

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA PARA A SUSTENTABILIDADE
DEPARTAMENTO DE FÍSICA, QUÍMICA E MATEMÁTICA

Isadora Tonscheis da Fonseca

**ENSINO DE QUÍMICA NOS ANOS FINAIS: RELATO DE APLICAÇÃO DE UMA
SEQUÊNCIA DIDÁTICA ENVOLVENDO O MODELO DE SCHROEDINGER E A
DISTRIBUIÇÃO ELETRÔNICA**

Sorocaba

2024

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA PARA A SUSTENTABILIDADE
DEPARTAMENTO DE FÍSICA, QUÍMICA E MATEMÁTICA

Isadora Tonscheis da Fonseca

**ENSINO DE QUÍMICA NOS ANOS FINAIS: RELATO DE APLICAÇÃO DE UMA
SEQUÊNCIA DIDÁTICA ENVOLVENDO O MODELO DE SCHROEDINGER E A
DISTRIBUIÇÃO ELETRÔNICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito parcial para a obtenção do título
de Licenciada em Química pela Universidade
Federal de São Carlos – UFSCar.

Orientação: Prof^ª. Dr^ª. Adriana de Oliveira
Delgado Silva.

Sorocaba

2024

Tonscheis da Fonseca, Isadora

Ensino de química nos anos finais: relato de aplicação de uma sequência didática envolvendo o modelo de Schroedinger e a distribuição eletrônica. / Isadora Tonscheis da Fonseca -- 2024.
82f.

TCC (Graduação) - Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba, Sorocaba

Orientador (a): Adriana de Oliveira Delgado Silva

Banca Examinadora: Alexandre Donizeti Martins

Cavagis, João Batista dos Santos Junior

Bibliografia

1. Ensino de química. 2. Modelo de Schroedinger. 3. Distribuição eletrônica. I. Tonscheis da Fonseca, Isadora. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática
(SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Maria Aparecida de Lourdes Mariano -
CRB/8 6979



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

COORDENAÇÃO DO CURSO DE LICENCIATURA EM QUÍMICA - CCQL-So/CCTS

Rod. João Leme dos Santos km 110 - SP-264, s/n - Bairro Itinga, Sorocaba/SP, CEP 18052-780

Telefone: (15) 3229-8828 - <http://www.ufscar.br>

DP-TCC-FA nº 2/2024/CCQL-So/CCTS

Graduação: Defesa Pública de Trabalho de Conclusão de Curso

Folha Aprovação (GDP-TCC-FA)

FOLHA DE APROVAÇÃO

ISADORA TONSCHEIS DA FONSECA

ENSINO DE QUÍMICA NOS ANOS FINAIS: RELATO DE APLICAÇÃO DE UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA ENVOLVENDO O MODELO DE SCHROEDINGER E A DISTRIBUIÇÃO ELETRÔNICA.

Trabalho de Conclusão de Curso

Universidade Federal de São Carlos – *Campus* Sorocaba

Sorocaba, 19 de janeiro de 2024

ASSINATURAS E CIÊNCIAS

Cargo/Função	Nome Completo
Orientador	Profa. Dra. Adriana de Oliveira Delgado Silva
Membro da Banca 1	Prof. Dr. Alexandre Donizeti Martins Cavagis
Membro da Banca 2	Prof. Dr. João Batista dos Santos Junior



Documento assinado eletronicamente por **Adriana de Oliveira Delgado Silva, Docente**, em 19/01/2024, às 18:09, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Joao Batista dos Santos Junior, Docente**, em 21/01/2024, às 11:19, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Alexandre Donizeti Martins Cavagis, Docente**, em 24/01/2024, às 22:36, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente aos meus pais, sem os quais eu jamais teria chegado tão longe. Obrigada por todo o carinho, cuidado, amor e bons ensinamentos. Eles e meu irmão Igor são minha força, desde meu primeiro dia de vida.

À minha orientadora, Prof^a Dr^a Adriana de Oliveira Delgado Silva, pela orientação impecável e parceria durante os meses de elaboração da ideia e da escrita deste TCC, e também por ser, desde meu início na graduação, exemplo de professora, de cientista e de pessoa. Seu apoio foi fundamental em todo esse tempo. Obrigada por acreditar tanto em mim.

Aos amigos que a UFSCar me proporcionou, em especial à Beatriz Pedroso, minha dupla infalível de todas as horas, e Letícia Maria, que veio para tornar essa dupla, um ótimo trio. Obrigada por me ouvirem desabafar tantas vezes, e por me ajudar dentro e fora do ambiente universitário.

Aos meus amigos que estão comigo desde o Ensino Médio, especialmente Lívia, Júlia, Leonardo, Victor, Isabelle, Thayná, Naime e João Pedro. Obrigada por essa parceria tão sólida que desenvolvemos, e por estarem comigo mesmo quando estão a centenas de quilômetros.

Às minhas amigas da época do Fundamental, Tamara, Thalita, Gabrielle, Vitória, Danyele e Rafaella, que se tornaram companheiras de vida, com quem eu sei que posso contar independente de qualquer coisa.

Ao Luan, que ouviu todas as minhas reclamações sem reclamar de volta, e me ajudou com tantos detalhes pequenos que juntos formavam dificuldades gigantes. Obrigada por toda a paciência, carinho e suporte.

Ao Nicolas e à Lurian, que foram meus companheiros de muitas histórias e desabafos no último ano. Obrigada por ouvirem meus áudios indignados e sempre tomarem meu lado.

À Renata, que me acolheu e me ensinou muito sobre o ensino de ciências, além de ter topado me ajudar na aplicação desse TCC. Obrigada pelo espaço seguro e pela confiança.

Aos meus amigos “elfos” e meus amigos que estão fechados com JC, obrigada por me ajudarem a achar livros e também a me achar em meio ao caos.

A todos os meus professores durante a graduação, em especial ao Prof. Dr. Renato Cantão, que com sua boa companhia e café tornaram a graduação um pouco mais fácil, e aos professores Prof. Dr. Alexandre Donizeti Cavagis, Prof. Dr. João Batista dos Santos Junior e também ao Prof. Dr. Giovanni Pimenta Mambrini, pelos incontáveis ensinamentos dentro de sala de aula.

À UFSCar como um todo, por me proporcionar essa oportunidade.

“Viver o momento é uma benção. É por isso que eles chamam isso de presente. ”

(Ted Lasso)

RESUMO

TONSCHEIS DA FONSECA, Isadora. Ensino de química nos anos finais: relato de aplicação de uma sequência didática envolvendo o modelo de Schroedinger e a distribuição eletrônica. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2024.

