

# Um mapa conceitual para o princípio da incerteza

## A concept map for the uncertainty principle

**Edvaldo Silva dos Santos**

Universidade Federal da Bahia  
edquimicaufba@gmail.com

**José Luis de Paula Barros Silva**

Universidade Federal da Bahia  
jose Luis@ufba.br

### Resumo

Este trabalho tem como objetivo contribuir para o ensino e a aprendizagem do princípio da incerteza e dos conceitos relacionados, por meio de mapa conceitual como instrumento para planejamento do ensino, orientação do estudo destes conceitos e avaliação. Para atingir nossa proposta nos fundamentamos na teoria histórico-cultural que destaca os estágios de desenvolvimento intelectual e como ocorrem as relações de generalização para constituir um sistema conceitual, assim como na formulação histórica do princípio da incerteza.

**Palavras chave:** princípio da incerteza, teoria histórico-cultural, ensino de química, mapas conceituais.

### Abstract

This work aims to contribute to teaching and learning about uncertainty principle and related concepts, by means of a conceptual map as an instrument for teaching planning, study orientation of these concepts and evaluation. In order to reach our proposal we are based on historical-cultural theory that consider stages of intellectual development and how generalization relations constitute a conceptual system, as well as on historical formulation of uncertainty principle.

**Key words:** uncertainty principle, historical-cultural theory, chemistry teaching, conceptual maps.

### Introdução

A importância do estudo do modelo atômico de orbitais no ensino médio de química está ligada à sua ampla utilização nas explicações químicas e, por isso, ser um instrumento importante do pensamento químico atual. Nossa posição é corroborada pelas Orientações Curriculares para o Ensino Médio que apontam o “reconhecimento do modelo quântico do átomo como interpretação do comportamento das partículas atômicas a partir de leis da Física moderna, fundamentada em princípios diferentes dos previstos pela Física clássica”. (CIÊNCIAS..., 2006).

Para a compreensão do modelo atômico de orbitais é necessário o ensino de conceitos básicos

da teoria quântica, entre os quais o princípio da incerteza que, tomado numa perspectiva realista, indica a impossibilidade de se conhecer a trajetória de entes quânticos, tais como elétrons, átomos e moléculas. O princípio da incerteza é indispensável ao estudo do modelo atômico da matéria, pois implica na indeterminação de trajetórias dos elétrons em volta dos núcleos atômicos e, por isso, contribui para a passagem do modelo atômico semiclássico de Bohr ao modelo dos orbitais. Contudo, ao analisarmos os livros didáticos de química para o ensino médio aprovados no PNLD 2012, constatamos que apenas dois livros, entre cinco, discutem o princípio da incerteza, porém, sem estabelecer um vínculo claro com o modelo atômico (SANTOS, 2013; SANTOS; SILVA, 2014).

Embora o ensino do modelo quântico do átomo abra possibilidades de interdisciplinaridade do ensino de química com o ensino da física moderna, os trabalhos sobre este tema não costumam estabelecer relação com o princípio da incerteza (por exemplo: MOURA; GUERRA, 2013; CASALLAS et al., 2013). As investigações sobre o ensino do princípio da incerteza também não o relacionam ao modelo atômico (por exemplo: ABREGO et al., 2013; STUART Jr.; ZULIANI, 2012).

Entendemos que a pesquisa em Ensino de Química tem como um de seus objetivos gerais produzir elementos (teóricos, experimentais etc.) que possibilitem a melhoria das atividades didáticas. Este é um dos meios da pesquisa chegar à sala de aula.

Um mapa conceitual acerca de um dado conceito é um instrumento teórico que pode contribuir para professores planejarem o ensino, orientarem o estudo do conceito focado e realizarem a avaliação da sua aprendizagem.

Este trabalho tem como objetivo contribuir para o ensino e a aprendizagem do princípio da incerteza e dos conceitos relacionados, por meio da elaboração de um mapa conceitual fundamentado na teoria histórico-cultural.

## **Os sistemas conceituais na concepção da teoria histórico-cultural**

O desenvolvimento intelectual de um indivíduo ocorre em três estágios: pensamento sincrético, pensamento por complexos e o pensamento por conceitos (VIGOTSKI, 2001).

