

ADRIANA ARAÚJO DE SOUZA LASKOWSKI¹
TAÍSE CEOLIN²

O Uso da Epistemologia do Coletivo de Pensamento Aliada à Metodologia Ativa Painel Integrado na Abordagem do Modelo Atômico Quântico Moderno

The use of the epistemology of the thought collective combined with the active methodology of the integrated panel in the approach to the modern quantum atomic model

ARTIGO 9

117-138

¹ Professora QPM do Ensino Médio no Estado do Paraná; Licenciada em Química (2007) pela FAFI – Faculdade Estadual de Filosofia, Ciências e Letras. União da Vitória – PR. Licenciada em Física (2023) pela UNIASSELVI – Centro Universitário Leonardo Da Vinci. Campus de Porto União – SC. Especialista em Química: Capacitação de Docentes com ênfase em Tecnologia (2010) pela FAFI. Especialista em Educação Especial e Inclusiva (2014) pela FICA – Faculdades Integradas Camões. Especialista em Metodologia do Ensino de Física (2023) pela FI – Faculdade Iguaçu. Especialista em Metodologia do Ensino de Química (2024) pela UNIASSELVI. Especialista em Docência no Ensino Superior (2024) pela UNIASSELVI. E-mail: adriana.souza19@escola.pr.gov.br.

² Doutora em Educação Científica e Tecnológica, Mestra em Educação nas Ciências, Licenciada em Física e Pedagogia. Docente nos cursos de Licenciatura em Física e Matemática da UNIASSELVI. E-mail: thai.ceolin@gmail.com / taiese.ceolin@regente.uniassevi.com.br.

Resumo: Neste artigo, é apresentada uma sugestão de proposta didática de ensino sobre o tema Modelo Atômico Quântico para os professores de Física utilizarem em suas aulas com os alunos do 3º ano do Ensino Médio. Como estratégia metodológica para o desenvolvimento da investigação, foi utilizada a pesquisa bibliográfica. A proposta surgiu devido às dificuldades em encontrar essa parte da Física Quântica Moderna nos livros de Física voltados para essa modalidade de ensino, com uma abordagem mais contextualizada historicamente, em detrimento da parte matemática, a qual os alunos encontram dificuldade em compreender. Diante dessa conjuntura, propõe-se aos professores de Física abordar o Modelo Atômico Quântico por meio da elaboração de uma proposta didática embasada na Epistemologia do Coletivo de Pensamento, aliada à metodologia ativa Painel Integrado, para percorrer a história do desenvolvimento do seu estudo, de modo que o professor consiga proporcionar aos alunos a apropriação de conceitos científicos necessários para a sua compreensão, bem como fomentar a troca de ideias envolvendo a participação integrada dos Coletivos de Pensamento formados em cada grupo, utilizando, para tal, um total de oito aulas. Na primeira fase, a sequência didática inicia-se com o texto e vídeo relacionados à Computação Quântica; na segunda fase, percorre-se a linha do tempo relacionada às concepções acerca da constituição da matéria desenvolvidas pelos cientistas Niels Bohr, Arnold Sommerfeld, Linus Pauling, Louis de Broglie, Werner Heisenberg e Erwin Schrödinger, os quais contribuíram significativamente para a evolução do Modelo Atômico Quântico, sugerindo-se, para leitura, discussões e montagem do segundo Painel Integrado, o texto do livro didático Compreendendo a Física: Eletromagnetismo e Física Moderna, bem como a sequência didática da Fundamentação Teórica deste artigo. A sequência didática, aliando a Epistemologia Fleckiana e a metodologia ativa Painel Integrado na abordagem da contextualização histórica, mostra-se como uma proposta de grande potencial de aplicação pelos professores de Física, pois possibilita a compreensão, por parte dos alunos, dos conceitos mais abstratos relativos à evolução do Modelo Atômico Quântico.

Palavras-chave: Modelo Atômico Quântico. Coletivo de Pensamento. Painel Integrado. Ensino Médio. Contextualização Histórica.

Abstract: This article presents a suggested didactic teaching proposal on the topic of the Quantum Atomic Model for Physics teachers to use in their classes with third-year high school students. As a methodological strategy for the development of the investigation, bibliographic research was employed. The proposal emerged due to the difficulties in finding this part of Modern Quantum Physics in textbooks aimed at this level of education, with a more historically contextualized approach rather than a mathematical one, which students often find difficult to understand. In light of this context, it is proposed that Physics teachers address the Quantum Atomic Model through the development of a didactic proposal based on the Epistemology of the Thought Collective, combined with the active methodology known as the Integrated Panel, to trace the historical development of the model in such a way that the teacher can provide students with the necessary scientific concepts for understanding it, as well as encourage the exchange of ideas through the integrated participation of the Thought Collectives formed in each group, using a total of eight lessons for this purpose. In the first phase, the didactic sequence begins with a text and video related to Quantum Computing; in the second phase, it follows a timeline concerning the conceptions about the constitution of matter developed by scientists Niels Bohr, Arnold Sommerfeld, Linus Pauling, Louis de Broglie, Werner Heisenberg, and Erwin Schrödinger, who contributed significantly to the evolution of the Quantum Atomic Model. The sequence suggests the reading and discussion of the textbook *Understanding Physics: Electromagnetism and Modern Physics*, as well as the didactic sequence presented in the Theoretical Foundation section of this article, for the construction of the second Integrated Panel. The didactic sequence, combining Fleckian Epistemology with the active Integrated Panel methodology in a historically contextualized approach, proves to have great potential for application by Physics teachers, as it enables students to grasp the more abstract concepts related to the evolution of the Quantum Atomic Model.

Keywords: Quantum Atomic Model. Thought Collective. Integrated Dashboard. High school. Historical Contextualization.

INTRODUÇÃO

A Física é um dos componentes curriculares da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias do Ensino Médio, a qual, segundo a Base Nacional Comum Curricular, deve desenvolver o pensamento científico dos alunos, nortear as leis, teorias e modelos explicativos presentes em seus conteúdos básicos e específicos para o estudo de fenômenos naturais, de modo a permitir a identificação de regularidades, invariantes e transformações do fenômeno em estudo, considerando, para tal, sua elaboração, interpretação e aplicação em sistemas tecnológicos que compõem aspectos essenciais do fazer científico, ou seja, compreendendo que o seu estudo envolve aprendizagens específicas que estão presentes em contextos diversos (Brasil, 2018).

É neste desenvolvimento científico presente em diferentes sistemas tecnológicos que está o ramo da Física Moderna e Contemporânea: a Teoria Quântica Moderna, a qual surge como resultado de várias pesquisas científicas realizadas no final do século XIX e início do século XX, com o intuito de explicar fenômenos que a Física Clássica não explica. Ou seja, o que antes era inimaginável à percepção dos cientistas clássicos passou a constituir uma nova visão de mundo, possibilitando novos horizontes de exploração científica (Pinto; Zanetic, 1999).

Mesmo estando presente nas tecnologias do nosso cotidiano, a Teoria Quântica Moderna não é uma matéria fácil de ser abordada no Ensino Médio, uma vez que seu estudo, inerente à descrição quântica, apoia-se em formalismo matemático e também no surgimento de conceitos que se distanciam da Física Clássica de forma ainda mais acentuada do que esta da Física do senso comum, levando ao surgimento de uma linguagem específica, que é resultado do uso experimental aplicado para estudar os fenômenos relacionados aos temas quânticos (Pinto; Zanetic, 1999).

Dentro dos fenômenos estudados na Teoria Quântica Moderna está o átomo, o qual, segundo Maia (2011, p. 19-20), “é um conceito teórico muito mais complexo do que os que formam o substrato conceitual de uma aprendizagem tradicional. Há nele aspectos estranhos como dualidade onda-partícula, números quânticos, spin, saltos quânticos, para citar apenas alguns”.