O ensino de química nos anos finais do Ensino Fundamental é feito dentro da disciplina de ciências. No nono ano, segundo a BNCC, os alunos devem aprender sobre os modelos atômicos, enfatizando o processo de evolução desses modelos ao longo do tempo. Um tópico normalmente abordado dentro dessa habilidade é a distribuição eletrônica por meio do diagrama de Linus Pauling. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi desenvolver uma sequência didática a fim de apresentar o modelo atômico de Schroedinger e, por meio deste, explicar a origem do diagrama de Linus Pauling, para alunos de nono ano de uma escola particular de Sorocaba. A sequência didática incluiu alguns temas da mecânica quântica, e contou com: uma atividade prévia, uma aula expositiva, a elaboração de um modelo concreto de distribuição eletrônica e uma atividade final. A análise das respostas às atividades mostrou que houve avanço no entendimento dos conceitos da mecânica quântica pelos alunos, mesmo que em nível introdutório. As representações atômicas desenhadas por eles após a sequência corroboram com a percepção de avanço na compreensão da estrutura atômica. Além disso, o modelo concreto ajudou os alunos no melhor entendimento dos novos conceitos, tanto durante seu desenvolvimento quanto no seu uso para exercitar a distribuição eletrônica. A aplicação da sequência permitiu concluir que os alunos dos anos finais têm condições de aprender conceitos de física moderna e que a discussão conceitual nesse tipo de conteúdo é muito enriquecedora para o amadurecimento do processo de ensino-aprendizagem. Por meio dessas discussões, da troca entre pares e desenvolvimento do modelo concreto, os estudantes têm possibilidade de alcançar a aprendizagem significativa, conectando novos conceitos aos antigos e avançando além do mecanicismo associado aos processos de memorização.

Palavras-chave: Ensino de química, Modelo de Schroedinger, Distribuição eletrônica.

ABSTRACT

Chemistry teaching in the final years of elementary school is done within the science discipline. In the ninth year, according to the BNCC, students should learn about atomic models, emphasizing the evolution process of these models over time. One topic usually addressed within this ability is electronic distribution through the Linus Pauling diagram. In this context, the objective of this work was to develop a didactic sequence in order to present Schroedinger's atomic model and, through this, explain the origin of the Linus Pauling diagram for ninth year students from a private school in Sorocaba. The didactic sequence included some themes of quantum mechanics, and featured: a previous activity, an expository class, the elaboration of an electronic distribution model and a final activity. The analysis of the responses to the activities showed that there was advancement in the understanding of the concepts of quantum mechanics by students, even at the introductory level. The atomic representations designed by them after the sequence corroborate the perception of advancement in the understanding of the atomic structure. In addition, the concrete model helped students better understand the new concepts, both during their development and their use to exercise electronic distribution. The application of the sequence allowed to conclude that students in the final years are able to learn concepts of modern physics and that the conceptual discussion in this type of content is very enriching for the maturation of the teaching-learning process. Through these discussions, the exchange between peers and development of the concrete model, students have the possibility of achieving meaningful learning, connecting new concepts to the old and advancing beyond mechanism associated with memorization processes.

Keywords: Chemistry Teaching, Schroedinger Model, Electronic Distribution.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação do modelo atômico de Dalton.....	25
Figura 2 – Experimento de J. J. Thomson que comprovou a existência do elétron.....	26
Figura 3 – Representação do modelo atômico de Thomson.....	26
Figura 4 – Experimento de Geiger, Marsden e Rutherford com partículas alfa.....	27
Figura 5 – Representação do modelo atômico de Rutherford.....	28
Figura 6 – Representação do modelo atômico de Bohr.....	32
Figura 7 – Valores de n e possíveis valores de l.....	34
Figura 8 – Valores de n e possíveis valores de l e ml.....	35
Figura 9 – Orientações dos orbitais s, p, d e f.....	35
Figura 10 – Resumo sobre os números quânticos.....	36
Figura 11 – Representação do modelo atômico de Schroedinger.....	37
Figura 12 – Diagrama de Linus Pauling para a distribuição eletrônica.....	39
Figura 13 – Mnemônico de Grenda para a distribuição eletrônica.....	39
Figura 14 – Mnemônico de Iza e Gil para a distribuição eletrônica.....	40
Figura 15 – Mnemônico de Parsons para a distribuição eletrônica.....	40
Figura 16 – Diagrama de Hakala para a distribuição eletrônica.....	41
Figura 17 – Alunos iniciando a produção de seus trabalhos e cartazes.....	48
Figura 18 – Trabalhos finalizados dos alunos que optaram pelo modelo dos quadradinhos.....	49
Figura 19 – Trabalhos finalizados dos alunos que optaram pelo modelo circular.....	50
Figura 20 - Respostas aos itens do questionário de avaliação da sequência didática feito aos alunos.....	64

SUMÁRIO

SUMÁRIO	10
1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVO	16
2.1. OBJETIVO GERAL	16
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3. CONSIDERAÇÕES SOBRE O ENSINO DE QUÍMICA	17
3.1. COMPONENTES CURRICULARES DAS CIÊNCIAS DA NATUREZA AO LONGO DO TEMPO	17
3.2. O ENSINO DE QUÍMICA NO NONO ANO DO ENSINO FUNDAMENTAL, SEGUNDO A BNCC	18
3.3. MATERIAIS DIDÁTICOS DE NONO ANO	20
3.3.1. Materiais apostilados	20
3.3.2. Livros didáticos	22
4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	24
4.1. OS PRIMEIROS MODELOS ATÔMICOS ATÉ O ÁTOMO DE RUTHERFORD	24
4.2. TEORIA QUÂNTICA VELHA E O MODELO ATÔMICO DE BOHR	28
4.3. NOVA MECÂNICA QUÂNTICA E O MODELO DE SCHROEDINGER	32
4.4. DISTRIBUIÇÃO ELETRÔNICA E DIAGRAMA DE LINUS PAULING	37
5. DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DA PROPOSTA	42
5.1. ESTRUTURA E CRONOGRAMA DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA	42
5.2. DESCRIÇÃO DAS TURMAS DE APLICAÇÃO	43
5.3. ATIVIDADE PRÉVIA E AULA EXPOSITIVA	44
5.4. DESENVOLVIMENTO E APRESENTAÇÃO DOS TRABALHOS	46
5.5. ATIVIDADE POSTERIOR E AVALIAÇÃO	51
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
6.1. ATIVIDADE PRÉ SEQUÊNCIA	53
6.2. ATIVIDADE PÓS SEQUÊNCIA	57
6.3. COMPARAÇÕES ENTRE AS ATIVIDADES	63

6.4. AVALIAÇÃO DA PROPOSTA DA SEQUÊNCIA	64
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	72
REFERÊNCIAS	74
APÊNDICES	77
APÊNDICE A – SEQUÊNCIA DIDÁTICA	77
A.1. Atividade prévia	77
A.2. Plano de Aula.....	78
A.3. Orientações para elaboração do trabalho.....	79
A.4. Atividade Posterior	80
APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DOS ALUNOS.....	81
APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DA PROFESSORA.....	83

1. INTRODUÇÃO

Ao longo do Ensino Fundamental, o componente curricular de Ciências trabalha habilidades de todas as Ciências da Natureza, ainda que nem sempre de forma explícita. No nono ano, último dos Anos Finais, há, geralmente, predominância dos componentes Física e Química, que futuramente serão vistos separadamente no Ensino Médio.

