

Um sistema de conceitos para o ensino de orbital atômico.

Márcio Matos Lima* (IC), José Luis P. B. Silva (PQ). marciolimat@yaho.com.br

Instituto de Química da Ufba - 40.170-115 - Salvador - BA.

Palavras-Chave: orbital atômico, sistema de conceitos, ensino de química.

Resumo:

O conceito de orbital é de fundamental importância para a compreensão das teorias quânticas da ligação química. Porém, este conceito surge nos livros de Química do nível superior de formas diferentes, como função de onda ou como região do espaço, causando confusão e dúvidas nos estudantes. A literatura científica chama a atenção para o fato que muitos estudantes, mesmo depois de terem sido ensinados sobre o conceito de orbital, apresentam dificuldades na aprendizagem e no uso deste conceito. Esta comunicação tem o objetivo de apresentar e discutir um sistema de conceitos para o ensino do conceito de orbital segundo a Teoria Histórico Cultural, através de mapas conceituais. Pois, através dos mapas conceituais numa perspectiva histórico-cultural pode-se ir além da percepção da organização dos conceitos por amplitude e possibilitar uma discussão de aspectos epistemológicos pouco comuns no ensino de química, como a questão do realismo e do antirrealismo.

INTRODUÇÃO

Durante o curso de Química os estudantes se deparam com muitos conceitos, teorias, leis e fórmulas. Dentre estes conceitos está o conceito de orbital, de fundamental importância para a compreensão das teorias quânticas do átomo e da ligação química. Porém, este conceito surge nos livros de Química do nível superior de formas diferentes, como função de onda, (BROWN et al.,2007) ou como região do espaço (SOLOMONS,2000), causando confusão e dúvidas nos estudantes.

Orbitais estão na base das interpretações do químico, no que diz respeito à estrutura atômica e molecular. A estrutura molecular é quase sempre expressa em termos de orbitais, ou em relação aos orbitais dos átomos constituintes. O conceito de orbitais é muitas vezes utilizado para interpretar os mecanismos de reação. Porém, conceitos importantes para seu entendimento como: (a) quantum de uma grandeza; (b) natureza dual da matéria e da radiação; (b) átomo como estrutura; (c) movimento eletrônico sem trajetórias determinadas. Tais conceitos devem ser ensinados previamente ao conceito de orbital.

Alguns autores (AUTCHBACH, 2012; TABER, 2005; TSARPALIS, 1997) chamam a atenção que muitos estudantes, mesmo depois de terem sido ensinados sobre o modelo de orbitais, apresentam linguagem incorreta em discussões científicas, falta de percepção dos aspectos mais qualitativos da teoria orbital, permanência de visão de estrutura atômica em termos de elétrons em órbitas do tipo planetário, dificuldade em entender a quantização no modelo atômico; denominações confusas de orbitais.

Tsarpalis (1997), cita que um número crescente de educadores que são contrários a utilização do conceito de orbital em cursos básicos de química são eles: Bent, Berry, Ogilvie, Gillespie e Hawkes, eles consideram este conceito altamente abstrato e fora do alcance de muitos estudantes. Porém, existem também os defensores: Pauling, Gillespie e Humphreys, para quem é científica e pedagogicamente incorreto ensinar teorias superadas ou que mais tarde tenham de ser substituídas ou desaprendidas. Estes afirmam ainda que o conceito de orbital na educação química é necessário, pois explica reações, experimentos ou propriedades importantes para a química.

O conceito de orbital é um conceito científico e para Vigotski (2009), os conceitos científicos subentendem um sistema. Desse modo, para que os estudantes tomem consciência do conceito de orbital, devem conhecer e compreender seu sistema conceitual e, assim, saber explicar o conceito e justificar seu uso.

Neste trabalho será discutido um sistema de conceitos para o ensino do conceito de orbital segundo a Teoria Histórico Cultural, através de mapas conceituais (BELLAS; GONZALEZ; SILVA, 2015).