Contudo, de acordo com Ramos (2012, p. 12), a Base Nacional Comum Curricular (BNCC), documento oficial que orienta a educação escolar brasileira, aponta que o ensino do Modelo Atômico Quântico “é recomendado nas atuais Orientações Curriculares para o Ensino Médio para as disciplinas de Química e Física”.

É olhando este contexto que surge a seguinte questão-problema:

- Como abordar conceitos universais abstratos da Teoria Quântica Moderna que permeiam o estudo do Modelo Atômico Quântico na compreensão do átomo de forma organizada e contextualizada, histórica e epistemologicamente, a alunos do 3º ano do Ensino Médio?

Nesse sentido, buscando compreender as possibilidades de abordagem do tema no Ensino Médio e propor, para os professores de Física que atuam nesta modalidade de ensino, uma estratégia que contemple uma abordagem de forma contextualizada e epistemológica, foi desenvolvida uma pesquisa bibliográfica envolvendo livros e artigos científicos, o que possibilitou a fundamentação necessária de acordo com os parâmetros estabelecidos para este estudo: Teoria Quântica Moderna, Modelo Atômico Quântico, contextualização histórica, epistemologia científica e Ensino Médio.

Segundo Pinto e Zanetic (1999, p. 8), o ensino da Teoria Quântica Moderna na Física para o Ensino Médio deve pressupor a vivência dos alunos para abordar e relacionar os conhecimentos escolares de forma diversificada e ampla, a fim de atender às especificidades de aprendizagem dos mesmos, pois:

“O formalismo matemático, a observação, a experimentação, os conceitos, as leis, as teorias, a filosofia, a história, a epistemologia, a tecnologia, são exemplos de formas do conhecimento físico que podem possuir afinidades com diferentes alunos”.

Assim, devido à complexidade dos cálculos matemáticos envolvidos no ensino da Teoria Quântica Moderna, bem como no ensino do Modelo Atômico Quântico, é importante considerar, no Ensino Médio, que o seu estudo ocorra a partir do seu contexto histórico, de modo que os alunos percebam as contribuições que envolvem todo o estudo científico deste modelo para o avanço da ciência e da tecnologia (Barbosa, 2018).

A contextualização histórica presente na Epistemologia do Coletivo de Pensamento de Ludwik Fleck faz-se relevante neste processo de construção do conhecimento que norteia o estudo do Modelo Atômico Quântico pelos alunos do Ensino Médio, uma vez que, em sua Epistemologia, Fleck defende a ideia de que todo trabalho científico é um trabalho coletivo, ou seja, é fruto de uma ação coletiva em que há o compartilhamento de práticas, concepções, tradições e normas, caracterizando, por meio de um estilo de pensamento, um modo característico de observar e tratar o objeto do conhecimento, o que determina a forma de análise de um Coletivo de Pensamento em um dado momento histórico (Camelo, 2011).

Com base nas argumentações que embasam, até então, o estudo deste artigo, busca-se, por meio da metodologia ativa Painel Integrado, oportunizar aos professores de Física que atuam no Ensino Médio realizar uma abordagem do Modelo Atômico Quântico, percorrendo a história da sua construção, de modo a proporcionar aos alunos a apropriação de conceitos científicos necessários neste estudo, bem como fomentar a troca de ideias envolvendo a participação integrada dos Coletivos de Pensamento formados em cada grupo (Ferreira, 2020).

O Painel Integrado, segundo Ferreira (2020, p. 1),

é um tipo de metodologia ativa que oportuniza um trabalho que contemple um volume grande de informações em tempo reduzido, percorrendo-se os conteúdos necessários. É uma das técnicas mais dinâmicas usadas em sala de aula, tanto para intercâmbio de ideias, como para participação e integração de novos membros a um grupo; já que promove à comunicação, participação, a cooperação e a integração de todos os membros do grupo. É uma forma do professor trabalhar coletivamente um determinado assunto.

Com essas reflexões, espera-se que a construção desta proposta didática de estratégia de ensino proporcione a ruptura com o formalismo presente na estrutura curricular e metodológica das abordagens tradicionais no ensino deste conteúdo da Física Moderna e Contemporânea.

REFLEXÕES SOBRE A CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA DO ENSINO DA FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA NO CONTEXTO DA EDUCAÇÃO BÁSICA

A atualização na matriz curricular do Ensino Médio, especificamente do componente curricular de Física, tem conduzido à inserção de conteúdos que envolvem os saberes científicos da Física do século XX e início do século XXI, conhecidos como Física Moderna e Contemporânea (Loch; Garcia, 2000).

Proporcionar a abordagem dos conteúdos pertencentes a essa área da Física possibilita “aos estudantes uma leitura do mundo atual, o que torna esses conteúdos mais significativos aos olhos deles, permitindo ainda mostrar aos estudantes a ciência como construção humana, que não está pronta e acabada, mas que é provisória e não neutra” (Loch; Garcia, 2000, p. 2).

Na atualidade, a Ciência e a Tecnologia vêm influenciando as pessoas no seu modo de vida, na maneira de pensar e agir. Dentre essas influências, está o estudo dos fenômenos da natureza, os quais envolvem os modelos submicroscópicos e as propriedades e transformações dos materiais, sendo que a Ciência e a Tecnologia, nesse contexto, tendem a ser encaradas como ferramentas capazes de mostrar cada vez mais, tanto aos indivíduos quanto a sociedade como um todo, o desenvolvimento sociocientífico a partir da possibilidade de estudar novas visões de mundo (Brasil, 2018).

Nessa perspectiva, o Referencial Curricular para o Ensino Médio do Paraná enfatiza que “deve-se compreender o conhecimento científico e

tecnológico pelo viés da história dos modelos físicos, a fim de compará-lo com os atuais e conhecer o desenvolvimento da tecnologia e suas implicações/consequências para a sociedade ao longo do tempo” (Paraná, 2021, p. 453).

É na história da construção dos modelos físicos para explicar e manipular o átomo que a Teoria Quântica deu origem ao Modelo Atômico Quântico, sendo, portanto, imprescindível a sua compreensão para o estudo do sistema quântico atômico e, conseqüentemente, dos fenômenos que ocorrem na natureza e do desenvolvimento tecnológico (Ramos, 2018).

Sendo assim, entende-se que:

Os fenômenos que ocorrem na natureza e as tecnologias dominadas pelo ser humano constituem o grande objeto de estudo da Física Escolar. Portanto, com a ajuda da Física podemos entender melhor o comportamento de partículas microscópicas, como prótons e elétrons, até corpos celestes, como estrelas e seus sistemas planetários. (Paraná, 2021, p. 433).

Quando, na Física Escolar, abordam-se os conteúdos usando a ferramenta didática baseada em modelos representativos, estuda-se, de certa forma, pequenos pedaços da realidade, o que permite a manipulação de variáveis desejadas, em detrimento de outras que seriam prejudiciais ao experimento em estudo, seja este natural ou tecnológico. Trata-se de uma forma de dar sentido ao conteúdo para o estudante, pois possibilita que sejam explorados os aspectos técnicos, sociais e ambientais (Paraná, 2021).

**A CIÊNCIA E A TECNOLOGIA
VÊM INFLUENCIANDO AS
PESSOAS NO SEU MODO
DE VIDA, NA MANEIRA DE
PENSAR E AGIR**

Dentre os documentos da Educação Básica considerados mais recentes, estão as Orientações Curriculares para o Ensino Médio (Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias) (2006), que trazem em sua orientação o ensino do conceito de átomo para o componente curricular de Física, onde, no modelo de constituição, está o “[...] reconhecimento do modelo quântico do átomo como interpretação do comportamento das partículas atômicas a partir de Leis da Física Moderna fundamentadas em princípios diferentes dos previstos pela Física Clássica” (Brasil, 2006, p. 113).

Já em 2018, a BNCC traz em seu escopo o conteúdo da Teoria Quântica Moderna, porém de forma vaga, apresentando, dentro da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, apenas o termo “quântico” como um aprofundamento de conhecimentos estruturantes dentro dos itinerários formativos integrados, não integrando um componente curricular específico a essa área de ensino (Brasil, 2018).