Dessa forma, os conteúdos vistos pelos alunos do nono ano são diferentes do que já foi apresentado até então. Dentro da unidade temática “Matéria e Energia”, a Base Nacional Comum Curricular traz uma habilidade que diz respeito à compreensão da evolução dos modelos atômicos. (Brasil, 2018). A noção do que é um átomo e qual a sua constituição é a base para o estudo da Química e, portanto, não pode ser negligenciada.

No entanto, dentro de muitos materiais didáticos de nono ano, a atomística é abordada de forma superficial e incompleta. (Milaré, 2008). Inclui-se apenas uma breve descrição sobre cada modelo, com poucas imagens e o nome do cientista que elaborou o modelo. Não é comum encontrar explicações sobre os experimentos feitos pelos cientistas, tampouco reflexões sobre a Ciência como um todo e a importância de cada modelo dentro de seu contexto histórico.

Ao tratar da distribuição de elétrons no átomo, por exemplo, usa-se o famoso diagrama de Linus Pauling, mas sem contextualizar qual a sua origem, que deriva do modelo atômico desenvolvido por Erwin Schroedinger. Sem esse aporte, esse tópico torna-se apenas uma aplicação mecânica e desprovida de sentido do diagrama, que nada mais é que uma forma de organização e memorização da distribuição da energia dos elétrons num átomo. (Pereira; Nascimento, 2019).

Observando justamente essa dinâmica que traz aos alunos muita dificuldade em compreender a química, problematizou-se a necessidade de ensinar aos alunos algo tão técnico e que envolve uma teoria tão complexa já no nono ano. No entanto, o que se percebe é que o grande problema não está no conteúdo em si, mas sim na forma com a qual se aborda esse tema.

Por mais simples que seja a memorização de um diagrama ou esquema, não é através de processos mecânicos como esses que se aprende um conteúdo de forma definitiva. A aprendizagem só pode ser significativa se houver conexões de novos conceitos com conceitos antigos já apreendidos anteriormente, e para que isso ocorra é necessário embasar os novos conhecimentos, permitindo que as conexões possam acontecer. (Ausubel; Novak; Hanesian, 1983)

É dentro desse contexto que se insere o presente Trabalho de Conclusão de Curso, onde elaborou-se uma sequência didática tratando da distribuição eletrônica com base em noções de

química quântica amparadas no modelo da Nuvem Eletrônica de Schroedinger. Além da preocupação com a teoria, a sequência propõe que os alunos desenvolvam um modelo físico e/ou jogo que o ajude a distribuir corretamente os elétrons dentro da eletrosfera, levando em consideração parâmetros como os orbitais e a propriedade de spin.

Além de trabalhar a Química, esta proposta convida os participantes a exercitar o trabalho em equipe, o pensamento crítico, a autonomia, o planejamento estratégico e a criatividade, características necessárias para o desenvolvimento do modelo e/ou jogo, que deve ser totalmente pensado e construído pelos próprios alunos.

Assim, a proposta também traz aos alunos a possibilidade de ilustrar a distribuição dos elétrons, tornando o conhecimento teórico mais palpável e dinâmico, visto que, com os modelos e/ou jogos em mãos, podem visualizar materialmente aquilo que antes ficava registrado apenas em lápis e papel. Além disso, o desafio proporcionado por jogar com os colegas instiga a aquisição e o exercício do conhecimento.

O presente trabalho encontra-se dividido em 7 capítulos, iniciando pela introdução. Em seguida, apresentam-se os objetivos que o trabalho visa cumprir, divididos entre geral e específicos.

Em seguida, o capítulo 3 apresenta algumas considerações sobre o ensino de química, julgadas pertinentes para as discussões do trabalho. Dentro desse capítulo faz-se um breve histórico acerca dos componentes das ciências da natureza ao longo dos anos. Discute-se também sobre o ensino de química dentro do nono ano do ensino fundamental, com olhar sobre o que diz a Base Nacional Comum Curricular sobre o tema. Por fim, o terceiro capítulo também traz uma breve descrição sobre materiais didáticos específicos de nono ano do ensino fundamental, dividido em duas seções: uma delas falando sobre os materiais apostilados feitos por sistemas privados de ensino, problematizando sua função e seu conteúdo; e outra seção tratando de alguns livros didáticos inscritos no PNLB de 2024, fazendo também uma análise de seus conteúdos e da forma como se estruturam.

O quarto capítulo contém a fundamentação teórica necessária para a elaboração deste trabalho. Dentro dele, quatro seções são apresentadas. A primeira traz os primeiros modelos atômicos, indo de Dalton até Rutherford. Em seguida, discute-se a antiga teoria quântica, incluindo os estudos de Planck, Einstein até a elaboração do modelo atômico de Bohr. A terceira seção da fundamentação teórica dedica-se a apresentar a nova mecânica quântica, advinda da teoria de Erwin Schroedinger com sua famosa equação capaz de descrever a energia do elétron no átomo. Por fim, a quarta seção fala sobre a distribuição eletrônica trazendo o diagrama de

Linus Pauling e outros mnemônicos criados para auxiliar na memorização da ordem de distribuição dos elétrons.

O capítulo 5 descreve todo o desenvolvimento e a aplicação da proposta de sequência didática, explicitando qual foi a estrutura pensada para a sequência e o seu cronograma resumido, para então detalhar como foi a aplicação de cada parte da sequência, incluindo a apresentação dos trabalhos dos alunos e as percepções vindas desse momento.

Por fim, o sexto capítulo é dedicado exclusivamente a apresentar os resultados das atividades e da avaliação da sequência, e discuti-los através de mecanismos de comparação, gráficos, entre outros. Finaliza-se com o capítulo 7, contendo as considerações finais acerca do trabalho.

A estrutura da sequência didática e as atividades aplicadas aos estudantes são apresentadas no Apêndice do trabalho.

2. OBJETIVO

2.1. OBJETIVO GERAL

O presente Trabalho de Conclusão de Curso tem como objetivo relatar e discutir a aplicação de uma sequência didática construída para apresentar o modelo atômico de Schroedinger na ocasião do estudo da distribuição eletrônica para alunos do nono ano do Ensino Fundamental.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desenvolver uma sequência didática tratando do modelo de Schroedinger e da distribuição eletrônica;
- Identificar os conceitos prévios dos estudantes sobre modelos atômicos;
- Apresentar conceitos básicos do átomo quântico, a partir da teoria quântica de Schroedinger;
- Demonstrar a origem do diagrama de Linus Pauling;
- Exercitar a distribuição eletrônica de diferentes átomos com uso de modelos concretos/jogos;
- Identificar se houve ampliação ou mudança nos conceitos sobre modelos atômicos ao final da sequência didática;
- Classificar as respostas às atividades pré e pós sequência didática em grupos por similaridade para análise dos resultados.

