

UMA REFLEXÃO EM RELAÇÃO AO ESTUDO DA MECÂNICA QUÂNTICA: O CASO DO PRINCÍPIO DA INCERTEZA

Isauro Beltrán Núñez, Luiz Seixas das Neves, Betânia Leite Ramalho
Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil

1. INTRODUÇÃO

O estudo da estrutura da matéria, sua composição e propriedades se tem revelado nos diferentes estudos como um tema de significativa complexidade, com implicações didáticas, epistemológicas na busca da compreensão das diferentes dificuldades que os alunos apresentam em relação a esse conteúdo, em especial, a Mecânica Quântica, enquanto sistema epistêmico (Andreu, 1996).

Os conteúdos da Mecânica Quântica têm dois conhecimentos chaves para a compreensão desse modelo teórico como referência científica que explica a estrutura da matéria. São eles: «dualidade onda-partícula» e o «princípio da incerteza» de Heisenberg. Na base desses conhecimentos emanam determinadas concepções sobre a matéria, por isso, sua importância no sistema de conteúdos na formação de profissionais da Química a nível universitário.

No presente estudo, de caráter exploratório, procuramos fazer algumas reflexões em relação aos conhecimentos que tem um grupo de alunos dos cursos de Licenciatura e Bacharelado de Química, sobre os sentidos do caráter dual das micropartículas (como onda e partículas), e do princípio da incerteza, a fim de revelar o reconhecimento ou não, pelos alunos, desses conhecimentos, como modelos da ciência, resultado da construção humana, e não como a própria realidade em si, questão vital para uma educação científica.

No trabalho, os livros didáticos utilizados pelos alunos para o estudo desses conteúdos da mecânica quântica são objetos de estudo, a fim de estabelecer as influências que os livros, como mediadores da aprendizagem do conhecimento científico e como principal ferramenta, hoje do professor para a organização dos conteúdos, podem influenciar nos sentidos que os alunos atribuem a esses conteúdos, revelando os possíveis obstáculos didáticos e epistemológicos presentes nos livros analisados.

Os resultados do estudo possibilitam fazer algumas reflexões relativas a suas implicações na formação de professores de Química e para os próprios professores formadores, a fim de contribuir a uma melhor educação científica nas salas de aula universitárias.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 *A dualidade «onda-partícula» e o princípio da Incerteza: modelos da ciência*

A ciência procura explicar a natureza utilizando «modelos» como representações teóricas que constituem sistemas epistêmicos de explicação, ou seja, os próprios conceitos e teorias são modelos, com suas potencialidades e limitações. As teorias e os conceitos, enquanto modelos, são representações da

natureza e não é natureza em si. Nesse sentido, as teorias são, em relação à natureza ou fenômenos específicos, o mesmo que o mapa em relação ao território o qual representa.

A compreensão do comportamento das micropartículas, baseada na simultaneidade dos modelos de onda e partículas exige um enorme esforço de abstração e racionalização, o abandono de qualquer experiência sensorial, para não chegar a lugar algum, diferente dos modelos disponíveis. São situações sobre as quais carecemos de experiências cotidianas que possibilitem analogias ou transferências adequadas. Como explica Ferrero (1998), na mecânica quântica existe um grande paradoxo, pois «sem a mecânica quântica não se compreende a experiência cotidiana, mas a experiência cotidiana não compreende os postulados quânticos».

Essa questão deve ser assumida pelo ensino, que se depara com uma situação que escapa da sua onipresente objetividade. Como explicam Giordan e De Vecchi, ao discutir sobre as concepções dos alunos relativas à matéria:

O modo de conhecimento pode mudar radicalmente assim que se quer passar para o nível científico. Nesse caso, os alunos devem abrir mão de qualquer recurso aos sentidos, conectar-se a um pensamento abstrato e rejeitar a imagem em proveito do conceito, do modelo. (Giordan e De Vecchi, 1996, p. 145)

É evidente a importância de considerar um princípio da aprendizagem construtivista: o aluno aprende «a partir de» (Ausubel), «através de» (Piaget) de seus saberes anteriores, e simultaneamente, «contra» (Bachelard) esses saberes, que se constituem como obstáculos epistemológicos. A compreensão da estrutura da matéria, das micropartículas no ensino de Ciências, se dá através de diferentes níveis de formulações conceituais nas quais acontecem verdadeiras rupturas epistemológicas, até chegar ao princípio de Incerteza para o qual não existem imagens, analogias ou representações que levem à ruptura epistemológica necessária, pela importância de formar nos alunos a consciência do sentido do conhecimento científico como modelo com seus limites e potencialidades explícitas.

