

# **Modelo atômico quântico em coleções de química aprovadas no PNLD 2015. Parte I: quantum de energia, dualidade onda-partícula e números quânticos**

## **Quantum atomic model in chemistry textbooks approved in PNLD 2015. Part I: quantum of energy, wave-particle duality and quantum numbers**

**Lucilene Correia Ramos**  
Universidade Federal da Bahia  
lucilene.ramos@gmail

**Juliel Cerqueira da Silva**  
Universidade Federal da Bahia  
juliel.cerqueira@gmail

**José Luis de Paula Barros Silva**  
Universidade Federal da Bahia  
jose Luis@ufba.br

### **Resumo**

Este trabalho tem como objetivo investigar conteúdos relativos ao modelo atômico em coleções de livros didáticos de química para o ensino médio aprovadas pelo PNLD 2015. Especificamente, analisaremos as contribuições dos conceitos de quantum de energia, dualidade onda-partícula e números quânticos para o ensino do modelo atômico. A análise de conteúdo revelou que nem todas as obras tratam desses conceitos e, aquelas que os ensinam, ainda não são suficientemente claras e precisas em relação aos mesmos. A maior parte do texto é informativa, apenas, sem argumentos bem elaborados que possibilitem aos estudantes compreender tais conceitos. Concluímos pela necessidade de maior detalhamento na mediação didática acerca dos conceitos investigados, incorporando seus desenvolvimentos históricos e elaborando a argumentação para aumentar sua significação e contribuição ao ensino do modelo atômico.

**Palavras chave:** modelo atômico quântico, quantum de energia, dualidade onda-partícula, números quânticos, livros didáticos de química, ensino de química

### **Abstract**

The aim of this work is to investigate contents concerned to quantum atomic model in chemistry textbooks of secondary school approved by PNLD 2015. We will specifically analyze contributions of the concepts of quantum of energy, wave-particle duality and

quantum numbers to atomic model teaching. Content analysis showed that these concepts are not treated in all textbooks and even that teach them are not enough clear and accurate about them. The major part of text is merely informative, without well-elaborated arguments that enable comprehension of such concepts by students. We conclude by need of more details in didactic mediation about investigated concepts, comprising their historical development and elaborating argumentation to enhance their signification and contribution to atomic model teaching.

**Key words:** quantum atomic model, quantum of energy, wave-particle duality, quantum numbers, chemistry textbooks, chemistry teaching

## Introdução

O modelo atômico quântico ou modelo atômico de orbitais é um modelo atômico muito utilizado na química atual (BUENO; OLIVEIRA, 2015), de modo que, torna-se absolutamente necessário fazer parte da formação do professor de química, sob pena deste não conseguir compreender os textos contemporâneos da ciência que ensina.

O modelo atômico quântico também deve ser ensinado na educação básica, conforme as Orientações Curriculares para o Ensino Médio (CIÊNCIAS..., 2006) e, ainda mais, porque se trata de um conhecimento clássico (SAVIANI, 2005), ou seja: que resistiu ao tempo e se tornou fundamental da química. Ademais, cidadãos leigos em química precisam ter alguma formação em química como condição para ler textos que contenham informações químicas e para acompanhar e participar de discussões relacionadas à ciência e a tecnologia modernas (SANTOS, 2007), nas quais a química está presente.

Este trabalho tem por objetivo investigar conteúdos relativos ao modelo atômico em livros didáticos de química para o ensino médio aprovados pelo PNLD 2015. Especificamente, analisaremos as contribuições dos conceitos de quantum de uma grandeza, dualidade onda-partícula e números quânticos para o ensino do modelo atômico.

O livro didático de química representa os conteúdos de química ensinados no ensino médio, pois são os materiais didáticos mais empregados pelos os estudantes deste nível de ensino para aprender química. Desde 2007, o Ministério da Educação tem distribuído livros didáticos de química para todas as escolas públicas brasileiras de ensino médio, através do Programa Nacional do Livro Didático, conhecido pela sigla PNLD. Por isso, estes são os materiais didáticos mais distribuídos no País.

## Referencial Teórico

Temos como pressuposto que o ensino do modelo atômico quântico de orbitais passa pelo ensino de: (a) quantum de uma grandeza; (b) natureza dual da matéria e da radiação; (c) átomo como estrutura; (d) movimento eletrônico sem trajetórias definidas; (e) orbital atômico. A seguir, faremos uma apresentação sucinta dos três primeiros conceitos, como referencial teórico para a análise dos livros didáticos neste trabalho.