3. CONSIDERAÇÕES SOBRE O ENSINO DE QUÍMICA

Nesta revisão, são apresentados conhecimentos necessários para compreensão do ensino de química nos anos finais, especificamente das habilidades e competências trabalhadas no nono ano.

3.1. COMPONENTES CURRICULARES DAS CIÊNCIAS DA NATUREZA AO LONGO DO TEMPO

As primeiras escolas chegaram ao Brasil juntamente com as primeiras expedições de portugueses, que trouxeram os jesuítas. Estes foram os primeiros professores do país. Os jesuítas reproduziram, durante dois séculos, a lógica de ensino vigente na Europa, com o uso de salas de aula e um regime seriado que dividia seus alunos por níveis de conhecimento. (Werner; Becker, 2012).

Somente muito após a chegada da família real ao Brasil, em 1808, a educação brasileira afasta-se do viés jesuítico e assume a missão de formar os futuros administradores do país, latifundiários ricos cuja formação envolvia somente o necessário para entender da administração de terras e patrimônios financeiros. Apenas na década de 1920 uma profunda reforma educacional se instala no país. Os ensinos Primário e Secundário ganham destaque, em função da cobrança de que o Estado os amplie e fortaleça. (Ribeiro, 1993).

É neste contexto que as chamadas ciências da natureza começam a ganhar espaço no ensino básico, tornando-se objeto de estudo em escolas de todo o país, graças ao movimento Escola novista, que defendeu a importância da ciência e da tecnologia na formação dos cidadãos brasileiros. (Ribeiro, 1993).

No entanto, apesar da revolução educacional da década de 20, foi durante o período do Estado Novo (1937 a 1945) que se organizou, a nível nacional, o ensino básico, naquela época ainda dividido em Primário e Secundário. Foi neste período que a disciplina de Ciências, componente abrangente de todas as ciências da natureza, se tornou parte obrigatória integrante nos dois últimos anos do que hoje se chama de Ensino Fundamental. (Milaré, 2008)

É advinda desta época a divisão padrão dos conteúdos de Ciências, ainda que hoje o componente seja parte de todo o Ensino Fundamental. Reservou-se ao sexto ano o estudo da água, dos solos e células, ao sétimo a botânica e a zoologia, ao oitavo ano o estudo do corpo humano e, por fim, ficou para o nono ano a introdução à física e à química. (Milaré e Pinho-Alves, 2010)

Já ao Ensino Médio, que recebeu este nome em 1996, de acordo com a nova LDB (Brasil, 1996) reservou-se o ensino das disciplinas Química, Física e Biologia, ministradas por professores especialistas na área. Toda a estrutura deste nível de ensino foi pensada para preparar os alunos para o ingresso no nível Superior e, por isso, a separação das ciências (não somente as da natureza, mas também as humanas) foi proposta como forma de abranger os detalhes de cada disciplina. (Nascimento, 2009).

Ao longo dos últimos 30 anos, tem-se discutido acerca da disciplinaridade da divisão de conteúdos de Ciências. De acordo com os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) do Ensino Fundamental, publicados em 1998, os conteúdos devem ser promovidos “de forma compatível com as possibilidades e necessidades de aprendizagem do estudante, de maneira que ele possa operar com tais conteúdos e avançar efetivamente nos seus conhecimentos” (Brasil, 1998, p. 35). Assim, é imprescindível que o ensino de Ciências traga consigo os conceitos de química e física, mas que isso ocorra de maneira interdisciplinar, mostrando as conexões entre cada disciplina contemplada nas ciências da natureza.

3.2. O ENSINO DE QUÍMICA NO NONO ANO DO ENSINO FUNDAMENTAL, SEGUNDO A BNCC

Atualmente, o documento norteador do ensino básico no Brasil é a Base Nacional Comum Curricular, criada com o objetivo de unificar o ensino básico em todo o Brasil, que discursa acerca da forma como se deve desenvolver o conhecimento em cada etapa de ensino, bem como quais são esses conhecimentos. A Base é um documento que trabalha com competências e habilidades, e não com conteúdos pontuais. Dessa forma, seu objetivo é não somente prezar pelo bom aprendizado de conceitos, mas pela aplicação deles na vida cotidiana dos alunos, de forma que estes possam formar conexões e tornarem-se cidadãos críticos e capazes de resolver problemas.

Sua versão final, publicada em 2018, abrange as competências e habilidades de cada etapa do ensino básico, da Educação Infantil até o Ensino Médio. A etapa do Ensino Fundamental divide-se entre os anos iniciais e os anos finais, sendo os últimos o foco deste Trabalho. Dentro do componente curricular de ciências, as habilidades e competências são trabalhadas em unidades temáticas, sendo elas: Terra e Universo, Matéria e Energia e Vida e Evolução.

Em toda a etapa do Ensino Fundamental, é possível notar a presença da química em diversas habilidades dessas unidades. No escopo do nono ano, público-alvo deste Trabalho, a BNCC traz como proposta, dentro da unidade temática Matéria e Energia, “aspectos

quantitativos das transformações químicas” e “estrutura da matéria” como objetos de conhecimento. (Brasil, 2018). Dentro dessa unidade, destacam-se como sendo da área de Química as seguintes habilidades:

- **(EF09CI01)**. Investigar as mudanças de estado físico da matéria e explicar essas transformações com base no modelo de constituição submicroscópica.
- **(EF09CI02)**. Comparar quantidades de reagentes e produtos envolvidos em transformações químicas, estabelecendo a proporção entre as suas massas.
- **(EF09CI03)**. Identificar modelos que descrevem a estrutura da matéria (constituição do átomo e composição de moléculas simples) e reconhecer sua evolução histórica.

As três habilidades listadas tratam, em linhas gerais, da identificação de transformações químicas, de noções de balanceamento e proporção e do estudo dos modelos atômicos para compreensão da estrutura da matéria. São, portanto, uma base para os estudos da química, já que abordam o átomo e as reações químicas partindo do microscópico para explicar o macroscópico.

Destaca-se a habilidade EF09CI03, que dispõe especificamente sobre a evolução dos modelos atômicos através da história, incluindo a identificação de cada modelo por suas características e entendendo o átomo como estrutura básica da matéria. Essa terceira habilidade é o enfoque deste trabalho.

É imprescindível compreender os modelos atômicos para avançar no aprendizado de química, afinal, o átomo compõe toda a matéria, e pela sua constituição se explicam diversos fenômenos e propriedades. Em algumas situações – como no balanceamento das equações das reações químicas – o átomo de Dalton é suficiente para efetuar os cálculos. Em outras, como na distribuição dos elementos na tabela periódica, pode-se aplicar o átomo de Bohr. Contudo, para analisar as propriedades elétricas e magnéticas dos materiais, é necessário considerar a propriedade de spin e consequentemente o átomo de Schroedinger.

