



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE QUÍMICA**

THIAGO SAMPAIO CASTRO

**NUMEROS QUÂNTICOS: ABORDAGENS DESCONEXAS
QUE FAVORECEM A MEMORIZAÇÃO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Brasília – DF

2.º/2015



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE QUÍMICA**

THIAGO SAMPAIO CASTRO

**NUMEROS QUÂNTICOS: ABORDAGENS DESCONEXAS
QUE FAVORECEM A MEMORIZAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso em Ensino de Química apresentada ao Instituto de Química da Universidade de Brasília, como requisito parcial para a obtenção do título de Licenciado em Química.

Orientador: Eduardo Luiz Dias Cavalcanti

2.º/2015

Não sei o que possa parecer aos olhos do mundo, mas aos meus pareço apenas ter sido como um menino brincando à beira-mar, divertindo-me com o fato de encontrar de vez em quando um seixo mais liso ou uma concha mais bonita que o normal, enquanto o grande oceano da verdade permanece completamente por descobrir à minha frente. (Isaac Newton)

AGRADECIMENTOS

" A verdadeira felicidade só existe quando é compartilhada". Cristopher McCandless.

Agradeço aos meus pais que sempre estiveram comigo me dando o apoio necessário para nunca desistir frente a qualquer dificuldade. Em especial agradeço a minha mãe, que admiro muito, que é uma grande guerreira e sempre lutou para me proporcionar uma vida digna e me ensinou alguns valores que contribuíram para a minha formação.

Agradeço aos meus avos, tios e primos por sempre estarem ao meu lado e terem me dado o apoio e carinho necessário para prosseguir os meus estudos.

Aos meus amigos por terem me proporcionado muitos momentos de descontração e alegrias, e pelas discussões sobre os mais diversos aspectos da ciência. Agradeço em especial ao meu amigo Gustavo por sempre ter colaborado com a minha formação, seja me doando livros (ou me vendendo mais barato) ou pelas longas discussões científicas e filosóficas que me fizeram amadurecer bastante nesses últimos anos.

Agradeço aos Professores Davi, Kleber Mundim, que contribuíram para minha formação acadêmica.

Aos colegas do PET e do laboratório LMSC pelos momentos de descontração.

Ao meu orientador prof. Dr. Eduardo Luiz Dias Cavalcanti pela paciência e pelas contribuições acadêmicas que tornaram este trabalho possível.

SUMÁRIO

Resumo	vi
Introdução	1
Capítulo 1 – Números quânticos e o Ensino de Química	4
1.1 Um Breve Histórico da Mecânica Quântica	4
1.2 Soluções da Equação de Onda: : O Surgimento do Números Quânticos	8
1.2.1 Partícula na Caixa e o Numero Quântico Principal	8
1.2.2 Modelo do Rotor Rígido e os Números Quânticos ℓ e $m\ell$	10
1.2.3 Numero Quântico Magnético	12
1.3 A Química e o Problema da Linguagem	14
1.4 O Ensino dos Números Quânticos no Ensino Médio	18
Capítulo 2 – Metodologia	21
2.1 Caracterização do Método	21
2.2 Analise dos livros didáticos	22
Capítulo 3 – Os Livros Didáticos	23
Considerações finais	33
Referências	35

RESUMO

Abordagens no Ensino Médio de conceitos correlacionados aos resultados da Química Quântica requerem um nível de abstração maior, devido a sua complexidade, por parte dos alunos, e as vezes eles demonstram dificuldades de compreender estes conceitos. É preciso articular estes conceitos com os fenômenos cotidianos de forma a favorecer o aprendizado destes alunos. Nessa perspectiva, este trabalho tem o objetivo de analisar os aspectos correlacionados ao ensino dos Números Quânticos no Ensino Médio. Será analisado como estes Números Quânticos evoluíram nos livros didáticos ao longo dos anos, e se a forma como estão organizados nestes livros contribui para o aprendizado dos alunos, tendo em vista a complexidade destes números, pois abordagens desconexas sem nenhuma contextualização e problematização destes Números Quânticos nos livros didáticos contribui para o ensino focado na memorização.

Palavras-chaves: Números Quânticos no ensino, Ensino por Memorização, Complexidade dos números quânticos.

INTRODUÇÃO

A ciência Química, da forma como está estruturada atualmente, adquiriu caráter essencial na vida do ser humano, permitindo-o conhecer a natureza. Por meio dos conhecimentos químicos o homem transforma e manipula as substâncias fabricando o mundo que nos cerca. A Química, que está presente em tudo que nos cerca, possibilita ao ser humano melhorar sua condição de vida e é uma forma deste conhecer a si mesmo.

Desta forma o Ensino de Química deve, além de possibilitar a formação científica e cidadã dos alunos, ser elemento transformador e de ampliação de horizontes. Nessa perspectiva, o Ensino de Química deve ser tal que possibilite a aprendizagem dos alunos, permitindo-os conhecer a realidade ao qual estão situados. Assim, o vínculo do ensino com o cotidiano destes alunos é elemento essencial a aprendizagem.

As justificativas para o ensino de elementos correlacionado a Química Quântica no Ensino Médio, tendo em vista a importância desta na sociedade, já foram superadas. É sabido que o conhecimento da Química permite aos estudantes, além de conhecer a natureza e suas transformações melhorando sua qualidade de vida, pensar e agir conscientemente nas suas tomadas de decisões. Doravante o problema agora se resume a como ensinar estes conceitos usados na Química, que permite ao homem interpretar a natureza e suas transformações, de forma que os alunos consigam aprender estes conceitos e usa-los para explicar os fenômenos observados no dia-dia, possibilitando assim uma tomada de consciência por estes alunos na sua forma de agir, pensar e decidir.

Contudo, o que se percebe é que o Ensino de Química na atualidade é monótono, desconexo e desmotivante para os alunos. O ensino de Química que deveria motivar o espírito investigativo dos alunos, tendo em vista a grande capacidade da Química de explicar a natureza, acaba por contribuir para o desinteresse e desmotivação destes alunos. Nesse sentido, é de fundamental importância analisar que tipo de abordagem o professor pode e deve fazer em sala de aula de forma a estimular a curiosidade dos alunos e contribuir para o seu aprendizado. Esses questionamentos sobre como abordar determinados conceitos em sala de aula é de fundamental importância para a melhoria da qualidade do ensino e do aprendizado,

pois esta reflexão possibilita ao professor buscar alternativas que melhoram a qualidade de sua aula.

Muitos conceitos e conteúdos ensinados no Ensino Médio são descontextualizados e desconexos, e essa forma de abordagem contribui para o ensino por memorização e não aprendizagem destes pelos alunos. Um destes conceitos, que ainda é trabalhado no Ensino Médio e consta em alguns livros, é os Números Quânticos (NQs) cuja a forma como vem sendo ensinado não possui nenhuma significação real aos alunos, pois o ensino destes números é desconexo e descontextualizado, e tanto os alunos como alguns professores não compreendem o seu real significado, nem de onde vieram e nem para que servem.

Os Números Quânticos são números que surgem naturalmente da resolução da equação de onda para cada sistema específico. Esses conceitos de Números Quânticos usados na Química Quântica requerem um nível de abstração maior, devido a sua complexidade, por parte dos alunos, e as vezes eles demonstram dificuldades de compreender estes conceitos. Assim, ou estes números são retirados dos livros didáticos, ou é necessário uma abordagem mais contextualizada, envolvendo fenômenos como os de emissão de luz, o espectro do átomo de hidrogênio e propriedades magnéticas que poderia mostrar ao aluno como estes números estão correlacionados a estes fenômenos cotidianos. Contudo, o que se percebe é que a forma de ensino destes NQs não aborda qualquer aspecto de construção histórica e nem o que eles representam na natureza, motivo pela qual deveriam ser retirado dos livros didáticos. Os alunos estudam os Números Quânticos, mas não sabem de onde vieram e nem para que eles servem, pois a transposição didática destes números cujo entendimento sucinta muitos conceitos abstratos, para o ensino é bastante difícil e complicado.

Assim este trabalho tem como objetivo analisar o ensino dos Números Quânticos e como estes conceitos são compreendidos pelos professores, que reflete no aprendizado dos alunos. Para isso, será feita uma análise de como estes números estão estruturados no livros didáticos aprovados no Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) e como estes conceitos evoluíram de 1960 até os dias atuais. Na análise destes livros, tentaremos observar se estes trazem alguma abordagem fenomenológica* destes NQs, ou seja, se os livros aprovados e os livros das décadas anteriores fazem alguma associação destes Números Quânticos com algum fenômeno encontrado no cotidiano, como por exemplo fenômenos luminosos e magnéticos. Assim, além de analisar alguns livros atuais, analisaremos também como estes números

* Abordagem Fenomenológica se refere aqui a abordagem correlacionada a fenômenos cotidianos, e

estavam estruturados anteriormente em alguns dos primeiros livros didáticos que chegaram ao Brasil, e como estes conceitos evoluíram até os livros atuais.

Neste trabalho, tentar-se-á correlacionar uma abordagem conceitual dos Números Quânticos com fenômenos encontrados no dia-dia dos alunos, pois é necessário buscar alternativas para melhoria do ensino dos Números Quânticos, já que eles não são nada intuitivos aos alunos. No respectivo trabalho não será justificado a importância destes números no currículo do Ensino Médio, mas como estes são ensinados e trabalhados conjuntamente com a distribuição eletrônica dos átomos, é preciso que os alunos compreendam a importância destes números, como surgiram e como estão correlacionados com fenômenos cotidianos.

Assim este trabalho, numa visão mais geral, tem o intuito além de analisar como estes números são vistos pelos professores, que reflete no ensino e aprendizado dos alunos, analisar se estes conceitos evoluíram nos livros didáticos até culminar nos livros atuais, e para isso será feita uma análise de como estes conceitos são trabalhados nos livros didáticos atuais aprovados no PNLD e como eles eram abordados nos livros do século anterior.

CAPÍTULO 1 – NÚMEROS QUÂNTICOS E O ENSINO DE QUÍMICA

1.1 UM BREVE HISTÓRICO DA MECÂNICA QUÂNTICA

A teoria quântica surgiu a partir da necessidade de explicar a radiação emitida por um corpo negro. Segundo Atkins e Jones (2007) corpo negro é um objeto que não tem preferência por absorver ou emitir um comprimento de onda específico. Diversas foram as tentativas de explicar a distribuição da radiação térmica emitida pelo corpo negro (em um corpo negro a distribuição de radiação absorvida é igual a emitida), porém este problema só foi resolvido com a hipótese de Planck em 1900. Ele postulou que a radiação emitida por um corpo negro se dava de forma descontínua, por meio de quantas de energia, que pode ser expresso na seguinte relação:

$$E=hf \quad (\text{equação 1})$$

na qual h é chamada de constante de Planck e f é a frequência da radiação emitida. Para Filgueiras e Braga (2013) a quantização da ação era o ponto importante desse período, pois a constante de Planck tem unidade de ação, o *quantum* de ação e [...] As ideias de Bohr foram baseadas nos trabalhos de Planck, Rutherford e na espectroscopia atômica.

