

# O MODELO ATÔMICO QUÂNTICO EM LIVROS DIDÁTICOS DE QUÍMICA PARA O ENSINO MÉDIO

## THE ATOMIC QUANTUM MODEL IN DIDACTIC BOOKS TO SECONDARY SCHOOL

José Luis P. B. Silva<sup>1</sup>

Maria Bernadete de Melo Cunha<sup>2</sup>

1 Instituto de Química da Ufba, joseluis@ufba.br

2 Colégio Estadual Luis Viana – SEC/BA, berna.dete@oi.com.br

### Resumo

Esta comunicação apresenta os resultados da análise das noções da teoria quântica empregadas na apresentação do modelo atômico em livros didáticos de química para o ensino médio. Empregou-se a análise de conteúdo de cinco temas relativos à caracterização de um sistema quântico: quantum de uma grandeza; comportamento dual (onda/partícula); indeterminação da trajetória; caráter probabilístico; representação do estado. Os resultados mostram que a maioria das obras analisadas não apresenta esses cinco pontos considerados necessários para a compreensão do modelo atômico de orbitais. Os conceitos tratados pecam pela insuficiência de clareza, detalhamento e articulação entre si. Ademais, estão ausentes discussões de ordem epistemológica que entendemos como necessárias á compreensão do assunto. Tais resultados apontam a necessidade de mais investigação a fim de produzir materiais didáticos que superem tais insuficiências. Alguns encaminhamentos de pesquisa são sugeridos.

**Palavras-chave:** ensino de química, livro didático de química, modelo atômico, modelo atômico quântico, modelo atômico de orbitais.

### Abstract

This paper presents the results of the analysis of quantum theory concepts used in the presentation of atomic model in chemistry textbooks for secondary school. It was used content analysis of five themes related to a quantum system characterization: quantum of a magnitude; dual behavior (wave/particle); indetermination of the trajectory; probabilistic character; state representation. The results show that the majority of the works analyzed do not present these five points believed as needed for the comprehension of atomic model of orbitals. The concepts treated are insufficiently clear, detailed and articulated among itself. Furthermore, epistemological discussions we believe as needed for the comprehension of the subject are absent. Such results suggest the need of much research with the aim to produce didactic materials that overcome such insufficiencies. Some directions of research are suggested

**Keywords:** chemistry teaching; chemistry textbook; atomic model; quantum atomic model; orbital atomic model.

## INTRODUÇÃO

O conceito de átomo tem uma grande importância na explicação química dos fenômenos materiais. A história deste conceito é muito rica em função das polêmicas travadas e da multiplicidade de modelos atômicos elaborados ao longo dos séculos XIX e XX. O modelo atômico de orbitais (qualitativo) empregado contemporaneamente em pesquisa e ensino de química deriva da solução da equação de Schrödinger para átomos hidrogenóides e da teoria de ligação química de Linus Pauling. Talvez por isso, livros de história da química não se refiram a qualquer modelo atômico atual, mas, à contribuição da teoria quântica para a estrutura atômica (p. ex.: BROCK, 2000).

Compartilhamos como outros estudiosos do ensino de ciências a necessidade de incluir conhecimentos científicos atualizados na formação geral dos cidadãos, notadamente, aqueles referentes à teoria quântica (GRECA; MOREIRA; HERSCOVITZ, 2001), dada sua importância na química e na física, bem como em aplicações tecnológicas cada vez mais presentes nas sociedades industrializadas.

A importância da abordagem de temas/conteúdos científicos atualizados também é apontada em recomendações governamentais a exemplo dos Parâmetros e das Orientações Curriculares Nacionais para a área de Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias, que indicam que conceitos como energia, átomos e moléculas devem ser abordados de maneira atualizada nos componentes de Química, Física e Biologia, respeitando-se suas diferenças (BRASIL, 2006a).

Se por um lado, a compreensão do modelo atômico quântico requer o conhecimento de noções fundamentais da teoria quântica, por outro, conduz à discussão do caráter histórico da ciência e de questões de ordem epistemológica, bem como a busca da articulação entre conhecimentos químicos e físicos (O AUTOR, 2008).