A TEORIA HISTÓRICO CULTURAL

Para Vigotski o significado é o ponto principal da relação entre pensamento e a linguagem, pois é simultaneamente um ato de pensamento e uma generalização. No significado da palavra o pensamento e a fala estão juntos em pensamento verbal. Para Vigotski o significado propriamente dito refere-se ao sistema de relações objetivas, estável e compartilhado por todos que a utilizam. (OLIVEIRA,1997)

Na Teoria-Histórico Cultural tem-se que fazer uma análise histórica para se ter uma compreensão lógica dos conceitos. Segundo essa teoria o conceito é um ato de generalização e evolui com os significados das palavras e a passagem de uma estrutura de generalização a outra é o ponto central. Um conceito expresso por uma palavra representa uma generalização independente da faixa etária. O conceito, em sua forma natural e desenvolvida, implica na combinação e na generalização de determinados elementos concretos da experiência, na discriminação, na abstração e no isolamento de determinados elementos, na habilidade de examinar esses elementos discriminados e abstraídos fora do vínculo concreto e baseado em fatos dados na experiência. O conceito pode ser espontâneo e científico, lembrando que o termo *científico* neste trabalho, se refere ao conceito ensinado/aprendido na escola. (VIGOSTSKI,2001)

Na escola, vários conceitos científicos são ensinados e na sua maioria esses conceitos não fazem parte da vivência do estudante, os conceitos são apresentados pelo professor, definido (quando isso é possível) ou trabalhado de um modo distante do cotidiano do aluno. O conceito que é aprendido na escola sempre tem relação com outros conceitos — como parte de um conteúdo curricular sistematizado — e de modo intencional, voluntário — por isso, consciente. (SILVA, [s.d]). Para Vigotski (2001) o desenvolvimento dos conceitos espontâneos e científicos são processos intimamente conectados e são mutualmente influentes. O desenvolvimento dos conceitos científicos depende de um amadurecimento dos conceitos espontâneos, pois o desenvolvimento dos conceitos científicos só se torna possível depois que os conceitos espontâneos do estudante atingiram um nível próprio escolar.

A assimilação do sistema de conceitos científicos só é possível por meio da relação mediada com o mundo dos objetos, ou através de outros conceitos prévios do estudante. Essa formação de conceitos demanda ações de pensamento diversificados, ligados ao livre movimento no sistema de conceitos, à generalização de generalizações antes formadas, a uma operação mais consciente e mais arbitrária com os conceitos prévios. Portanto, o desenvolvimento do conceito científico começa justamente pelo que ainda não foi plenamente desenvolvido nos conceitos espontâneos ao longo de toda a idade escolar. Começa habitualmente pelo trabalho com o próprio conceito como tal, pela definição verbal do conceito, por operações que pressupõem a aplicação não espontânea desse conceito. (Idem,2001)

Para se entender como é formado o conceito tem-se que discutir também o conceito de consciência. Lúria (1991), diz que o advento da linguagem insere ao menos

três mudanças à atividade consciente humana a saber: A primeira é “discriminar, dirigir a atenção e conservar os objetos na memória”; A segunda mudança é que as palavras indicam coisas, abstraem as propriedades essenciais e relacionam as coisas perceptíveis possibilitando categorizá-las. Ele destaca ainda que a “possibilidade de assegurar o processo de abstração e generalização representa a segunda contribuição importantíssima da linguagem para a formação da consciência” (LÚRIA,1991. p.7) e a terceira contribuição da linguagem é a transmissão de informação.

Vigotski (2001) afirma que:

[...] tomar consciência de alguma operação significa transferi-la do plano da ação para o plano da linguagem, isto é, recriá-la na imaginação para que seja possível exprimi-la em palavras. A tomada de consciência, isto é, a passagem dos conceitos não conscientizados para os conscientizados. Para tomar consciência é necessário que haja o que deve ser conscientizado. Para assimilar, é necessário dispor daquilo que deve ser subordinado à nossa vontade. (VIGOTSKI,2001. p.275)