A partir das ideias de quantização, o físico Niels Bohr em 1913 elabora seu modelo atômico, que pode se resumido nos seus 5 postulados destacados pelo próprio Bohr, segundo Peduzzi e Basso (2005):

- Que a energia radiada não é emitida (ou - absorvida) da maneira contínua admitida pela eletrodinâmica clássica, mas apenas durante a passagem dos sistemas de um estado 'estacionário' para outro diferente.
- Que o equilíbrio dinâmico dos sistemas nos estados estacionários é governado pelas leis da mecânica clássica, não se verificando estas leis nas transições dos sistemas entre diferentes estados estacionários.

- Que é homogênea a radiação emitida durante a transição de um sistema de um estado estacionário para outro, e que a relação entre a frequência ν e a quantidade total de energia emitida é dada por $E = h\nu$, sendo h a constante de Planck.
- Que os diferentes estados estacionários de um sistema constituído por um elétron que roda em volta de um núcleo positivo são determinados pela condição de ser igual a um múltiplo inteiro de $h/2\pi$ a razão entre a energia total emitida durante a formação da configuração e a frequência de revolução do elétron. Admitindo que a orbita do elétron é circular, esta hipótese equivale a supor que o momento angular do elétron em torno do núcleo é igual a um múltiplo inteiro de $h/2\pi$.
- Que o estado ‘permanente’ de um sistema atômico é determinado pela condição de ser igual a $h/2\pi$ o momento angular de cada elétron em torno do centro de sua orbita.

(Peduzzi e Basso, 2005, v.27, n 4, p. 548)

Com esses postulados Bohr conseguiu deduzir a formula de Rydberg e explicar o espectro do átomo de hidrogênio. A formula deduzida para o átomo de hidrogênio por Bohr foi a seguinte:

$$E = \frac{-13,6eV}{n^2} \quad (\text{equação 2})$$

Para conseguir deduzir esta formula ele aplicou as ideias de quantização de Planck as orbitas dos elétrons, ou seja, os elétrons se movem somente em orbitas discretas. É neste ponto que surge o primeiro Numero Quântico n que é chamado de Numero Quântico principal. Segundo Almeida e Santos (2001) o modelo de Bohr surge da necessidade de explicar o espectro do átomo de hidrogênio, ao qual Bohr quantiza as orbitas postulando que o momento angular é um múltiplo inteiro n , que será chamado de o primeiro Numero Quântico.

Dos postulados de Bohr, podemos observar que o numero quântico n está relacionado a distância dos elétrons ao núcleo, uma vez que este correlaciona-se com a quantização da orbita. Classicamente, o momento angular é dado pelo produto vetorial do vetor posição com o vetor momento linear, ou seja, ele é diretamente proporcional a posição da partícula tendo como referencial um centro de massa. No modelo de Bohr dependendo do tipo de orbita que o elétron se encontra, que é dada pelo n , a ele vai estar associada uma quantidade de energia e um valor de momento angular. Como o centro de massa é o próprio núcleo atômico, podemos fazer uma analogia clássica de que o numero n está diretamente relacionado com a energia potencial do elétron no núcleo, pois o mesmo está relacionado a distância do elétron ao

núcleo. É importante destacar aqui que apesar das analogias usadas para o entendimento deste número, não podemos reduzi-lo somente a este aspecto, pois um caráter primordial da Mecânica Quântica é o caráter não determinístico de duas grandezas complementares que pode ser traduzida no princípio da incerteza de Heisenberg. Segundo Chibeni (2005) o postulado de Heisenberg pode ser expresso na seguinte expressão de incerteza:

$$\delta x * \delta p_x \geq \hbar/2 \text{ (equação 3)}$$

Contudo, apesar do sucesso da teoria de Bohr, ele não tinha uma justificativa de porque as orbitas eram quantizadas e não conseguia explicar muitos fenômenos observado na natureza, assim segundo Parente et al. (2013):

Embora o modelo de Bohr tenha sido um passo importantíssimo em direção ao modelo correto da estrutura dos átomos, ele não é a resposta final. De fato, o modelo apresenta falhas importantes, por exemplo: não é capaz de explicar o efeito Zeeman anômalo (que envolve o spin do elétron) e o espectro do átomo de Helio (ortoélio e paraélio). O modelo de Bohr tem dificuldades em explicar os espectros de átomos mais complexos, embora passar prever algumas linhas se complementado com regras empíricas adicionais. (Parente et.al, 2013, p.6)

O estudo do átomo se intensificou muito no período de 1920 com o modelo de Bohr, pois muitos eram os questionamentos sobre como era a verdadeira organização da matéria, e na sua tese de doutorado, em 1924, Luis de Broglie postula o caráter dualístico da matéria, na qual a toda partícula em movimento está associado um comprimento de onda. De acordo com este postulado toda partícula que tem uma quantidade de movimento tem um comprimento de onda associado, que pode ser calculado segundo Atkins e Jones (2007) pela relação de Broglie abaixo:

$$\lambda = h/p \text{ (equação 4)}$$

É importante notar que a matéria tem caráter de onda ou de partícula, mas não os dois simultaneamente. Segundo Eisberg e Resnick (1979) esta questão é resumida no principio da

complementaridade de Bohr: O modelo corpuscular e ondulatório são complementares e não contraditórios.

Em uma tentativa de explicar a estrutura fina do espectro do átomo de hidrogênio Sommerfield considerou que o elétron no átomo se movia em orbitas elípticas. Assim, segundo Sala (2007) além da quantização do momento angular introduzido no modelo de Bohr, é necessário a quantização do momento linear, pois na elipse o raio não é constante. Ainda segundo Sala (2007), Sommerfield mostrou que **n** é uma medida do eixo maior da elipse e **k** uma medida do eixo menor. O número **k** foi chamado de azimutal.

Segundo Eisberg e Resnick (1979) esta teoria falha clamorosamente quando aplicada a átomos de dois elétrons, além de não nos dizer como calcular as intensidades das linhas espectrais. Em 1926 baseado no caráter ondulatório da matéria Schroedinger propõe um novo formalismo para a teoria quântica. A sua formulação inclui tanto o caráter corpuscular quanto o ondulatório da matéria. A equação proposta por ele possui a forma abaixo:

$$\frac{-\hbar^2 \nabla^2 \psi}{2m} = \frac{i \hbar \partial \psi}{\partial t} \quad (\text{Equação 5})$$

Esta equação de onda também pode ser escrita na linguagem de operadores:

$$H\psi = \frac{i \hbar \partial \psi}{\partial t} \quad (\text{Equação 6})$$

A equação 5, é uma equação de onda que inclui o caráter corpuscular da matéria, pois possui um termo de massa incorporado na mesma. Segundo Atkins e Jones (2007) o físico Max Born propõe uma interpretação física para o quadrado da função de onda de Schroedinger, pois a função de onda ψ em si não tem nenhum significado físico. Max Born mostra que o quadrado da função de onda está correlacionado com a probabilidade de encontrar o elétron numa determinada região no espaço. Segundo um dos postulados da mecânica quântica um sistema físico é totalmente descrito pela função de onda. Logo o único problema se resume encontrar a função de onda que especifica cada sistema físico.

1.2 SOLUÇÕES DA EQUAÇÃO DE ONDA: : O SURGIMENTO DO NÚMEROS QUÂNTICOS

A cada sistema físico está associado uma função de onda que o descreve completamente. Obtendo a função de onda do sistema podemos obter as soluções para este que melhor se aproxime dos resultados experimentais. Os Números Quânticos são números que surgem naturalmente da resolução da equação de onda para cada sistema específico.

1.2.1 Partícula na Caixa e o Numero Quântico Principal

O primeiro Numero Quântico, chamado de Numero Quântico principal e que é representado pela letra **n**, surge a partir da solução da equação de onda para uma partícula confinada em uma caixa de dimensão finita. O numero **n** que surge desta solução, determina a função de onda e especifica um estado quântico, segundo Atkins e Jones (2007). Consideremos o caso em que uma partícula esteja confinada em uma caixa cuja dimensões esteja no intervalo $[0,L]$. Esta situação da partícula em uma caixa pode ser representada matematicamente por um poço potencial, como é mostrado na figura abaixo:

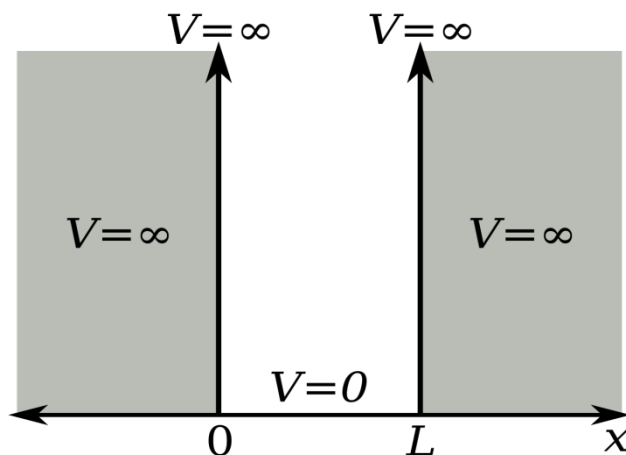


Figura 1: Representação matemática de um poço potencial que representa uma partícula numa caixa de dimensão finita.

Segundo Alcacer (2007) uma vez que a partícula está confinada no intervalo $[0,L]$, resulta que $\psi(0)=0$ e $\psi(L)=0$, na qual para o caso concreto a solução para este problema é $\Psi(x)=A\sin(kx)$. Impondo as condições de contorno temos:

$$\Psi(0)=A\sin(0)=0 \quad \text{e} \quad \Psi(L)=A\sin(kL)=0$$

de onde resulta que $kL=n\pi$ em que n é igual a um numero inteiro (1,2,3...).