O ensino deve começar a aprender a lidar com a subjetividade do conhecimento científico, suas limitações. O conhecimento científico, como uma forma sistematizada de saberes são representações, construções humanas, que possibilitam uma outra leitura do mundo (muitas vezes não a melhor) em relação ao conhecimento de senso comum, ao saber popular

Para Osborne e Gilbert (1996) os modelos são intensamente utilizados no ensino de Ciências, não obstante, muitas vezes o uso desses modelos se apresenta mais como confusão que como esclarecedor. Por isso, a importância de discutir qual é a importância do uso de modelos na ciência e no ensino de Ciências.

Apesar de serem os «modelos científicos» objeto de estudo nos conteúdos do ensino de Química no nível superior, existem poucos estudos que discutem a relação das concepções dos alunos universitários, suas representações, crenças, idéias sobre os conteúdos e sua relação com os modelos científicos, para analisar a influência dos livros didáticos na relação dos modelos científicos, a realidade e conhecimento dos alunos. No Brasil, essa limitação se faz notável, quando revisamos os trabalhos publicados em diferentes eventos científicos.

São muitos os problemas filosóficos e de aprendizagem que a mecânica quântica levantou para o ensino desses conteúdos na escola. Os problemas que existem quando a estrutura da matéria é estudada superam as limitações próprias do estágio de desenvolvimento da Ciência. Foram necessários muitos anos

para criar modelos do átomo; embora as características da produção do conhecimento científico hoje, da Revolução Científica provocada pelo novo modelo quântico-relativista, serão precisos anos para poder criar as representações, os objetos simbólicos do «micromundo», com o qual, nossa interação leva a outros estilos de relação objeto-sujeito, à superação de obstáculos epistemológicos, por vezes, abismais.

Sendo a Mecânica Quântica, provavelmente a maior revolução científica da história da humanidade, pela profundidade de seu corpo teórico, ela traz consigo o fardo de suas limitações. Se bem a nível teórico se produz uma ruptura nas explicações do «micromundo», ligado ao «macromundo», e suas especificidades, as representações para o primeiro ainda são analogias que tem sua origem no segundo.

No ensino dos conteúdos da Mecânica Quântica, essa problemática gera sérias dificuldades para qualquer «transposição didática». A escola, tão acostumada ao uso e abuso de analogias, representações icônicas, etc., se depara com um vazio: a dificuldade de representar um conhecimento que responda a um novo conceito. Qualquer representação, com os conhecimentos hoje disponíveis, podem constituir-se em verdadeiros obstáculos quando não trabalhadas com os cuidados didáticos que exige. Por isso, a necessidade de se trabalhar esse conteúdo, como todos os conhecimentos científicos, como modelos teóricos, questão que pode desmistificar a leitura agnóstica que muitos alunos (e por que não, professores também) fazem do princípio da Incerteza nos livros didáticos.

Halliday e Walker (1995, p.187) explicam que: «é preciso, porém, que se entenda que nenhuma imagem mental concreta, envolvendo simultaneamente onda e partícula é possível no mundo quântico». E a continuação citam a Paul Davis, físico e escritor de ciência, quem escreveu: «É impossível visualizar uma onda-partícula, portanto, não tente».