Tomando como pressuposto que os textos didáticos costumam servir de referencial para o ensino dos conteúdos em disciplinas científicas, consideramos a seguinte questão de pesquisa: *que noções da teoria quântica são consideradas na apresentação do modelo atômico em livros didáticos de química para o ensino médio?*

## REFERENCIAL TEÓRICO

O ensino do modelo atômico quântico não tem recebido muita atenção dos pesquisadores em ensino de química: uma revisão nas principais revistas brasileiras de ensino de ciências/química [1] revelou que, nos últimos cinco anos, apenas um artigo (PESSOA JR., 2007) trata da matéria. Localizamos um outro artigo, anterior a esse período (ALMEIDA; SANTOS, 2001), dirigido a professores do Ensino Médio. Ambos os textos não consideram a questão da transposição didática de conceitos quânticos para o Ensino Médio.

Em nível internacional também há escassez de trabalhos sobre o ensino da teoria quântica, principalmente acerca do modelo quântico do átomo (PEREIRA; CAVALCANTI; OSTERMANN, 2009).

A inserção de temas/conteúdos científicos atuais na sala de aula de ensino médio pode: atrair os jovens para as carreiras científicas; despertar a curiosidade dos estudantes e ajudá-los a reconhecer as ciências como um empreendimento humano, próximo a eles; reconhecer que uma boa formação científica faz parte de um pleno exercício da cidadania (OSTERMANN; CAVALCANTI, 1999; 2000).

Greca, Moreira e Herscovitz (2001), apontam a necessidade dos estudantes compreenderem conceitos relacionados à teoria quântica por ser esta a base de

conhecimentos atuais, com aplicações em diferentes áreas, o que pode ser requerido na vida profissional futura, daí ser preciso a sua inclusão no ensino médio de escolaridade.

Contudo, deve-se considerar que há dificuldades a enfrentar na transposição didática da teoria quântica, quais sejam: formalismo matemático inerente à descrição quântica; novidades conceituais que se distanciam da física de forma ainda mais acentuada do que esta da física do senso comum; tratamento experimental dos temas quânticos (PINTO; ZANETIC, 1999). Sendo assim, a pouca investigação sobre o ensino de temas relacionados à teoria quântica contribui para retardar a necessária inserção de temas científicos contemporâneos na educação básica.

Em trabalho anterior (O AUTOR, 2008) adotamos como premissa que para compreender o modelo atômico quântico é necessário entender o que caracteriza o átomo como um sistema quântico; seu comportamento dual (onda/partícula) e probabilístico; seu movimento sem trajetória definida; e a caracterização do seu estado.

Tomamos como ponto de partida a idéia de sistema quântico como um ente microscópico que exhibe propriedades cujos valores variam de modo descontínuo. Então, para que um sistema mude o valor de dada propriedade é preciso que adquira ou perca uma quantidade definida da grandeza em questão, denominada quantum dessa grandeza. Diz-se que essa propriedade está quantizada. Os quanta (plural de quantum) de uma dada grandeza não são necessariamente iguais. Por exemplo: os átomos que constituem qualquer fragmento material são sistemas quânticos porque possuem energia quantizada. A diferença de energia entre cada dois valores de energia de um átomo é um quantum de energia.

Uma vez, de modo geral, que as pessoas estão acostumadas a pensar em termos de variações contínuas do espaço, da matéria, a quantização das grandezas físico-químicas pode provocar questionamentos importantes — e difíceis — em sala de aula. Por exemplo: o que provoca a descontinuidade dos valores das propriedades de um sistema? Não se tem como responder, no momento.

Um segundo ponto a considerar é o comportamento dos sistemas quânticos. A explicação de fenômenos macroscópicos envolvendo radiação e/ou matéria, entendidos como constituídos por entidades microscópicas, conduziu à conjunção das representações básicas da mecânica — o corpúsculo — e do eletromagnetismo — a onda. Cada representação explica fenômenos que o outro não possibilita explicar, de modo que, não se encontra uma situação em que ambas possam ser empregadas simultaneamente (BOHR, 1995). Diz-se que o sistema apresenta dualidade ou complementaridade (onda-partícula) de comportamento.