No entanto, é no documento Formação Geral Básica (Currículo para o Ensino Médio), elaborado pela Secretaria de Estado da Educação do Paraná

em 2022, que se encontra a orientação para o ensino da Teoria Quântica Moderna no componente curricular de Física, segundo o qual este ensino deve levar o aluno a “compreender as limitações da Física Clássica para explicar fenômenos relacionados à dualidade onda-partícula e a necessidade de se construir uma nova teoria para dar conta desses fenômenos”, abrindo, assim, a possibilidade de abordagem do Modelo Atômico Quântico na Física Escolar (Paraná, 2022, p. 205).

Essa orientação vai ao encontro da abordagem didática da história contextualizada do Modelo Atômico Quântico, o que ajuda a desconstruir alguns aspectos que geram confusão nos alunos ao estudar a Teoria Quântica Moderna. Além disso, contribui para que percebam que a ciência física teve seu desenvolvimento ao longo da história, sendo construída por pessoas comuns e não apenas por gênios ou indivíduos “escolhidos” para fazer ciência, o que lhes permite, por meio do senso crítico e do discernimento científico, perceber que todos são capazes de entender e produzir ciência, desde que haja esforço e dedicação aos estudos (Biazus; Rosa, 2016).



A EPISTEMOLOGIA DO COLETIVO DE PENSAMENTO DE LUDWIK FLECK ALIADA À METODOLOGIA ATIVA PAINEL INTEGRADO

No conhecimento da Física, o conceito de modelos científicos está presente na natureza desse saber, o que, segundo Batista (2004, p. 466 *apud* Bertogna, 2020, p. 40), pode ser definido como “uma entidade natural ou artificial, relacionada, de alguma forma, à entidade sob estudo ou a alguns dos seus aspectos. Esse modelo é capaz de substituir o objeto em estudo [...]”.

Na concepção de Bunge (1974, p. 16 *apud* Bertogna, 2020, p. 40), os modelos são “[...] um sistema hipotético-dedutivo que concerne a um objeto-modelo, que é, por sua vez, uma representação conceitual esquemática de uma coisa ou de uma situação real ou suposta como tal”.

Diante dessas definições sobre modelo científico, Mendes (2018, p. 52 *apud* Bertogna, 2020, p. 40-41) afirma que:

Há uma diferenciação entre modelos científicos e teorias científicas. As teorias científicas são capazes de oferecer explicações de fenômenos, como regularidades e exceções, prever resultados e identificar propriedades inerentes ao objeto de estudo. Já os modelos científicos, são estruturas mais circunscritas que podem aplicar princípios gerais das teorias em diferentes casos.

Desse modo, a construção do saber envolvendo o Modelo Atômico Quântico deve constituir um momento em que o aluno, partindo de seu desempenho sobre o objeto em estudo, passe a desenvolver elaborações mentais cada vez mais complexas e totalizantes, de modo a atingir a sua essência (Diógenes *et al.*, 2020).

Assim, busca-se, neste artigo, utilizar a contextualização histórica na perspectiva da filosofia da ciência contida na Epistemologia do Coletivo de Pensamento de Ludwik Fleck, de forma didática

na abordagem do Modelo Atômico Quântico, a fim de nortear sua contextualização histórica dentro da Teoria Quântica Moderna, quanto aos principais questionamentos e às tentativas de solução que levaram à proposição desse modelo teórico para explicar e manipular o átomo. Espera-se que, por meio dessa abordagem, o professor possa proporcionar ao aluno uma visão ampla quanto ao caminho percorrido pelos cientistas para se chegar a esse saber, bem como estimular os estudantes a construir novos conceitos.

Para Fleck, os processos de formulação das teorias, bem como as interações entre sujeito, objeto e saber, devem vir acompanhados de uma abordagem, acima de tudo, sociológica, ou seja, admitindo que os condicionamentos sociais passam todas as etapas de produção do conhecimento (Saito, 2018).

Sobre as interações, Fleck afirma que o saber nasce das relações históricas e estilísticas, ou seja, no Coletivo de Pensamento, que media a interação entre o objeto e o processo do conhecimento, desencadeando um estilo de pensamento. Considera-se que, ao abordar um saber a partir do que já é conhecido, amplia-se, renova-se e atribui-se sentido a esse saber, de tal modo que o conhecimento se origina em um processo que influencia a maneira de estudar o novo conhecimento (Fleck, 2010; Saito, 2018).

Para desenvolver essas ideias, é importante considerar que tanto a educação escolar quanto o professor de Física possuem um papel relevante na circulação exotérica (entre não especialistas) de ideias, a qual ocorre por meio de práticas educacionais que podem transformar um estilo de pensamento. Ou seja, ao mediar o processo educativo escolar, o professor torna possível aos alunos que pertencem ao círculo exotérico (leigos formados) apropriar-se de elementos que pertencem aos vários estilos de pensamento produzidos por outros Coletivos de Pensamento nos círculos esotéricos (especialistas), como é o caso de cientistas e historiadores (Sangiogo; Marques, 2012).

Nesse processo de produção do conhecimento por meio de Coletivos de Pensamento, a metodologia ativa Painel Integrado vem corroborar, pois se trata de um dispositivo pedagógico que apresenta possibilidades de os alunos terem uma maior integração, uma vez que amplia a socialização de leituras de textos pertinentes às disciplinas sugeridas pelo professor, além de aprofundar a discussão sobre os mesmos, de modo a estimular e envolver os estudantes a interagirem e terem mais participação (Diógenes *et al.*, 2020).

METODOLOGIA

A presente pesquisa caracteriza-se como de natureza aplicada, pois busca gerar conhecimento voltado à solução de problemas específicos no contexto educacional, contribuindo para a prática pedagógica. Segundo Severino (2007), a pesquisa aplicada objetiva transformar conhecimentos teóricos em ações práticas, respondendo a demandas concretas. No caso deste estudo, o foco está na elaboração de uma sequência didática que facilite a abordagem do Modelo Atômico Quântico, um tema complexo e abstrato, com alunos do 3º ano do Ensino Médio, visando promover uma aprendizagem significativa e contextualizada.

Quanto aos seus objetivos, esta pesquisa é exploratória, uma vez que visa proporcionar maior familiaridade com o tema, com vistas ao desenvolvimento de ideias ou hipóteses que subsidiem o processo de ensino-aprendizagem. De acordo com Gil (2008), as pesquisas exploratórias são especialmente úteis quando o problema de estudo ainda não foi claramente delimitado ou quando o pesquisador busca uma compreensão mais aprofundada dos fenômenos analisados. Nesse sentido, o estudo busca compreender como o ensino do Modelo Atômico Quântico pode ser aprimorado para atender às necessidades de estudantes em um contexto escolar.

Metodologicamente, trata-se de uma pesquisa bibliográfica, pois se fundamenta na análise de material já publicado, como livros, artigos científicos e outros documentos relevantes sobre o tema. Para Lakatos e Marconi (2003), a pesquisa bibliográfica permite ao pesquisador reunir e analisar as contribuições teóricas que fundamentam seu trabalho, constituindo-se em um processo indispensável para a construção de novos saberes. No caso deste estudo, a revisão bibliográfica inclui a análise de referenciais teóricos sobre metodologias de ensino

e a abordagem de conceitos da Física Quântica no Ensino Médio, realizada nas bases de dados do Portal de Periódicos da Capes e do Google Scholar.