Heisenberg mostrou como a pergunta determina a resposta, em relação ao caráter dual das micropartículas. Niels Bohr (1995) discute o seu princípio da Complementaridade para acomodar o caráter dual: onda-partícula, as manifestações reveladas segundo o experimento, o último interpretado segundo o referencial teórico disponível: «modelo de onda» e «modelo de partículas». O paradoxo dos experimentos clássico derivado do princípio de Complementariedade mostra o caráter contraditório do comportamento da matéria, segundo os modelos, na medida que eles são levados para outro contexto (o micromundo). As categorias partícula e onda são abstrações, modelos. A contradição é apenas em relação ao sentido que ditas noções têm na interpretação dos resultados das experiências, a contradição surge na aplicação de ditas noções a um contexto, no qual precisam ser resignificadas em relação a sua origem.

Spiridónov (1986) critica a seguinte definição para o princípio de Incerteza:

$\Delta p \cdot \Delta X = h$ a relação restringe os limites da cognição do movimento das micropartículas, «pela impossibilidade de medir simultaneamente a posição e a velocidade do elétron». Para o autor, a incerteza aparece quando são usados conceitos clássicos como partículas e ondas para explicar o comportamento dos elétrons, pois eles não são partículas, como tampouco são ondas: São elétrons.

O autor, como membro da comunidade científica dos países ex-socialistas, prefere utilizar a denominação de indeterminação ao de incerteza. Essa preferência tem uma fundamentação filosófica. A incerteza marca a impossibilidade de conhecer a posição exata do objeto, pela própria incerteza do objeto. A indeterminação reconhece a natureza complexa e singular do objeto, no qual não funciona o conceito clássico de posição de partícula. Depois de conhecer os trabalhos de Pauli, Born (1985, p.37), escreva para ele, expressando a necessidade de uma mudança no nível óptico: «a solução de todas as dificuldades

quânticas tem que ser procurada desde um ponto de vista basicamente novo: os conceitos de espaço e de tempo, compreendidos como um contínuo quadridimensional, não podem ser transferidos do mundo macroscópico da nossa experiência ao mundo dos átomos. Isso requer sem dúvida, como representação adequada, outro tipo de variedade numérica».

Bohr (1985), em seu artigo «O debate com Einstein sobre problemas epistemológicos na física atômica», no qual discute seu «princípio de Complementaridade», reconhece, em relação à incerteza no micromundo:

Nessas circunstâncias, há um elemento essencial de ambigüidade quando se conferem atributos físicos convencionais aos objetos atômicos, como logo se evidencia no dilema relativo às propriedades corpusculares e ondulatórias de elétrons e fótons, no qual lidamos com imagens contrastantes, cada qual referindo-se a um aspecto essencial dos dados empíricos (Bohr, 1945, p.51).

A incerteza não coloca um limite ao conhecimento humano, pelo contrário, estimula novos desafios na construção de conceitos mais apropriados. O princípio da Incerteza dificulta o estudo das micropartículas, quando assumido como a realidade. Uma vez revelado seu conteúdo como modelo, fica simples reconhecer que a incerteza não está na natureza, e sim no estágio de desenvolvimento do conhecimento científico.

No ensino do princípio da Incerteza, pode chegar-se a ele, no percurso histórico da Ciência, no estudo da estrutura da matéria, explicitando as potencialidades, limitações, obstáculos, rupturas e atos epistemológicos diversos, nos contextos problemáticos (social, cognitivo, político, ideológico, etc.) de produção desse conhecimento, para uma melhor compreensão da necessidade de novas construções teóricas, como negações dialéticas, dos modelos atuais.

2.2 *Os livros didáticos, os modelos e a questão em debate*

A questão dos livros didáticos para o ensino ciências constitui uma preocupação constante das pesquisas didáticas por serem eles as ferramentas fundamentais nas quais se sustenta o processo de ensino – aprendizagem sendo básicos para o trabalho de professores e alunos, influenciando na qualidade da formação universitária destes.

Os livros didáticos, no ensino superior, são representantes da cidade científica, na medida que são determinantes na manutenção dos cientistas na universidade. Nos livros didáticos universitários de Química, escritos na sua maioria por reconhecidos cientistas da área, os conteúdos se orientam aos conhecimentos, com um empobrecimento do tratamento didático necessário, consequência da limitada «transposição didática» (muitas vezes de forma inconsciente para os autores) e o limitado conhecimento sobre os mecanismos que caracterizam a do construção do saber escolar.