Além disso, o estudo da evolução dos modelos é essencial para que o estudante compreenda a ciência como uma construção humana, influenciada pelo contexto sócio, histórico e cultural, e passível de erros, que são inerentes ao processo científico. A evolução dos modelos atômicos mostra, de forma muito clara e concisa, a importância da construção de conceitos. Quando J.J. Thomson decidiu estudar a estrutura atômica, não o fez desprezando o trabalho de Dalton, mesmo tendo descoberto o elétron. Apenas desenvolveu uma explicação que fosse capaz de abranger certos fenômenos que o modelo anterior não era capaz.

Dessa forma, nota-se que a BNCC traz, com sua estrutura em habilidades e competências, uma proposta para inserir a Ciência num contexto geral, acompanhada da história e da tecnologia, entre outros componentes, que permeiam o texto da base. Com isso, espera-se formar pessoas que entendam a interdisciplinaridade como algo intrínseco do cotidiano.

Tentando acompanhar essa lógica, mas principalmente herdando muito do ensino de Ciências das décadas anteriores, os materiais didáticos (livros inclusos no PNLD e apostilas dos principais sistemas de ensino do país) abrangem algumas das habilidades mencionadas, mas ainda trazem uma visão disciplinar das Ciências no nono ano, separadas em introdução à Física e a Química.

Mostra-se, no item a seguir, um breve estudo sobre alguns materiais didáticos feitos para o 9º ano, seus conteúdos, nível de aprofundamento e estratégias didáticas.

3.3. MATERIAIS DIDÁTICOS DE NONO ANO

3.3.1. Materiais apostilados

Foram analisadas as apostilas de Ciências de 3 diferentes sistemas de ensino da rede privada brasileira, utilizadas no ano de 2023. Para melhor discuti-los, serão chamados de A, B e C. Os três sistemas apresentam, em alguma de suas apostilas de nono ano, o estudo da estrutura da matéria e a evolução histórica dos modelos atômicos. Todos trazem uma explicação resumida da origem dos modelos de Dalton, Thomson e Rutherford, abordando, ainda que de maneira simplista, os experimentos que levaram estes cientistas a elaborar suas teorias.

No entanto, existem algumas divergências entre os três sistemas. O sistema A é, dos três, o mais antigo, e apresenta ainda uma estrutura bastante tradicional. Embora trabalhe com as competências e habilidades da BNCC, traz os conteúdos herdando a lógica das últimas décadas: as duas primeiras apostilas abordam a Física, e as duas últimas, Química. Relatos de professores que trabalham há anos com este sistema indicam que pouco foi mudado após a aprovação da Base, ou seja, mesmo com as revisões anuais, o material segue sem grandes renovações há anos.

Além dos modelos acima citados, o sistema A aborda também o modelo atômico de Bohr, com uma breve explicação acerca dos saltos quânticos dos elétrons, e usando exemplos de aplicações como nos fogos de artifício. No entanto, logo após essa seção, aborda-se a distribuição eletrônica dos elementos, primeiramente em camadas, mas também com os subníveis.

O sistema A, portanto, utiliza-se de um conceito que não vem do modelo de Bohr, que abrange somente as camadas. No entanto, sequer menciona a existência do modelo atômico de

Schroedinger, que explica os subníveis de energia. Isso causa uma distorção no aprendizado dos alunos, já que os induz a crer que os subníveis são parte da teoria de Niels Bohr. Ademais, a distribuição em subníveis fica solta, já que não se apoia em nenhum modelo visto pelos estudantes, sendo introduzida através do diagrama de Linus Pauling. O diagrama, por sua vez, torna-se apenas um recurso visual assustador a ser memorizado, sem que se entenda qual a sua função e, principalmente, qual a sua origem.

Já o sistema B, também um sistema grande, mas não muito tradicional, traz diferenças marcantes. A distribuição dos elétrons em camadas é abordada no sétimo ano, cabendo ao nono ano apenas a evolução dos modelos atômicos. Este sistema também trata do modelo de Bohr, mas não entra sequer na distribuição em camadas.

Outro ponto divergente apresentado no sistema B é a forma de abordar os assuntos. O sistema trabalha em um esquema espiral, portanto traz, todos os anos, os mesmos assuntos com níveis de aprofundamento diferentes. Assim, ao falar da estrutura atômica no nono ano, esse sistema aprofunda-se nas teorias atômicas de cada cientista, assim como em aplicações para os modelos.

Um exemplo disso está no modelo de Bohr. No lugar da distribuição eletrônica, o sistema B opta por discutir fenômenos relacionados a emissão de luz, como a incandescência e a fluorescência, ligando os conteúdos de física e química de maneira interdisciplinar e com uma lógica fácil de ser seguida pelos estudantes.

O sistema C é o menor e mais novo de todos. Aborda, no nono ano, uma introdução à Física e Química, e trata também dos modelos até Bohr. É bastante simplista em suas explicações, e por vezes utiliza exemplos pouco ligados ao cotidiano. Ao citar o experimento dos raios catódicos de Thomson, a apostila associa os mesmos a televisores e monitores de computador de tubos, modelos obsoletos que a geração atual de adolescentes sequer teve contato.

No entanto, demonstra grande cuidado ao retratar o experimento Rutherford, para garantir um bom embasamento na explicação de seu modelo atômico. O modelo de Bohr é brevemente retratado, sem grandes considerações sobre os espectros atômicos e outras razões que levaram Bohr às suas conclusões sobre a eletrosfera. Ao explicar o salto quântico, usa como exemplo os fogos de artifício.

O sistema C chega a mencionar a distribuição dos elétrons em camadas, mas não se aprofunda nesse tópico, que somente é falado para que se possa introduzir, no capítulo seguinte, a tabela periódica. Nem mesmo nos exercícios do capítulo existe algum que proponha aos alunos executar a distribuição eletrônica. Ao encerrar o tópico, o sistema C passa a tratar das

transformações químicas, e em seguida migra para a biologia, ao falar da evolução e da biodiversidade.

3.3.2. Livros didáticos

Foram analisados 3 livros da Editora Moderna, todos submetidos ao Programa Nacional do Livro Didático de 2024. Os livros, embora de mesma editora, apresentaram perfis e enfoques bastante distintos, sendo de diferentes coleções. A disposição dos conteúdos também apresentou diferenças entre cada livro.

O primeiro deles é o volume de 9º ano da coleção Araribá Conecta, que tem como objetivo, de acordo com a própria editora, despertar a curiosidade e o protagonismo dos alunos que a utilizarem. O livro inicia seus conteúdos tratando do estudo da matéria, onde define propriedades (como densidade, volume e impenetrabilidade) e trata dos estados físicos da matéria e suas mudanças.

Na unidade seguinte, o livro já aborda a estrutura da matéria. Trata dos modelos atômicos até o de Bohr, que é colocado como contribuição ao modelo de Rutherford. O livro traz o teste de chamas como exemplo para a quantização proposta por Bohr, fala de salto quântico e também da distribuição eletrônica em camadas. Segue-se a essa unidade o estudo dos elementos químicos, tabela periódica, reações químicas, balanceamento e funções inorgânicas. Após todos esses tópicos de química, o livro aborda a evolução biológica, genética, ondulatória e astronomia.