Foram selecionados também alguns livros didáticos de Física enviados pela Secretaria de Educação às escolas estaduais do Paraná, referentes ao 3º ano do Ensino Médio, os quais foram analisados qualitativamente em relação às propostas e abordagens relacionadas ao tema “Modelo Atômico Quântico”, e serviram como base para a organização da proposta didática apresentada neste artigo, quanto à articulação entre teoria e prática pedagógica do uso do Paine Integrado, incluindo também sua estruturação por meio da Epistemologia de Fleck, cujos resultados são apresentados na próxima seção.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ao realizar a revisão bibliográfica para responder à questão-problema, foram encontradas dificuldades para localizar, em artigos científicos, estudos dos cientistas Arnold Sommerfeld e Linus Pauling relacionados às suas contribuições para a construção do Modelo Atômico Quântico. Da mesma forma, identificou-se uma maior quantidade de abordagens sobre o Modelo Atômico Quântico no âmbito da ciência Química do que na Física; contudo, mesmo esses estudos na Química ainda não contemplavam, de forma efetiva, as contribuições de Sommerfeld e Pauling para a compreensão desse modelo.

A mesma dificuldade foi observada nos livros didáticos de Física utilizados pelas escolas estaduais do Paraná para o 3º ano do Ensino Médio. Dentre os livros analisados:

- Os Fundamentos da Física: Eletricidade.
- Introdução à Física Moderna.
- Análise Dimensional, Física, Física para o Ensino Médio: Eletricidade.

- Física para o Ensino Médio: Eletricidade e Física Moderna.
- Compreendendo a Física: Eletromagnetismo e a Física Moderna.

Somente este último contempla todos os cientistas abordados neste artigo. No entanto, ainda que traga esses nomes, sua abordagem permanece, em grande parte, centrada em cálculos matemáticos, embora em menor proporção do que os demais livros citados. A contextualização histórica, por sua vez, ainda se mostra bastante limitada. Os outros livros, além de manterem a ênfase nos cálculos, não abordam todos os cientistas aqui propostos no estudo do Modelo Atômico Quântico.

Nesse sentido, a partir dos estudos desenvolvidos, elaborou-se uma proposta didática de abordagem do Modelo Atômico Quântico para ser utilizada por professores de Física com alunos do 3º ano do Ensino Médio, a qual pode ser adaptada e aplicada em escolas de diferentes regiões do Brasil.

Sugere-se que sejam destinadas quatro (4) aulas, com duração de 55 minutos cada, para a realização da atividade, garantindo tempo suficiente para explicar a didática do Paine Integrado e para a formação dos grupos de Coletivos de Pensamento, com espaço para discussões e exposições. Antes da aplicação do Paine Integrado, recomenda-se que o professor de Física já tenha abordado previamente o conteúdo da Teoria Quântica Moderna e consolidado, entre outros conceitos, a ideia de *quantum*, para então avançar para a contextualização histórica dos estudos realizados pelos cientistas Niels Bohr, Arnold Sommerfeld, Linus Pauling, Louis de Broglie, Werner Heisenberg e Erwin Schrödinger, os quais culminaram no desenvolvimento do Modelo Atômico Quântico (ver ANEXO A).

Dessa forma, os estudantes já terão se apropriado dos conceitos e da linguagem específica desse conteúdo, situando esta proposta didática como etapa de finalização e consolidação das aprendizagens acerca dos modelos atômicos.

PROPOSTA DIDÁTICA DE ABORDAGEM DO MODELO ATÔMICO QUÂNTICO NO 3º ANO DO ENSINO MÉDIO

Para iniciar a aula, o professor deve ter em mãos os materiais que serão utilizados: TNT ou papéis coloridos (já cortados nas cores sugeridas e de acordo com o número de alunos da turma), folhas de papel sulfite, canetas, canetões e fita adesiva larga (durex), que serão utilizados pelos alunos na organização das atividades.

Enquanto os alunos discutem as questões em seus respectivos grupos de Coletivos de Pensamento, o professor deve aproveitar o momento para organizar, na lousa da sala de aula, quatro cartolinas, que servirão para a construção do primeiro painel pelos Grupos de Coletivos de Pensamento (GCP), com os seguintes temas:

1. Relação Computação Quântica x Teoria Quântica.
2. Características da Computação Quântica.
3. Inovação da Computação.
4. Construção de conhecimentos envolvendo a Computação Quântica.

1. ORGANIZAÇÃO DO ESTUDO PARA A CONSTRUÇÃO DO PAINEL INTEGRADO 1

a) Primeiro momento: Formando os GCP: o professor deve organizar a formação dos GCP, explanando para os alunos o seu significado (pode entregar por escrito, usando a definição contida neste artigo), com no máximo cinco alunos por grupo; a divisão pode ser feita com cores: como sugestão, podem ser usadas cinco cores de TNT (azul, amarelo, vermelho, branco, verde) cortados em tirinhas, onde cada aluno receberá uma cor e deverá ser orientado a amarrar no braço e após formar os GCP de acordo com a cor, ou seja, reunindo-se com seus pares, estes devem ser orientados a escolherem um redator.

b) Segundo momento: Discussões nos GCP: o professor deve entregar para cada grupo 2 folhas sulfite, 1 canetão, 1 caneta e as perguntas abaixo:

1. Qual a relação da Computação Quântica com os estudos da Teoria Quântica?
2. Quais as principais características da Computação Quântica?
3. Por que é necessário inovar na área da computação?
4. Os estudos para a construção dos conhecimentos que envolvem a Computação Quântica ocorrem por meio individual ou coletiva?

O professor pode passar no projetor multimídia (data show) o vídeo: “O que é Computação Quântica? Computação Quântica: o que é História e aplicações 13”, e em seguida entregar para cada grupo o texto: “Quando teremos computação quântica em escala comercial? 14” – caso a escola tenha notebooks e internet, o professor

pode usar um notebook para cada GCP ao invés de passar o vídeo no projetor multimídia e entregar o texto impresso. Para este momento, ofertar 15 minutos para as discussões e anotações.

c) Terceiro Momento: Formação de novos GCP: a formação de novos GCP deve ter membros de todas as cores para juntar as informações e discutir. Destinar mais 15 minutos para que os alunos dialoguem sobre as compreensões que chegaram com o grupo inicial (mesmas cores).

d) Quarto Momento (Final): explanação de cada um dos temas do painel por um representante de cada GCP ao grande grupo. Destinar 10 min. para cada grupo.

2. ESTUDO PARA A CONSTRUÇÃO DO PAINEL INTEGRADO 2

a) Primeiro momento: Formando os GCP: o professor poderá fixar na lousa da sala de aula quatro cartolinas para a construção do segundo painel pelos GCP com os temas:

1. Características do Modelo Atômico Quântico
2. Relação do Modelo Atômico Quântico x Teoria Quântica Moderna
3. Inovação do Modelo Atômico Quântico
4. Construção de conhecimentos que desenvolveram o Modelo Atômico Quântico

b) Segundo momento: o professor deve seguir as orientações dadas anteriormente quanto à formação de GCP dando 15 minutos para cada formação (grupos com membros da mesma cor e depois para os grupos com membros de cada cor) realizar as discussões e anotações; sugere-se que o professor use o livro didático “Compreendendo a Física. Eletromagnetismo e Física Moderna”¹⁵, especificamente o capítulo 13 – Origens da Física Quântica, unidade 4 – Física Moderna, p. 246 a p.

251, e o capítulo 14 – A Nova Física, unidade 4 – Física Moderna, p. 253 a p. 260, para entregar aos grupos como material de apoio. Sugere-se ainda que o professor neste estudo suprima a parte dos cálculos deixando as fórmulas para que os alunos entendam que elas existem e que deram suporte para este estudo, porém, o mais importante é que o professor direcione o estudo a partir de uma abordagem Histórica da Física sem adentrar na parte dos cálculos. Após, solicitar que os grupos discutam e respondam as perguntas a seguir:

1. Quais as principais características do Modelo Atômico Quântico no estudo dos cientistas: Niels Bohr, Arnold Sommerfeld, Linus Pauling, Louis De Broglie, Werner Heisenberg, Erwin Schrödinger?
2. Como os estudos dos cientistas se relacionam?
3. Por que é necessário inovar o estudo do átomo?
4. Os estudos para a construção do Modelo Atômico Quântico que envolve a Teoria Quântica Moderna ocorrem por meio individual ou coletiva?