A partir da condição de quantização da partícula na caixa surge o primeiro Numero Quântico que de certa forma esta relacionado com as dimensões da caixa. Este numero não foi imposto como no modelo de Bohr, ele surgiu naturalmente como uma solução da equação de onda para partícula na caixa. A única condição para o seu surgimento é a quantização imposta para a partícula na caixa. A energia da partícula neste tipo de sistema é escrita como:

$$E = \frac{n^2 h^2}{8mL^2} \quad (\text{Equação 7})$$

Notemos que a energia é quantizada e depende de n . Como n é o primeiro Numero Quântico que surge, ele é chamado de Numero Quântico principal, de forma semelhante ao modelo de Bohr, pois ele está relacionado ao tamanho das orbitas dos elétrons. Semelhante ao modelo de Bohr, neste modelo da partícula na caixa quando, uma partícula faz um transição de um nível n_1 para n_2 ele deve absorver um quantum de energia que é igual a diferença de energia entre esses dois níveis, e quando a partícula retoma ao seu estado fundamental ela libera essa energia na forma de radiação eletromagnética. O espectro discreto de energia associado a partícula na caixa poder ser representado pelo gráfico abaixo:

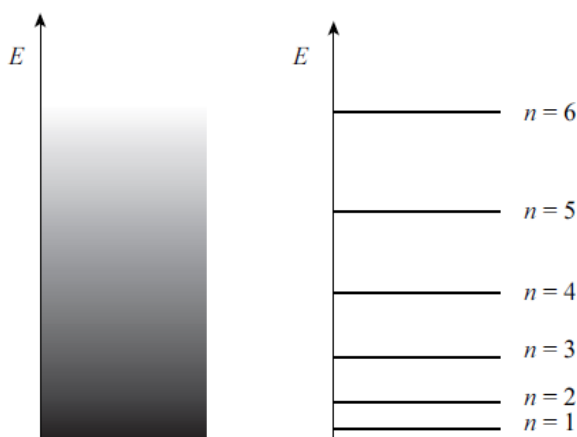


Figura 2: Espectro contínuo de uma partícula livre e descontínuo de uma partícula na caixa (Alcacer, 2008).

Este resultado está diretamente relacionado aos fenômenos de emissão de luz observado no dia-dia, como por exemplo as cores emitidas por lâmpadas de neons, fogos de artifícios, sendo que todos estes fenômenos estão relacionados as transições eletrônicas de um nível N_j para um N_i que ocorre com emissão de radiação. O conhecimento deste numero n , e o que ele representa, permite ao professor trabalhar aspectos qualitativos e quantitativos relacionados a estes, como por exemplo qual a cor de luz que será emitida se o elétron em um átomo de hidrogênio faz uma transição do nível N_2 para N_1 . Isso permite ao professor ressignificar o ensino destes números, permitindo aos alunos interpretar os fenômenos luminosos a luz destes números, além de romper com a ideia de que os números quânticos servem somente para caracterizar o subnível mais energético do átomo, reduzindo o ensino por memorização associado a estes.

1.2.2 Modelo do Rotor Rígido e os Números Quânticos l e m_l

Os Números Quânticos m_l e l , chamados de números quânticos secundário e magnético, respectivamente, surgem a partir da solução da equação de onda para o modelo do rotor rígido. Com a quantização deste sistema (rotor rígido) os Números Quânticos m_l e l surgem naturalmente. A partir do modelo do quantização de rotor rígido, ou átomos de 1 elétron, e fazendo a separação de variáveis correta, obtemos que a função de onda para o rotor rígido, para o caso de r constante, é formada pelos harmônicos esféricos abaixo (LEVINE, 2000):

$$Y_l^m(\theta, \varphi) = N_{m_l} P_l^{|m|}(\cos \theta) e^{im\varphi} \quad (\text{equação 8})$$

na qual N é a constante de normalização da função, P são os polinômios de Legendre, m_l é chamado de Numero Quântico magnético podendo variar de $-l \dots +l$ e l é chamado de Numero Quântico secundário (Azimutal). Os harmônicos esféricos são obtidos a partir da conversão do sistema de coordenadas cartesianas x, y, z para o de coordenadas esféricas r, θ e φ . Essa mudança de coordenadas permite reescrever a função de onda como um produto de duas outras funções, em que uma tem uma dependência radial e outra angular:

$$\psi(r, \theta, \phi) = R(r) Y(\theta, \varphi) \quad (\text{equação 9})$$

O valor de r está relacionado com a distancia ao centro do átomo, enquanto θ (theta) relaciona-se ao ângulo relativo á parte positiva do eixo z que podemos relacionar a latitude e o angulo ϕ relativo a longitude, segundo Atkins e Jones (2007). A função de onda da parte angular ainda pode ser separada no produto de duas outras funções, na qual uma depende de θ e a outra de ϕ :

$$Y(\theta, \phi) = \Phi(\theta)\Theta(\phi) \text{ (equação 10)}$$

A função de onda angular, chamada de esféricos harmônicos, associados a equação 10 e que são autofunções do operador momento angular, são segundo Levine (2000, representadas por:

$$Y(\theta, \phi) = \left[\frac{2l+1}{4\pi} \frac{(l-|m|)!}{(l+|m|)!} \right]^{1/2} P_l^{|m|}(\cos\theta) e^{im\phi} \text{ (equação 11)}$$

O Numero Quântico magnético m_l que surge na equação 11, está diretamente relacionado com a projeção do vetor momento angular no eixo z, ou seja, o momento magnético está correlacionado com a orientação espacial dos orbitais atômicos. Assim, a função $\Theta(\phi)$ tem soluções aceitáveis somente para certos valores de m_l , e usando os valores de m_l na equação para $\Phi(\theta)$ ocorre que essa equação só tem soluções aceitáveis para certos valores de l , segundo Eisberg e Resnick (1979). Segundo Atkins e Jones (2007) a função de onda de um sistema, como por exemplo o átomo de hidrogênio, está associada a três Números Quânticos, n , l e m_l , sendo estes relacionado com o tamanho e energia do orbital, a sua forma e orientação no espaço, respectivamente. Ainda segundo Atkins e Jones (2007) o Numero Quântico l que surgiu da solução da equação de onda para o rotor rígido é uma medida da velocidade com que o elétron circula o núcleo, na qual:

$$\text{Momento Angular do Orbital} = [l(l+1)]^{1/2} \hbar \text{ (equação 12)}$$

Assim, de acordo com a equação 12, para um orbital s o valor de $l=0$, e o momento angular é zero. O Numero Quântico m_l que também surge da equação para o rotor rígido especifica o orbital, ou seja, nos dá a orientação do movimento orbital do elétron, e mais

especificamente segundo Atkins e Jones (2007) ele nos diz que o momento angular orbital em torno de um eixo vale $m_l \hbar$.

A partir da solução do rotor rígido foi possível mostrar que o orbital é descrito por 3 termos, n , ℓ e m_ℓ , que estão correlacionados a parte radial e angular da função de onda que representa o orbital atômico. O conhecimento destes números e de onde surgiram, possibilita ao professor de química, trabalhar os aspectos qualitativos destes números na descrição do orbital atômico, no cálculo de momentos angulares associados ao orbital, além de descrever o porque os orbitais s tem a forma esférica, os orbitais p a forma de alfinetes e etc. O professor pode se deparar com perguntas, feitas pelos alunos, do tipo "porque os orbitais s tem a forma esférica e não quadrada", e se ele não tiver o conhecimento suficiente da significação e origem destas formas dos orbitais, que resultam dos valores destes Números Quânticos, não poderá suprir o espírito investigativo dos alunos e acabar contribuindo para um ensino meramente reprodutivo.

1.2.3 Numero Quântico Magnético

O Numero Quântico de spin, cuja representação no Ensino Médio é indicado pela letra S , foi observado experimentalmente a partir dos experimentos de Stern e Gerlach. No Ensino Médio é costume fazer a analogia de que o Numero Quântico de spin está associado a rotação dos elétrons em torno do seu próprio eixo, e o elétron é indicado por uma semi-seta com orientação para cima ou para baixo, assumindo valores de $-1/2$ e $+1/2$. Este tipo de abordagem prejudica o entendimento dos alunos, pois estas associações, além de não serem totalmente corretas pois o spin não tem análogo clássico— ou seja, não podemos compara-lo com nada que conhecemos no mundo real, pois não conhecemos ao certo o que é o elétron, logo não podemos afirmar que ele realmente está girando em torno do seu eixo— podem gerar questionamentos nos alunos de como os Químicos sabem que o elétron, uma partícula tão diminuta, está girando se eles não podem ver este elétron, e também porque foi escolhido o valor de $-1/2$ e $+1/2$ para indicar a orientação cima e para baixo, respectivamente, e não o valor de 1 ou 2.

O conhecimento do experimento de Stern e Gerlach permite ao professor, através de uma abordagem histórica, trabalhar o conceito de spin, evitando essas dicotomias, além de explicar porque os Químicos (ou Físicos) fazem a associação de que o elétron está girando em torno do seu próprio eixo, e porque os valores $-1/2$ e $+1/2$ são usados ao invés de 1 ou 2.

O experimento de Stern e Gerlach consiste em fazer um feixe de átomos (originalmente átomos de prata) passar por um campo magnético não homogêneo produzido por um ímã, e analisar a deposição desses átomos em uma placa coletora na saída do ímã (GOMES e PIETROCOLA, 2011). A figura abaixo mostra o desenho esquemático do experimento de Stern-Gerlach:

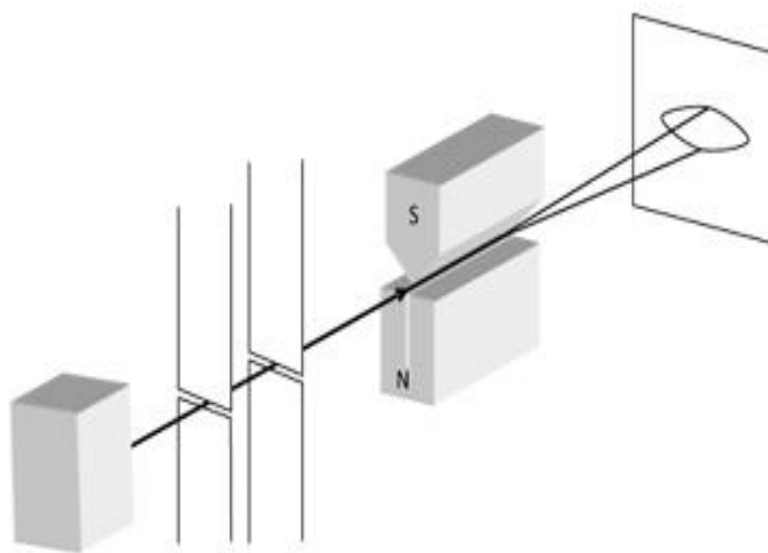


Figura 2: Representação do experimento de Stern-Gerlach. (GOMES e PIETROCOLA, 2011)

A previsão clássica era que o feixe ia se espalhar de forma continua na placa coletora, porém o que foi observado era que o feixe de átomos de prata se dividiam simetricamente em duas regiões na placa coletora, e este fenômeno não era bem explicado pela física clássica. Segundo Gomes e Pietrocola (2011) a intenção original do experimento era para testar a quantização espacial do momento angular na presença de um campo magnético externo. Ainda segundo Gomes e Pietrocola (2001) apesar de eles acharem que estavam confirmando a teoria de Bohr-Sommerfeld, o momento magnético medido por Stern e Gerlach era, na verdade, o momento angular de spin do elétron, pois como os átomos de prata possuem 1 elétron no subnível s na camada de valência tem-se que seu numero quântico secundário $\ell=0$, e conseqüentemente o momento angular orbital é igual a zero, e o magnético também igual a zero. Logo, o que Stern e Gerlach estavam medido era o momento de spin do elétron e não o momento magnético orbital. Para explicar o que foi observado neste experimento, foi necessário então propor um novo Numero Quântico chamado numero quântico de spin. Como carga elétricas em rotação geram campos magnéticos, foi feita a analogia de que o numero

quântico de spin está associado a rotação do elétron em torno de si, e isto foi difundido no ensino.