No Brasil, a atenção com os livros didáticos tem-se privilegiado ao nível da escola fundamental e do ensino médio; conseqüentemente, os livros utilizados no ensino superior tem sido objeto de poucos estudos.

Os livros de textos são um reflexo das idéias dos autores sobre a natureza da ciência, sobre como se aprende ciências, levam consigo a filosofia e ideologia dos autores. A seleção dos livros didáticos pelos professores, representa uma atividade pedagógica de muita responsabilidade profissional. Quando observamos os livros pelos quais nossos alunos estudam Química no nível superior, observamos que não são muito diferentes pelos quais se estudava há vinte anos.

É importante considerar que existe uma diferença entre as formas pelas quais se produz o conhecimento científico e as formas como ele se apresenta ao público. Nesse sentido, Reicherback (1938) distingue entre «contexto de descobrimento» e «contexto de justificação». Holton (1973), discute as idéias de «Ciência Privada» e «Ciência Pública». Assim, é necessário reconhecer a ciência em desenvolvimento, e a ciência como produto. Os conteúdos da escola focalizam sua atenção nos produtos da ciência, sendo eles simplificados segundo uma «justificativa pedagógica», que os apresenta como verdades estáticas, não susceptíveis ao desenvolvimento. Como discute Medwar (1974) a ciência que se apresenta aos alunos (a ciência pública) é resultado de uma reformulação da ciência privada desde o contexto de descobrimento. Nesse processo, no geral, os problemas associados aos produtos da ciência ficam ocultos, os alunos estudam as soluções, e não os problemas de origem ou os novos problemas que gera o conhecimento científico. Foi o que Schwab (1964) chamou de «discurso centrado nas conclusões».

Alguns estudos, citados em Andreu (1996) mostram como a mecânica quântica trabalha de forma de forma inadequada nos textos didáticos. A outra discute como por um processo acrítico repetitivo se transmitem muitos erros conceituais de livro para livro, e deles para os professores.

3. O REFERENCIAL EMPÍRICO – CONTEXTO DO ESTUDO

O estudo foi desenvolvido na Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), nos cursos de Licenciatura e Bacharelado em Química. A UFRN está situada em Natal, capital do RN. Os cursos de Licenciatura em Química e Bacharelado no Exame Nacional de Cursos do MEC 2000, foram avaliados com conceito B.

Participaram do estudo 60 alunos: 27 do curso de Licenciatura e 33 do curso de Bacharelado. A maior quantidade de alunos estão na faixa etária entre 20 e 25 anos. A maior quantidade dos participantes no estudo, o 75% não desenvolvem atividades como professores de Química. Dos 60 participantes, sete não responderam o questionário.

Levando em conta as características dos alunos, consideramos, aos efeitos do estudo, desnecessário a separação dos participantes, segundo os critérios caracterizados, já que as análises dos resultados é feita em termos da totalidade dos participantes.

4. OBJETIVO: QUESTÕES DA PESQUISA

Como objetivo central da pesquisa, se define: fazer um estudo exploratório em relação as idéias dos alunos sobre a natureza dos modelos «onda – partículas», e o princípio da incerteza, ligada as formas como esses conteúdos são apresentados em livros didáticos universitários. A partir desse objetivo, procuramos responder às seguintes questões de estudo:

- Até que ponto, os alunos identificam o comportamento dual das micropartículas, como um modelo teórico?
- Atribuem a incerteza à natureza ou ao próprio princípio como modelo teórico?
- Como os livros mais utilizados esclarecem os erros conceituais dos alunos ou, se reforçam os obstáculos epistemológicos?

5. QUESTÕES METODOLÓGICAS

A pesquisa, de caráter exploratório, utiliza como instrumento de pesquisa:

- Um questionário que procura indagar as respostas sobre as duas primeiras questões de estudo;
- Um protocolo (ou guia) para as análises dos livros didáticos. O protocolo (guia de análises dos livros) como instrumento da pesquisa, procura informações específicas sobre como é apresentado e discutido o princípio da incerteza de Heisemberg e o caráter dual do modelo «onda – partícula)» dos elétrons; considerando critérios definidos relativos a questões epistemológicas e filosóficas.