Terceiro Momento (Final): o representante escolhido em cada GCP tem 15 minutos para discursar e formar o Painel Integrado 2.

Após a aplicação da sequência didática, sugere-se que os painéis construídos pelos grupos, fiquem expostos na sala de aula.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar da relevância histórica e tecnológica da Teoria Quântica Moderna evidenciada, por exemplo, pela Computação Quântica, a abordagem de tópicos como o Modelo Atômico Quântico no Ensino Médio ainda enfrenta obstáculos significativos. Entre eles, destaca-se a ausência de uma contextualização histórica robusta nos livros didáticos, os quais frequentemente priorizam aspectos matemáticos complexos, inadequados à compreensão inicial dos estudantes.

A proposta didática apresentada neste artigo busca mitigar essas dificuldades, oferecendo aos professores de Física uma abordagem que combina a Epistemologia do Coletivo de Pensamento com a metodologia ativa Painel Integrado. Essa combinação permite não apenas a compreensão dos conceitos científicos essenciais ao tema, mas também estimula a participação ativa e colaborativa dos alunos, favorecendo o engajamento e a aprendizagem significativa.

Os resultados deste estudo indicam que a integração de uma contextualização histórica com metodologias ativas tem o potencial de tornar conteúdos abstratos mais acessíveis e relevantes para os estudantes. Além disso, a proposta promove a percepção de que a ciência é uma construção coletiva, em constante evolução, e não algo estático ou inalcançável. Essa compreensão pode despertar nos alunos um maior interesse em aprofundar seus estudos na área, seja no ensino técnico ou superior.

Para trabalhos futuros, seria interessante avaliar a implementação desta proposta em diferentes contextos escolares, considerando variáveis como a formação docente, a infraestrutura disponível e o perfil socioeconômico dos alunos. Também seria relevante expandir essa abordagem para outros tópicos da Física Moderna e Contemporânea, investigando como ela poderia contribuir para a formação de um pensamento científico mais crítico e integrado.

Dessa forma, este artigo não apenas propõe soluções pedagógicas, mas também convida a comunidade educacional a refletir sobre os desafios e as possibilidades do ensino da Física Quântica no Ensino Médio, reforçando o compromisso com uma educação que valorize a história, a epistemologia e a inclusão científica.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, L. Q. **Modelo Atômico Quântico**: uma análise dos livros didáticos utilizados em escolas de ensino médio dos municípios de São Mateus e Conceição da Barra. 2018. Monografia (Licenciatura em Química) – Departamento de Ciências Naturais, Universidade Federal do Espírito Santo, São Mateus, 2018.

BERTOIGNA, J. P. S. **O Bacharelado em Física no Brasil**: uma discussão de noções de docentes a respeito da Natureza da Ciência. 2020. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Centro de Ciências Exatas, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2020.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, DF: MEC, 2018.

BRASIL. Secretaria de Educação Básica. **Orientações Curriculares para o Ensino Médio**: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. v. 2. Brasília, DF: Ministério da Educação, 2006.

CAMELO, A. P. A Ciência Condicionada pelo Histórico e pelo Social: a construção de um fato científico na obra de Ludwik Fleck. **RECIIS- Revista Eletrônica de Comunicação, Informação e Inovação em Saúde**, Rio de Janeiro, v. 5, n. 3, set. 2011.

DIÓGENES, L. M. M. B. *et al.* Painel integrado: recurso didático-pedagógico no processo ensino-aprendizagem. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 4, p. 20462-20474, 2020.

FERREIRA, D. N. da S. Painel Integrado. In: SIMPÓSIO DE PESQUISAS E PRÁTICAS PEDAGÓGICAS DO UGB, 17., 2020, [S.L.]. **Anais [...]**. [S.L.]: UGB, n. 8, mar. 2020. Disponível em: <http://revista.ugb.edu.br/ojs302/index.php/simposio/article/view/2105>. Acesso em: 15 mar. 2023.

FLECK, L. **Gênese e desenvolvimento de um fato científico**. Belo Horizonte: Fabrefactum, 2010.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. de A. **Fundamentos de metodologia científica**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

LOCH, J.; GARCIA, N. M. D. Física Moderna e Contemporânea na Sala de Aula do Ensino Médio. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 7., 2009, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis: ABRAPEC, 2009.

MAIA, M. C. **Uma abordagem do Modelo Padrão da Física de Partículas acessível a alunos do Ensino Médio**. 2011. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

PARANÁ. Secretaria de Estado da Educação e do Esporte. **Formação Geral Básica**: currículo para o Ensino Médio. Curitiba: SEED/PR, 2022.

PARANÁ. Secretaria de Estado da Educação e do Esporte. **Referencial Curricular para o Ensino Médio do Paraná**. Curitiba: SEED/PR, 2021.

PINTO, A. C.; ZANETIC, J. É possível levar a Física Quântica para o Ensino Médio? **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 16, n. 1, p. 7-34, 1999.

RAMOS, L. C. **Os conceitos de quantum de uma grandeza e dualidade onda-partícula no ensino do modelo atômico**. 2018. Dissertação (Mestrado em Ensino, Filosofia e História das Ciências) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2018.

SAITO, M. T. **A gênese e o desenvolvimento da relação entre Física Quântica e Misticismo e suas contribuições para o ensino de ciências**. 2018. Tese (Doutorado em Ciências) – Programa de Pós-graduação Interunidades em Ensino de Ciências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

SANGIOGO, F. A.; MARQUES, C. A. Potencialidades da abordagem psico-sócio-histórico-cultural da epistemologia de Fleck aos processos de ensino e aprendizagem em ciências. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE ENSINO DE QUÍMICA, 16.; ENCONTRO DE EDUCAÇÃO QUÍMICA DA BAHIA, 10., 2012, Salvador. **Anais [...]**. Salvador: UFBA, 2012.

SEVERINO, A. J. **Metodologia do trabalho científico**. 23. ed. São Paulo: Cortez, 2007.

ANEXO A

A Contextualização Histórica Científica que Permeia a Construção do Modelo Atômico Quântico

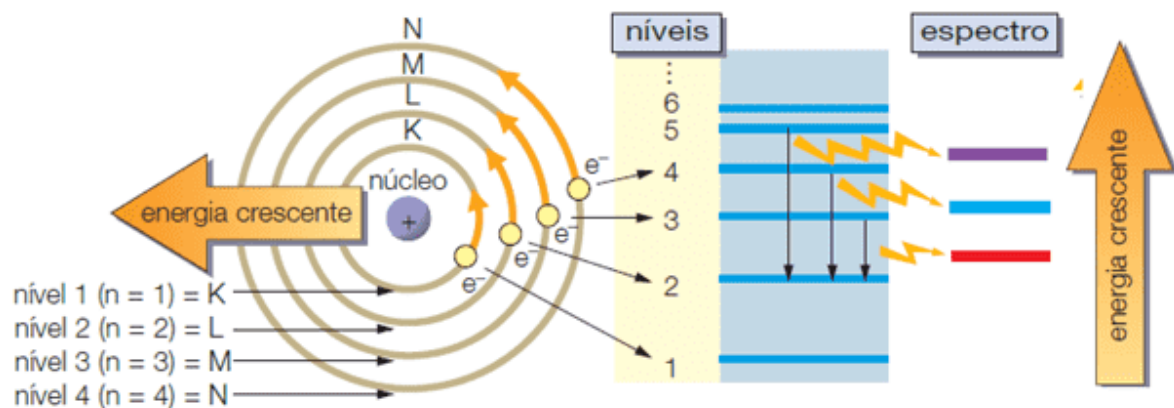
Na segunda metade do século XIX, a crescente necessidade de se obter explicação plausível entre os cientistas para os resultados experimentais e de realizar pesquisas que contemplassem o desenvolvimento de novas tecnologias aplicadas à crescente industrialização, desencadearam no estabelecimento de uma nova área de estudos da Física, a Teoria Quântica Moderna, onde vários cientistas vieram contribuir na construção do Modelo Atômico Quântico, o qual é o modelo mais atual utilizado pela comunidade científica para estudar e descrever as propriedades e as interações e transformações entre os átomos e as moléculas. (Ramos, 2018).

a) O Modelo Quantizado para o Átomo de Bohr

No ano de 1913, o físico Dinamarquês Niels Henrik David Bohr, procura desenvolver a sua Teoria Atômica a partir da Teoria Atômica do Modelo Planetário para o átomo do seu professor Ernest Rutherford (1911), segundo a qual propunha que em volta do núcleo positivo do átomo os elétrons com suas cargas negativas descrevem órbitas; essa descrição foi válida para átomos com um elétron apenas. (Bail, 2019).