Porém, apesar dos experimentos de Stern e Gerlach, o mérito da introdução do spin do elétron, segundo Eisberg e Resnick (1979), é atribuído a Goudsmit e Uhlenbeck, que propuseram a existência de um momento angular e momento de dipolo magnético. É possível mostrar através de cálculos avançados de Mecânica Quântica Relativística, que foge ao nosso objetivo, que o momento cuja componente Z é especificado pelo Numero Quântico de spin m_s , que só pode ter valores possíveis de $-1/2$ e $+1/2$. É por este motivo que o m_s não pode ser 1, 2 ou outro valor. Assim, a analogia clássica que foi feita com o spin é que como o elétron sofre influencia de um campo magnético externo, a ele deveria está associado um movimento de rotação em torno do seu próprio eixo, e é essa rotação é que gera um campo magnético que irá interagir com um campo magnético externo aplicado.

1.3 A QUÍMICA E O PROBLEMA DA LINGUAGEM

A Química desenvolveu uma linguagem própria, e hoje enunciamos palavras como átomos, hidrogênio, oxigênio, carbono, orbitais e etc. Segundo Andrade Neto et al (2009) a utilização de representações na Química é tão antiga quando sua própria origem. A linguagem da Química, cada palavra, cada representação e significado, descreve e dar sentido a realidade que conhecemos. Ela traduz a natureza em uma linguagem que nos é acessível. Está presente em tudo, desde as escolas, as indústrias, até saúde e alimentação. Compreender a Química é conhecer a realidade que nos cerca.

A Química deve ser entendida como uma construção a partir da realidade que pode ser expressa numa linguagem própria, e acessível, que permite aos indivíduos interpretar e intervir na realidade. Segundo as Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais das Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias (PCN+)(2002) :

A Química pode ser um instrumento da formação humana que amplia os horizontes culturais e a autonomia no exercício da cidadania, se o conhecimento químico for promovido como um dos meios de interpretar o mundo e intervir na realidade, se for apresentado como ciência, com seus

conceitos, métodos e linguagens próprios, e como construção histórica, relacionada ao desenvolvimento tecnológico e aos muitos aspectos da vida em sociedade. (BRASIL, 2002, p.87)

Tendo como aspecto principal a utilização de modelos pictóricos que permite conhecer e interpretar a realidade, a Química é um instrumento de ampliação de horizontes e formação cidadã, além de suscitar grandes questões e debates relacionadas ao ensino e aprendizagem dos alunos em sala de aula. A utilização de modelos pictóricos de forma inadequada em sala de aula geram incompreensões tanto conceituais, como reais nos alunos, pois por vezes os alunos tem dificuldade de dissociar uma construção científica (Modelos) do que é real (MELO e LIMA NETO, 2013). De certa forma, é preciso estar atento as formas como estes modelos são abordados em sala de aula, pois dependendo da abordagem do professor, estes modelos ao invés de contribuir para a compreensão da realidade, ao serem entendidos apenas como uma construção científica, passam a substituir a realidade e serem entendidos como a própria realidade.

Os conceitos usados na Química Quântica requerem um nível de abstração maior, devido a sua complexidade, por parte dos alunos, e as vezes eles demonstram dificuldades de compreender estes conceitos. É preciso articular esses conceitos com os fenômenos cotidianos, tais como emissão de luz e propriedades magnéticas, de forma a favorecer esta compreensão dos alunos. Nesse sentido debates e pesquisas foram necessários sobre os processos de ensino-aprendizagem em Química, e surgiu a necessidade de uma reflexão mais profunda sobre como ensinar esta área do conhecimento de tal forma que estes conceitos possam ser compreendidos, pelos alunos, de tal maneira que o seu entendimento permita ao estudante interpretar, compreender e explicar a realidade ao qual vivência. Segundo as Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais das Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias (PCN+)(2002):

As interpretações quânticas da estrutura dos átomos e moléculas, assim como das ligações químicas, são necessárias e constituem uma fundamentação que até mesmo permite a compreensão das propriedades da tabela periódica. Entretanto, por conta de sua complexidade, é preciso especial cuidado para evitar que sua apresentação meramente formal, sem uma preocupação mais conceitual, possa levar à simples memorização de ideias mal compreendidas. (BRASIL, 2002, p. 105).

A linguagem Química não pode ser pautada somente na transmissão de significados e exposição de conteúdos, ela deve se aproximar da linguagem e realidade dos alunos sem fugir ao caráter científico da ciência, pois somente a apresentação oral de conceitos abstratos, sem essa correlação com a realidade dos alunos, reforça o ensino transmissão-recepção. "Se a linguagem é concebida como meio de transmissão de significados em uma via de mão única, reforça-se então a concepção do processo de ensino/aprendizagem como transmissão-recepção". (MACHADO e MOURA, 1995).

A linguagem é a nossa forma de comunicação e construção do conhecimento, sendo ela então um ponto crucial na inserção da Mecânica Quântica (MQ) no nível médio, uma vez que é necessário a construção de novos conceitos (Paulo e Moreira, 2011) que não fazem parte do dia-dia dos alunos. A questão da linguagem abstrata, que é própria da MQ, é um dos problemas enfrentados na inserção desta área da Química no Ensino Médio, pois segundo Melo e Lima Neto (2013) há certa dificuldade de associação de modelos teóricos com fenômenos observado pelos alunos.

"Com o advento da Mecânica Quântica as noções de realidade tiveram de serem repensadas, e novas terminologias foram surgindo e adaptações da linguagem comum foram feitas e os campos dos conceitos foram se delineando e se expandindo" (PAULO e MOREIRA, 2011). O próprio desenvolvimento da Mecânica Quântica foi paradoxal e teve o desafio de formular ideias que sobrepuja o senso comum, sendo necessário o desenvolvimento em alguns aspectos de uma linguagem própria para explicar certos conceitos que não tinha análogo com as ideias clássicas, entre eles podemos destacar o conceito de spin, que apesar das analogias usadas nos livros didáticos, não possui nenhuma analogia clássica.

É preciso desmistificar o ensino de Mecânica Quântica, pois o ensino desta área da ciência é uma necessidade que permite alavancar o conhecimento dos alunos de forma que estes possam acompanhar os avanços tecnológicos atuais que são frutos do sucesso desta teoria. Segundo AQUINO JUNIOR (2013):

[...]Existe uma unanimidade nas pesquisas [...]da possibilidade de inserir a Mecânica Quântica no Ensino Médio [...]Sanches (2006) afirmou que muitos pesquisadores já indicaram que há necessidade da inserção da Mecânica Quântica no Ensino Médio e que em muitos países desenvolvidos já se superou a etapa de levantamentos de justificativas".

(AQUINO JUNIOR, 2013, p.23)

Alguns dos resultados e conceitos da Mecânica Quântica já são trabalhados no Ensino Médio, tais como os **Números Quânticos, orbitais, hibridização**, e etc. Porém, é necessário se fazer o seguinte questionamento; será que a forma de ensinar estes conceitos está correta? Os alunos estão aprendendo a utilizar estes conceitos para explicar os fenômenos que eles observam? Esses conteúdos, existem uma aplicação prática que possa fazer o aluno querer estudar isso? Esses conceitos estão bem estruturados, de tal forma que permita a associação entre modelos e fenômenos, nos livros didáticos utilizados?

O que percebemos no Ensino de Química, é que estes conceitos de Mecânica Quântica, apesar de serem trabalhados no ensino de química para estudar estrutura eletrônica dos átomos e tabela periódica, não são entendidos pelos alunos. Greca et al (2001) fala que abordagens típicas de Mecânica Quântica dos cursos de graduação não criam condições para que os alunos percebam os fenômenos decorrente dos princípios de Mecânica Quântica. Apesar dela se referir a cursos de graduação, essas ideias são validas para o Ensino Médio, pois os conceitos de MQ que por si só são bastantes complexos, são trabalhados no Ensino Médio de forma monótona e desconexa dos fenômenos, como por exemplo fenômenos de emissão de cores por alguns materiais e propriedades magnéticas, observados no dia-dia dos alunos, contribuindo assim para a não compreensão destes conceitos. Assim, ao invés do professor focar a aula em aspectos que não ajudam o entendimento dos alunos— como por exemplo, que o numero quântico principal vale de 1 a 7, e que estes números representam as camadas K, L, M, N e etc — ele deveria trabalhar estes números conjuntamente com associações aos fenômenos de emissão de luz, por exemplo, que são explicados por transições eletrônicas de um átomo excitado do nível principal N_j para um principal N_i , e isto é pouco trabalhado com os alunos no Ensino Médio. O Aquino Junior (2013), apesar de estar tratando de alunos de física, citando De Paulo (2004) diz que os alunos conseguem atender as expectativas sobre o entendimento de MQ básica, principalmente quando esta é correlacionada ao cotidiano do aluno.