A dualidade onda/partícula da radiação e da matéria implica na dificuldade da representação pictográfica dos entes microscópicos, dada a impossibilidade de conciliação entre as formas de onda e de partícula. Este fato pode ser empregado para abrir uma discussão do conhecimento como representação (PATY, 1995). O comportamento dual de entes microscópicos não deve ser compreendido como uma descrição dos entes em si mesmos. Onda e partícula são representações simplificadas que aplicamos aos entes microscópicos na tentativa de explicar dados empíricos, sem a pretensão de utilizá-las para decidir sobre sua natureza última, a qual desconhecemos. E o fato é que não conseguimos elaborar uma outra representação que, sozinha, explique o que a onda e a partícula explicam complementarmente.

Outro aspecto do comportamento dos sistemas quânticos é a indefinição de sua trajetória. Diferentemente dos sistemas macroscópicos, é possível demonstrar a impossibilidade de obter as informações necessárias para descrever a trajetória de um ente microscópico (CARUSO; OGURI, 2006). Tal constatação é coerente com a

dualidade de modelos empregada na descrição dos sistemas quânticos (HEISENBERG, 1995).

A indeterminação da trajetória pela incerteza das medidas simultâneas de posição e velocidade requer o conhecimento de como uma trajetória é classicamente determinada, o que implica no ensino mais detalhado deste ponto, que não tem sido adotado mesmo em livros didáticos de física para o ensino médio (p. ex. MÁXIMO; ALVARENGA, 2000).

A adoção de dois modelos incompatíveis para representar os sistemas quânticos — onda e partícula — revela a incompletude do conhecimento acerca da sua natureza. Tal situação se agrava com a indefinição de trajetória do sistema. O fato é que, se um sistema for localizado em determinado ponto em um dado instante, não há como prever exatamente sua posição em outro instante posterior, ou mesmo, saber onde esteve antes. Entretanto, se há um sistema, é certo que esteve/está/estará em algum lugar, de modo que, podemos pensar em seccionar o espaço e determinar a probabilidade de encontrá-lo em cada região, obtendo uma distribuição de probabilidades.

A indeterminação da trajetória e, portanto, o caráter probabilístico da localização dos sistemas quânticos são idéias que costumam ser bem aceitas por estudantes universitários e que talvez o sejam pelos estudantes mais jovens do ensino médio. O aspecto essencial para sua compreensão é o entendimento de que os valores das energias dos sistemas quânticos sendo medidos e dos sistemas quânticos usados para medi-los são da mesma ordem de grandeza. Contudo, vale lembrar que o estudo da determinação da trajetória na mecânica clássica requer uma articulação com ensino de física, o que nem sempre acontece.

Por fim, o estado de um sistema quântico é representado por uma função de onda, solução da equação (diferencial) de Schrödinger para o sistema, que por seu turno é caracterizada por um conjunto de números quânticos.

Um primeiro problema para discussão desse ponto é o nível matemático da teoria, que se encontra além do previsto para o ensino médio. A realização da sua transposição didática é um problema para a pesquisa em ensino de ciências.

Em segundo lugar, há que se discutir a diferença em relação à representação usual dos sistemas macroscópicos, que é feita por conjuntos de coordenadas.

Terceiro, à primeira vista, parece-nos que a função de onda precise ser introduzida através da representação ondulatória da matéria, criando um problema: a necessidade de privilegiar uma representação em relação à outra.

De modo sumário, podemos afirmar que no modelo atual o átomo possui um núcleo em torno do qual se movimentam elétrons. Esse movimento não pode ser completamente descrito, uma vez que as trajetórias dos elétrons são indeterminadas. Contudo, é possível calcular a probabilidade de encontrá-los em setores determinados em torno do núcleo atômico. O átomo é entendido como um sistema quântico no qual os elétrons possuem valores discretos de energia. A resolução da equação de Schrödinger para um átomo tem como resultados os possíveis valores de energia e as funções de onda que representam os correspondes estados eletrônicos. Costuma-se caracterizar abreviadamente um estado eletrônico pelo conjunto de números quânticos constitutivo de sua expressão matemática.

## **METODOLOGIA**

Com base no referencial teórico apresentado na seção anterior, foram analisados os conteúdos dos seis livros didáticos de Química aprovados no Programa Nacional do

Livro para o Ensino Médio - PNLEM 2006/2007 (BRASIL, 2006b) pois estes compõem os materiais didáticos distribuídos na rede pública de ensino a partir de 2008.