No primeiro estágio, o pensamento sincrético é caracterizado por um emaranhado de informações que ainda não apresentam relações claras entre os significados dos objetos. Neste ponto, o indivíduo, apresenta um vocabulário suficiente para que possa haver compreensão entre as partes durante a comunicação, contudo os significados das palavras divergem entre a criança e o adulto.

No segundo estágio, o pensamento por complexos, o indivíduo é capaz de formar vínculos entre os objetos e estabelecer relações concretas entre um grupo e os integrantes deste grupo, porém, sem que tais relações formem um sistema. O emprego das palavras por uma criança leva paulatinamente ao domínio do pensamento abstrato. A palavra é a base para a fluidez deste estágio, sendo aplicada e usada de modos diversos, o que possibilita ao indivíduo realizar sintetização e simbolização em direção ao conceito abstrato. O processo de abstração vinculado à palavra possibilita a distinção entre o pensamento por complexos e o pensamento por conceitos.

A formação de conceitos transcorre por meio do desenvolvimento abstração, durante o qual nos afastamos do concreto para operamos com as palavras. No estágio de pensamento conceitual o indivíduo poderá apreender novos conceitos por meio de experiências concretas e também será capaz de obter conhecimentos que só são possíveis de serem aprendidos por

intermédio da abstração. Por exemplo, o princípio da incerteza de Heisenberg, conceito que é estudado de forma teórica por não apresentar experiência concreta para sua compreensão. De fato, as experiências de pensamento apresentadas são modos de aproximar o conceito de situações concretas e facilitar seu entendimento.

O pensamento conceitual pode ser descrito em termos de conceitos espontâneos e científicos. Os conceitos espontâneos são desenvolvidos por meio das experiências do indivíduo em seu meio social. No pensamento espontâneo o indivíduo apropria-se de elementos que constituem um conceito por meio da percepção da experiência. Em vista de a aprendizagem ter ocorrido de forma espontânea o indivíduo sabe aplicar o conceito, contudo tem dificuldade em explicá-lo e em justificar o seu emprego. Por outro lado, o indivíduo aprende o conceito científico de forma sistemática, o que lhe possibilita aplicar de forma voluntária os conceitos que lhe são apresentados, sendo capazes de transpor estes conhecimentos para outras situações sobre as quais sejam questionados (VIGOTSKI, 2001).

A aprendizagem do conceito científico do princípio da incerteza ocorre por meio da introdução de um sistema conceitual explícito, visto que um conceito não existe de forma isolada, mas é constituído na união entre outros conceitos, por meio de relações de mútua dependência e, ainda, nexos com a realidade que representa (VIGOTSKI, 2001).

Um sistema conceitual é constituído por relações de generalização que foram representadas por Vigotski com o artifício da metáfora do globo terrestre. Nesta metáfora, a superfície terrestre representa a diversidade de realidade, na qual estão contidos os conceitos nos pontos demarcados pelos valores de longitude e latitude. A latitude indica o grau de abstração/concretude do conceito, considerando-se o polo norte como o nível de maior abstração e generalidade e o polo sul como o nível de maior concretude e especificidade. A longitude do conceito indica seu grau de abrangência em meio a outros conceitos de mesma latitude (BELLAS; GONZALEZ; SILVA, 2015). Esta metáfora pode ser representada por um diagrama de termos conceituais dispostos em níveis (latitudes).

## **Antecedentes do princípio da incerteza**

A teoria quântica nasceu do trabalho de Max Planck sobre a radiação do corpo negro (PESSOA JR, 2006; STUART, 2000), no qual propôs sistemas cujos valores de energia eram discretos. Tal proposição veio de encontro à mecânica clássica, que considerava que todos os sistemas apresentavam valores contínuos de energia.

Em 1905 a constante de Planck foi novamente mencionada no meio científico no artigo de Albert Einstein (2005), no qual foi apresentado um modelo quântico para a luz: os raios de luz seriam compostos por *quanta* de energia. Tal ideia possibilitou a análise dos resultados das experiências acerca do efeito fotoelétrico e sua explicação.

