



Revista Tecné, Episteme y Didaxis. Año 2018. Número **Extraordinario.** ISSN impreso: 0121-3814, ISSN web: 2323-0126 **Memorias,** Octavo Congreso Internacional de formación de Profesores de Ciencias para la Construcción de Sociedades Sustentables. Octubre 10, 11 Y 12 de 2018, Bogotá

O Princípio de Incerteza de Heisenberg em Livros Didáticos de Química Geral Utilizados em Universidade Brasileiras

Suart Júnior, José Bento ¹
Senise Junior, Carlos Roberto ²
Viana, Hélio Elael Bonini²
Dionízio, Geovanil de Jesus ¹

RESUMO

Este trabalho analisa o Princípio de Incerteza de Heisenberg em livros didáticos de Química Geral frequentemente utilizados no Brasil. Foram selecionados livros entre os mais retirados pelos usuários de uma expressiva biblioteca universitária no ano letivo de 2017. Os livros foram analisados a partir das considerações tecidas por Chibeni (2005), que identifica três possíveis interpretações, com diferentes consequências filosóficas. Os livros didáticos introduzem o conceito de forma operacional e anacronicamente, contribuindo para uma imagem parcial da natureza filosófica da Química.

Palavras Chave: Princípio de Incerteza, Livro Didático, Química Geral

Categoria: 2 Trabajos de investigación (en proceso o concluidos).

Objetivos

Analisar o Princípio de Incerteza em livros didáticos de Química Geral utilizados em cursos superiores do Brasil, à luz da história e filosofia da ciência, em busca dos pressupostos onto-epistêmicos apresentados nos textos.

Marco Teórico

Trabalhos envolvendo a apresentação da física quântica em livros didáticos de Ciências da Natureza vêm se tornando mais frequentes neste início de século, sendo notório o emprego da quase-história (GOMES & PIETROCOLA, 2011) e/ou pseudo-história, e também de analogias (NIAZ & FERNANDEZ, 2008). Dentre os conceitos chaves para uma abordagem via Mecânica Quântica (MQ) dos fenômenos submicroscópicos, está o Princípio de Incerteza (PI) de Heisenberg, enunciado no clássico artigo de 1927, mas cujas origens são mais antigas.

¹ Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Apucarana – Brasil – suart@utfpr.edu.br

² Universidade Federal de São Paulo – Campus Diadema - Brasil



Revista Tecné, Episteme y Didaxis. Año 2018. Número **Extraordinario.** ISSN impreso: 0121-3814, ISSN web: 2323-0126 **Memorias,** Octavo Congreso Internacional de formación de Profesores de Ciencias para la Construcción de Sociedades Sustentables. Octubre 10, 11 Y 12 de 2018, Bogotá

Em 1924, dois anos após seu primeiro contato com Bohr, Heisenberg, ex-aluno de Sommerfeld, recebeu uma bolsa Rockefeller para trabalhar com Kramers em Copenhague. Foi este último que o convenceu a afastar-se das ideias da Física Clássica presentes na teoria de Bohr, como o esquema literal das órbitas eletrônicas em átomos (PIZA, 2003; SEGRÈ, 1980).

Estudando as transições energéticas em processos físicos, Heisenberg constatou que as intensidades de energia dos estados estavam associadas às suas diferenças de energia, e não mais a um conjunto de órbitas selecionadas via regras especiais.

Contudo, foi necessário incluir uma versão das condições de quantização de Bohr. Born e Jordan logo reconheceram que Heisenberg estava trabalhando com álgebra de matrizes. Por volta de novembro de 1925, Pauli obteve as energias quantizadas do hidrogênio usando a teoria de Heisenberg (PIZA, 2003).

Neste período, Schrödinger desenvolve a mecânica ondulatória. Esta versão, logo ganhou grande aceitação, contudo, não resolvia discrepâncias internas, especificamente relacionadas à continuidade e descontinuidade e à dualidade onda-partícula. Dirac e Jordan já haviam enunciado que a teoria quântica só fornecia valores numéricos a uma de duas variáveis conjugadas, especificamente, posição ou momento, as variáveis que descrevem completamente um sistema na mecânica clássica.