### Quantização da energia

O primeiro passo em direção à quantização da energia foi dado por Max Planck (1858-1947), em 1900, ao deduzir a expressão da equação da radiação do copo negro, um problema em aberto até então. A partir da consideração de que as paredes de um corpo negro eram

constituídas por uma quantidade definida de osciladores, responsáveis pela emissão e absorção de radiação, Planck sugeriu que sua energia total deveria estar distribuída de maneira descontínua, em um número definido de partes, cada parte com uma energia mínima dada por  $\varepsilon = h.v$  (em que  $\varepsilon$  corresponde aos valores dos elementos da energia distribuída entre os osciladores;  $h$  é uma constante universal, posteriormente denominada constante de Planck; e  $v$  é a frequência natural de um dado oscilador).

A introdução de tais elementos de energia  $\varepsilon$  foi feita por Planck como um artifício matemático a fim de que a equação deduzida para a radiação do corpo negro mantivesse uma concordância com os dados empíricos. No entanto, o relato histórico indica que, pelo menos num período inicial, Planck não supôs que a energia total dos osciladores fosse, de fato, descontínua (ROSA, 2004). De todo o modo, assim foi introduzida a noção de descontinuidade dos estados energéticos de um sistema que emite e absorve radiação eletromagnética.

Em 1905, Albert Einstein (1879-1955) relatou suas primeiras considerações sobre a teoria quântica (PAIS, 1995). Einstein adotou como hipótese que “a luz é distribuída de forma descontínua no espaço”, de modo que, um raio de luz “consiste em número finito de quanta de energia, localizados em pontos do espaço que se movem sem se dividir e que podem ser absorvidos ou gerados apenas como unidades integrais” (EINSTEIN, 2005, p. 202). Cada quantum de energia teria energia  $\varepsilon = h.v$ . Einstein foi mais longe que Planck ao definir um quantum de energia como localizado no espaço, indivisível e gerado e/ou absorvido de modo íntegro. A partir de então é que se pode, efetivamente, falar de quantização (descontinuidade) da luz. Daí, Einstein deduziu a equação da radiação do corpo negro de modo independente da solução de Planck e discutiu outros fenômenos relativos à luz.

### **Dualidade onda-partícula**

Uma vez que, no eletromagnetismo clássico, a luz utiliza um modelo de onda, o trabalho de Einstein foi o ponto de partida para a atribuição de comportamento dual (onda-partícula) à luz: a partir de então, alguns fenômenos continuaram a ser explicados pelo modelo ondulatório, enquanto outros eram (e são) explicados pelo modelo corpuscular.

Os estudos de Einstein influenciaram grandemente Louis de Broglie (1892-1987), que considerou a hipótese da matéria ter comportamento ondulatório, numa relação simétrica com a dualidade da radiação: “se ondas se comportam como partículas, partículas talvez se comportem como ondas” (BROCKINGTON, 2005, p. 43).

O raciocínio elaborado por de Broglie considerou que um corpúsculo de massa de repouso  $m_0$ , se movendo à velocidade próxima à da luz teria energia dada por ambas as equações:  $E = m_0.c^2$ , segundo a teoria da relatividade e  $E = h.v$ , segundo a teoria quântica, de modo que  $h.v = m_0.c^2$ , donde,  $m_0.c = h.v/c$ , ou  $p = h/\lambda$ . Esta equação relaciona o momento, que até então era uma propriedade de partícula, a um comprimento de onda, até então, propriedade de onda. A partir desta relação, de Broglie passou a atribuir movimento ondulatório tanto ao quantum de luz quanto ao elétron. Em outras palavras, com esta equação de Broglie introduziu a ideia de dualidade onda-partícula aplicada tanto à radiação quanto à matéria. (ROSA, 2004).

### **Números quânticos**

Em 1913, Niels Bohr (1885-1962) introduziu a quantização da energia na estruturação do modelo atômico: propôs que os elétrons se movimentariam em volta do núcleo atômico, distribuídos em estados correspondentes a valores de energia quantizados. Os elétrons transitavam entre tais estados, mudavam de nível energético, explicando os espectros de absorção e emissão dos átomos: se eram promovidos para energias mais altas, absorviam energia das vizinhanças; caso contrário, emitiam energia para as vizinhanças. Bohr calculou

os valores de energia do elétron no átomo de hidrogênio com boa concordância com os dados experimentais (BOHR, 2001). Na expressão da energia obtida por Bohr, a cada estado corresponde um número inteiro natural. Dada sua descontinuidade em relação aos números reais, ficaram conhecidos como números quânticos e constituem um modo abreviado de indicar os estados de energia dos elétrons nos átomos.