A preocupação em despertar a curiosidade do aluno fica nítida conforme se lê. A forma como os textos são postos, as atividades e principalmente as orientações didáticas para o professor apontam para atividades de pesquisa, majoritariamente em grupo, instigando sempre o perfil investigativo dos alunos.

Já o segundo livro analisado pertence a coleção SuperAÇÃO! que promete ir direto ao ponto com uma abordagem versátil. Diferentemente do Araribá, este livro traz o universo como primeiro tópico. Em seguida, aborda evolução e diversidade biológica, e somente na terceira unidade discorre sobre a estrutura da matéria.

Este livro é mais cuidadoso ao descrever os modelos atômicos, apesar de não se alongar muito em cada um deles. Ao contrário do primeiro, explica e traz imagens dos experimentos que levaram Thomson e Rutherford a elaborarem seus modelos atômicos. Ao falar de Bohr, explica com mais detalhes a distribuição eletrônica em camadas, e convida os estudantes a exercitarem essa distribuição.

É perceptível, de fato, que o livro é mais direto em pontuar conceitos. No entanto, apesar de seu caráter mais objetivo, não deixa de trazer ótimos materiais de apoio e propor atividades de pesquisa e construção de ideias. Os direcionamentos ao professor são mais ricos na ênfase em conceitos de apoio que podem ser necessários durante o estudo de cada unidade.

O terceiro livro é da coleção Ciências Naturais – Aprendendo com o cotidiano e seu objetivo é sistematizar o conhecimento de maneira que se adeque a qualquer sala de aula. Logo no início, o livro já trata da evolução dos modelos atômicos, indo também de Dalton até Bohr. Chama atenção a forma como os conteúdos são postos: o modelo de Dalton é explicado juntamente com as reações químicas. O modelo de Rutherford está relacionado às cargas elétricas e o modelo de Niels Bohr, às ondas eletromagnéticas.

A distribuição eletrônica em camadas é também citada, bem explicada e exercitada neste livro. Diferentemente dos outros dois, as orientações ao professor falam sobre a Mecânica Quântica e o modelo atômico que surge dela, citando, inclusive, diversos físicos importantes nesse ramo, como Louis de Broglie, Wolfgang Pauli, Erwin Schroedinger e Paul Dirac. No entanto, não há recomendações para inserir o assunto em sala de aula.

Dos três livros analisados, é perceptível que este último é o que melhor trabalha a interdisciplinaridade, pois a coloca em prática não somente em textos e imagens de apoio, mas na própria construção dos conteúdos. Ao falar do modelo de Rutherford, por exemplo, o livro trabalha a eletricidade, abordando eletrização, descargas elétricas, etc. Ao falar da teoria atômica de Bohr, discute-se ondulatória e eletromagnetismo.

Diante de tudo que foi posto nesta seção, o que se percebe é que os livros didáticos estão se adequando de maneira mais profunda à Base Nacional Comum Curricular, enquanto os materiais apostilados, embora trabalhem com as habilidades, ainda têm dificuldades em abranger as competências gerais, que dispõem sobre a forma de aprender e discutir a Ciência.

Em todos os materiais a habilidade EF09CI03 é vastamente trabalhada, sendo contemplada de maneira quase que completa. O que muda entre os materiais, sendo apostilados ou livros didáticos, é a maneira de abordar cada teoria atômica. No entanto, todos os materiais analisados, sem exceção, evidenciam a evolução das teorias sem demérito de nenhuma delas.

Num geral, percebe-se que os materiais apostilados são um pouco mais rasos em seus conteúdos, textos de apoio e até mesmo nas orientações ao professor. Por outro lado, seu pragmatismo pode ser considerado vantajoso a depender do contexto em que é utilizado.

4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesse capítulo, são apresentados importantes conceitos para o entendimento do modelo da nuvem eletrônica de Schroedinger, que deu origem ao modelo atômico baseado na mecânica ondulatória, aqui denominado átomo de Schroedinger¹. Também se apresentam as regras da distribuição eletrônica juntamente com o diagrama de Linus Pauling.

4.1. OS PRIMEIROS MODELOS ATÔMICOS ATÉ O ÁTOMO DE RUTHERFORD

Os questionamentos acerca da estrutura da matéria acompanham a humanidade desde a Antiguidade. Houve uma linha de filósofos, chamados de atomistas, que concluíram que a matéria era formada por pequenas e indivisíveis partes. (Silva; Silva, 2021) Dessa forma, o maior representante dessa linha, Demócrito, nomeou estas pequenas partes como “átomos” – onde o prefixo *a* significa “não” e *tomo* significa “divisível”.

No entanto, essa teoria só foi cientificamente construída muito tempo depois. O primeiro modelo atômico formalmente descrito compete à John Dalton, cientista inglês do século XIX, que ao ler os estudos de Lavoisier sobre a composição do ar atmosférico, direcionou seus estudos na intenção de explicar porque as substâncias diversas contidas nessa mistura gasosa não se combinavam. (Pinheiro; Costa; Moreira, 2012)

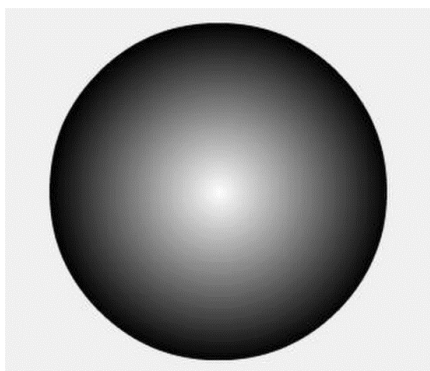
Em 1806, Dalton publicou seu artigo *On heat*, onde descreve sobre a energia proveniente da matéria (que ele chamava de “calórico”), e justifica muito de seu trabalho através da sua teoria atômica. Neste artigo, ele descreve o átomo como um corpo esférico de tamanho variável envolto no calórico, responsável pela atração e repulsão entre átomos. (Melzer; Aires, 2015)

Após a publicação de seu artigo, Dalton formalizou seu modelo atômico no livro que publicou em 1810, onde postulou as propriedades do átomo de acordo com sua teoria. Para ele, o átomo era indivisível e imutável, conforme mostra a Figura 1, e os átomos de um dado elemento seriam todos iguais em tamanho, forma e peso.

É justamente a ênfase nos pesos atômicos que traz tanta importância ao modelo de Dalton, muito além da definição de átomo. Através dessa propriedade, se justificam uma série de questões acerca da conservação de massas de Lavoisier. A atribuição de peso ao átomo trouxe, também, um grande enfoque a essa propriedade em outras áreas correlatas da ciência. (Pinheiro; Costa; Moreira, 2012)

¹ É importante destacar que Schroedinger não propôs um modelo atômico, assim como os modelos anteriormente mencionados. Ao contrário, ele desenvolveu uma teoria da mecânica quântica ondulatória, da qual se desdobra, entre inúmeros outros resultados, um átomo com orbitais eletrônicos quantizados. Neste trabalho, denominamos, por simplicidade didática, este modelo de modelo atômico de Schroedinger.