1.4 O ENSINO DOS NÚMEROS QUÂNTICOS NO ENSINO MÉDIO

Devido a complexidade dos conceitos usados na Mecânica Quântica é necessário discutir uma forma de abordagem destes conceitos que permitam a compreensão adequado destes pelos alunos. A Mecânica Quântica é um modelo teórico para átomos e moléculas, e deve ser entendida como tal. Apesar dela fornecer o arcabouço teórico necessário para entender o mundo microscópico, no ensino da mesma é preciso que os conceitos, a linguagem científica, e os modelos utilizados para explicar os fenômenos da natureza possam ser entendidos como uma construção científica que está apoiado em experimentos e modelos matemáticos, e que são mutáveis para explicar a realidade observada. Para Melo e Lima Neto (2013):

Os modelos avançaram para formas cada vez mais poderosas, abrangentes e úteis para explicar a realidade ao longo da história da ciência. Para o aluno, não fica claro até que momento pode-se ou não trabalhar com um determinado modelo, quando é necessário um conhecimento maior e quais as necessidades reais que levaram à elaboração de um modelo mais aprimorado. (MELO E LIMA NETO, 2013, p. 114)

O aluno tem dificuldade de correlacionar esses modelos justamente por que não fica claro no ensino essa correlação entre modelo e fenômeno. O ensino dos Números Quânticos (NQ), são um exemplo típico desta falta de correlação entre modelo matemático e fenômeno. A linguagem utilizada no ensino destes números, que são resultados diretos da MQ, perpassa a ideia aos alunos de que estes são apenas números utilizados para identificar o subnível mais energético do átomo e conseqüentemente sua posição na tabela periódica, como se os mesmos fossem apenas números matemáticos sem conexões com fenômenos observados na natureza. Uma abordagem mais contextualizada, envolvendo os fenômenos de emissão de luz, o espectro do átomo de hidrogênio e propriedades magnéticas poderia mostrar ao aluno como estes números estão correlacionados a estes fenômenos. O número quântico n , por exemplo, que representa o nível de energia na qual o elétron está situado, poderia ser usado para estudar as raias espectrais do átomo de hidrogênio, explicar o funcionamento do fogos de artifícios e assim contribuir para o melhor entendimento do aluno destes números. Contudo, o que se

percebe é que a forma ensino destes NQ não aborda qualquer aspecto de construção histórica – não há correlação com os resultados da MQ – e nem o que eles representam na natureza.

Os alunos estudam os números quânticos, mas não sabem de onde vieram e nem para que eles servem.

Esses problemas da falta de correlação dos NQ com fenômenos observados e fora do contexto ao qual os alunos vivenciam, torna o ensino monótono e contribui para a desmotivação dos alunos. Esta estratégia usada para ensinar ou trabalhar em sala de aula com os Números Quânticos se aproxima do que é entendido pela educação tradicional, na qual o processo de memorização é o aspecto principal deste sistema de ensino, pois os alunos decoram estes números e utilizam-no para caracterizar o subnível mais energético do átomo, as vezes de forma inadequada, mas não há correlação e o questionamento sobre para que servem e qual a sua relação com o mundo real.

Essa dicotomia no ensino dos NQ só será superada quando os professores abordarem em sala de aula algo a mais que números desvinculados dos fenômenos. Contudo, a implementação de alguma alternativa para tornar o ensino dos NQ mais atraente e que facilite a compreensão dos alunos é dependente da formação dos professores da educação básica. Nesse aspecto, o seguinte questionamento pode ser feito; Os professores da educação básica estão preparados para trabalhar os conceitos de números quântico vinculados as explicações de fenômenos da natureza? Os conteúdos de mecânica quântica estão presentes nos currículos de licenciatura em Química de tal forma que possibilitam ao formando trabalhar os aspectos da MQ em sala de aula?

A formação dos professores é fator determinante para o rompimento desse ensino desvinculado. Porém, o que se observa nos cursos de licenciatura em Química no geral é a ausência de conteúdos de Mecânica Quântica. No curso de licenciatura em Química, por exemplo, da Universidade de Brasília (UnB) não há uma disciplina obrigatória que contempla os conceitos e abordagens da Mecânica Quântica. Devido a ausência do ensino de MQ no curso de licenciatura, os professores formados não têm nenhuma compreensão conceitual dos resultados e postulados da MQ, e conseqüentemente dos significados dos Números Quânticos. Assim, nas palavras de Arroio et al (2005) muitos alunos do ensino superior dificilmente conseguirão estabelecer relações entre a Química Quântica e os fenômenos da vida cotidiana. [...] A gravidade deste problema assume dimensões mais sérias quando se pensa que esses alunos serão os professores que terão de ensinar conceitos relacionados à estrutura atômica aos alunos de Ensino Médio (ARROIO et al, 2005).

Outro aspecto importante que tem contribuído para esse problema do ensino dos NQ é a forma como estes são abordados nos livros didáticos. A disposição destes nos livros didáticos é meramente expositiva e desconexa. Em um dos livros aprovados no Programa Nacional do Livro Didático (PNLD), por exemplo, os números quânticos são tratados em apenas uma página, não havendo nenhuma fundamentação teórica sobre os mesmos, para que servem, de onde surgiram e quais as relações destes com as propriedades dos elementos. Os livros mencionam em sua maioria que a energia potencial de um elétron é dada pelo Número Quântico n , e que a energia cinética do elétron está relacionada ao movimento deste na eletrosfera e é fornecida pelo número inteiro ℓ . Logo em seguida alguns livros apresentam tabelas com os valores de ℓ e fazendo uma correlação com as letras s,p,d e f. Porém no livro, na parte dos NQ, não traz uma explicação de fenômenos da natureza que tenham correlação com os NQ.

Essa forma de abordagem dos NQ nos livros de didáticos dificulta o entendimento e a compreensão dos alunos e favorece ao ensino por memorização, pois não há sequer uma correlação de nenhum número quântico com algum fenômeno observado no dia-dia. Para Melo e Lima Neto (2013) não é uma característica marcante dos livros didáticos tradicionais relacionar modelo com os fenômenos. Além de que muitas das simplificações usadas nos livros, além de serem muito conteudistas, carregam conceitos que não são totalmente verdades e isso não fica claro para o aluno. Um exemplo disso é a própria ideia de que o spin está associado ao elétron girando em torno do seu próprio eixo, que apesar de ser uma boa analogia, deve ficar claro no livro didático de que é apenas uma analogia para facilitar o entendimento, pois não sabemos se o elétron gira ou não, além de que tomar como verdade que o elétron está girando é exaltar o seu caráter de partícula contrariando a dualidade onda-partícula. Assim, para Subramanian e Oliveira (1997) as simplificações frequentemente inevitáveis resultam na introdução de informações errôneas e considerações equivocadas.

É necessário buscar alternativas para melhoria do ensino dos Números Quânticos, pois eles não são nada ilustrativos aos alunos. É preciso construir uma linguagem, e uma forma de ensinar esses números que desmistificam esta falta de conexão com a realidade observada. Estabelecer a conexão destes números com a realidade, mostrar ao aluno que muitas propriedades observadas na natureza tem uma relação direta com os Números Quânticos, irá contribuir para a aprendizagem destes alunos possibilitando o entendimento de como a matéria se estrutura e como os modelos teóricos construídos são capazes de explicar o mundo que nos cerca.

CAPÍTULO 2 – METODOLOGIA

2.1 Caracterização do Método

Todas as pesquisas em ciência se caracterizam pela utilização de métodos científicos, assim para LAKATOS e MARCONI (2001) não há ciência sem a utilização de métodos científicos de pesquisa. É por meio dos métodos de pesquisa, que foram consolidados ao longo dos tempos, que é possível estudar e analisar a natureza dos fenômenos de maneira sistemática produzindo conhecimentos válidos e reproduzíveis. Ainda segundo LAKATOS e MARCONI (2001) o método de pesquisa é definido como um conjunto de atividades sistemáticas e racionais que permite alcançar os objetivos, além de delinear os caminhos a serem seguidos pelo cientista.

Tendo em vista a importância de escolha de um método de pesquisa para a realização de uma pesquisa que seja válida, optamos neste trabalho pela abordagem do método misto que engloba os métodos de pesquisa qualitativa e quantitativa. Para Cavalcanti (2011) o universo do método qualitativo é o dos significados, motivos e atitudes. A pesquisa qualitativa não se preocupa com números, medições ou emprego estatístico de análise de dados segundo GODOY (1995). Como o próprio nome sugere, a pesquisa qualitativa procura compreender os fenômenos de maneira qualitativa, ou seja, explicar o sentido e o significado das coisas.

A pesquisa quantitativa, ao contrário da qualitativa, se preocupa com números, medições, valores e análise de dados estatísticos. Segundo GODOY (1995) a condução de uma pesquisa quantitativa é antecedida por um planejamento *a priori*, com operações previamente definidas e estabelecidas. O método qualitativo é focado na obtenção de dados, que para o nosso caso é a realização da análise dos livros didáticos para compreender a visão tida por estes sobre os Números Quânticos. No caso da pesquisa qualitativa, ela está relacionada a este trabalho no fato de tentarmos mostrar que a forma como os Números Quânticos vem sendo ensinado e abordado nos livros didáticos prejudicam a compreensão dos alunos do Ensino Médio, e contribui para um ensino maçante e desinteressante.

Dentro dessas duas abordagens qualitativa e quantitativas, foi escolhido como método de pesquisa o estudo de caso, pois segundo Yin (2001) o estudo de caso pode ser baseado numa mescla de provas qualitativas e quantitativas, que é o caso deste trabalho. Ventura (2007) citando Goode e Hatt (1979) diz que o estudo de caso é um meio de organizar dados que preserva o caráter unitário do objeto. Para Yin (2001) o estudo de caso é uma

investigação empírica que investiga um fenômeno contemporâneo dentro de um contexto social, assim a escolha do estudo de caso como abordagem de pesquisa incorpora tudo, desde abordagem específicas até a coleta e análise de dados.

2.2 Analise dos livros didáticos

Com o intuito de avaliar como os Números Quânticos estão estruturados nos livros didáticos do Ensino Médio — permitindo-nos avaliar se a forma como estão organizados nestes livros contribui para o aprendizado dos alunos— será realizado uma análise dos livros didáticos aprovados no programa nacional do livro didático (PNLD). Será analisado também livros do século anterior (década de 60) com o objetivo de compreender como estes conceitos foram estruturados nestes livros e quais as diferenças significativas entre as abordagens nos livros do PNLD e estes livros da década de 60. O foco da análise é em como estes conteúdos estão estruturados, como os conceitos são abordados, numa tentativa de observar se estes livros trazem alguma abordagem fenomenológica destes Números Quânticos, ou seja, se os livros aprovados fazem associações destes Números Quânticos com fenômenos encontrados no cotidiano, como por exemplo, os fenômenos luminosos e magnéticos. E se fazem este tipo de abordagem, analisaremos se ela é feita de forma que possibilite a melhor compreensão dos alunos, permitindo-os fazer associação entre modelo e fenômeno.