No intuito de aprimorar o modelo atômico proposto por Bohr — que não explicava precisamente átomos com mais de um elétron — Arnold Sommerfeld (1868-1951) (1923) introduziu a noção de centro de gravidade do átomo e órbitas elípticas. Uma elipse necessita de duas coordenadas polares para ser descrita — a distância do elétron ao núcleo e o ângulo azimutal<sup>1</sup> — e Sommerfeld considerou que a ação<sup>2</sup> relacionada a cada variável deveria ser quantizada. Desse modo, foram criados o número quântico radial,  $n_r$ , e o número quântico azimutal,  $k$ , com os quais, o modelo atômico explicava a estrutura fina do espectro atômico.

Para explicar a alteração dos espectros atômicos quando da aplicação de um campo magnético, foi proposto que a energia do estado eletrônico variava com a posição do plano da órbita no espaço — as órbitas eram planas — a qual também seria quantizada, sendo introduzido o número quântico denominado magnético (SOMMERFELD, 1923).

Um quarto número quântico foi proposto em 1925, por Samuel Goudsmit (1902-1978) e George Uhlenbeck (1900-1988) quando se descobriu a propriedade dos elétrons terem seu próprio momento magnético. Como esse efeito foi atribuído ao fato do elétron girar (*to spin*, em inglês) em volta de seu próprio eixo, atribuiu-se a este número quântico a denominação de spin (GOUDSMIT, 1971)

Portanto, os números quânticos foram “criados” no desenvolvimento de estudos em espectroscopia: à medida que os estudos avançavam esses números foram necessários para explicar as novas linhas nos espectros dos elementos. Embora muitos dos textos apresentem-nos a partir da equação de Schrödinger, a história mostra que o surgimento foi anterior a este fato. Quando Schrödinger resolveu a equação para o modelo atômico do hidrogênio, teve que obter os números quânticos que já estavam propostos anteriormente, de modo a poder abarcar o que se conhecia sobre os espectros.

## Metodologia

As coleções foram identificadas por números: Coleção 1 (FONSECA, 2013); Coleção 2 (SANTOS; MÓL, 2013); Coleção 3 (MORTIMER; MACHADO, 2013); Coleção 4 (ANTUNES, 2013).

A análise dos livros didáticos foi realizada em duas etapas: em primeiro lugar, foi realizada uma análise de conteúdo dos livros (BARDIN, 2004) através de palavras-chave — modelo atômico; átomo; energia; níveis de energia; quantum; quantização; quantizada (o); fóton; ondas eletromagnéticas; dualidade; espectro, espectroscopia; números quânticos; estrutura atômica — visando localizar os trechos referentes à quantização da energia, à dualidade onda-partícula e aos números quânticos.

Em seguida, foi realizada a leitura dos trechos selecionados para verificar como os conceitos de quantum de uma grandeza, de dualidade onda-partícula da luz e da matéria e de números

---

[1] Azimute: direção, medida em graus, definida a partir do horizonte, em relação a um ponto de referência, geralmente o Norte. In: Dicionário Priberam da Língua Portuguesa, 2008-2013. Disponível em: <<http://www.priberam.pt/DLPO/azimute>>. Acesso em: 30 mai. 2014.

[2] A grandeza ação, pouco citada em química, tem unidades de energia vezes tempo, as mesmas dimensões de  $h$ , constante de Planck.

quânticos são apresentados. Esses trechos foram analisados por comparação com os conceitos constantes do nosso referencial teórico.

## Resultados e discussão

### COLEÇÃO 1 (FONSECA, 2013)

O conceito de quantum aparece agregado à afirmação de que, em 1900, o cientista Max Planck explicou os fenômenos relacionados ao aquecimento e a cor de objetos e corpos celestes por admitir que a energia não seria contínua como se pensava (FONSECA, 2013, v.1, p.172). A emissão de radiação ocorreria sob a forma de pequenos “pacotes” de energia, denominados quantum, e cada quantum equivaleria a uma quantidade definida de energia, proporcional à frequência da radiação. Neste relato, percebemos que a supressão dos acontecimentos que deram origem à teoria quântica omite a participação de outros cientistas na elaboração de uma explicação para a questão relacionada à interação entre a radiação e a matéria. Encontramos também aqui a ideia de que Planck teria solucionado esta questão a partir de uma simples suposição generalizada, que ia de encontro a tudo que se conhecia sobre o assunto, mas que deu certo. No entanto, o relato histórico aponta para Planck como tendo se referido a um fenômeno em particular (radiação do corpo negro), cabendo ao cientista Albert Einstein a principal contribuição para a aplicação da ideia de descontinuidade a toda forma de radiação, bem como, para a denominação e definição do conceito de quantum (quanta).