Em 1913, a quantização de energia foi utilizada por Neils Bohr para explicar os espectros atômicos de emissão e absorção para o átomo de hidrogênio. Bohr desenvolveu um modelo que buscou aprimorar o modelo atômico de Rutherford em relação à estabilidade, incorporando o conceito de quantização da energia. Para tanto, postulou que os elétrons descrevessem movimentos em órbitas estacionárias afastadas a distâncias definidas do núcleo atômico, sem irradiação de energia durante o movimento (PESSOA JR., 2006).

Os trabalhos de Rutherford, Bohr e outros, baseados num modelo planetário do átomo, produziram resultados importantes, tanto do ponto de vista químico quanto espectroscópico. Porém, nestes trabalhos trajetórias dos elétrons ao redor do núcleo atômico são claramente definidas pelas leis da física clássica acrescidas do postulado da quantização do momento

angular.

## Heisenberg e o princípio da incerteza

Werner Heisenberg, um dos fundadores da mecânica quântica, considerava que “a dissimilaridade fundamental entre o espectro atômico e o espectro clássico de um sistema de elétrons impõe a necessidade de abandonar o conceito de um caminho eletrônico e renunciar a uma descrição visual do átomo” (HEISENBERG, 1933, p. 291).

Tal entendimento tornou-se um problema para Heisenberg, que para fundamentar seus questionamentos passou a avaliar o experimento de detecção de partículas na câmara de nuvens criada por Charles Wilson em 1911. A câmara continha gás supersaturado com vapor d'água. Quando íons ou partículas carregadas atravessavam a câmara, o vapor se condensava em gotículas de água que descreviam suas trajetórias. A Figura 1 ilustra o percurso de um elétron numa câmara de nuvem.



Figura 1 - Fotografia de trajetória (trilha) de elétron em uma câmara de nuvem (Wilson, 1927, p. 201).

Ao observar o experimento da câmara de nuvem, Heisenberg se questionava: o que estava observando era verdadeiramente a trajetória do elétron e outras partículas ou muito menos do que se pensava? O resultado do experimento se caracterizava apenas por uma série de pontos distintos, pelos quais o elétron haveria passado. Logo, o que realmente se observava na câmara de nuvem eram gotículas de água isoladas que, por sua vez, são muito maiores que os elétrons. A partir desta constatação, reformulou suas questões de pesquisa: em lugar de perguntar como calcular a trajetória do elétron por meio da mecânica quântica, questionou-se:

Pode a mecânica quântica representar o fato de que um elétron se encontra aproximadamente (ou seja, com uma certa imprecisão) num determinado lugar e se move aproximadamente (de novo, com uma certa imprecisão) com determinada velocidade? Podemos tornar essas aproximações tão estreitas que elas não provoquem dificuldades experimentais? (HEISENBERG 1996, p. 95-96).

Heisenberg desenvolveu formalmente tais ideias na formulação que ficou conhecida como **princípio da incerteza** da mecânica quântica, segundo o qual “o produto das incertezas dos valores medidos do momento e da posição (isto é, o produto de massa pela velocidade) não pode ser inferior à constante de Planck, ou um *quantum* de ação” (HEISENBERG, 1996, p. 96). De modo mais rigoroso, a expressão matemática do princípio da incerteza é dada pela

inequação [1]:

$$\Delta p_x \Delta x \geq \hbar / 2 \quad (1)$$

na qual  $\hbar = h / 2\pi$ , sendo  $h$  a constante de Planck.

O princípio da incerteza expressa a indeterminação de valores simultâneos de momento numa direção e a correspondente posição. Não existe uma restrição na determinação desses valores com extrema exatidão, quando feitos de forma individual. Contudo, ao determinarmos a velocidade para um corpúsculo com exatidão ( $\Delta v_x \rightarrow 0$ ), teremos que sua posição será completamente desconhecida ( $\Delta x \rightarrow \infty$ ) e vice-versa.