As respostas dos alunos foram categorizadas, quantificadas a frequência das respostas por categorias. As categorias foram construídas a partir das respostas dos alunos.

Foram analisados livros, classificados em duas categorias: A e B. Na categoria A se incluem os livros didáticos mais utilizados pelos alunos; na categoria B, outros livros que podem ser considerados como bibliografia complementar segundo a guia ou protocolo do anexo.

6. ALGUNS RESULTADOS: UMA PISTA PARA A REFLEXÃO

Em relação à primeira pergunta, que procura as respostas dos alunos para a afirmação do comportamento dual da matéria (como onda e partícula), 70% dos alunos reconhecem o caráter dual da matéria. Não obstante, o caráter dual não é reconhecido enquanto modelo. Nas categorias das respostas o caráter dual se compreende enquanto propriedades separadas, ou seja, em momentos é uma partícula, em outras uma onda, sem compreender a unidade existente entre os dois conceitos, que obriga necessariamente a uma nova representação da matéria, em processo de construção. Exemplo, como explica um aluno: «O elétron é uma partícula pois tem massa e ocupa lugar no espaço (matéria). Além disso apresenta forma de onda, pois vibra e apresenta frequência». O 27% dos alunos do curso de Bacharelado reproduz a explicação dos livros de texto, quase de forma mecânica.

Os alunos que respondem «não» à afirmação da primeira pergunta da tabela (30%), não expressam compreensão do sentido da afirmação. Os argumentos das respostas negativas, se correspondem mais a um desconhecimento, que com erros conceituais. Outro aluno a respeito escreve: «A dualidade onda-partícula expressa pelo elétron não se trata de um comportamento contraditório. Na verdade o elétron não apresenta ambos comportamento ao mesmo tempo. O fato dele se comportar como onda ou partícula dependerá do “estímulo”».

Os 100% dos alunos que respondem, não reconhecem ou argumentam suas respostas baseado no caráter de modelo da noção científica questionada. Estão ao nível das representações macroscópicas transportadas ao «micromundo» sem uma reflexão que revele as limitações do conhecimento científico.

Nas respostas ao questionário, para 33% e 46% dos alunos os elétrons são partículas e ondas, numa relação que separa, no sentido de pensar que em determinados momentos «são partículas» e em outros «ondas». Além da complexidade que significa qualquer intento de representar essa dualidade, não se reconhece que os próprios conceitos de «partícula» e «onda» são modelos teóricos. A dualidade do comportamento, identificada num suposto caráter contraditório é atribuída à própria natureza, e não aos «modelos» com os quais a Ciência trabalha, os quais apresentam essa limitação. A falta de explicitação do caráter de modelo da dualidade «onda-corpusculo» da matéria, impossibilita superar as idéias de partículas para a matéria, que se revelam como verdadeiros obstáculos epistemológicos, os quais são reforçados pelos próprios cursos de Licenciatura e Bacharelado em Química, se considerarmos que nos livros, o estudo das transformações químicas sempre se estudam na perspectiva do modelo de partícula da matéria.

Os alunos, quando aprendem ciências devem construir uma nova concepção do mundo, cada vez mais próxima aos modelos aceitos pela comunidade científica. Esse é um processo de dar novos significados aos conhecimentos, enquanto recursos simbólicos, que o aluno dispõe.

Uma questão do uso de modelos no ensino de ciências, é fazer avançar os modelos mentais que os alunos constróem, no sentido dos modelos científicos. Essa é uma grande dificuldade que envolve diversos fatores; mais quando os alunos têm a tendência de persistir usando os modelos rudimentares dos quais dispõem (Osborne e Gilbert, 1996).