Figura 1 – Representação do modelo atômico de Dalton



Fonte: Wikimedia.

No entanto, nos anos seguintes os estudos sobre a eletricidade se popularizaram. Teorias como a de Ampère, que propôs a existência de partículas subatômicas e estudou os fios condutores, e a de Michael Faraday, que apresentou ideias sobre o conceito de campo a partir do estudo das linhas de força, trouxeram à tona novos questionamentos sobre a carga dos átomos. Seguiram-se a essas teorias muitos outros estudos envolvendo carga e propriedades advindas dela. O próprio Faraday desenvolveu ainda mais seus trabalhos no campo da eletricidade, vindo a descobrir o que posteriormente seria chamado de “carga elementar”. Em um curto espaço de tempo, muito se desenvolveu nessa área de estudo, com trabalhos de diversos físicos como Maxwell, Goldstein e Zeeman. (Pinheiro; Costa; Moreira, 2012)

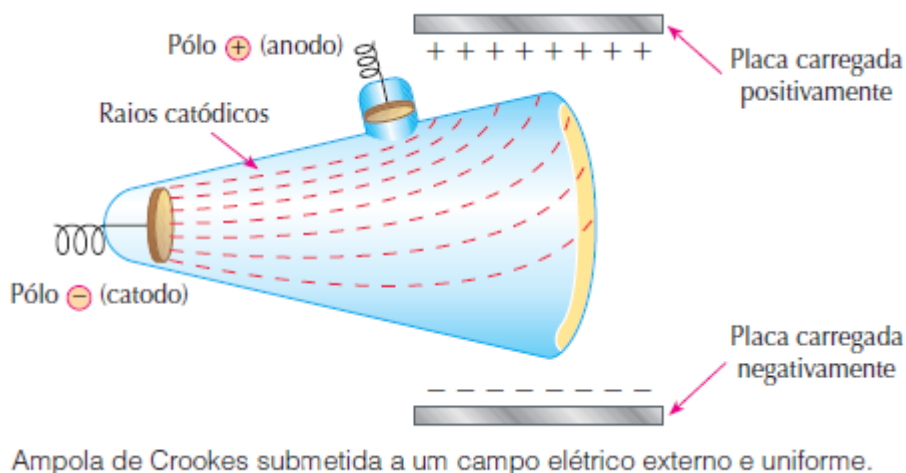
De posse de muitas teorias e experimentos, o químico britânico Joseph John Thomson, famoso cientista que trabalhava no Laboratório Cavendish, em Cambridge, conseguiu determinar experimentalmente, utilizando um tubo de Crookes, a existência do elétron, partícula subatômica de carga negativa.

O experimento de J. J. Thomson consistiu de um aparato relativamente simples: duas placas metálicas funcionando como terminais de polaridade ligadas em um tubo de Crookes (vidro, com material fluorescente), conforme mostra a Figura 2. Ao aplicar uma tensão elevada, Thomson notou que a parte oposta ao cátodo brilhava, e atribuiu a isso a emissão de partículas deste eletrodo, que eram atraídas pelo eletrodo positivo. Essas partículas foram chamadas de elétrons. (Silva; Silva, 2021).

Assim, com seu experimento, Thomson chega às seguintes conclusões:

Após demorada consideração sobre os experimentos, pareceu-me que não havia como escapar das seguintes conclusões: 1) Que os átomos não são indivisíveis, pois partículas negativamente eletrizadas podem ser arrancadas deles pela ação das forças elétricas... 2) Que essas partículas são todas de mesma massa e carregam a mesma carga de eletricidade negativa, qualquer que seja a espécie de átomo de que derivem, e são constituintes de todos os átomos. 3) Que a massa dessas partículas é menor que a milionésima parte da massa do átomo de hidrogênio. No início, denominei essas partículas de corpúsculos, mas agora são chamadas mais apropriadamente de elétrons, (Thomson 1897, p.338 *apud* Silva; Silva, 2021).

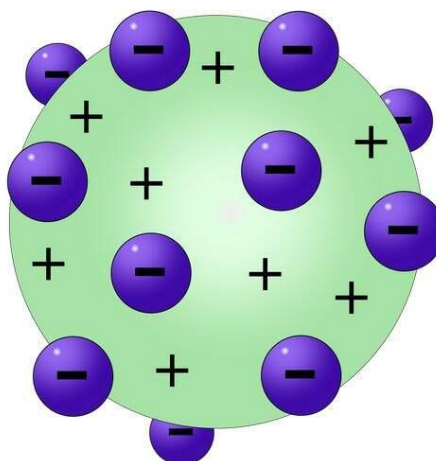
Figura 2 – Experimento de J. J. Thomson que comprovou a existência do elétron



Fonte: Química Geral 1 – Ricardo Feltre.

A descoberta do elétron, portanto, complementou diversas teorias acerca da eletricidade, e rendeu a J. J. Thomson um Nobel de Física, tamanha a sua relevância para a ciência. Partindo dessa descoberta, Thomson elaborou, em 1904, sua proposta de modelo atômico, que consistia em uma esfera maciça de carga positiva, incrustada de elétrons, as partículas de carga negativa, cuja representação é mostrada na Figura 3. Nos anos que se seguiram, os estudos na área da estrutura da matéria continuaram a todo vapor.

Figura 3 – Representação do modelo atômico de Thomson



Fonte: Educa Mais Brasil.²

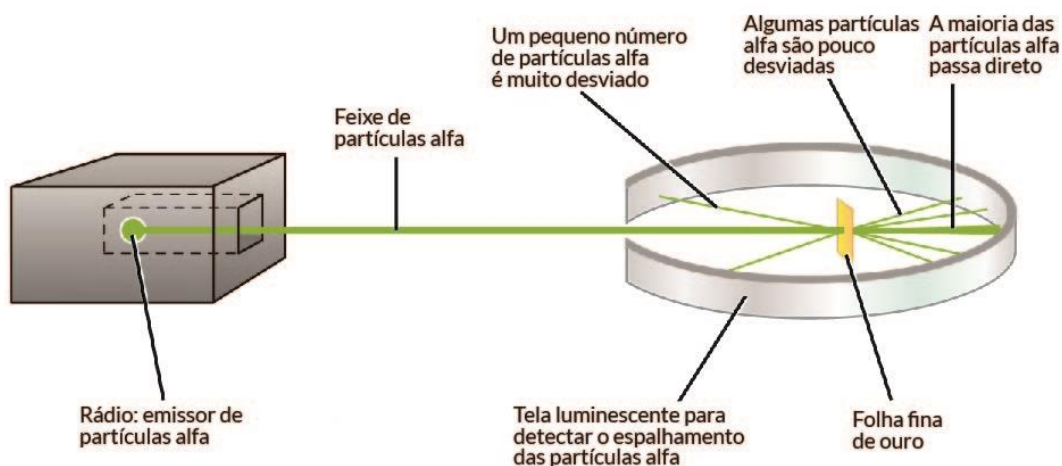
² Disponível em: <https://www.educamaisbrasil.com.br/enem/quimica/modelo-atomico-de-thomson>> Acesso em 29 de dezembro de 2023.