Debruçando-se sobre tais lacunas, Heisenberg investigou a relação quantitativa entre os valores teoricamente permitidos. No entanto, ele questionou se a limitação na precisão de uma medida era meramente imposta pelo formalismo matemático ou se era reflexo de um estado mais profundo das coisas (JAMMER, 1966), uma vez que dentre as lacunas presentes até então encontrava-se a inexistência de requisitos mínimos de ontologia que pudessem clarificar o sentido físico da MQ.

O resultado deste trabalho é o PI. Chibeni (2005) ressalta a coexistência de três possíveis interpretações

Numa primeira abordagem, a incerteza é colocada como uma característica essencial, fruto da adoção de uma formulação ondulatória para a descrição do elétron. Descrevendo o comportamento de um elétron através de um pacote de onda, a soma de ondas com vetores de onda distribuídos num dado intervalo gera um pico definindo a localização da partícula associada à onda, mas afetando o conhecimento do momento. Chibeni (2005, p.183) define esta versão como ontológica, pois "ela diria respeito a uma indeterminação intrínseca aos entes físicos".

Num segundo momento, encontra-se o PI partindo de pressupostos epistemológicos. Heisenberg remete às limitações impostas pela medida a partir do experimento de pensamento do microscópio de raios gama. Nesta versão, as relações de Heisenberg expressariam "[...] uma característica de nosso conhecimento acerca dos objetos, já que outros fatos ligados às



Revista Tecné, Episteme y Didaxis. Año 2018. Número **Extraordinario.** ISSN impreso: 0121-3814, ISSN web: 2323-0126 **Memorias,** Octavo Congreso Internacional de formación de Profesores de Ciencias para la Construcción de Sociedades Sustentables. Octubre 10, 11 Y 12 de 2018, Bogotá

situações experimentais contribuiriam para esta incerteza" (CHIBENI, 2005, p. 184).

A terceira versão é estritamente estatística. Heisenberg usa o termo "desvio padrão", uma noção estatística, o que leva à interpretação estatística da função de onda, proposta por Max Born.

Neste trabalho, a análise do PI terá como foco livros didáticos (LDs) de Química Geral (QG) e, especificamente, as características do conteúdo sobre o PI divulgadas nestes livros.

Metodologia

A pesquisa realizada é de caráter qualitativo documental. Sá-Silva, Almeida e Guidani (2009) conceituam documento como declaração escrita, oficialmente reconhecida, que produz um registro adequado para responder aos objetivos da pesquisa, que deve usar técnicas apropriadas para a análise, seguir etapas e procedimentos, organizar informações para categorização e análise. A pesquisa consistiu em analisar o conteúdo e a abordagem adotados por livros de QG para o PI. Para amostra foram escolhidos LDs de química geralmente utilizados nas universidades brasileiras. Os LDs aqui analisados foram escolhidos utilizando-se como critério os LDs de QG mais retirados pelos usuários da biblioteca do Conjunto das Químicas da Universidade de São Paulo que também estavam listados nas ementas de disciplinas de QG, oferecidas por universidades públicas e privadas, disponíveis *online*.

Cinco livros foram analisados: A) Atkins & Jones (2006); B) Brady, Senese & Jepsen, (2015); C) Brown; Lemay Junior, Bursten & Burdge (2005); D) Chang (2010); e E) Kotz, Treichel & Weaver (2009), todos traduções de versões norte-americanas.

Buscou-se a partir do sumário ou do índice remissivo, as seções em que o PI era mencionado, atentando-se para possíveis reinterpretações da primeira explanação. A análise proposta se baseou no contexto histórico anteriormente apresentado, com ênfase na identificação de qual das versões do PI propostas por Chibeni (2005) é utilizada pelo livro didático.

Resultados

Somente três LDs (A, C e E) reservam subseções para abordar especificamente o PI. Todos os livros o abordam nas discussões da dualidade partícula-onda. O quadro 01 traz os resultados auferidos.