Utilizamos como unidades de registro da nossa análise os temas relativos às cinco noções básicas necessárias à compreensão do modelo atômico quântico, no contexto dos trechos (parágrafos e/ou seções) de cada texto didático onde os temas foram localizados (BARDIN, 2004). Desse modo, buscou-se verificar a presença (ou ausência) dos seguintes temas: conceito de quantum de uma grandeza; caracterização do átomo e/ou do elétron como sistema quântico; comportamento dual (onda/partícula) do átomo e/ou do elétron; indeterminação da trajetória do átomo e/ou de um elétron no átomo; caráter probabilístico da localização do átomo e/ou de um elétron num átomo; função de onda como representante do estado do átomo ou do elétron em um átomo.

Para efeito de identificação, os livros analisados foram numerados de 1 a 6 [2].

## **RESULTADOS**

### **Livro 1**

O Livro 1 (NÓBREGA; SILVA; SILVA, 2005, p. 147-166) apresenta como o modelo atômico mais recente aquele proposto por Bohr em 1913. A mudança de órbita de um elétron no átomo é descrita como um salto e comparada à mudança entre degraus de uma escada. Tal analogia poderia servir à introdução da idéia de quantização da energia do elétron no átomo, porém, os autores não a exploram suficiente e adequadamente.

### **Livro 2**

O Livro 2 (BIANCHI; ALBRECHT; DALTAMIR, 2005, p. 160-200) também não se refere a nenhum dos cinco pontos do nosso referencial teórico, nem faz qualquer referência ao modelo atômico de orbitais. Os autores apresentam os modelos atômicos de Dalton e Bohr. Neste último modelo, citam a mudança de um elétron de uma órbita a outra pelo fornecimento de energia mas não discutem a quantização do átomo.

### **Livro 3**

O Livro 3 (MORTIMER; MACHADO, 2002, p.104) apresenta uma conceituação inicial do quantum de energia da radiação essencialmente correta: quantidade discreta de energia. Contudo, em nosso entender, o texto precisaria ser mais detalhado para facilitar a compreensão. Um ponto questionável está na relação entre as informações de que Planck propôs a idéia de quantum e teve dificuldades em aceitá-la. Para os estudantes, que não conhecem a história do problema do corpo negro, tais afirmativas podem parecer contraditórias.

Adiante (Ibidem, p.107), os autores exploram a analogia entre níveis de energia nos átomos e os degraus de uma escada, que ficaria mais clara se a expressão quantum de energia tivesse sido empregada na descrição do mecanismo de emissão/absorção de energia pelo átomo. Estranhamente, a noção de quantum de energia não é utilizada na discussão sobre a energia de ionização das páginas seguintes, perdendo-se uma oportunidade de explorar o emprego do conceito numa explicação nova, logo após sua apresentação aos estudantes.

Numa sequência de associações, o texto comenta a natureza dual da radiação, necessária para explicar fenômenos distintos, que serve de apoio à apresentação da natureza dual da matéria e à equação de onda como base para um novo modelo atômico, que leva à função de onda e à sua interpretação probabilística. O abandono do modelo

de órbitas é tomado como causa para o abandono da noção de trajetória dos elétrons no átomo (Ibidem, p.101-102; p.113-114). Tal sequência é muito resumida e não cremos ser facilmente entendida por estudantes do ensino médio.

Embora o raciocínio exposto esteja correto, as razões para a dualidade onda/partícula da matéria, para a indefinição da trajetória, da formalização do modelo atômico por uma equação de onda e da interpretação probabilística da função de onda não são expostas.

Os autores justificam que muitos detalhes do modelo atômico não foram explicados em vista da “formulação matemática bastante avançada, que está muito além dos objetivos de um curso introdutório de química” e que possíveis simplificações poderiam não contribuir para compreendê-los (Ibidem, p.116). Em nosso entender, explicar o modelo atômico dos orbitais de modo relativamente simples e alto grau de razoabilidade é um desafio a ser enfrentado no ensino de química.

#### **Livro 4**

O Livro 4 (SANTOS et al., 2005) introduz a noção de quantum de energia através de uma insuficiente discussão da radiação do corpo negro, preliminar ao modelo atômico quântico. De acordo com o texto (Ibidem, p. 688), a radiação seria “absorvida e emitida por meio de pequenos ‘pacotes’ de energia” denominados “quanta (plural de quantum, que corresponde à menor unidade de energia contida nos pacotes de energia)”. Verifica-se, portanto, uma dupla definição de quantum: como pacote de energia e como unidade de energia.