A relação matemática da incerteza de momento e posição indica a impossibilidade de se obter a trajetória de entes quânticos. Tal impossibilidade pode ser entendida considerando-se o processo de medida da posição e do momento. Para determinar a posição de um ente quântico lançamos fótons sobre o mesmo, os quais refletirão e serão detectados, possibilitando inferir a posição do ente durante a reflexão. Como os fótons possuem energia similar à do ente sob medida, o processo de reflexão produzirá uma interferência na velocidade (e no momento) do ente. Na determinação do momento, precisamos fazer medidas em dois momentos distintos, provocando dupla interferência na posição do ente. Por isso não é possível obter as medidas simultâneas de posição e momento com precisão.

O desconhecimento de um par de valores de posição e momento (ou posição e velocidade) para um corpúsculo impede que se possa desenvolver uma equação para o cálculo de sua trajetória. Portanto, uma consequência imediata do princípio da incerteza é a indeterminação das trajetórias dos entes quânticos.

De acordo com Heisenberg (1983, p. 65) “o termo ‘trajetória’ não possui um significado definível” na mecânica quântica. Divergimos de tal posição. Entendemos que os entes quânticos, tais como, os elétrons, núcleos, átomos, moléculas, entre outros, possuem posição e momento (e velocidade) definidos a cada instante, embora não sejam conhecidos simultaneamente, pois os métodos que se pode empregar nas medidas provocam distúrbios nos seus valores, conforme dado pelo princípio da incerteza (PESSOA Jr., 2003).

Admitindo-se que os entes quânticos se encontram em permanente movimento, como no caso de elétrons em um átomo, pode-se apenas afirmar que estes se encontram em uma região em volta do núcleo, por força do campo elétrico, porém, com trajetórias incertas. Desse modo, estabelece-se uma nova imagem do átomo, na qual existe uma região do espaço em volta do núcleo onde se podem encontrar os elétrons.

## Mapa conceitual para o princípio da incerteza

O texto da seção anterior apresenta o princípio da incerteza e o conjunto de conceitos mais próximos que fazem parte do seu sistema. A Figura 2, abaixo, apresenta tais conceitos na forma de um mapa conceitual.

Embora todos os conceitos apresentem alta abstração e, por isso, tenham posições próximas

---

[1] Esta inequação deve ser considerada como uma relação de incerteza, pois é uma expressão particular do princípio da incerteza para o caso das grandezas posição e momento de um ente quântico. O princípio da incerteza, segundo Pessoa Jr. (2003, p. 77), “exprime o fato de que uma maior previsibilidade nos resultados da medição de um dos observáveis [grandeza não compatíveis, cujos operadores não comutam] implica uma diminuição na previsibilidade do outro”. Empregaremos o termo princípio da incerteza por ser mais comum no ensino de Química que relação de incerteza.

no mapa, posição e momento, situam-se no nível mais baixo porque são mais próximos da experiência dos estudantes, o que lhes confere maior familiaridade e, por isso, maior concretude. A noção de concreto não se limita ao que é manuseável, visível, enfim: sensível, embora também o inclua; concreto também pode ser “o abstrato que se tornou familiar pelo uso” (Lengevin apud Paty, 1995, p. 29). Em outros termos, percebemos como concretos todos os casos que se tornaram familiares e com os quais estamos acostumados a lidar. De modo similar, incerteza é um conceito familiar e entes quânticos — elétrons, átomos, moléculas — são os objetos de estudo da Química, também familiares aos estudantes.

Ressalte-se que este não é o único modo possível de organizar os conceitos do sistema conceitual do princípio da incerteza, mas uma escolha realizada pelos autores deste trabalho. Entretanto, consideramos que os elementos do sistema apresentado são imprescindíveis e que qualquer que seja a forma do mapa, devem fazer parte do mesmo. Não localizamos outros mapas conceituais acerca do princípio da incerteza na literatura de ensino de ciências (bases ERIC e Scielo) com os quais pudéssemos fazer comparação.