Para Vigotski (2001) a necessidade pode levar à consciência, mas não consegue justificar o desencadeamento da tomada de consciência. A necessidade pode responder com muito esforço o porquê da não conscientização dos conceitos na idade escolar. Outro ponto é que a consciência se desenvolve integralmente e não de forma particionada. O destino de cada parte funcional no desenvolvimento da consciência depende da mudança do todo. Tem se então que:

Para tomar consciência e apreender um conceito é necessário, antes de mais nada, dispor desse conceito. Porém, o conceito, ou melhor, o pré-conceito ou conceitos escolares não-conscientizados (assim considerados), pois ainda não atingiram o nível superior de seu desenvolvimento, surge primeiro e amadurece precisamente ao longo da idade escolar. (VIGOTSKI,2001. p.286)

A tomada de consciência se fundamenta na generalização dos próprios processos psíquicos. Os conceitos científicos que são os conceitos ensinados na escola mediados por outros conceitos e tendo o professor como personagem importante, são o campo em que a tomada de consciência dos conceitos. De tal modo surgida em um campo do pensamento, a nova estrutura do conceito, é em seguida transferida como um princípio de atividade sem nenhuma memorização para todos os outros campos do pensamento e dos conceitos. Desse modo, a tomada de consciência passa pelo desenvolvimento dos conceitos científicos. (idem,2001)

Sendo assim, tem-se que a causa da não-conscientização dos conceitos está na ausência de sistematicidade dos conceitos científicos resultando em conceitos não-conscientizados e não-voluntários. Conclui-se então que a tomada de consciência dos conceitos se efetiva por meio da formação de um sistema de conceitos, fundamentado em determinadas relações mútuas de generalidade os tornando arbitrários (voluntários). (idem,2001)

O conceito científico como é o conceito de orbital é ensinado a adolescentes e jovens do ensino médio e superior, que já desenvolveram o pensamento por conceitos. Nesta fase da vida os estudantes já são capazes de aprender a analisar (discriminar; distinguir; decompor; perceber diferenças e semelhanças) e a abstrair (separar algo mentalmente para tomá-lo em consideração) elementos de uma experiência concreta;

a separar tais elementos discriminados e abstraídos da experiência em si e voltar a sintetizá-los em uma categoria (classe) que abarque todas as experiências que possuem esses elementos (generalização); o pensamento pode ser considerado conceitual quando a pessoa utiliza dessas categorias para conhecer e atuar na realidade em que vive. (SILVA, [s.d.]

MAPA CONCEITUAL SEGUNDO A TEORIA HISTÓRICO-CULTURAL

Os mapas conceituais, ou mapas de conceitos, são diagramas que geralmente indicam relações entre conceitos, ou entre palavras que usamos para representar conceitos. Os mapas conceituais procuram relacionar e hierarquizar os conceitos. Um dos modelos de mapas conceituais é o hierárquico, no qual os conceitos mais inclusivos estão no topo da hierarquia (parte superior do mapa) e os conceitos específicos, pouco abrangentes, estão na base (parte inferior), porém existem outros tipos de modelos de mapas conceituais. (MOREIRA, 2012)

Uma das maiores qualidades dos mapas conceituais é que eles devem ser explicados por quem os faz; assim, a pessoa externaliza significados. Uma teoria que está por trás do mapeamento conceitual é a teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel. Na aprendizagem significativa quando o aprendiz entra em contato com uma nova informação (conceito, ideia, proposição) e esta adquire significado, há uma interação entre o novo conhecimento e o já existente, ambos se modificam. (idem, 2012)

Para Bellas, Gonzalez e Silva (2015) na confecção do mapa conceitual na perspectiva histórico-cultural é necessário um maior detalhamento e profundidade de informações, pois além dos conceitos em relação hierárquica baseada nas suas amplitudes, inclui também as relações concreto/abstrato, o que lhes confere maior riqueza de informação.

A interpretação histórico-cultural dos mapas conceituais se baseia na metáfora vigotskiana do mapa *mundi* como um mapa de conceitos, sendo a superfície um símbolo da diversidade da realidade e cada ponto correspondendo a um conceito.