Os quanta de energia são relacionados à diferença entre níveis de energia do modelo atômico de Bohr (Ibidem, p. 692) mas não são associados ao modelo atômico de orbitais.

A dupla natureza — corpuscular e ondulatória — da luz (Ibidem, p.688), e da matéria (Ibidem, p. 693) é afirmada mas não é explicada em detalhe. Os autores do Livro 4 chegam a apontar para a dificuldade de entendimento desse comportamento dual — “Afim, a luz é uma onda ou uma partícula?” (Ibidem, p. 693) — porém, sem avançar a discussão em relação ao conhecimento como representação.

Na esteira do comportamento dual da matéria é introduzida a noção de indefinição da trajetória de um elétron (Ibidem, p. 694). A interferência do instrumento de medição nos valores das medidas que realiza é citada mas não é adequadamente explorada, de modo que, não é explicado como se produz a incerteza dos valores de posição e velocidade durante as medições.

Também falta ao argumento o conceito clássico de trajetória, para que se possa compreender as razões de sua indeterminação no caso de sistemas microscópicos. O ensino deste tópico requer uma articulação com conhecimentos de mecânica newtoniana usualmente estudada na mesma época pelos alunos do nível médio.

A função de onda surge como “uma solução matemática para descrever a trajetória do elétron” (Ibidem, p.694) em contradição com a idéia de trajetória indefinida. Não é estabelecido qualquernexo com o estado do sistema. A interpretação probabilística da função de onda também deixa a desejar, pois não é relacionada a qualquer outra característica dos sistemas quânticos.

#### **Livro 5**

O quantum é introduzido no Livro 5 (FELTRE, 2004, p. 90) no âmbito do modelo atômico de Bohr, como “uma quantidade bem definida de energia” emitida ou absorvida pelo elétron durante uma mudança de órbita. O autor também emprega a metáfora do “pacote de energia”, problemática e desnecessária, em nosso entender, uma

vez que não discute o modelo quântico da radiação. A relação entre as idéias de “pacote de energia” e de descontinuidade da energia fica por ser feita pelo leitor.

O comportamento dual da matéria e da radiação é afirmado mas não é discutido. O autor indica que o comportamento de onda ou partícula depende do tipo da experiência, porém, sugere a conjunção da partícula com a onda ao propor o entendimento do elétron “como um ente físico que tem comportamento dual — uma **partícula-onda**” (Ibidem, p.94, grifo do autor). No caso da luz tal conjunção é explícita na idéia de que uma onda eletromagnética “nada mais é que uma sucessão de fótons (ou quanta) de energia” (Ibidem, p.91).

Ora, um dos grandes problemas para a compreensão da dualidade onda-partícula é a impossibilidade da conjunção dos dois modelos: a onda, espalhada no espaço, deslocalizada; a partícula, concentrada no espaço, localizada. Esta impossibilidade de síntese dos modelos da radiação e da matéria que, em nosso entender, devia ser objeto de discussão, é posta de lado pelo autor através da criação desse estranho ente: a partícula-onda.

A incerteza das medidas também é apresentada de modo postulatório, sem discussão (Ibidem, p.94). Ao tentar explicar como um instrumento altera a medida que está sendo feita o autor emprega uma analogia com a medida da velocidade de uma roda com um velocímetro, entrando em contradição com a afirmação anterior de que poderia medir a velocidade de corpos macroscópicos com precisão. Não convence.

Por fim, a probabilidade surge associada à idéia de orbital (Ibidem, p.95) sem qualquer explicação.

## **Livro 6**

O termo quantum aparece pela primeira (e única?) vez no Livro 6 (PERUZZO; CANTO, 2003, p. 74) numa nota de rodapé informativa de que “quanto maior for a frequência da onda, maior a energia de um quantum dessa onda”. Em vista da indefinição do quantum de energia essa informação torna-se confusa. De todo o modo, trata-se de uma afirmativa desvinculada do texto, pois não é empregada na discussão dos modelos atômicos apresentados subsequente.

Mais adiante os autores informam que no modelo de Bohr a energia dos elétrons é quantizada, isto é, possui “apenas alguns valores determinados” (Ibidem, p. 76). Tal afirmativa sugere que um quantum de energia está limitado a “apenas alguns valores determinados”, porém, não é estabelecida qualquer relação com a descontinuidade da energia de um sistema quântico, no caso, um átomo.