Além disso, a analogia entre um quantum e um “pacote” de energia, apesar de recorrente em muitos textos didáticos, não pode ser considerada nem necessária, nem suficiente para caracterizar o comportamento descontínuo da luz, pois apela para um realismo ingênuo, possibilita a materialização da radiação. Sendo assim, consideramos inadequado o seu uso, especialmente quando não são fornecidas maiores informações para a sua compreensão.

O termo dualidade onda-partícula aparece apenas uma vez no texto, numa breve discussão sobre qual dos dois modelos para a luz — ondulatório ou corpuscular — estaria correto. Insere-se aqui a ideia que, separadamente, ambos os modelos são insuficientes para explicar todos os fenômenos da luz e que mesmo sem uma demonstração simultânea da dualidade onda-partícula da luz, pode-se demonstrar a natureza ondulatória e corpuscular da luz por experimentos diferentes. Concordamos com tal afirmação, mesmo porque o advento da teoria quântica não subverteu a teoria eletromagnética, sendo ambas utilizadas na física para explicar o comportamento da radiação, porém, em escalas diferentes.

Ao tratar do modelo atômico de Bohr a autora discorre brevemente sobre espectroscopia e quantização da energia, associando números inteiros aos níveis energéticos dos elétrons, sem citá-los como números quânticos. É a única das quatro coleções que dá algum destaque ao modelo atômico de Sommerfeld, dedicando-lhe um tópico específico, embora de forma breve. Apesar de valorizar o trabalho de Sommerfeld os autores poderiam aproveitar o espaço para desenvolver mais o conteúdo histórico do processo de invenção dos números quânticos.

### COLEÇÃO 2 (SANTOS; MÓL, 2013)

No primeiro volume da coleção, informa-se que a “teoria dos quanta” foi proposta por Max Planck, em 1900, o qual teria definido que a radiação é emitida descontinuamente em quantidades minúsculas de energia denominadas quanta (SANTOS; MOL, 2013, v.1, p.171). Posteriormente, Einstein e Bohr teriam usado tal teoria, para explicar o efeito fotoelétrico e para formular um novo modelo atômico, respectivamente. Neste volume, não são citados os fatos experimentais que deram origem à teoria quântica, assim como discussões acerca da natureza dual da luz. Consideramos que as informações contidas neste texto são

demasiadamente resumidas para fornecer um entendimento mínimo sobre a teoria em que se baseia o modelo atômico quântico.

No terceiro volume, o modelo atômico quântico é descrito em termos históricos e conceituais. Informa-se que Planck propôs um modelo matemático que se adequou aos fatos experimentais existentes, ao introduzir a ideia de que a radiação seria absorvida e emitida por meio de pequenos pacotes de energia, denominados quanta (SANTOS; MOL, 2013, v.3, p.291). Tal informação é ilustrada com cubos pequenos sendo transferidos entre dois cubos grandes, o que possibilita uma interpretação equivocada do significado de quantum de radiação. Atribuiu-se a Einstein o fato de haver explicado o efeito fotoelétrico pela consideração de que a luz seria composta por um feixe de fótons, sendo cada fóton um quantum de energia. Como se sabe, o termo fóton, só foi cunhado vinte anos depois, por Gilbert Lewis.

O comportamento dual da luz é citado, brevemente, em conexão com a explicação do efeito fotoelétrico e, mais à frente, é explicado mais detalhadamente. Em seguida, é informado que Louis de Broglie ampliou o conceito de dualidade propondo que “não apenas os fótons apresentam características de onda e de partícula, mas sim, todas as formas de matéria” (Ibidem, p.297). Consideramos apropriado que tal conceito seja trabalhado ao se inserir um estudo acerca do modelo atômico quântico, uma vez que é primordial ao seu entendimento. Contudo, há um equívoco em considerar os fótons como uma forma de matéria.