Nesta perspectiva, um conceito pode ser analisado pelo conjunto de coordenadas dadas em medidas de longitude e de latitude, tal qual fazemos para localizar um ponto qualquer na superfície terrestre.

A exposição desta metáfora por um diagrama de termos conceituais implica em que os termos colocados no topo (no polo norte do mapa) representarão o pensamento abstrato e os colocados mais abaixo (no polo sul), representarão o pensamento concreto. Os conceitos científicos/escolares apresentam maior generalidade que os conceitos espontâneos, devido à sua maior abstração, por isso, ficarão no topo do mapa. (BELLAS; GONZALEZ; SILVA, 2015, p. 4-5, passim.)

Na perspectiva da Teoria Histórico-Cultural o mapa conceitual vai propiciar uma hierarquização dos sistemas de conceitos necessários para que haja o desenvolvimento das funções superiores do estudante e, por consequência, a compreensão do conceito.

O CONCEITO DE ORBITAL ATÔMICO

O conceito de orbital utilizado pelo químico tanto na sua pesquisa quanto no seu ensino resulta das soluções da equação de Schrödinger para átomos hidrogenóides, ou seja, para átomos com um único elétron. A equação de onda de

Schrödinger é uma equação de movimento e quando aplicada ao movimento eletrônico, fornece as funções de estado e os valores de energia. A resolução matemática dessa equação leva a um conjunto de funções matemáticas chamadas de funções de onda, representadas pela letra grega psi (Ψ). (BERRY, 1966).

Uma função de onda é uma função matemática que expressa o comportamento de uma onda e para os átomos hidrogenóides pode ser escrita, como: $\psi(r,\theta,\varphi) = R(r).\Theta(\theta).\Phi(\varphi)$. As coordenadas polares esféricas resultantes das três equações independentes envolve apenas uma única variável. Em vários estados $\Phi(\varphi)$ é uma função imaginária, produzindo uma função $\psi(r,\theta,\varphi)$ complexa, característica desejável para Mecânica Quântica (MQ), pois afasta a tentativa de torna-la real (EISBERG e RESNICK, 1994). Como a representação gráfica de uma função de três variáveis é impossível, costuma-se representar a função de onda de um átomo hidrogenóide com a sua parte radial, $R(r)$, separada da parte angular, $Y(\theta,\varphi) = \Theta(\theta).\Phi(\varphi)$, cujo produto é denominado de esférico harmônico.

O termo orbital foi introduzido por Robert S. Mulliken (1932, p. 50) como um modo abreviado para se referir a “função de onda orbital para um elétron”. Em 1966 em sua conferência para o Nobel, Mulliken conceitua orbital como:

Agora, para tentar uma resposta à questão colocada no início (o que é orbital?), um orbital, é aproximadamente, algo como uma órbita; ou, mais precisamente, algo muito parecido com uma órbita como é possível na mecânica quântica. Ainda mais precisamente, o termo "orbital" é simplesmente uma abreviatura para a função de onda orbital para um elétron ou, de preferência, para autofunção orbital de um elétron. Esta última expressão refere-se a qualquer uma das chamadas soluções características ou autofunções de equação de onda da mecânica quântica de Schrödinger para um único elétron em um átomo ou molécula. (ROBERT S. MULLIKEN, 1966)

Max Born, em sua conferência para o Nobel de 1954 fala da importância dos trabalhos de Einstein, Heisenberg e Schroedinger para a sua interpretação da função de onda ψ formulada em 1926. Porém, foram os trabalhos de Schroedinger originados a partir das ideias de Louis de Broglie, que Born utilizou com o objetivo de levar a uma interpretação da função de onda ψ . Schroedinger operava com uma função de onda ψ e considerava os elétrons como uma distribuição contínua da densidade $|\psi|^2$ (ou densidade eletrônica e $|\psi|^2$). Além disso, uma ideia de Einstein para tornar compreensíveis a dualidade de partículas e ondas, como a densidade de probabilidade para a ocorrência de fótons, levou Born a pensar que este conceito poderia ser usado para ser a função ψ . Sendo, $|\psi|^2$ a representação da densidade de probabilidade de elétrons. (BORN, 1954)

As representações da densidade de probabilidade de elétrons geram representações pictóricas ou expressões gráficas que ao serem interpretadas como “a probabilidade de um elétron ser encontrado precisamente no elemento de volume” (BORN, 1969. p.147), sugere direções para o movimento do elétron dando outro significado para o termo orbital na química, possibilitando o seu uso nas explicações a respeito da formação de ligações químicas por superposição dessas regiões.