Em um tópico intitulado “O modelo de subníveis de energia” (Ibidem, p. 79) é abordada a questão da indeterminação da trajetória dos elétrons no interior de um átomo. Os autores desenvolvem um raciocínio interessante onde mostram que um sistema macroscópico se torna mais sensível à interação com o instrumento de medida ao ter suas dimensões reduzidas. Desse modo, conclui que o instrumento de medida pode interferir no valor da grandeza que deseja medir. A transferência dessa idéia aos elétrons e átomos não é difícil, dada a sua pequenez. A passagem à indeterminação da trajetória é que deixa a desejar, porque requer a discussão do conceito mecânico de trajetória em termos clássicos.

Desse modo os autores do Livro 6 encerram a discussão sobre os modelos atômicos, sem referência aos outros aspectos necessários para o entendimento do modelo quântico do átomo.

## **CONCLUSÕES**

Nossa análise dos livros didáticos de química para o ensino médio revelou que apenas uma das obras trata dos cinco pontos considerados necessários ao entendimento do átomo como um sistema quântico. Outras três obras discutem-nos parcialmente e duas não os incluem. Em qualquer caso, consideramos a discussão insuficiente para a compreensão do significado dos termos quantum (de uma grandeza) e quântico, do comportamento dual (onda/partícula) e probabilístico, do movimento sem trajetória definida e da caracterização do seu estado. Tais resultados apontam a necessidade de atualização e aprimoramento dos textos didáticos de química no tocante ao modelo atômico orbital.

Em nosso entender, os livros analisados não tratam o assunto com suficiente clareza conceitual. Defendemos que a inclusão de tais tópicos no ensino médio de química exige uma interação mais forte com o ensino de física: é preciso definir o que ensinar acerca do modelo atômico quântico, como ensinar, de que modo tratar a distinção clássico/quântico, que existe na física mas inexiste na química e demais ciências. Por outro lado, não podem ser evitadas questões de ordem epistemológica como o limite do nosso conhecimento acerca dos entes microscópicos, da conceituação de modelo científico, da representação pictórica do átomo.

Um ponto questionável é se a noção de quantum de uma grandeza deva ser introduzida no contexto do problema do corpo negro, visto que esse tópico é muito complexo para o ensino médio. Sugerimos que um melhor modo de aproximação seja o modelo quântico da luz, evidenciado pelo efeito fotoelétrico. Outra possibilidade é a explicação do espectro de raias através de um modelo atômico quântico. Tanto num caso quanto no outro, as construções da idéia de quantização requerem discussões detalhadas e demoradas. A articulação entre teoria e experimento precisa ser muito bem exposta para dar a entender a relação entre modelo e realidade.

O comportamento dual também é um tópico que pode ser ensinado pela explicação de experiências de interação da luz com a matéria: difração da luz (modelo ondulatório) e efeito fotoelétrico (modelo corpuscular). É um tópico importante para discutir o nosso conhecimento acerca da natureza e o papel que os modelos desempenham nesse conhecimento, pois, se os modelos de onda e partícula são incompatíveis, certamente nenhum dos dois é verdadeiro, são os modos limitados de que dispomos para falar do mundo. A dualidade traz consigo a problema da representação pictórica dos entes microscópicos.

O problema da incerteza das medidas de entes microscópicos pode ser ensinado por comparação com as medidas de objetos macroscópicos. O ponto essencial é que a interação do instrumento com o sistema microscópico perturba-o devido à energia da interação ser da mesma ordem de grandeza da energia do sistema.

A compreensão pelo estudante da indeterminação da trajetória dos elétrons ao redor do núcleo serve de apoio para a abordagem probabilística do movimento e a noção de orbital atômico empregada na química.

Quanto à equação de Schrödinger, seu estudo no ensino médio está fora de cogitação em função da complexidade matemática. a representação do estado de um sistema quântico por uma função de onda deve ser ensinada através da sua representação ondulatória.

Pelas razões expostas, claro está que o ensino do modelo atômico dos orbitais não é simples e que há necessidade de mais investigação para a produção de material didático que o trate de modo detalhado, compreensível e bem articulado.