Os números quânticos são apresentados como variáveis resultantes da solução matemática de Erwin Schrödinger para calcular os níveis de energia dos elétrons: números quânticos principal, secundário e magnético. É informado que estes números já haviam sido introduzidos de modo arbitrário para explicar os espectros atômicos e que são importantes na descrição do elétron. Entretanto, como o texto não explica a relação entre os números quânticos e a espectroscopia, perde a oportunidade de esclarecer os conceitos dos números quânticos.

#### COLEÇÃO 3 (MORTIMER; MACHADO, 2013)

O texto introduz a relação, proposta por Max Planck em 1900, entre energia e frequência da radiação emitida ou absorvida pela matéria, em quantidades discretas, iguais ou múltiplas do valor dado pela equação:  $E = h.v$  (MORTIMER; MACHADO, 2013, v.1, p. 180). Neste contexto, surge a ideia de variação discreta de energia em contraposição à ideia de variação contínua, que se conhecia até então. O termo “quantum” aparece como a denominação dada à quantidade representada pelo produto “h.v”.

Os termos “quantizada” e “quantização” aparecem no trecho seguinte, referente ao modelo atômico de Bohr, ao explicar que a energia dos elétrons só poderia “apresentar determinados valores discretos” (Ibidem, p. 184). Uma ilustração do que seria a quantização da energia é feita por meio da analogia com a escada: os níveis de energia dos elétrons nos átomos correspondem aos degraus de uma escada e, as passagens entre os valores de energia ocorrem integralmente, como entre os degraus da escada. Consideramos a analogia apropriada, por ser uma ideia adicional ao conceito.

A ideia de dualidade de comportamento da luz é apresentada explicando-se que, determinados fenômenos luminosos são explicados tratando-se a luz como onda, mas, outros fenômenos, requerem tratar a luz como partícula. Louis de Broglie atribuiu comportamento dual também aos elétrons. Tal ideia de associar uma onda ao elétron teria sido um estímulo para Erwin Schrödinger propor uma equação de onda para o elétron, resultando no modelo atômico atualmente aceito.

Em Mortimer e Machado (2013, p. 199-200) um tópico é dedicado à discussão dos números quânticos, embora, antes, tenha-se feito menção a números inteiros associados à quantização

da energia no modelo atômico de Bohr, sem muita clareza. São citados quatro números quânticos: principal ( $n$ ), “relacionado ao nível de energia do elétron”; número quântico do momento angular orbital ( $\ell$ ), “relacionado aos subníveis de energia dentro de um mesmo nível” e “associado à forma do orbital”; número quântico magnético ( $m$ ), “indica o orbital individual em que um elétron se encontra dentro de um certo subnível de energia”; e o número quântico magnético spin, “interpretado como o sentido da rotação do elétron em torno do seu eixo”, interpretação considerada inadequada pelos autores, pois considera o elétron apenas como partícula. Essa tentativa de “dar uma ideia” do que são os números quânticos fica a desejar, inclusive porque a origem das denominações desses números é omitida, deixando a desejar em clareza e propiciando destaque aos valores numéricos, assim se afastando do significado de indicadores dos estados de um elétron em um átomo. A história de como esses números foram introduzidos contribuiria para esclarecer o assunto.

#### COLEÇÃO 4 (ANTUNES, 2013)

Nesta coleção, os termos “quantizada” e “quanta” aparecem relacionados ao modelo atômico de Bohr, que teria aplicado ao átomo a teoria da luz de Max Planck: “toda a energia do elétron é quantizada, ou seja, os elétrons absorvem ou emitem quantidades fixas de energia na forma de pequenos pacotes denominados *quanta*.” (ANTUNES, 2013, V. 1, p. 97). A analogia dos quanta com pacotes de energia não facilita a compreensão do conceito. Sequer é elaborada uma explicação do significado do termo “quantizada”, no sentido de “descontínua” ou “discreta”.

Quanto ao conceito de dualidade, ou de comportamento dual da energia e da matéria, a coleção nem mesmo faz menção. Tal ausência faz sentido no contexto da coleção, uma vez que o modelo atômico quântico é citado.

Não há referência a números quânticos, embora números inteiros sejam apresentados em ilustrações do modelo de Bohr (Ibidem, p. 98) e relacionados a níveis de energia ou camadas eletrônicas, sem maior explicação.

### Considerações finais

As coleções analisadas cumprem os critérios de excelência do PNLD, porém, como não é avaliada a definição da orientação didático-pedagógica adotada, os autores podem escolher não ensinar o modelo atômico quântico. Desse modo, as obras não discutem um tema importante e controverso, que possibilita estimular e trabalhar o desenvolvimento intelectual dos estudantes.