CAPÍTULO 3 – OS LIVROS DIDÁTICOS

O ensino de Química, e principalmente os conteúdos e a organização dos livros didáticos sofreram grandes transformações ao longo dos anos no Brasil. Contudo, Lopes (2007) citando Schnetzler (1980) e Mortimer (1988) fala que o quadro de avaliação negativa destes livros didáticos parecem não se alterar. Porém, essa discussão sobre os conceitos abordados nos livros didáticos é de extrema importância para o incentivo a evolução dos mesmos. O livro didático ainda é o principal recurso didático utilizado pelos professores, e ainda segundo Lopes (2007) o ensino seria pior se não existisse esses livros didáticos. Tendo em vista essa dependência do ensino para com os livros didáticos, decidiu-se analisar como os conceitos de Números Quânticos evoluíram ao longo dos anos nos livros didáticos no Brasil, e se essa evolução (ou não evolução) foi positiva no sentido de melhorar a aprendizagem dos alunos, já que estes conceitos relacionados a teoria quântica são demasiados complexos, tornando difícil a transposição didática dos mesmos.

Segundo Mortimer (1988) os períodos do final da década de 50 e 60 são marcados por uma intensa preocupação em atualizar os livros didáticos, porém os conceitos de Números Quânticos não tiveram grande importância nesse período, e só foram incorporados no período após 1970. Segundo ele os Números Quânticos já eram tratados em livros anteriores a 60, porém só dois Números Quânticos eram citados.

Para Lopes (2007) tem-se a sensação que os primeiros livros de química da década de 70 eram completamente desprovidos do rigor científico atual dos livros didáticos, e na maioria das vezes os conceitos químicos eram abordados na forma de histórias, com a utilização excessiva do animismo. Um exemplo disso é o trecho citado por Lopes (2007), que é encontrado no livro do Faccini (1937):

A energia calorífica é a chave mágica com que se poderá abrir o recinto ainda intransponível da transmutação da matéria; é, portanto o talismã com que se poderá tornar realidade o sonho dos alquimistas.

(Faccini, 1937, 4ª série, 27)

Ainda segundo o autor esse tipo de abordagem conceitual cria obstáculos epistemológicos que gera equívocos na conceitualização e consequentemente dificulta o entendimento de determinadas teorias. Assim ele considera esse ato de conferir característica humanas a Química de obstáculo animista, e esse era um obstáculo muito presente nos livros didáticos da época.

Ao fazermos uma revisão bibliográfica rápida sobre os livros da década de 60, e 70 tem-se a ideia, segundo os diversos autores, de que os livros científicos tinham pouco caráter científico e tinham o foco única e exclusivamente na memorização de conceitos, já que os aspectos da Química que mais eram tratados nestes livros eram o da química descritiva. Assim, tendo em vista a quantidade de trabalhos relacionados a análise e evolução de livros didáticos no Ensino de Química, supõe-se que esses problemas contidos nos livros didáticos anteriores que contribuíam para a não aprendizagem dos alunos foram superadas. Nessa perspectiva, decidimos avaliar como os conceitos dos Números Quânticos eram tratados em alguns livros da década de 60 e como são tratados hoje nos livros aprovados pelo PNLD. Devido as dificuldades de encontrar um volume muito grande de livros didáticos destinados ao Ensino Médio nessa época, analisou-se uma quantidade muito pequena de livros didáticos. Porém, segundo Mortimer (1988) as diferenças entre os livros didáticos de 43 a 60 não são tão significativas. Lopes (2007) analisando os obstáculos epistemológicos contidos nos livros didáticos nos mostra que as diferenças entre os diversos autores de uma mesma década são insignificantes. Adotamos o mesmo critério para este trabalho de que as diferenças entre os livros didáticos de uma mesma época não são tão significativas a ponto de desvalidar as conclusões tiradas. Assim, ao analisarmos um ou dois livros de uma mesma época podemos ter uma ideia sobre a organização e os conceitos abordados nos livros didáticos dessa época. Escolheu-se livros da década de 60, 70, 80, 90, 2013, 2014 e 2015. Os critérios de escolhas destes livros, foram principalmente pela disponibilidade de material, e por uma tentativa de observar como os conceitos foram abordados nestes períodos. A tabela abaixo trás a lista de livros utilizados nesta análise:

Tabela 1: Livros didáticos analisados no trabalho

Livros	Ano
Chemical Bond Approach Committee vol. 1 (CBAC)	1964
Elementos de Química- Pimenta e Lenza	1966

Química: Geral e Inorgânica - NABUCO e BARROS	1978
Química I- HOJDA e ULTIMURA	1983
Química-Marta Reis	1993
Química- Urbesco e Salvador	1997
Química vol.1- Marta Reis	2014
Química ser protagonista- Antunes	2013
Química Cidadã vol. 1 - Santos e Mol	2015

Para Lopes (2007) a metáfora nos livros didáticos de 30, 50 e 60 se sobrepunham a discussão racional, e mesmo autores que discutiam os princípios quânticos se contentam somente em apresentá-los. Podemos perceber segundo o autor, que no tratamento de conceitos mais complexos nos livros didáticos os autores do século passado tinham tendência ao uso excessivo de metáforas para a explanação desses conceitos demasiado abstratos, e acabavam mascarando e dificultando o entendimento e interpretações do conhecimento científico com o uso excessivo dessas analogias. O uso exagerado de analogias pode dificultar a aprendizagem do aluno na medida em que ele não consegue distinguir uma construção científica de um conhecimento comum. Nesse sentido, na análise destes livros didáticos, tentou-se observar se os autores analisados usavam metáforas em excesso ou erradas na apresentação dos Números Quânticos.

Ao analisar o livro Elementos de Química (Pimenta e Lenza, cap.11, pg.141) percebe-se que apesar do autor não usar analogias para tratar dos Números Quânticos, a forma como aborda os quatro Números Quânticos não trás nenhuma ideia do que eles representam ou para que servem, ele somente cita que o grau energético de um átomo é definido por estes quatro Números Quânticos:

Estudos de espectroscopia de um átomo em um campo magnético mostram, entretanto, que o grau energético de um átomo estará definido por 4 números quânticos:

1. Numero quântico principal **n**
2. Numero quântico azimutal **l**
3. Numero quântico magnético **m**

4. Numero quântico de spin s

(Pimenta e Lenza, 1966, 1ª série, p.141)

Em seguida o autor começa a falar de cada um dos Números Quânticos, falando que n é o numero que representa o nível de energia ao qual o elétron pertence, cujos valores são 1,2,3,4,5,6,7. Ele cita que o Numero Quântico azimutal corresponde aos subníveis de energia, e que devido ao efeito Zeeman foi necessário um terceiro Numero Quântico magnético m . E o quarto Numero Quântico resultou da observação de que um elétron pode girar em torno de si mesmo, e cujo valores que ele pode assumir é $\pm 1/2$.

Na análise destes conceitos de NQs neste livro notamos que a forma de abordagem do conteúdo não favorece o entendimento dos alunos. O autor apenas cita fenômenos e estudos da espectroscopia para justificar a existência dos quatros Números Quânticos. Como citado anteriormente, este tipo de abordagem gera bastante questionamentos nos alunos, tais como; porque do Numero Quântico de spin assumir somente esses valores; porque somente 4 números são necessários para descrever a energia do elétron ou como os Químicos determinaram esses números. O autor ao trazer no livro que o Numero Quântico de spin resultou da observação experimental do movimento de rotação do elétron perpassa uma ideia errada aos alunos, criando uma visão errônea do elétron ser uma partícula que fica girando em torno de si e do núcleo atômico. É necessário deixar claro que a ideia do elétron girar em torno do seu próprio eixo é uma analogia usada na Química para facilitar o entendimento deste. O elétron por ser uma partícula diminuta com características dual de onda e matéria, não pode ser vista a olho nu ou por nenhum equipamento logo não podemos afirmar que ele está girando.

Este tipo de abordagem que é meramente ilustrativa contribui para o processo de ensino por memorização de conteúdo, pois a forma de abordagem não possui nenhuma função investigativa, ou tentativa de explicar algum fenômeno existente na natureza. A impressão que se tem nestes tipos de abordagens é que os autores decidiram colocar estes conteúdos nos livros didáticos única e exclusivamente com a função de o livro ter um maior numero de conteúdos, ou seja, os conteúdos relacionados a estrutura atômica foram introduzidos de forma apenas operacional sem a preocupação com a transposição didática dos mesmos. Segundo Mortimer (1988), a introdução destes conceitos relacionados a estrutura atômica refere-se à atualização em relação às unidades de estrutura atômica, teoria de valência e classificação

periódica. Essa atualização foi uma exigência da reforma Francisco campos que "obriga os livros didáticos a tratarem do assunto, o que não acontecia antes de 1930 com a maioria deles" (Mortimer, 1988).

Neste trabalho, analisamos também dois livros do programa americano de ensino de ciências os CBA, que segundo Lorenz (2008) este programa teve origem nos Estados Unidos como uma resposta crítica ao paradigma de como ensinar ciências. Lorentz (2008) citando Barra (1986) diz que com a introdução destes programas norte americanos de ensino a aprendizagem do alunos foi aquém do esperado devido a problemas associados com inexistência nas escolas de laboratórios e equipamentos para a realização das atividades propostas no livros. A partir da análise dos livros CBA percebe-se que o conteúdo relacionado a estrutura atômica, a saber os Números Quânticos, estão muito bem estruturados nos mesmos, apesar de não haver nenhuma atividade investigativa ou discussão sobre estes. O autor começa primeiro com o estudos dos espectros de emissão e absorção da radiação até discutir a teoria ondulatória da luz. Após discutir, e com grande êxito, a teoria fotônica da luz é introduzido o modelo atômico de Bohr na qual é discutido de forma bem elaborada, abordando transições eletrônicas, aspectos históricos e experimentais que culminaram em algumas ideias sobre a estrutura da matéria. A ordem cronológica com que foi elaborado e a organização das ideias torna o capítulo muito bem estruturado e de fácil entendimento das ideias expostas. Após discutir o modelo de Bohr o autor começa a discutir os níveis de energia nos átomos e trás uma série de fotos mostrando os espectros de uma chama do metano queimado em atmosfera de oxigênio e hidrogênio queimado na atmosfera de oxigênio e cloro. O autor não trás nenhuma discussão muito detalhado dos Números Quânticos, mas a forma como é feita a exposição dos mesmo torna seu entendimento bem mais simples. O Numero Quântico principal é trazido da seguinte forma:

A suposição de que os elétrons são ondas estacionárias no modelo da mecânica ondulatória conduz a uma interpretação de n mais complexa do que no modelo atômico de Bohr. Em essência n define o tamanho da orbita eletrônica estacionaria que envolve o núcleo atômico. (CBA, 1969, v.1, p.153)

No decorrer do texto o livro deixa claro que através da teoria baseada nas ondas estacionárias tridimensionais, o modelo de Mecânica Quântica fornece o equivalente a três Números Quânticos. Em outra edição do livro CBA os Números Quânticos são tratados como sendo o endereço dos elétrons no orbital.

