deste trabalho discutir as formas de realismo nem aspectos sobre a completude, ou incompletude, da Mecânica Quântica. Tampouco pretendemos esgotar uma discussão até hoje não resolvida, acerca da ontologia de objetos e processos quânticos. O que queremos é enfatizar a necessidade de tratar a Física Quântica no ensino médio sob perspectiva de um realismo científico. Acreditamos que “*O conhecimento está associado ao enriquecimento do conteúdo de realidade dos símbolos empregados no tratamento formal dos problemas teóricos.*” (Robilotta, 1988, p.12).

Nossa preocupação pode ser ratificada em uma pesquisa citada por Matthews (1994), onde 254 alunos de nível médio deveriam dizer se achavam útil ou não o fato que a Física utiliza experimentos de pensamento que não podem ser reproduzidos por experimentos reais. Mais de 50% da totalidade dos alunos consideraram tal método útil somente para a física, por não se tratar da realidade e 11% acharam-no inútil, pois não há necessidade de se considerar de algo que não existe. Assim, essa dicotomia entre a realidade do mundo da Física Moderna e o real percebido pode conduzir o aluno a se perguntar:

Qual dos dois abandonar, por ser uma ilusão: o mundo real em que vivo e que percebo ou o mundo da ciência repleto de situações idealizadas como pontos sem massa, substâncias puras[...] etc.? (Barra, 1998, p.24)

Assim, parece-nos que os alunos não disponibilizariam esforços para tentar compreender e aprender aquilo que não é real. Seria como se eles perguntassem: para que tenho que aprender sobre o fóton se ele não existe? Ou seja, “[...]se negligenciarmos a realidade ou negarmos que haja uma qualquer, acabaremos por renunciar à ciência e adotar, em seu lugar, a pior metafísica possível.” (Bunge, 1969, p.16)

Defendemos que o ensino de Física Moderna deve ter como norteador que “*O referente pretendido de qualquer idéia física é a coisa real.*” (Bunge, 1969, p.15) Com isso, deve-se buscar abordagens que possibilitem um tratamento diferenciado daquele que usualmente aparece nos livros técnicos, principal fonte de referência para a transposição desses conhecimentos para os livros didáticos do Ensino Médio. É imprescindível que haja essa preocupação, pois “[...]para se ensinar física, é preciso também saber administrar a costura dos símbolos formais na realidade.” (Robilotta, 1987, p.12)

Portanto, uma discussão acerca do compromisso das teorias físicas com a realidade é uma etapa que não pode ser negligenciada no processo de construção de vínculos entre o mundo subjetivo dos alunos com aquele oferecido pela Física. Acreditamos que é preciso que haja essas discussões acerca da maneira com que a ciência captura ou não a realidade, de modo que

Educadores histórica e filosoficamente instruídos saberão reconhecê-las e considerá-las, auxiliando seus alunos a entender por que no mundo real, subjetivo e vivido, cachorros e átomos podem coexistir harmoniosamente. (Barra, 1998, p.25)

Fornecer um status ontológico para os objetos quânticos seria permitir encontrar-se com uma realidade escondida, inacessível pelos sentidos. Tratar o ensino da Mecânica Quântica sob esse prisma pode ser uma forma de torná-lo mais interessante, motivador, de modo que os alunos do Ensino Médio possam vislumbrar o quanto é fascinante a nova maneira de perceber a realidade imposta por essa teoria.

Em face ao que foi aqui exposto, acreditamos que seja necessário criar momentos onde seja possível levar os alunos a travarem discussões filosóficas, de caráter epistemológico e ontológico acerca das teorias físicas. Isso possibilita a geração de formas alternativas de avaliação, criação de atividades e exercícios. Momentos como esses raramente são considerados quando se propõe a inserção destes temas no Ensino Médio. Acreditamos que este é um caminho que pode auxiliar na árdua tarefa de transpor estes conhecimentos para as salas de aula.

CONSIDERAÇÕES FINAIS:

Na Física Moderna ficamos imersos em um mundo desconhecido, sem a ajuda de experiências prévias, sendo praticamente impossível relacionar o novo àquilo que já conhecemos. Desta forma, compreender o mundo nos obriga a estabelecer uma nova relação com o conhecimento da realidade. Se quisermos compreender o mundo físico somos forçados a estabelecer um outro tipo de relação com ele. Assim, o ensino de Física deve ser capaz de fazer com que os alunos percebam que os modelos criados pela Física não são cópias da realidade, mas que isso não significa uma renúncia a ela.