Os resultados mostram que, mesmo as obras que discutem o modelo atômico quântico, ainda não são suficientemente claras e precisas em relação aos conceitos de quantum de energia, dualidade onda-partícula e números quânticos. Boa parte do texto é informativa, apenas, sem argumentos bem elaborados que possibilitem aos estudantes compreender os conceitos.

Concluimos pela necessidade de maior detalhamento na transposição didática desses conceitos, incorporando seus desenvolvimentos históricos e desenvolvendo a argumentação para aumentar sua significação e contribuição ao ensino do modelo atômico.

Entendemos que, para tanto, faz-se necessária maior integração do ensino de química com o ensino de física, na definição do que e de que modo ensinar acerca do modelo atômico quântico. Este modelo poderá contribuir para “evitar visões distorcidas sobre o fazer científico; permitir uma compreensão mais refinada dos diversos aspectos envolvendo o

processo de ensino-aprendizagem da ciência; proporcionar uma intervenção mais qualificada em sala de aula” (MARTINS, 2007), pois se presta, sobretudo, ao trato de questões históricas e epistemológicas acerca dos entes microscópicos, da conceituação de modelo científico e da representação pictórica do átomo.

## Referências

- ANTUNES, M. T. (Ed.). **Química**. 2. ed. São Paulo: SM, 2013.
- BARDIN, Laurence. **Análise de conteúdo**. 3. ed. Lisboa: Edições 70, 2004.
- BOHR, N. **Sobre a constituição de átomos e moléculas**. 4. ed. Lisboa: Calouste Gulbenkian, 2001.
- BROCKINGTON, G. **A realidade escondida: a dualidade onda-partícula para estudantes do Ensino Médio**. 2005. 268 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) - IF/IQ/FE, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005. Disponível em: <<http://www.nupic.fe.usp.br/Publicacoes/teses/mestradoqui.pdf>>. Acesso em: 24 março 2015.
- BUENO, M. A.; OLIVEIRA, B. G. A influência da ligação de hidrogênio em reações químicas: reação de Prileschajew. **Química Nova**. V. 38, n. 1, 2015, p. 1-7.
- CIÊNCIAS da natureza matemática e suas tecnologias. Brasília: MEC/SEB, 2006. (Orientações curriculares para o ensino médio; volume 2.)
- EINSTEIN, A. Sobre um ponto de vista heurístico a respeito da produção e transformação da luz. In: STACHEL, John (Org.) **O ano miraculoso de Einstein**. 2. ed. Rio de Janeiro: Editora da UFRJ, 2005. p. 201-222.
- FONSECA, M. R. M. **Química**. São Paulo: Ática, 2013.
- GOUDSMIT, S. A. The discovery of the electron spin. In: Eaton, G. R.; Eaton, S. S.; Salikhov, K.M. (Ed.) **Foundations of modern EPR**. Singapore: World Scientific, 1998. Available in: <<http://lorentz.leidenuniv.nl/history/spin/goudsmit.html>>. Access: 25 Oct. 2014.
- MARTINS, A. F. P. História e Filosofia da Ciência no Ensino: há muitas pedras nesse caminho... **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. v. 24, n. 1, p. 112-131, 2007.
- MORTIMER, E. F.; MACHADO, A. H. **Química**. 2. ed. São Paulo: Scipione, 2013.
- PAIS, A. **‘Sutil é o Senhor...’ A ciência e a vida de Albert Einstein**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1995.
- ROSA, P. S. **Louis de Broglie e as ondas de matéria**. 2004. Dissertação (Mestrado em Física), IFGW, Unicamp, Campinas, 2004 Disponível em: <<http://www.ghtc.usp.br/server/Teses/Pedro-Sergio-Rosa.pdf>>. Acesso em: 24 março 2015.
- SAVIANI, D. **Pedagogia Histórico-Crítica**. 9. ed. São Paulo: Autores Associados, 2005.
- SANTOS, W. L. P. Educação científica na perspectiva de letramento como prática social: funções, princípios e desafios. **Revista Brasileira de Educação**. v. 12, n. 36, p. 474-550, 2007.
- SANTOS, W. L. P.; MÓL, G. S. (coord.) **Química cidadã**. 2. ed. São Paulo: AJS, 2013.
- SOMMERFELD, A. **Atomic structure and spectral lines**. London: Methuen, 1923.