As respostas dos alunos, em relação ao princípio da Incerteza, são uma evidência que reforça as análises dos resultados anteriores. Os alunos que respondem de forma negativa a afirmação da pergunta (32% para Licenciatura e 15% para Bacharelado) utilizam argumentos que reproduzem as explicações dos livros, ou expressam contradições que não revelam a natureza do princípio enquanto modelo. Um exemplo, é o caso do aluno C, quando responde: «O principio da incerteza de Heisenberg (1974), estabelece o limite na precisão com que a posição e o momento de uma partícula podem ser determinados simultaneamente. A impossibilidade de se determinar a posição e a velocidade de um elétron num determinado instante devido influencia da luz sobre o elétron durante o experimento implica que defina uma região do espaço onde seja , o orbital».

As respostas afirmativas para essa pergunta, os diferentes argumentos expressos nos sentidos das categorias de respostas são um indicativo da não identificação do princípio com um «model». O 29% para os alunos de Licenciatura e o 46% para Bacharelado reproduzem os enumerados do princípio que aparecem nos livros de texto, existindo para o 35% e 43%, respectivamente, um desconhecimento do conteúdo de princípio ligando as definições limitadas do conceito de orbital atômico.

Em relação aos livros A(4) que são utilizados no curso de Química, seja no bacharelado, seja na Licenciatura, apresentam a mesma idéia do «princípio». O conceito é apresentado a partir de outros conceitos já conhecidos sem explicitar a ruptura que leva a leitura dos conceitos às explicações quânticas. Fazem apenas um breve relato histórico de uma maneira descontextualizada para a explicação dos fenômenos quânticos sem considerar as riquezas que podem oferecer os elementos históricos ao estudo da

mecânica quântica como o próprio Schrödinger (1983) discute: a história é uma ciência fundamental por ter todo conhecimento humano perde seu caráter científico quando não se consideram as condições no qual foi originado, as perguntas que dito conhecimento procura responder e as funções ao senso do qual se criou. É utilizada em ilustrações e exercícios como forma de reforçar a aprendizagem; no entanto apenas reafirmam o conceito já definido anteriormente. Os livros revelam uma visão da aprendizagem como transmissão/ recepção característico do ensino tradicional.

Nos parece que a introdução do «princípio» é apenas um elemento para chegarmos a equação Schorödinger. No livro de Russel, no final do texto é apresentado o «princípio» de forma tímida como um modelo e reconhece a dificuldade da compreensão do fenômeno, enquanto o livro de Atkins lembra a importância deste conceito para o conhecimento científico e da natureza o mundo, porém não explica ao estudante como e porquê este conceito é importante. No livro de Mahan (1985) há uma observação sobre a natureza do elétron que poderia ser objeto de aprofundamento do conceito, mas no texto aparece de maneira secundária. Observamos que em todos os livros o princípio é apresentado de forma declarativa. Os livros não discutem as informações filosóficas do princípio na visão do mundo, desconsiderado uma diferenciação entre incerteza e indeterminação, que podem não ter o mesmo sentido filosóficas.

Assim, observamos como nos livros didáticos de Brady, Russel e Mahan, o princípio da incerteza e a dualidade onda- partícula se apresentam de forma declarativa. Nos livros, embora o princípio seja discutido a partir de um problema, não levantam os outros problemas, interrogantes, desafios que emergem dele, como construção teórica ou modelo da ciência. Essa questão, mutila qualquer reflexão sobre esse conhecimento científico, uma vez que fica fechado em uma «verdade absoluta». O ensino baseado no produto da ciência, não é um ensino que contribui para a educação científica.

Nos livros B(4) há uma semelhança com os livros da categoria A, pois o conceito é definido a partir de conceitos clássicos já conhecidos, seja a nível da ilustração ou de conceitos matemáticos sem uma discussão do sentido dos termos matemáticos na compreensão do princípio da indiferença. Como é conhecido a matemática apresenta dessa forma pode dificultar essa compreensão. Como explica o próprio Heisenberg (1971, p.24): «As matemáticas são a forma com as quais expressão nossa compreensão da natureza, mas as matemáticas não são o conteúdo da natureza».