## NOTAS

[1] Foram examinados os volumes correspondentes aos últimos cinco anos das seguintes revistas: Investigações em Ensino de Ciências, Revista Brasileira de Pesquisa em Ensino de Ciências, Ciência e Educação, Ensaio - Pesquisa em educação em ciências, Química Nova na Escola, Química Nova.

[2] Relação dos livros analisados:

Livro 1 - Nóbrega; Silva; Silva, 2005.

Livro 2 - Bianchi; Albrecht; Daltamir, 2005.

Livro 3 - Mortimer; Machado, 2002.

Livro 4 – Santos et al., 2005.

Livro 5 - Feltre, 2004.

Livro 6 - Peruzzo; Canto, 2003.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Wagner B; SANTOS, Hélio F. Modelos teóricos para compreensão da estrutura da matéria. *Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola*, n.4, p.6-13, 2001.

BARDIN, Laurence. *Análise de Conteúdo*. 3. ed. Lisboa: Edições 70, 2004.

BIANCHI, José Carlos de Azambuja.; ALBRECHT, Carlos Henrique; MAIA, Daltamir Justino. *Universo da Química*. São Paulo: FTD, 2005.

BOHR, Niels. *Física Atômica e Conhecimento Humano: ensaios 1932-1957*. Rio de Janeiro: Contraponto, 1995.

BRASIL. *Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias*. Brasília: Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica, 2006a. (Orientações curriculares para o ensino médio; v. 2).

BRASIL. Portaria no. 366, de 31 de janeiro de 2006. *Diário Oficial da União*, Poder Executivo, Brasília, DF, 01 de fev. 2006b. Seção 1, p.19-20.

BROCK, William H. *The Chemical Tree: a history of chemistry*. New York: W. W. Norton, 2000.

CARUSO, Francisco; OGURI, Vitor. *Física Moderna: origens clássicas e fundamentos quânticos*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.

FELTRE, Ricardo. *Química*. 6. ed. São Paulo: Moderna, 2004. v.1.

GRECA, Ileana M.; MOREIRA, Marco Anatonio; HERSCOVITZ, Victoria. E. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v.23, n.4, p.444-457, 2001.

HEISENBERG, Werner. *Física e Filosofia*. 3. ed. Brasília: Ed. UnB, 1995.

MÁXIMO, Antônio; ALVARENGA, Beatriz. *Curso de Física*. São Paulo: Scipione, 2000.

MORTIMER, Eduardo Fleury; MACHADO, Andrea Horta. *Química para o Ensino Médio*. São Paulo: Scipione, 2002.

NÓBREGA, Olímpio Salgado; SILVA, Eduardo Roberto SILVA, Ruth Hashimoto. *Química*. São Paulo: Ática, 2005.

OSTERMANN, Fernanda; CAVALCANTI, Cláudio J. H. Física moderna e contemporânea no ensino médio: elaboração de material didático, em forma de pôster, sobre partículas elementares e interações fundamentais. *Cadernos Catarinense de Ensino de Física*. v.16, n.3, p. 267-286, 1999.

OSTERMANN, Fernanda; MOREIRA, Marco Aantonio. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “física moderna e contemporânea no ensino médio”. *Investigações em Ensino de Ciências*. v.5, n.1, mar. 2000.

PATY, Michel. *A Matéria Roubada*. São Paulo: EDUSP, 1995.

PEREIRA, Alexsandro P.; CAVALCANTI, Cláudio J. H.; OSTERMANN, Fernanda. Concepções relativas à dualidade onda-partícula: uma investigação na formação de professores de Física. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, v.8, n.1, p. 72-92, 2009.

PERUZZO, Francisco M.; CANTO, Eduardo L. *Química na Abordagem do Cotidiano*. 3. ed. São Paulo: Moderna, 3ª ed, 2003. v.1.

PESSOA JR, Osvaldo. A representação pictórica de entidades quânticas da química. *Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola*, n.7, p.25-33, 2007.

PINTO, A. Custódio; ZANETIC, João. É possível levar a física quântica para o ensino médio? *Cadernos Catarinense de Ensino de Física*. v. 16, n. 1, p.7-34, 1999.

SANTOS, Wildson Luiz Pereira et al. *Química e Sociedade*. São Paulo: Nova Geração, 2005.

O AUTOR, 2008.