Buscando resolver tal problema, Bohr realizando experimentos com o átomo de hidrogênio, dispôs da constante de Planck para quantizar as orbitas eletrônicas, ou seja, Bohr postulou primeiro que apenas algumas trajetórias seriam estáveis, por isso o elétron não poderia orbitar a qualquer distância do núcleo; segundo postulou que ao passar de uma órbita para outra, acontece absorção ou emissão de um quantum de energia, ou seja, radiações eletromagnéticas de frequência bem definida pelo elétron, tratando assim, da inadequação do eletromagnetismo clássico para as transições dos elétrons entre os diferentes estados estacionários (Bail, 2019).

Figura 1 – Modelo quantizado do átomo de Bohr e raios espectrais



Fonte: Modelo Atômico de Bohr. Disponível em: <https://querobolsa.com.br/enem/quimica/modelo-atomico-de-bohr>. Acesso em: 11 de Março de 2023.

Assim, pode-se dizer resumidamente que em seus estudos,

Bohr utilizou em seu modelo as órbitas estacionárias e quantizou o momento angular dos elétrons. Além de explicar a estabilidade do átomo de hidrogênio, Bohr associa as linhas encontradas nas análises espectrais dos elementos químicos a transições descontínuas entre as órbitas, os conhecidos “saltos quânticos”. (Brockington, p. 43, 2005).

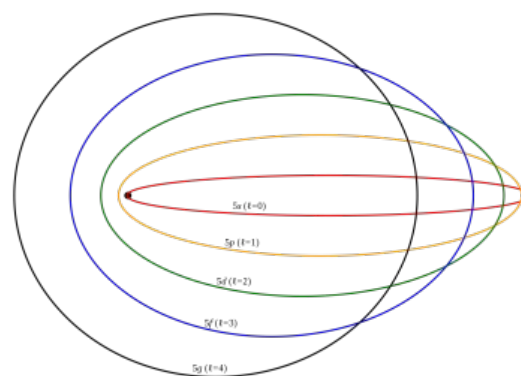
Na época em que foi publicado, “o Modelo Atômico de Bohr surpreendeu muito os físicos da época, por fazer previsões teóricas sobre a constante de Rydberg e o espectro de emissão do hidrogênio que estavam em consonância com os dados experimentais”. (Bail, p. 29, 2019).

No entanto, mesmo havendo contribuído na explicação de pontos importantes da Física construída até então, envolvendo questões relacionadas aos fenômenos da matéria não explicados pela Teoria Quântica Clássica, o Modelo Atômico para átomo de Bohr, apresentou inconsistências, pois não descrevia átomos mais complexos, e nem certos fenômenos físicos, tornando-se epistemologicamente questionável devido à quantia de postulados, sendo em 1925 com os conceitos propostos separadamente pelos cientistas Louis De Broglie, Werner Heisenberg e Erwin Schrodinger, substituído por novas interpretações feitas por estes cientistas sobre o átomo, surgindo assim a área mais intrigante da Física Moderna: A Teoria Quântica Moderna. (Bail, 2019).

b) Modelo das Órbitas Elípticas para o Átomo de Sommerfeld-Bohr

Buscando uma generalização teórica que explicasse os átomos com mais de um elétron em sua órbita, em 1915, o físico Arnold Johannes Wilhelm Sommerfeld, procurou fazer uma correção relativística no Modelo Atômico de Bohr, estendendo a Teoria Quântica para outros átomos, o que possibilitou explicar a periodicidade dos elementos químicos; no entanto, surgiram sérios problemas, os quais não podiam ser tratados por qualquer enfoque teórico, como por exemplo, o átomo de hélio, demonstrando que o Modelo Atômico proposto, ainda possuía uma fragilidade inerente à sua formulação. (Brockington, 2005).

Figura 2 – Modelo Atômico De Sommerfeld: Uma Extensão Ao Modelo Atômico De Bohr



Fonte: Energia Nuclear. Modelo Atômico de Sommerfeld, uma Extensão ao Modelo de Bohr. Disponível em: <https://pt.energia-nuclear.net/que-e-a-energia-nuclear/atoms-models-atomic-model-atomic-de-sommerfeld>. Acesso em: 11 de Março de 2023.

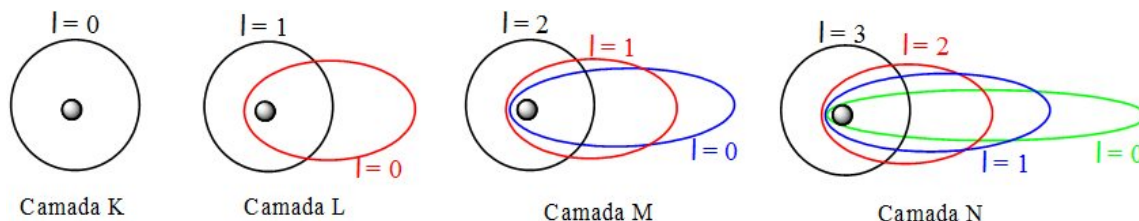
Em seus estudos envolvendo os postulados do Modelo Atômico de Bohr, Sommerfeld introduziu a relatividade especial na mecânica do átomo o que lhe permitiu desenvolver uma representação mais detalhada de espectros atômicos mais complexos e explicar observação nas raías de espectros atômicos do fenômeno da estrutura fina, o qual não havia sido contemplado pelo Modelo Atômico de Bohr. (Leite, 2008).

Para Sommerfeld o Modelo Atômico para o átomo segue as bases da mecânica quântica, o que possibilitou que ele concluísse de seus estudos que os elétrons possuíam orbitas elípticas e circulares – uma órbita tinha o formato circular (s) e as demais, eram elípticas, as quais ficavam em volta do núcleo do átomo. (FÍSICA DAS RADIAÇÕES, 2018).

Ainda segundo os seus estudos, a energia liberada pelo fóton deve-se ao fato das camadas eletrônicas terem algumas subdivisões (subníveis energéticos – d, f, s, p) que compõem o nível ou camada de energia possuindo em suas órbitas elípticas um segundo número quântico nomeado de número quântico secundário (l), o qual por meio da equação: $l = n - 1$, permite descrever as energias, as suas subcamadas de energia e o seu momento angular. (FÍSICA DAS RADIAÇÕES, 2018).

Assim, Sommerfeld pode interpretar os espectros com várias linhas justapostas, ou seja, as camadas definidas por Bohr (K, L, M, N...) possuem subcamadas contendo órbitas elípticas e também vários momentos angulares (FÍSICA DAS RADIAÇÕES, 2018).