Em suma, orbital é uma função de onda para um elétron, composta pelo produto de uma função radial e outra, angular (esférico harmônico). O quadrado do módulo dessa função é interpretado como uma densidade de probabilidade, o que deu lugar ao entendimento dos gráficos dos esféricos harmônicos correspondentes como regiões do espaço onde se encontra o elétron, ou seja: uma visão realista. Por outro lado, sendo uma função de onda, pode ser entendido não realisticamente, como um ente puramente matemático.

DISCUSSÃO

Inicialmente, temos que o conceito é, em termos psicológicos, um ato de generalização. Se olharmos por esse ângulo tem-se que Mulliken ao dizer em seu trabalho de 1932: que orbital é um modo abreviado para se referir a “função de onda orbital para um elétron”. Mulliken está fazendo uma generalização e assim criando um conceito. O conceito de Orbital é mediado por outros conceitos que surgem inicialmente em um campo do pensamento, e em seguida é transferido para todos os outros campos do pensamento e dos conceitos. Desse modo, a tomada de consciência passa pelo desenvolvimento dos conceitos científicos.

Os conceitos científicos subentendem um sistema, desse modo o conceito de orbital deve estar dentro de um sistema conceitual para que haja a tomada de consciência pelo estudante e assim o estudante poderá fazer o uso mais consciente e mais arbitrário deste conceito. E assim poderá haver um desenvolvimento das funções superiores do estudante ocorrendo a conscientização do conceito, evitando que os estudantes cometam alguns equívocos no uso de certos conceitos ao tentarem resolver problemas.

O sistema hierárquico para a compreensão do conceito de orbital requer noções a respeito da Teoria Quântica, como: o comportamento dual (onda/partícula); movimento sem trajetória definida; a representação do estado por uma função de onda; caráter probabilístico do seu comportamento (LIMA; SANTOS; SILVA, 2015). Além disso, presume-se que o estudante tenha conhecimento que uma função de onda é uma função matemática que expressa o comportamento de uma onda e uma equação diferencial é uma equação que contém as derivadas ou diferenciais de uma ou mais variáveis dependentes, em relação a uma ou mais variáveis independentes.

Os outros conceitos necessários para compreensão do conceito de orbital são: probabilidade, densidade de probabilidade e o conceito de forma, pois a partir desses conhecimentos e das resoluções das funções de onda surgem as representações dos orbitais, tão importantes para explicar as ligações químicas e os mecanismos de reações. A seguir um exemplo de mapa conceitual na perspectiva histórico cultural, pode-se observar que este mapa leva em conta um sistema conceitual para o ensino do conceito de orbital desta forma um dos problemas apontados pelos autores citados na introdução deste trabalho como a permanência de visão de estrutura atômica em termos de elétrons em órbitas do tipo planetário e dificuldade em entender a quantização no modelo atômico podem ser abordados pelo professor e assim tornando o ensino do conceito de orbital mais lógico.

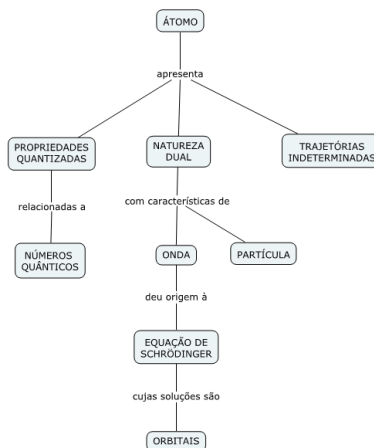


Figura 1: Mapa Conceitual sobre os conceitos envolvidos no ensino do conceito de orbital

Agora será demonstrado mais um mapa conceitual que apresentam um sistema de conceitos relacionados ao conceito de orbital, deixando claro que o orbital é uma função de onda, porém após a Interpretação de Born para função de onda a ideia de região do espaço ganhou força e com isso permite abordar a noção de realidade ou não do orbital.