Nos livros estudados a análise do princípio da incerteza e da dualidade «onda- partícula» não são discutidos na base de sua condição de modelos da ciência, que procuram construir representações da realidade, mas não podem ser confundidos com a própria realidade, numa relação isomórfica. Os livros deixam passar essa importante oportunidade para discutir algo difícil de assumir pelos alunos, «os modelos da ciência». Isso leva a um realismo dos conteúdos discutidos, questão que sem dúvida emerge como reforço para os obstáculos epistemológicos dos alunos, no estudo desse conteúdo.

As ilustrações, em relação a experimento teórico, clássico, relativo à observação hipotética de um elétron num microscópio, por ser apresentado sem uma reflexão na dinâmica da ruptura que implica, com o «macromundo», pode constituir-se num outro reforço para os obstáculos epistemológicos dos alunos. As ilustrações do suposto experimento são apresentadas na «falácia da bolinha», em relação aos elétrons.

Os textos Brady, Russel e Matthews (1974) reafirmam a incerteza enquanto limitação da natureza, não dos modelos utilizados como sistemas explicativos como por exemplo no texto Matthews se expressa: «O princípio da incerteza é um descobrimento desalentado pois pela primeira vez um tem restrições [...] de

possibilidade de avançar em seus conhecimento» e há também neste texto que confunde o princípio de indeterminação com a dualidade onda-partícula (Mattews, 1974), ou seja, declarar uma igualdade entre estes dois princípios, apresentando para os alunos um grave erro conceitual. Observamos que o próprio texto de (Mattews) expressa um conceito probabilístico, mas induz a uma idéia determinística do «princípio». As ilustrações e exercícios reforçam o conceito do princípio para a memorização e para ajudar a resolver os exercícios de fixação.

7. CONCLUSÕES

As palavras de J. Bruner (1986, p. 105), podem caracterizar o esforço de rever a Ciência que é apresentada nos livros universitários, sua objetividade limitada, para ser compreendida como sistema explicativo, representações da realidade, num caminho de reformulação, enquanto espiral dialética, na medida que avança o conhecimento científico:

abandonemos a idéia de que o mundo existe de uma vez por todas e imutavelmente, [e que nós] o substituamos pela idéia de que o que tomamos como o mundo e, em si, nada mais, nem menos do que uma aproximação assentada em um sistema simbólico.

A Revolução Científica iniciada pela Mecânica Quântica continua, e seu ponto mais expressivo está por chegar, uma vez da existência da necessidade de renovar as idéias e conceitos ainda ambíguos de seu corpo teórico, para acontecer a «Revolução Representacional» sobre nossa imagem do mundo, que deve acompanhar o quadro teórico da Mecânica Quântica e é parte da formação científica dos alunos universitários, especialmente «os químicos» ter consciência dessa problemática. Essa é uma forma de contribuir a desenvolver em nossos alunos atitudes críticas, reflexivas, flexíveis.

Os alunos não são capazes de diferenciar a essência dos modelos clássico e quântico. Os alunos manifestam uma posição sincrética, não diferenciada, onde misturam explicações clássicas e quânticas sem observar a imensa distância que separa esses paradigmas da ciência. A consequência mais negativa desse fato está numa visão de mundo, de matéria, inconseqüente com os estudos científicos mais avançados ao respeito. O sincretismo clássico-quântico é reforçado nos estudos durante o curso, quando os livros fundamentam suas explicações para os fenômenos químicos no modelo de partículas. O modelo das «partículas-ondas» é parte de um conteúdo pontual, sem articulação com outros conteúdos nos livros didáticos e no estudo da estrutura da matéria.

Essa situação precisa ser revertida. Não só em relação as dificuldades inerentes ao não reconhecimento do caráter teórico, de modelo, do princípio da Incerteza, do caráter dual das «micropartículas», fatos tomados como realidade, como também o trabalho com situações que possam contribuir com ampliar os limites de aplicação desse conteúdo. A Ciência trabalha com modelos. Como pode ser constatada nos resultados da pesquisa, essa é uma questão não familiar para o ensino, quando não revela a natureza do conhecimento científico, sua epistemologia. Por isso, os alunos têm como tendência identificar o modelo com a realidade.