Figura 3 – Modelo atômico de Sommerfeld e as subcamadas contendo órbitas elípticas



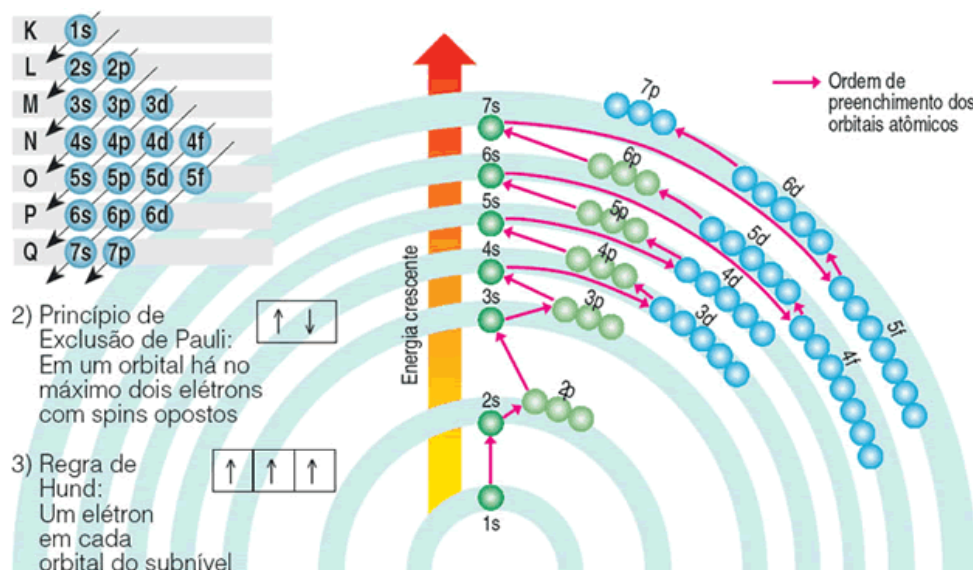
FONTE: FÍSICA DAS RADIAÇÕES. Modelo Atômico de Sommerfeld. 2018. Disponível em: https://fisicadasradiacoes.org/?page_id=15. Acesso em: 11 de Março de 2023.

Ao manter os conceitos trazidos no Modelo Atômico de Bohr, Sommerfeld pode deixar intacta o elétron e sua natureza quântica, adicionando a estes os subníveis de energia, os quais possibilitam observar a emissão dos espectros e suas linhas justapostas múltiplas nas raias, sendo estas explicadas pelo segundo número quântico, a proposta feita por Sommerfeld conseguiu explicar como a emissão dos espectros apresentava várias linhas múltiplas nas raias espectrais com relação conceitual na espectroscopia. (FÍSICA DAS RADIAÇÕES, 2018).

c) Modelo da exclusão para o Átomo de Pauling

Um desenvolvimento notável na constituição da Teoria Quântica Moderna foi a formulação do Princípio de Exclusão por parte do químico quântico e bioquímico Linus Carl Pauling no final do ano de 1924, “segundo o qual dois elétrons idênticos, com os mesmos números quânticos, não podem ocupar simultaneamente o mesmo estado quântico. Esse princípio permitiu entender não só a organização dos elétrons nos átomos, mas também as propriedades dos elementos químicos.” (Leite, 2008, p. 36-37).

Figura 4 – Modelo atômico de Pauling e o princípio de exclusão



FONTE: PORTAL DE FÍSICA E QUÍMICA. Curso de Física e Química Online. Aula 3 - 22/08/2012 Subnível e tabela periódica/Propriedades periódicas. 2012. Disponível em: <http://cursodefisicaequimica.blogspot.com/2012/08/aula-3-22082012-subnivel-e-tabela.html>. Acesso em: 18 de Março de 2023.

Os números quânticos a que Pauling faz menção no Princípio da Exclusão, refere-se ao fato de em um átomo não poder existir mais de um elétron contendo um dado conjunto de valores para os números quânticos n (principal), ℓ (secundário), m (magnético) e m_s (spin), o que significa que, em cada orbital podem existir até dois elétrons, sendo que um terá o spin “para cima” enquanto o outro terá o spin “para baixo”. (UFSM, 2020).

d) Modelo onda-partícula para o Átomo de Broglie

Por 10 anos, o Modelo Atômico de Bohr “(e a adaptação deste feita por Sommerfeld) foi o grande representante da chamada “antiga teoria atômica”, não havendo grandes alterações na forma como se pensava o átomo”. (Bail, 2019, p. 30).

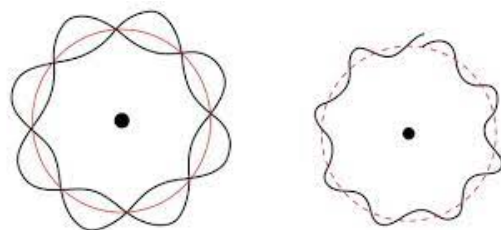
Em 1923 o físico francês Louis De Broglie, propôs na sua tese de doutorado intitulada Pesquisas sobre a Teoria dos Quanta defendida na Sorbonne em novembro, uma hipótese para explicar a Física por trás da estrutura atômica envolvendo a estabilidade quântica do átomo posta nos postulados que constituem o Modelo Atômico de Bohr, mudando mais uma vez a forma como o átomo, e em especial, o elétron, era entendido até então. (Leite, 2008; Bail, 2019).

De acordo com a proposta de Broglie, a noção de ondas de matéria estaria relacionada ao momento linear de uma partícula com o comprimento de onda, ou seja, todo corpo microscópico seria ao mesmo tempo onda e partícula, como é o caso do elétron, o qual de acordo com os seus estudos, estaria em volta do núcleo associado a uma onda estacionária, tendo sua comprovação pelo fato do comprimento de onda associado ao elétron ser exatamente o mesmo comprimento da primeira órbita circular modelo do Atômico proposto por Bohr. (Leite, 2008; Chiarelli, 2006).

Em seus estudos, De Broglie realizou algumas substituições físico-matemáticas, para manipular as equações que descrevem a trajetória de uma partícula, comparando-as com a propagação de uma onda, baseando-se em teorias anterior-

mente estabelecidas, de modo que às equações referentes à partícula conservarem propriedades da onda, fossem matematicamente relacionadas com a velocidade de uma partícula, o que possibilitou explicar a correlação do comprimento de onda da partícula com seu respectivo momento angular. (Bail, 2019).

Figura 5 – Modelo atômico de Broglie



FONTE: ELECTRICIDADE 10-13. Átomo de Broglie. Disponível em: <https://electricidad10-13.blogspot.com/2020/02/propuesto-por-el-fisico-frances-louis.html>. Acesso em: 11 de Março de 2023.

Sabendo que nos estudos ondulatórios da matéria realizadas no experimento da fenda dupla com elétrons observa-se a produção do mesmo caráter de interferência como ondas, Broglie considera que em uma partícula material, às ondas estacionárias e o comprimento da órbita de um elétron em um determinado raio, deveria conter um número inteiro de comprimento de onda, o que possibilita atribuir propriedades corpusculares e ondulatórias à matéria. (Chiarelli, 2006).

e) Modelo do Princípio da Incerteza de Heisenberg para o Átomo

Em 1925, o físico alemão Werner Karl Heisenberg em seu estudo atômico buscava descrever a posição do elétron, para tal partiu da ideia formulada por Broglie, o qual não considerava o elétron como partícula e sim com características de simultâneas de onda e de partícula; para comprovar tal teoria, Heisenberg incidiu uma energia radiante sobre o elétron concluiu que não conseguia observar com exatidão em simultaneamente à velocidade e a posição do elétron em um determinado instante, o que inviabiliza o cálculo da trajetória desta partícula por falta de informações,

o que o levou a caracterizar este fenômeno como Princípio da Incerteza. (Barbosa, 2018; Silva et al, 2021; Silva; Cunha, 2008).

Assim de acordo com Heisenberg apud Silva e Cunha (2008, p. 4) em um sistema quântico, “pode medir-se com grande exatidão a posição [de um sistema quântico], mas então a influência do instrumento de medida dificulta em certo grau o conhecimento da velocidade; e inversamente, dificulta-se o conhecimento da posição ao fazer uma medida exata da velocidade (...)”.