A análise dos espectros atômicos conduziu a uma nomenclatura sistemática para descrever os níveis de energia dos elétrons.(...) A região do espaço para a localização de um elétron é chamado de orbital. O endereço deste orbital é designado por números quânticos. (Chemical Bond Approach Committee, 1964, p.126)

Em ambos os livros textos percebe-se que os conceitos de Números Quânticos evoluíram bastante em relação aos livros anteriores. Isso se deve ao fato de que esses materiais foram elaborados por uma colaboração entre professores secundários, universitários e cientistas. Segundo Lorentz (2008) os CBA focalizaram os princípios básicos da Química, e a natureza e a relação entre a investigação e a teorização. Essa colaboração entre professores e pesquisadores resultaram em livros textos bem elaborados, com conceitos trabalhados de forma que facilitem a compreensão dos alunos. Por exemplo, a analogia de que os Números Quânticos são o endereço dos elétrons nos orbitais é bem representativa e facilita o entendimento dos alunos. E não é uma analogia errada, pois de certa um orbital atômico ou a função de onda do orbital são totalmente caracterizadas pelos 4 Números Quânticos, ou seja, o orbital eletrônico que possui um certa energia é totalmente definido por esses quatros Números Quânticos.

Apesar das analogias usadas, e do livro texto explicitar as origens e as funções destes Números Quânticos, percebemos que ainda assim perdura o caráter meramente operacional e ilustrativo destes números. Isso se deve ao fato de que no Ensino Médio estes números não tem outra função a não ser caracterizar o átomo na tabela periódica. Uma função que não é necessária aos alunos, pois praticamente todos os alunos tem acesso a tabelas periódicas, então muito mais importante que caracterizar o orbital do átomo no Ensino Médio ou caracterizá-lo na tabela periódica é entender as suas propriedades e interpretar fenômenos cotidianos.

Analisando os livros do Nabuco e Barros (1978) e Hojda e Ultimura (1983) nota-se que o mesmo tipo de abordagem usado nos Livros de Pimenta e Lenza (1966) continua sendo

usado, ou seja, o tipo de abordagem para os Números Quânticos continuam sendo os mesmos. O livro do Hodja e Ultimura (1983) traz a abordagem dos Números Quânticos da seguinte forma:

Com estudos dos espectros de emissão, tornou-se necessária a utilização de grandezas para localizar os elétrons em regiões da eletrosfera. Estas grandezas estão relacionadas com a energia dos elétrons e recebem o nome de números quânticos. (Hodja e Ultimura, 1983, p.14)

Este fato reforça a suposição de que poucas foram as mudanças nos livros de uma mesma década. Percebemos também que mesmo após 10 anos não houve sequer uma mudança na forma de abordagem ou introdução destes conceitos. Os autores simplesmente iniciam falando que da espectroscopia podemos tirar os quatros Números Quânticos.

Ao analisar livros da década de 90, como os da Marta Reis (1993) e Urbesco e Salvador (1997) volume único, nota-se que não houve nenhuma evolução sobre as abordagens dos mesmos. No livro do Urbesco e Salvador (1997) os Números Quânticos é tratado em apenas uma página na qual o autor utiliza tabelas com os valores destes números, sem trazer nenhuma abordagem história sobre a origem e a função científica dos mesmos. O autor numera os quatros Números Quânticos, e diz que o numero principal vale 1, 2,3,4...7, enquanto o secundário vale 0,1,2 e 3 podendo ser associado as letras s,p,d,f. A única diferença destes e dos livros anteriores é que nestes livros é que os autores trazem algumas imagens que representam os orbitais caracterizados por estes números. O livro da Marta Reis (1993) segue os mesmos critérios, trazendo os valores que estes números podem assumir e as letras que eles representam. Percebemos que apesar de ter se passado 30 anos de 63 a 93, os conceitos e abordagens de Números Quânticos não houve sequer uma mudança significativa tanto na forma de abordagem do conteúdo, como no que eles representam na natureza. O caráter meramente expositivo e que favorece a memorização ainda prevalece nestes livros. O spin continua sendo introduzido como uma rotação. O livro da Marta Reis (1983), por exemplo, diz que denomina-se spin o movimento de rotação do elétron em torno do seu próprio eixo.

Segundo as Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais das Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias (PCN+)(2002).

As interpretações quânticas da estrutura dos átomos e moléculas, assim como das ligações químicas, são necessárias e constituem uma fundamentação que até mesmo permite a compreensão das propriedades da tabela periódica. Entretanto, por conta de sua complexidade, é preciso especial cuidado para evitar que sua apresentação meramente formal, sem uma preocupação mais conceitual, possa levar à simples memorização de ideias mal compreendidas. Uma forma de se evitar isso seria articular seu aprendizado com os estudos sobre matéria e radiação propostos pela Física.

(BRASIL, 2002, p.105)

Segundo as PCN+ é necessário evitar a exposição meramente formal de conceitos de extrema complexidade, como é o caso das interpretações oriundas da Mecânica Quântica. Aplicando esta ideia aos Números Quânticos é necessário que os livros didáticos articulem estes conceitos de forma a evitar a memorização de ideias mal compreendidas como citado pelas PCN+.

Com o intuito de observar se nos livros didáticos atuais houve alguma mudança na forma como é abordado e discutido os conceitos de Números Quânticos nos livros didáticos, analisou-se livros didáticos aprovados no PNLD de 2013, 2014 e 2015. Tendo em vista as grandes transformações ocorridas no ensino desde 63 a 2015, e as recomendações dos parâmetros curriculares nacionais bem como as orientações curriculares nacionais, espera-se que tenha havido mudanças significativas na forma como estes conceitos estão estruturados e discutidos nestes livros didáticos atuais.

No livro da Marta Reis (2014) aprovado no PNLD a abordagem dos NQs segue a mesma topologia dos livros analisados da década de 60, 70 e 80. No livro, na sessão distribuição eletrônica, a autora coloca em tópicos e cita os dois números quânticos n e ℓ .

(...) O numero quântico n indica o nível de energia (potencial) do elétron. Para o elementos conhecidos (de numero atômico até 112) no estado fundamental n varia de 1 a 7.(...) A energia cinética de um elétron está relacionada ao seu movimento na eletrosfera e é fornecida por um numero inteiro ℓ que varia, para certo valor de n , de 0 até $n-1$ (Modelo de Sommerfeld). (Fonseca, 2014, p.191)

Observando esse tipo de abordagem, percebe-se que não houve nenhuma evolução se comparado com a abordagem dos livros anteriores, ou seja, apesar de todos os avanços na ciência e na educação brasileira, os livros didáticos se mantiveram neutros com relação a abordagem dos Números Quânticos. O livro trás a mesmas tabelas encontradas nos livros anteriores, na qual é correlacionados os valores de n e ℓ com letras que o representam. Nenhum aspecto histórico é abordado sobre a origem dos mesmos, e nenhuma discussão feita sobre a importância deles na explicação de fenômenos cotidianos.

O livro de Santos e Mol (2015) aprovado no PNLD não trás os 4 Números Quânticos, como era feito nos livros anteriores. Na discussão sobre o modelo atômico de Bohr, ao discutir sobre as diferentes quantidades de energia que os elétrons possuem no átomo, os autores definem essas diferentes quantidades de energia como sendo os níveis de energia e que são representados pela letra n , em seguida ao discutir sobre o espectro visível os autores citam que para Bohr os valores de n variam de 1 a 7. Os outros Números Quânticos, ℓ , m e s não são tratados neste livro, e ao fazer a discussão sobre os conceitos de orbital oriundos do modelo quântico são tratados os 4 tipos de orbital que são representados pelas letras s , p , d e f . O livro de Antunes (ser protagonista, 2013) trás o mesmo tipo de abordagem que Santos e Mol (2015), com a diferença de não ser tratado diretamente nenhum dos Números Quânticos.

O que percebe-se nos livros analisados de 2013 a 2015 é que os Números Quânticos foram sendo retirados dos livros didáticos. A eliminação deste conteúdo era esperada pois por meio das análises percebemos que até os anos 2000 não houve nenhuma alteração evidente na forma como estes conceitos são trabalhados nos livros didáticos. Os Números Quânticos, que são resultados oriundos da Mecânica Quântica são demasiado abstrato para serem trabalhados no Ensino Médio, pois é extremamente complicado fazer uma transposição didática dos mesmos sem evocar conceitos e resultados mais complexos da Mecânica Quântica, o que torna ainda mais complicado correlacionar estes números com conceitos e determinados fenômenos do cotidiano dos alunos. Para Wartha et al (2013):

[...] adotar o estudo de fenômenos e fatos do cotidiano pode recair numa análise de situações vivenciadas por alunos que, por diversos fatores, não são problematizadas e consequentemente não são analisadas numa dimensão mais sistêmica como parte do mundo físico e social.

Assim, considera-se essencial essa correlação modelo-fenômeno como elemento de ensino e aprendizagem. Portanto, diante da dificuldade de transposição didática e discussão mais aprofundada sobre fenômenos cotidianos que requerem o auxílio dos NQs para ser explicados, é necessário que estes conceitos sejam reformulados ou retirados dos livros didáticos, pois em muitos locais no Brasil, com condições precárias, as aulas são ditadas pelos conteúdos contidos nestes livros didáticos, e a forma como estes conceitos estão sendo abordados favorecem o ensino por memorização.