Revista Tecné, Episteme y Didaxis. Año 2018. Número **Extraordinario.** ISSN impreso: 0121-3814, ISSN web: 2323-0126 **Memorias,** Octavo Congreso Internacional de formación de Profesores de Ciencias para la Construcción de Sociedades Sustentables. Octubre 10, 11 Y 12 de 2018, Bogotá

Livro	Versão do PI		
	Ontológica	Epistemológica	Estatística
A	x		
B		x	
C	x	x	
D	x		
E	x		

Quadro 01. Versão do PI nos LDs.

Ainda que os LDs A, D e E utilizem uma perspectiva ontológica, nenhum deles postula claramente este como um problema ontológico. Somente o LD A faz uma ressalva no interior do texto ao admitir que apesar do PI não ter consequências práticas para objetos macroscópicos, ele é crucial para a descrição do mundo subatômico, assim como para o “entendimento científico da natureza”.

O único LD a fazer escolha pela versão epistemológica é B. O PI é introduzido para demonstrar que a descrição probabilística não é uma mera convenção, e o mesmo é anunciado como uma demonstração matemática. A justificativa para a impossibilidade de medição com exatidão das quantidades velocidade e posição é dada através de um exemplo, em que o autor admite que, para medir a velocidade de um elétron, é necessário que uma outra partícula colida com o mesmo, o que altera a posição do objeto de medida.

O LD C apresenta o exemplo de uma bola descendo uma rampa, para explicitar que, neste caso, tem-se controle das variáveis físicas, enfatizando que o mesmo não ocorre com uma onda, que é espalhada no espaço, remetendo a características ontológicas do problema. O problema relativo à onda é então extrapolado para o elétron e, a partir disso, o PI é apresentado como uma “conclusão” de Heisenberg sobre a limitação fundamental colocada por este tipo de ontologia.

A apresentação explícita do PI se dá a partir da admissão de que Heisenberg “relacionou matematicamente a incerteza da posição e o momento exatos para uma quantidade envolvendo a constante de Planck”. Para exemplificar a grandeza do problema, o texto apresenta um cálculo comparando uma situação macroscópica versus uma situação quântica. Ao final do texto, um box secundário apresenta primeiramente uma clara aceitação da incerteza como um problema “inerente à natureza”. Contudo, no mesmo box, constrói um exemplo relativo ao caso do microscópio, implicando considerações epistemológicas.

Nenhuma destas abordagens é claramente histórica, interligando personagens e posturas conceituais e filosóficas. No caso de E, ainda que o LD tenha uma seção intitulada Perspectiva Histórica, encontram-se ali dados biográficos em uma abordagem mitificadora dos personagens.



Revista Tecné, Episteme y Didaxis. Año 2018. Número **Extraordinario.** ISSN impreso: 0121-3814, ISSN web: 2323-0126 **Memorias,** Octavo Congreso Internacional de formación de Profesores de Ciencias para la Construcción de Sociedades Sustentables. Octubre 10, 11 Y 12 de 2018, Bogotá

Outro problema pertinente é: em quase a totalidade dos LDs, o tópico seguinte apresenta as proposições de Schrödinger como solução para o problema imposto pelo PI, o que representa uma abordagem reducionista e anacrônica dos episódios históricos.

Nenhum dos LDs faz a introdução do PI apresentando o engajamento de Heisenberg com a construção de uma teoria. Não há menções ao fato de que o PI foi encontrado matematicamente, ao se extrapolar para o mundo subatômico um princípio epistemológico subjacente à mecânica clássica vigente à época: a determinação total do comportamento de um sistema a partir do conhecimento da posição e do momento.

A análise demonstra preponderância da perspectiva ontológica. Apenas B escolhe a versão epistemológica no texto principal, mas de forma reducionista, enquanto em C, o problema da medida é colocado em um box, como conteúdo complementar.