Discussões filosóficas, de caráter epistemológicos e ontológicos, conduzidas com cuidado são estratégias que podem gerar formas alternativas de avaliação e criar atividades onde é possível trabalhar a imaginação e o poder de abstração necessários para a compreensão das teorias envolvidas nesta parte de Física. Acreditamos que um ensino de física moderna esvaziado de um vínculo com realidade pode fazer com que esses conhecimentos tornem-se inexpressivos para os alunos.

Assim, de acordo com nossa análise, a atividade da “caixa-preta” se mostra motivadora das discussões sobre a modelagem e sua relação com a realidade. Mesmo quando os modelos

construídos pelos alunos não forem adequados (como, por exemplo, o dos gnomos) o professor ainda pode ser capaz de avaliá-los, discutindo os motivos que guiam a plausibilidade e construção de modelos na ciência. Assim, há uma gama de atividades que podem fomentar discussões a partir do erro do aluno, que passa a ser construtivo. Por que a física não pode aceitar os gnomos? Acreditamos que o aluno ao compreender a resposta a essa pergunta, terá muito mais chances de entender os processos que guiam o conhecimento científico, de forma que estará mais apto a obter uma compreensão mais profunda da ciência e de seus processos.

Entretanto, percebemos que para o aluno, este saber não parece ser avaliável (Professora eu posso pôr aqui o que eu acho? Se nem você sabe como é a caixa preta como eu vou saber isso?). Desta forma, não sendo trabalhado de maneira cautelosa esse saber pode conduzir à falsa impressão de que tudo é permitido, de maneira que pode ser possível caber um gnomo dentro da caixa....

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANGOTTI, J. A. P. Física e Epistemologia Heterodoxas: David Bohm e o Ensino de Ciências, *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v.19, número especial, p.126-156. 2002.
- ASTOLFI, J. P. e DEVELAY, M. *A Didática das Ciências*. Campinas: Papyrus, 1995.
- BARRA, E. O. A realidade no mundo da ciência: um desafio para a história, filosofia e a educação científica, *Revista Ciência & Educação*, vol.5, n.1, 15-26. 1998.
- BUNGE, M. *Teoria e realidade*. São Paulo: Perspectiva, 1973.
- _____. *Física e Filosofia*. São Paulo: Perspectiva, 1969.
- _____. *Philosophy of Physics*. Dordrecht: D. Reidel, 1973.
- CHIBENI, S. S. *Aspectos da descrição física da realidade*. Centro de Lógica e Epistemologia da Unicamp (CLE/UNICAMP), 1997.
- COLINVAUX, D. (org.) *Modelos e Educação em Ciências*. Rio de Janeiro: UFF/ PUC-RIO/ MAST/ UFSC, 1998.
- FEYNMAM, R. P. *QED : the strange theory of light and matter*. Princeton, N.J: Princeton University Press, 1985.
- FISCHLER, H., LICHTFELDT, M., Modern Physics and Students' Conceptions. *Journal of Science Education*. London, v. 14, n. 2, p. 181-190, Apr./June, 1992.
- FRENCH, A. P e KENNEDY, P. J. (orgs). *Niels Bohr: A Centenary Volume*. Cambridge: Harvard University Press, 1985.
- GILBERT, J. K. & BOULTER, C. J. *Developing Models in Science Education*. Dordrecht / Boston / London: Kluwer Academic Publishers, 2000.
- _____. Models in explanations, Part 1: horses for courses. *International Journal of Science Education*, 20 (1) 83-97. 1998.
- _____. Models in explanations, Part 2: Whose choice? Whose ears? *International Journal of Science Education*, 20 (2): 187-203. 1998.

HEISENBERG, W. *A Parte e o Todo*. Rio de Janeiro: Contraponto, 2000.

HESSE, M.B. *Models and Analogies in Science*. London: Sheed & Ward, 1966

JAMMER, M. *The conceptual development of quantum mechanics*. New York: McGraw-Hill, 1966.

MATTHEWS, M. *Science Teaching: The role of history and philosophy of science*. New York, 1997.

PESSOA Jr., O. (org.) *Fundamentos da Física 1- Simpósio David Bohm*. São Paulo: Livraria da Física, 2000.

ROBILOTTA, M. O Cinza, O Branco e o Preto - da Relevância da História da Ciência no Ensino da Física. *Caderno catarinense de Ensino de Física*, vol. 5, n. especial, p. 7. 1988.

STEFANEL, A. Una experiencia en el marco de la introducción de la física cuántica en la escuela secundaria. *Revista de Enseñanza de la Física*, Córdoba, v. 11, n. 2, p. 35-44. 1999.