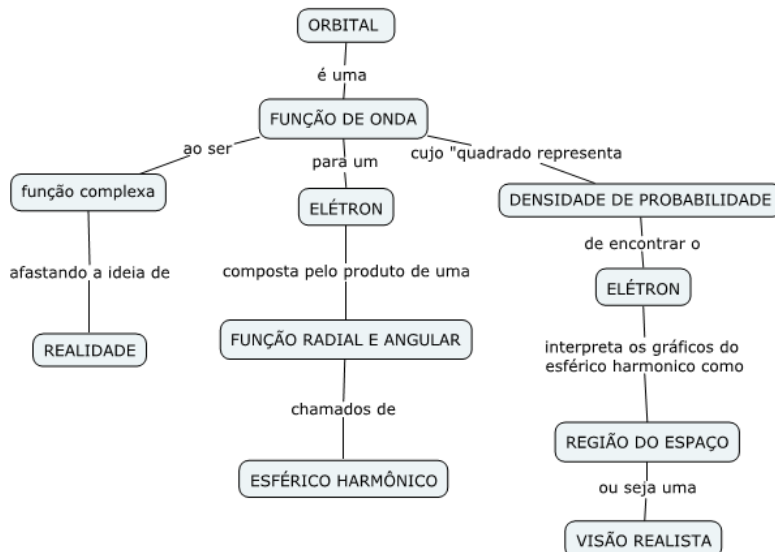


Figura 2: Mapa Conceitual referente ao sistema de conceitos de orbital

Ao apresentar estes mapas conceituais o professor tem que levar em consideração que no processo de ensino do sistema de conhecimentos, ensina-se ao estudante o que ela não tem diante dos olhos, o que vai além dos limites da sua experiência atual e da eventual experiência imediata. Assim o conceito de Orbital por se tratar de um ente que não é observável, ou seja, os orbitais são produzidos pelos cálculos de orbitais e não podem ser observados. Sendo assim, a utilização do mapa conceitual pode contribuir para a assimilação do conceito de Orbital, pois durante a confecção do mapa o indivíduo entra em contato com o conceito de forma sistemática e hierárquica possibilitando um amadurecimento deste conceito mediante a utilização do mesmo espontaneamente.

Os equívocos cometidos pelos estudantes que foram alertados por (AUTCHBACH, 2012; TABER, 2005; TSARPALIS, 1997), podem ser explicados pela não-conscientização dos conceitos referentes ao Orbital, pois quando há ausência de sistematicidade dos conceitos científicos decorre em conceitos não-conscientizados e não-arbitrários. O conceito de orbital é um conceito científico, pois ele foi desenvolvido a partir de outros conceitos científicos e o estudante só entra em contato com este conceito na escola e para Vigotski (2001), no desenvolvimento dos conceitos, deve-se fazer uma análise histórica para que haja a compreensão lógica dos conceitos. Aí que surge um personagem fundamental no ensino de um conceito, o professor. Tem-se então, que para que haja a tomada de consciência do conceito de Orbital é necessário a formação de um sistema de conceitos, baseado em determinadas relações recíprocas de generalidade os tornando arbitrários (voluntários).

Ao entrar em contato com o mapa conceitual na perspectiva histórico-cultural o estudante poderá perceber que o conceito é tomado em conjunto com todo o sistema de suas relações de generalidade, sistema esse que determina a medida de

generalidade própria do conceito de orbital e possibilita a tomada de consciência dos sistemas de conceitos envolvidos no conceito de orbital. E com isso os equívocos abordados poderão ser diminuídos ou sanados.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi apresentado um sistema de conceitos para o ensino do conceito de orbital segundo a Teoria Histórico Cultural de Vigotski, através de um mapa conceitual. Sendo assim, alguns pontos devem ser levado em conta como: o conceito deve estar dentro de um sistema conceitual, a história do conceito deve ser levada em consideração para torna-lo lógico, a tomada de consciência se dará quando o estudante perceber a necessidade de utilizar o referido conceito, a utilização de atividades na qual os estudantes utilizem o conceito é imprescindível e também a averiguação dos conhecimentos trazidos pelo estudante. Desse modo, o ensino do conceito de orbital, requer o ensino dos conceitos de função de onda, elétron, região do espaço, densidade de probabilidade, átomos hidrogenóides e o de forma.