Como pode observar-se no geral, o princípio da Incerteza nos livros didáticos não é apresentado como um modelo teórico, ou seja, uma representação construída, como uma simplificação da realidade complexa. Nessas condições é fácil compreender as dificuldades e fracassos dos alunos para compreender

as teorias como modelos de carácter hipotético, assim como sua identificação do modelo com a própria realidade. Não aparecem comentários ao respeito de ser condição de modelo teórico, que não revela por si só seus limites, questão que os alunos não têm condições de encontrar por si sós. O modelo didático do livro, na procura de facilitar a compreensão do modelo científico, termina por obstaculizar a visão sobre a matéria que os alunos podem construir e até a própria visão do conhecimento científico.

8. BIBLIOGRAFIA

ANDREU, F. J. (1996): «El uso de textos originales de los científicos y sus dificultades en el caso de la enseñanza de la mecánica cuántica», in: *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, n.º 10, p. 93-100.

BACHELARD, G. (1993): *A Epistemologia*. Lisboa, Edições 70.

BOHR N. (1995): *Física atômica e conhecimento humano*. (Ensaio: 1932-1957). Rio de Janeiro, Contraponto.

BORN, M.: «Investigación y Ciencia», in: *Paulo y La teoría atomística*. Edición Española de Scientific America. Barcelona, Prentice Científica.

BRUNER, J. (1986): *Actual minds possible words*. Cambridge, Harvard University Press.

EISBERG, Robert, e RESNICK, Robert (1998): *Física Quântica. Átomos, Moléculas, Sólidos Núcleos e Partícula*, sexta edição. Rio de Janeiro, Editora Campos, pp. 98-102.

FERRERO, M. Prólogo (1998): In N. Bohn: *La teoría atómica y la descripción de la naturaleza*. Madrid, Editora Alcanza.

GILBERT, J. K., e BOULTER, C. J. (1995): Stretching models too far. Paper presented at the Annual Meeting of the American Educational Research Association. San Francisco, 22-66, April

GIORDAN, A., e DE VECCHI, G. (1996): *As origens do saber: das concepções dos aprendentes aos conceitos científicos*, segunda edição. Porto Alegre, Artes Médicas.

HALLIDAY, R., e WALKER, R. (1995): *Fundamentos de Física. Ótica e Física Moderna*, 4ª edição. Rio de Janeiro, LTC.

HEISENBERG, W. (1979): *Encuentros con Einstein y otros ensayos científicos*. Madrid, Alianza Editorial.

HEISENBERG, W. (1974): «Más allá de la física», in: *Atravesando fronteiras*. Madrid, BAC.

MAHAN, Bruce; M., MYERS, e Rollie J. (1995): *Química um curso universitário*, quarta edição. São Paulo, Edgard Blucher LTDA.

MATTHEWS, P. T, F. R. S. (1974): *Introduction to quantum mechanic*, third edition. São Paulo, McGraw Hill.

MEDWAR, P. B. (1974): «Is The Scientific Paper a Fraud?», in: *Readings in Science Education*. Londres, McGraw- Hill.

MONTEIRO, G. I., e JUSTI, S. R.: *Analogias em livros didáticos de Química brasileira destinados ao Ensino Médio. Investigações em ensino de ciência* . Revista virtual acessível pelo endereço: <<http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm>>.

OSBORNE, R. J., e GILBERT, J. K. (1996): *The use of models in Science Teaching*. Science, Language and Meaning.

REINCHERBACH, H. (1938): *Experience and prediction*. Chicago, The University of Chicago Press.

SCHEBERG, M. (1985): *Pensando a física*, 2ª edição. São Paulo, Brasiliense.

SCHWAB, I. (1964): *Problems, topics and issues*. Education and the Structure of Knowledge. Chicago, Rand Mc Nally.

SHRÖDINGER, E. (1983): *Qué es la vida?* Barcelona, Tusquets.

SPIRIDÓNOV, O. (1986): *Constantes físicas universales*. Moscú, Editorial MIR.

Contactar

Revista Iberoamericana de Educación

Principal OEI