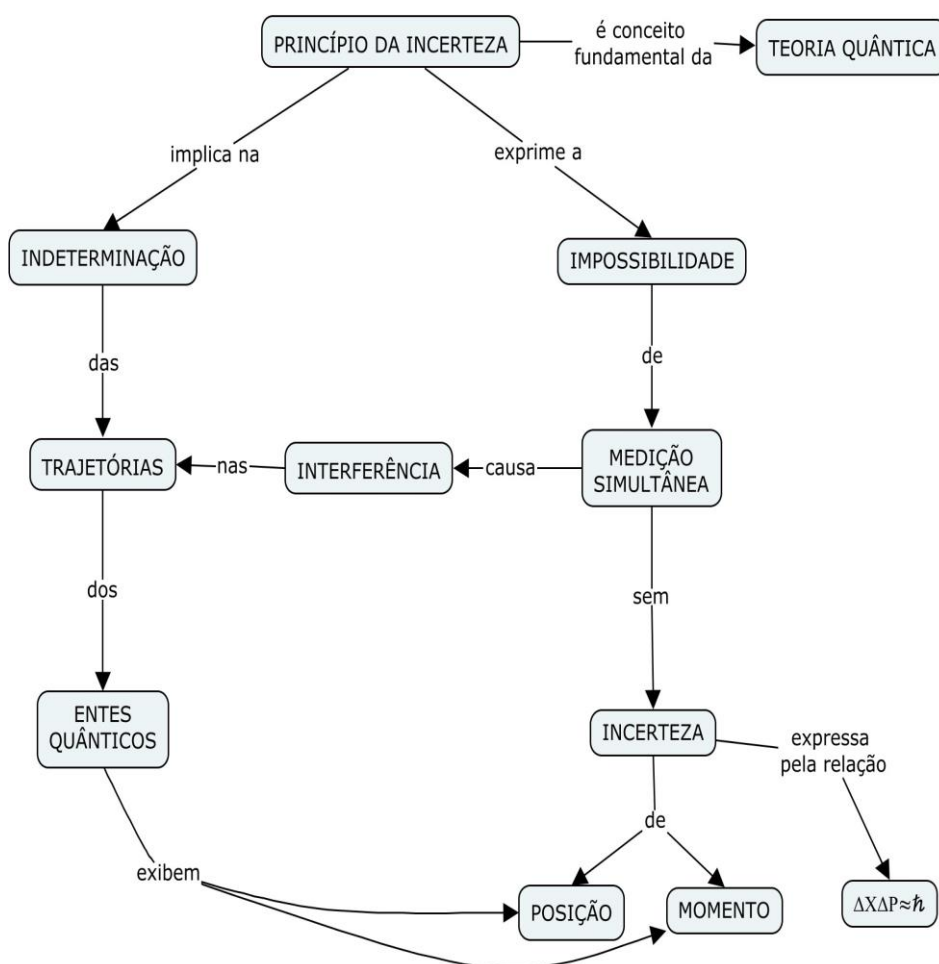


Figura 2: Mapa conceitual do Princípio da incerteza

## Considerações Finais

Os mapas conceituais são ferramentas teóricas que podem facilitar o planejamento do processo de ensino, orientar o estudo do conceito focado e realizar a avaliação da sua aprendizagem.

A partir do mapa, o professor pode escolher como introduzir os conceitos, de acordo com os princípios didáticos que adota: se a partir dos mais concretos ou dos mais abstratos. Feito isso, há uma variedade de possibilidades de trilhas por meio das quais pode conduzir o ensino ao tempo que percorre o mapa.

Os estudantes também podem se beneficiar do mapa conceitual apresentado para escolher por onde caminhar e ir percebendo as relações entre os elementos do conceito de princípio da incerteza. Partindo de um conceito mais conhecido e, por isso, mais familiar, vai estudando sua relação com outros conceitos próximos e construindo seu percurso de aprendizagem.

Após as aulas sobre o conceito, pode ser solicitado aos estudantes mapas que representem os conteúdos ensinados e o material produzido, ao ser comparado com o mapa confeccionado pelo professor possibilitará avaliar o quanto se desenvolveu cada estudante.

O ensino dos conceitos oriundos da Física Quântica, como o princípio da incerteza, pode ser desenvolvido com maior facilidade pelo professor com a introdução dos mapas conceituais que podem proporcionar aulas mais dinâmicas, nas quais, tanto os estudantes quanto o professor estruturam o sistema conceitual estudado.