A possibilidade do uso do mapa conceitual na perspectiva histórico-cultural sugere a discussão da medida de generalidade de cada conceito durante o seu ensino, vindo à tona a sua abstração e o modo que se relaciona com a realidade, tornado claro a sua intensidade ao discutir as situações em que pode ser utilizado.

Além disto, os mapas conceituais numa perspectiva histórico-cultural podem contribuir para o ensino do conceito de orbital, indo além da percepção da organização dos conceitos por amplitude e possibilita a discussão de aspectos epistemológicos pouco comuns no ensino de química, como a questão do realismo e do antirrealismo, o que pode contribuir para maior desenvolvimento intelectual dos estudantes e o uso mais consciente e voluntário deste conceito.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Fapesb pela bolsa de estudos de Márcio Matos Lima.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AUTSCHBACH, J. Orbitals: Some Fiction and Some Facts. **Journal of Chemical Education**. v89, n8, 2012. p1032-1040.
- 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. **Anais...** Águas de Lindóia: ABRAPEC, 2015.On line.
- BERRY, R. S. Atomic Orbitals. **Journal of Chemical Education**. v. 43, 6, The University of Chicago- Chicago, Illinois, 1966.
- BORN, MAX. **Atomic Physics**. 8. ed. London: Blackie & Son, 1969
- _____. The statistical interpretation of quantum mechanics. **Nobel Lecture**, v. 11, p. 1942-1962, 1954.
- BROWN T. L.; BURDGE J. R.; BURSTEN B.E. **Química a Ciência Central**. 9.ed. Pearson, 2005.
- GRAHAM SOLOMONS, T. W.; FRYHLE C.B. **Química Orgânica**, LTC, 10ª edição. v.1,2012.
- LIMA,M.M;SANTOS,E.S;SILVA,J.L.P.B. Modelo Atômico Quântico em Coleções de Química Aprovadas no PNL 20parte II: Indeterminação De Trajetórias E Orbitais. In:

Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 10 , 2015,Águas de Lindóia. **Anais...** Águas de Lindóia: ABRAPEC,2015.On line.

LÚRIA, A.R. **Curso De Psicologia Geral: Introdução Evolucionista à Psicologia.** Tradução de Paulo Bezerra. v.1,2ª Edição. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira ,1991.

MOREIRA, M.A. Mapas Conceituais e Aprendizagem Significativa,2012 Acesso: em 31 de março de 2016< <http://www.if.ufrgs.br/~moreira/mapasport.pdf>>

MULLIKEN, Robert S. Electronic Structures of Polyatomic Molecules and Valence. II. General Considerations, **PHYSICAL REVIEW**, v. 41,1932. p. 49-71

OLIVEIRA, M.K. **Vygotsky: aprendizado e desenvolvimento: um processo sócio-histórico.** São Paulo, Ed. Scipione,1997

TABER, K. S.. Learning Quanta: Barriers to Stimulating Transitions in Student Understanding of Orbital Ideas. **Wiley Periodicals**, Inc.Sci Ed . , 2005.89:94 – 116

TSAPARLIS, Georgios. Atomic orbitals, molecular orbitals and related concepts: Conceptual difficulties among chemistry students. *Research in Science Education*, v. 27, n. 2, p. 271-287, 1997.

SILVA, J.L.P.B. Teoria Histórico-Cultural Da Formação De Conceitos, (trabalho digitado) , [s.d].

VIGOTSKI, L. S. **A Construção do Pensamento e da Linguagem.** 2. ed. São Paulo: WMF Martins Fontes, 2001.