Ainda que a maioria dos LDs escolha a versão ontológica do PI, os corpos dos textos a sugerem de um ponto de vista bastante intuitivo, atendo-se somente à “natureza dispersa” de uma onda. De um ponto de vista matematicamente mais fino, a análise do problema por via ontológica nos leva ao colapso da função de onda, mais um ponto fundamental da MQ.

Sem abordagens históricas com análises filosóficas, os LDs omitem os problemas epistemológicos enfrentados ao longo do século XX para a sedimentação da MQ versus um corpus teórico científico calcado no mecanicismo determinista por cerca de 300 anos. Ao omitir da construção do PI os elementos ontológicos e epistemológicos que embasam a constituição de um conceito científico, tratando tal problema por via exclusivamente conceitual simplista, o cerne das discussões filosóficas que levaram à reavaliação de uma série de valores por parte da comunidade científica, com implicações para uma série de outras áreas, é esvaído, trazendo implicações para a constituição de uma criticidade acerca do conhecimento científico e de sua construção.

Conclusões

Nenhum dos LDs analisados assume claramente uma das interpretações, com suas consequências filosóficas, e um número maior deles opta pela interpretação ontológica. As abordagens históricas, quando presentes, são anacrônicas e os dados históricos sugerem mitificações dos personagens.

Se o PI está entre as grandes discussões para o estabelecimento de uma interpretação física consistente da MQ, os LDs de Química parecem sugerir uma abordagem conceitual reducionista, calcada na operacionalidade do conceito, assim como de todo o conteúdo subjacente à MQ, transpondo à própria Química uma imagem simplista de ciência, calcada em seu aspecto



Revista Tecné, Episteme y Didaxis. Año 2018. Número **Extraordinario.** ISSN impreso: 0121-3814, ISSN web: 2323-0126 **Memorias,** Octavo Congreso Internacional de formación de Profesores de Ciencias para la Construcción de Sociedades Sustentables. Octubre 10, 11 Y 12 de 2018, Bogotá

prático operacional da transformação da matéria, cerne de atuais críticas do campo emergente denominado filosofia da química.

Referências

- Atkins, P. y Jones, L. (2006). *Princípios de Química*, 3ª ed. Porto Alegre: Bookman.
- Brady, J. E., Senese, F. y Jespersen, N. D. (2015). *Química: a matéria e suas transformações*, v. 1, 5ª ed. Rio de Janeiro: LTC.
- Brown, T. L., Lemay Jr., H. E., Bursten, B. E. y Burdge, J. R. (2005). *Química: a ciência central*. São Paulo: Prentice Hall.
- Chang, R. (2010). *Química geral: conceitos essenciais*, 4ª ed. Porto Alegre: AMGH.
- Chibeni, S.S. (2005). Certezas e Incertezas sobre as relações de Heisenberg. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 27, n. 2, p. 181-192.
- Gomes, G. G. y Pietrocola, M. (2011). O experimento de Stern-Gerlach e o spin do elétron: um exemplo de quasi-história. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 33, n. 2, 2604, 1-11.
- Jammer, M. (1966). *The Conceptual development of quantum mechanics*. New York: McGrawHill,.
- Kotz, J. C., Treichel, P. M. y Weaver, G. C. (2009). *Química geral e reações químicas*, v. 1, 6ª ed. São Paulo: Cengage Learning.
- Niaz, M. y Fernandez, R. (2008). Understanding quantum numbers in general chemistry textbooks. *International Journal of Science Education*. v.7, n. 30, 869–901.
- Piza, A.F.R.T. (2003). *Schrödinger & Heisenberg: A Física além do senso comum*. 1º ed. São Paulo: Odysseus, 2003. 225 p.
- Sá-Silva, J. R., Almeida, C. D. y Guidani, J. F. (2009). Pesquisa documental: pistas teóricas e metodológicas. *Revista Brasileira de História & Ciências Sociais*, v.1, n.1, p.1-15.
- Segré, E. (1980). *From X-Rays to Quarks: Modern Physicists and Their Discoveries*. New York: W.H. Freeman and Company.