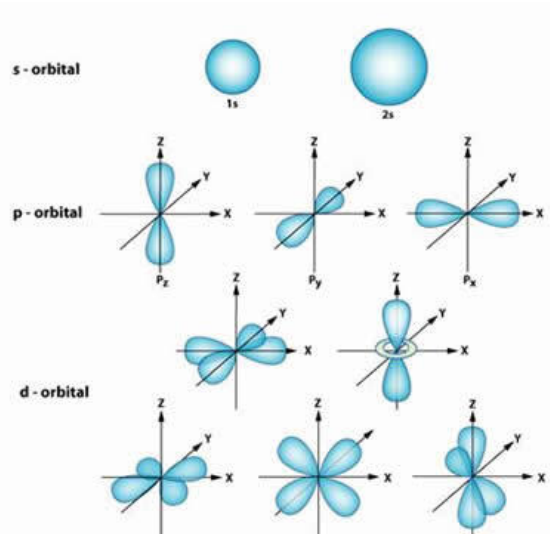
f) Modelo do Orbital Tridimensional para o Átomo de Schrödinger

Em 1926 o cientista Austríaco Erwin Schrödinger estudando o Modelo Atômico de seus antecessores, procura uma forma de desenvolver um cálculo que possibilite determinar em qual região da eletrosfera existe uma probabilidade favorável para encontrar o elétron, buscando deste modo, solucionar a consequência do Princípio da Incerteza de Heisenberg; para tal propõe “a substituição da trajetória dos elétrons por uma função de onda, Ψ^1 , a qual atribui valores em função de determinada posição do elétron, descrevendo a característica ondulatória da matéria baseada na mecânica quântica ou mecânica ondulatória”. (Silva *et al.*, 2021; Barbosa, 2018, p. 26).

De acordo com os estudos de Schrödinger, para o estudo do Modelo Atômico Quântico, uma solução da equação diferencial é a função de onda, a qual representa o estado de um sistema quântico composto por um conjunto de números quânticos, ou seja, resulta na representação dos correspondentes estados eletrônicos por meio dos possíveis valores de energia e das funções de onda. (Silva; Cunha, 2008; Silva; Cunha, 2023).

¹ A equação de Schrödinger representa um comportamento ondulatório, motivo pelo qual foi batizada pela letra grega Ψ , utilizada para descrever ondas.

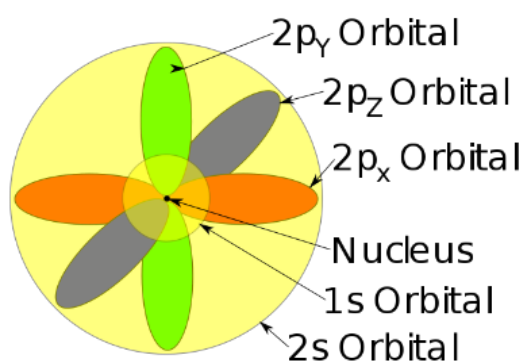
Figura 6– Modelo atômico de Schrödinger: números quânticos



FONTE: CESAR, Paulo. Números Quânticos. Portal de Estudos da Química. Disponível em: https://www.profpc.com.br/n%C3%BAmeros_qu%C3%A2nticos.html. Acesso em: 12 de Março de 2023.

Schrödinger buscando desenvolver em seus estudos as ideias de Broglie trabalhou somente com ondas contínuas, ou seja, ondas que não possuem a singularidade de permitir a localização espacial da partícula e ignorou as condições iniciais das partículas, o que lhe possibilitou postular o conceito central para o Modelo Atômico Quântico atual: a existência de próximo ao núcleo do átomo haver uma região com maior probabilidade de se encontrar o elétron, a qual foi denominada de orbital, definindo por meio de equações de propagação de onda os possíveis movimentos de uma partícula material concebendo uma nova Teoria para Mecânica Quântica. (Santos, 2010; Silva et al, 2021).

Figura 7- Modelo atômico de Schödinger: orbital atômico



FONTE: MAESTRO VIRTUAL. Modelo Atômico de Shödinger: Características, Postulados. Disponível em: <https://maestro-virtuale.com/modelo-atomico-de-Schrödinger-caracteristicas-postulados/>. Acesso em: 12 de Março de 2023.

Portanto, em síntese, pode-se afirmar que no Modelo Atômico Quântico, o átomo pode ser entendido como um sistema quântico que possui um núcleo e a sua volta estão os elétrons com valores discretos de energia, sendo que o movimento destes elétrons não pode ser totalmente descrito, uma vez que as suas trajetórias são indeterminadas, porém há uma possibilidade probabilística de encontrá-los em setores determinados, ou seja, pelo conjunto de números quânticos que constitui a eletrosfera em torno do núcleo atômico seja matematicamente calculada. (Silva; Cunha, 2023; Silva; Cunha, 2008).

REFERÊNCIAS:

BAIL, Lucas Chibeloski. **Da Natureza Dual da Matéria:** Proposta de Material Temático como Forma de Mediação de Conceitos Filosóficos para a Graduação em Física. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso Superior de Licenciatura em Física do Departamento Acadêmico de Física - DAFIS - da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Curitiba, 2019.

BROCKINGTON, Guilherme. **A Realidade Escondida:** A Dualidade Onda-Partícula para Estudantes do Ensino Médio. 2005, Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Física, ao Instituto de Química e à Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo - IFUSP para a obtenção do título de mestre em Ensino de Ciências, São Paulo 2005.

CHIARELLI, Rogério Avila. **Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio:** É Possível Abordar Conceitos de Mecânica Quântica?. Dissertação apresentada como requisito à obtenção de Grau de Mestre em Física, Curso de Pós-Graduação em Física, Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2006.

DOS SANTOS, Paulo Vicente Moreira. **O Itinerário Científico de Louis de Broglie em Busca de uma Interpretação Causal para a Mecânica Ondulatória.** Dissertação apresentada ao colegiado do Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências, Universidade Federal da Bahia e Universidade Estadual de Feira de Santana, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre. Salvador, 2010.

LEITE, Anderson Cleiton Fernandes. **Realismos e Anti-realismos na Física do Século XX:** Werner Heisenberg, o Pensamento Grego e os Debates na Construção da Teoria Quântica. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Filosofia, Linha de Pesquisa Teoria do Conhecimento e Filosofia da Ciência, Departamento de Filosofia, Instituto de Ciências Humanas, Universidade de Brasília, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Filosofia. Brasília, 2008.

SILVA, José Luis PB; CUNHA, Maria Bernadete de Melo. **O Modelo Atômico Quântico em Livros Didáticos de Química Para o Ensino Médio.** Disponível em: https://www.academia.edu/5711785/O_MODELO_AT-C3%94MICO_QU-C3%82NTICO_EM_LIVROS_DID-C3%81TICOS_DE. Acesso em: 11 de Março de 2023.

SILVA, José Luis PB; CUNHA, Maria Bernadete de Melo. Para Compreender o Modelo Atômico Quântico. **XIV Encontro Nacional de Ensino de Química (XIV ENEQ).** 2008 Disponível em: <http://www.quimica.ufpr.br/eduquim/eneq2008/resumos/R0298-1.pdf>. Acesso em: 11 de Março de 2023.

SILVA, Kaio Moab de Oliveira et al. **Dos Atomistas ao Átomo Moderno:** Um Resgate Histórico da Evolução dos Modelos Atômicos. Instituto Federal de Pernambuco campus Pesqueira. Curso de Licenciatura em Física. 09 de Março de 2021.

UFSM. Física – Curso de Graduação, Campus de Santa Maria. **Princípio da Exclusão de Pauling.** Publicado em 27/02/2020. Atualizado 20/07/21. Disponível em: <https://www.ufsm.br/cursos/graduacao/santa-maria/fisica/2020/02/27/principio-de-exclusao-de-pauli#:~:text=Por%20outro%20lado%2C%20segundo%20o,com%20spin%20%E2%80%9Cpara%20baixo%E2%80%9D>. Acesso em: 18 de Março de 2023.