Por fim, mas não menos importante, o sistema/mapa conceitual do princípio da incerteza pode ser utilizado na pesquisa do ensino, conforme estamos realizando na nossa dissertação de mestrado.

Entendemos que, desse modo, nosso trabalho traz uma contribuição para a área de Educação em Ciências.

## Referências

ABREGO, J. R. B. Montagem de um conjunto experimental destinado à verificação do princípio da incerteza de Heisenberg. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 35, n. 3, p. 3312-1-3312-5, 2013.

BELLAS, R. R. D.; GONZALEZ, I. M.; SILVA, J. L. P. B. Mapas conceituais em perspectiva histórico-cultural. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 10., 2015, Águas de Lindóia, SP. **Atas...** Rio de Janeiro: ABRAPEC, 2015.

CASALLAS, A. C. B. et al. Modelos e explicações no ensino conceito orbital atômico. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 9., 2013, Águas de Lindóia, SP. **Atas...** Rio de Janeiro: ABRAPEC, 2013.

CIÊNCIAS da natureza, matemática e suas tecnologias. Brasília: MEC/SEB, 2006. v. 2.

EINSTEIN, A. Sobre um ponto de vista heurístico a respeito da produção e da transformação da luz. In: STACHEL, J. (Org.) **O Ano Miraculoso de Einstein**: cinco artigos que mudaram a face da Física. Rio de Janeiro: Editora UFRJ, 2005. p. 201-222.

HEISENBERG, W. **A parte e o todo**: encontros e conversas sobre física, filosofia, religião e política. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.

HEISENBERG, W. The physical content of quantum kinematics and mechanics. In: WHEELER, J. A.; ZUREK, W. H. **Quantum theory and measurement**. Princeton: Princeton University Press, 1983. p. 62-84.

HEISENBERG, W. **The development of quantum mechanics**. Nobel Lecture dec. 1933. Disponível em: <<https://www.nobelprize.org/uploads/2018/06/heisenberg-lecture.pdf>>. Acesso em: 23 set. 2017.

MOURA, C. B.; GUERRA, A. Modelos atômicos em livros didáticos de química do PNLEM 2012: uma análise qualitativa à luz da história e filosofia da ciência. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 9., 2013, Águas de Lindóia, SP. **Atas...** Rio de Janeiro: ABRAPEC, 2013.

PATY, M. A **Matéria Roubada**: a apropriação crítica do objeto da Física contemporânea. São Paulo: Edusp, 1995.

PESSOA JR., O. **Conceitos de Física Quântica**. São Paulo: Livraria da Física, 2003.

PESSOA JR., O. Introdução históricas à teoria quântica, aos seus problemas de fundamento e às suas interpretações. **Cadernos de Física da UEFS**, v. 4, n. 1 e 2, p. 89-114, 2006.

SANTOS, E. S. **Modelo atômico (didático) de Bohr-Heisenberg**. 2013. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso de Licenciatura em Química) - Instituto de Química, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2013. Não publicado.

SANTOS, E. S.; SILVA, J. L. P. B. Modelo atômico (didático) de Bohr-Heisenberg. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENSINO DE QUÍMICA, 17., 2014, Ouro Preto, Mg. **Anais...** Ouro Preto: UFOP, 2014.

STUART JR., J. B.; ZULIANI, S. R. Q. A. Descrição Física da Realidade e o Princípio de Incerteza: livros didáticos e vieses filosóficos. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENSINO DE QUÍMICA, 16., 2012, Salvador-BA. **Anais...**, Salvador: UFBA, 2012.

STUDART, N. A Invenção do Conceito de Quantum de Energia segundo Planck. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 22, n. 4, p. 523-535, 2000.

VIGOTSKI, L. S. **A Construção do Pensamento e da Linguagem**. São Paulo: Martins Fontes, 2001.

WILSON, C. T. R. **On the cloud method of making visible ions and the tracks on ionizing particles**. Nobel Lecture, dec. 1927. Disponível em: <<https://www.nobelprize.org/uploads/2018/06/wilson-lecture.pdf>>. Acesso em: 22 mai. 2018.