A partir das análises dos livros percebemos que a tendência é que os NQs estejam cada vez menos presentes nos livros didáticos, e posteriormente sejam reirados, ou ao menos não sejam trabalhados diretamente, devida a essa impossibilidade de problematização e contextualização dos mesmos. Outro fator que associado a forma desconexa com que estes números estão abordados nos livros e que contribui ainda mais para a mera exposição dos NQs sem nenhum cunho investigativo culminando na não aprendizagem dos alunos, é a falta de formação de alguns professores para trabalhar estes conceitos relacionados a resultados diretos da Mecânica Quântica. O fato deste conteúdo estar presente nos livros didáticos contribui para que estes professores sem a formação ou compreensão real do significado destes números trabalhem estes conceitos no Ensino Médio, pois em grande parte do Brasil as aulas de Química ainda são ditadas pelos conteúdos existente neste livros didáticos. Nessa perspectiva, é essencial que estes conceitos sejam abordados de uma forma clara e investigativa nos livros, ou sejam retirados pois o que se percebe por meio destas análises é que os conceitos correlacionados a estes números não evoluíram e tampouco se mostraram essenciais a compreensão da natureza pelos alunos, ou seja, o ganho com o ensino destes números é muito pequeno se comparado a outros conceitos que estão intimamente presente na vida dos alunos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conceitos abstratos que requerem um nível de abstração maior por parte dos alunos devem ter uma abordagem diferenciada, tanto nos livros didáticos como em sala de aula, de forma a favorecer a compreensão dos estudantes permitindo-os interpretar os fenômenos a luz das teorias aprendidas. Nesse sentido, no decorrer do trabalho, percebeu-se que é imprescindível que o tratamento destes conceitos abstratos devem estar atrelados a elementos do cotidiano dos alunos de forma a situa-los e facilitar sua compreensão. Para muitos autores a aprendizagem é fomentada quando se faz essa conexão entre situações vivenciadas pelos alunos e os modelos teóricos utilizados para explicar fenômenos e fatos cotidianos.

Assim, devido aos Números Quânticos serem resultados diretos da resolução das equações da Mecânica Quântica, eles são demasiados complexos e de difícil entendimento, tornando complicado a transposição didática dos mesmo para alunos do Ensino Médio. É difícil trabalhar estes números no Ensino Médio sem evocar os conceitos mais abstratos relacionados a Mecânica Quântica.. Logo é necessário uma abordagem diferenciada englobando uma correlação entre modelo teórico e fenômeno cotidiano que possibilite ao aluno compreender o significado destes números.

A partir das pesquisas realizadas e dos livros analisados percebemos que os Números Quânticos cuja a inserção nos livros didáticos é anterior a década de 60 teve um caráter meramente operacional e expositivo nos primeiros livros didáticos. A impressão que se teve é que os autores decidiram colocar estes conceitos nos livros didáticos, sem nenhuma função ou transposição didática dos mesmos, como uma forma do livro ter mais conteúdos, pois sempre perdurou a ideia de que o volume de conteúdo dos livros didáticos está diretamente relacionado a qualidade do mesmo. Com as crescentes reforma no ensino desde 60 até os anos 2000 esperávamos que houvesse uma mudança significativa na forma como os conceitos de Números quânticos eram trabalhados nestes livros, porém notamos é que de 60 até 2000 não houve nenhuma mudança significativa tanto nas abordagens como nas discussões dos mesmos. Os conceitos relacionados aos NQs estagnaram apesar de todas as mudanças

ocorridas no ensino. Nos últimos livros aprovados no PNLD de 2013, 2014 e 2015 os Números Quânticos já não são trabalhados diretamente e eles nos mostraram que a tendência é a retirada deste conteúdo dos livros didáticos. Esse fato era esperado tendo em vista que as análises realizadas mostraram que as formas de abordagens dos NQs não tiveram mudanças significativas ao longo dos anos nestes livros didáticos, de forma que o entendimento destes ainda é pautado na memorização. Percebemos que a escolha de alguns livros de trabalhar diretamente os Números Quânticos não contribui com a aprendizagem dos alunos, nem tampouco tem uma função educativa eficiente, tendo em vista que o seu entendimento ainda é obscuro e os autores não conseguiram uma transposição didática com uma linguagem acessível aos alunos que rompe com o caráter meramente ilustrativo que favorece a memorização dos mesmos.

REFERÊNCIAS

- ALCÁCER, L. **Introdução à Química Quântica Computacional**. Instituto Superior Técnico. Portugal: IST Press, 2007.
- ALMEIDA, W. B. D.; SANTOS, H. F. D. **Modelos teóricos para a compreensão da estrutura da matéria**. QNEsc, Maio 2001.
- ANDRADE NETO, A. S. de.; RAUPP, D.; MOREIRA, A. M. **A evolução histórica da linguagem representacional química: Uma interpretação baseada na teoria dos campos conceituais**. VII ENPEC, Florianópolis, 2009.
- ANTUNES, Murilo Tissoni. **Ser Protagonista – Ensino Médio – 1º Ano**. 2-ed. Editora SM, São Paulo, 2013.
- AQUINO JUNIOR, J. L. M. **Modelo Atômico Quântico: Uma Alternativa para Introdução no Ensino Médio**. 2013. 99 f.. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências Naturais)-Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2013.
- ARROIO, A.; HONÓRIO, K. M.; WEBER, K. C.; MELLO, P. H.; SILVA, A. B. F.; **O ensino de Química Quântica e o Computador na Perspectiva de Projetos**. Química Nova. n. 28, p. 360. 2005.
- ATKINS, P.W.; JONES, Loretta. **Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente**. 3.ed. Porto Alegre: Bookman, 2006. 965 p.
- BRASIL. **PCN+ Ensino Médio: Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio**. Ciências da natureza, Matemática e suas tecnologias. Ministério da Educação/Secretaria da Educação Média e Tecnológica, Brasília, 2002.
- CAVALCANTI, E. L.D. **O Lúdico e a Avaliação da Aprendizagem: possibilidades para o ensino e a aprendizagem de Química**. 2011.171f.Tese (Doutorado em Química do Cerrado e Pantanal)-Pós graduação Multi-Institucional UFG/UFU/UFMS. Universidade Federal de Goiás, Goiânia.
- CAMARGO, A. J. **Química Quântica**. Universidade Estadual do Goiás, Agosto de 2008. Notas de Aula.

Chemical Bond Approach Project (CBA), Traduzido por: GIESBRECHT, E.; GIESBRECHT, Astréa; MENNUCCI, Lélia. São Paulo, v.1, 1969.

CHIBENI, S. S. **Certezas e incertezas sobre as relações de Heisenberg**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v.27, n. 2, p. 181-192, 2005.

EISBERG, R. e RESNICK, R. **Física quântica: átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas**. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1979.

FILGUEIRAS, C. A. L.; BRAGA, J. P. LEMES, N. H. T. **O centenário da molécula de Bohr**. Quim. Nova, v. 36, n. 7, pp. 1078-1082, 2013.

FONSECA, Marta Reis Marques. **Química Integral**. Volume Único São Paulo: FTD, 1993.

FONSECA, Martha Reis Marques da. **Química 1** – 1-ed. Editora Ática, São Paulo, 2014.

GOMES, G. G. e PIETROCOLA, M. **O experimento de Stern-Gerlach e o spin do elétron: um exemplo de quasi-história**. Rev. Bras. Ensino Fís., Jun 2011, vol.33, no.2, p.1-11.

GODOY, A. S. **Introdução a Pesquisa Qualitativa e Suas Possibilidades**. In Revista de administração de empresas. Vol. 35, n. 2, Mar./Abr., 1995a, p. 57-63.

GRECA, I. M.; MOREIRA, M. A.; HERSCOVITZ, V. E..**Uma proposta para o ensino de mecânica quântica**. Rev. Bras. Ensino Fís. [online]. 2001, vol.23, n.4, p. 444-457.

HOJDA, Clara.; ULTIMURA, Teruko Y.; MATSUI, Ana Nemoto. **Química I**. São Saulo. Editora Marcos, 1983.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. de A. - **Fundamentos de Metodologia científica**. 4.ed., São Paulo, Atlas, 2001. 288p.

LEVINE, I. N. **Quantum Chemistry**, Prentice Hall, 1991

LOPES, A. C.. **Currículo e Epistemologia**. Ijuí: Editora Unijuí, 2007.

LORENZ, K. M. **Ação de instituições estrangeiras e nacionais no desenvolvimento de materiais didáticos de ciências no Brasil: 1960-1980**. Revista Educação em Questão, UFRN/Centro de Ciências Sociais Aplicadas, Natal, RN, v. 31, n. 17, p. 7-23. jan./abr. 2008

MACHADO, A.; MOURA, A. **Concepções sobre o papel da linguagem no processo de elaboração conceitual em Química**. Revista Química Nova na Escola, v.1,n.2, p.27-30, novembro 1995.

MELO, M. R.; LIMA NETO, E. G. de. **Dificuldades de Ensino e Aprendizagem dos Modelos Atômicos em Química**. Química Nova na Escola, v. 35, n. 2, p.112-122, maio 2013.

MORTIMER, E. F. **A evolução dos livros didáticos de química destinados ao ensino secundário**. Em Aberto, Brasília, DF, v. 7, n. 40, p. 24-41, 1988.

NABUCO, João Roberto da Paciência.; BARROS, Roberto Vizeu. **Química: Geral e Inorgânica**. Rio de Janeiro. Editora Livro Técnico, 1978.

SANTOS, Wildson e MOL, Gerson. **Química cidadã**. Vol 1, 2ª ed. Ed AJS, São Paulo, 2013.

F.A.G. Parente, A.C.F. dos Santos e A.C. Tort. **Os 100 anos do átomo de Bohr** Revista Brasileira de Ensino de Física v.35, n.4, 4301 (2013).

PAULO, I. J. C. de; MOREIRA, Marco Antonio. **O Problema da Linguagem e o Ensino da Mecânica Quântica no Nível Médio**. Ciênc. educ. (Bauru), vol.17 n°. 2, 2011.

PEDUZZI, L.O.Q. e Basso, A.C., **Para o ensino do átomo de Bohr no nível médio**, Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 27, n. 4, p. 545-557, 2005.

PIMENTA, Aluísio e LENZA, Duílio de P. **Elementos de química**; ciclo colegial, São Paulo, Ed. do Brasil, 1966. v.1.

Química, CBA (Chemical Bond Approach Committee), Ed. Univ. Brasília, 1964, Parte II.

SALA, Oswaldo. **Uma introdução à espectroscopia atômica. II - O espectro do sódio**. Quim. Nova v.30, n° 8, p. 2057-2061, 2007.

SUBRAMANIAN, N. OLIVEIRA, S. F., **Algumas considerações sobre a energia de Hund e a estrutura eletrônica de átomos no ensino de química**. Química Nova, vol. 20, pp. 313{318}, 1997.

USBERCO, João; Salvador, Edgard. **Química Geral**. Volume Único, 1ª.ed. São Paulo: Saraiva, 1997.

VENTURA, M. M.. **O estudo de caso como modalidade de pesquisa**. Revista da Sociedade de Cardiologia do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, v. 20, n. 5, p. 383-386, set./out. 2007.

WARTHA, E.J.; SILVA, E.L.; BEJARANO, N.R.R. **Cotidiano e contextualização no ensino de química**. Química Nova na Escola, v. 35, n. 2, p. 84-91, 2013.

YIN, R. K. **Estudo de caso – planejamento e métodos**. Porto Alegre Bookman, 2001.