Em 1895, ainda antes de Thomson desenvolver seu modelo, o jovem cientista neozelandês Ernest Rutherford foi convidado a juntar-se ao Laboratório Cavendish, onde estudou diversos temas, inclusive com Thomson, como os raios X e a radioatividade, recentemente descoberta.

Como resultado de seu bom trabalho, Rutherford foi convidado para iniciar uma escola de física na Universidade McGill, no Canadá. Lá, trabalhou com as radiações do Urânio, o que lhe rendeu um Nobel de Química. Retornou à Inglaterra alguns anos depois, em Manchester, onde seus estudos culminaram em um novo modelo atômico. (Lopes, 2009)

Sob a orientação de Rutherford, seus alunos Hans Geiger e Ernest Marsden realizaram diversos experimentos de disparo de partículas alfa em diferentes folhas metálicas. O material mais utilizado era o ouro, pois permitia obter folhas finas e uniformes e uma boa dispersão das partículas alfa, já que o trio pretendia observar, com esses experimentos, o desvio (espalhamento) dessas partículas. (Lopes, 2009). O esquema do experimento encontra-se na Figura 4.

Figura 4 – Experimento de Geiger, Marsden e Rutherford com partículas alfa



Fonte: Khan Academy³.

Dado o modelo atômico de J. J. Thomson, era esperado um pequeno desvio em algumas das partículas, já que estas são positivas e, ao colidirem com a massa positiva do átomo, a interação entre as cargas iguais causaria repulsão. No entanto, o que Rutherford e seu time não souberam explicar, inicialmente, era o enorme desvio de algumas partículas, que sequer atravessavam a fina folha de ouro.

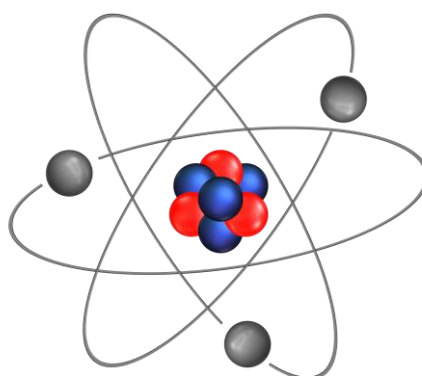
³ Disponível em: <<https://pt.khanacademy.org/science/chemistry/electronic-structure-of-atoms/history-of-atomic-structure/a/discovery-of-the-electron-and-nucleus>> Acesso em 5 de dezembro de 2023.

Dessa maneira, a equipe debruçou-se sob tentativas de explicar o fenômeno observado com seus experimentos. Sobre isso, conta Geiger (*apud* Andrade, 1964):

“Um dia Rutherford, obviamente, no melhor dos espíritos, entrou em minha sala e disse que agora ele sabia como o átomo parecia ser e como explicar as grandes deflexões das partículas alfa. No mesmo dia iniciei um experimento para testar as relações esperadas por Rutherford entre o número de partículas dispersas e o ângulo de espalhamento”

E assim, em 1911, nasceu oficialmente o modelo atômico de Rutherford, que afirmava que o átomo possuía um núcleo, de carga positiva – o que justificava a grande deflexão de algumas partículas alfa – e uma região onde estariam espalhadas as cargas negativas (eletrosfera). O modelo, no entanto, só foi amplamente aceito na sociedade científica da época após Niels Bohr iniciar seus estudos acerca do átomo, utilizando o modelo de Rutherford. (Lopes, 2009)

Figura 5 – Representação do modelo atômico de Rutherford



Fonte: Blog do Stoodi.⁴

4.2. TEORIA QUÂNTICA VELHA E O MODELO ATÔMICO DE BOHR

Com o constante avanço da tecnologia no início do século XX, novos fenômenos eram observados com cada vez mais frequência, e alguns deles careciam de uma explicação que a física clássica não era capaz de fornecer. Soma-se a este contexto a iminente eclosão da Primeira Guerra, causando um *boom* tecnológico em pouco tempo. É nesse cenário que surgem os estudos da chamada quântica, área onde haviam muitas perguntas e pouquíssimas respostas.

Para apresentar, neste trabalho, um resumo do que foi o nascimento da mecânica quântica e sua consolidação, as seções 4.2 e 4.3 foram escritas com base na sequência histórica

⁴ Disponível em: <<https://blog.stoodi.com.br/blog/quimica/modelo-atomico-de-bohr/>> Acesso em 29 de dezembro de 2023.

e conceitual apresentada no livro de Eisberg e Resnick (Eisberg; Resnick, 1979). As demais referências consultadas são citadas ao longo do texto.

O ponto de ruptura da física clássica se deu com os estudos sobre a radiação de corpo negro, assim chamado pela sua característica de emitir e absorver todos os comprimentos de onda, com grande eficiência. As tentativas frustradas de ajuste teórico às curvas experimentais do espectro de emissão da radiação eram feitas a partir de conceitos da física clássica. No entanto, as previsões não correspondiam aos dados medidos.

Em 1900, essa questão foi resolvida por Max Planck, que propôs a definição de *quanta* como pacotes discretos de energia, vibrando numa dada frequência ν . Os elétrons quentes de um corpo negro, ao trocar energia, seja absorvendo-a ou liberando-a, só poderiam fazer essa troca em específicas quantidades. Essa definição foi expressa conforme a equação 1. (Atkins; Jones, 2012, p. 10)

$$E = h \cdot \nu \quad (1)$$

Na equação 1, nota-se o termo h , que ficou conhecido como a constante de Planck, cujo valor é $6,626 \cdot 10^{-34} J \cdot s$. O grande diferencial na teoria de Max Planck se dá justamente ao tratar as trocas de energia como um fenômeno com quantidades discretas, pois dentro da física clássica, assumia-se que as trocas poderiam ocorrer sem restrições de quantidade mínima de energia, o que levava às inconsistências experimentais. (Atkins; Jones, 2012, p 11)

Outra enorme contribuição para o início da física quântica foi dada por Albert Einstein, que reconheceu e passou a utilizar as ideias de Planck em seus trabalhos. Einstein admitiu que a luz era formada por corpúsculos, os *quanta*, que mais tarde foram nomeados de fótons. Essa condição permitiu o entendimento do efeito fotoelétrico, trabalho que levou Einstein a receber um prêmio Nobel em 1921. (Pinheiro; Costa; Moreira, 2012)

O efeito fotoelétrico consiste na ejeção de elétrons de um material exposto a radiação de uma dada frequência eletromagnética. Os fótons incidentes transferem energia aos elétrons, que acabam sendo arrancados da superfície onde estão e formam uma corrente elétrica. A ejeção depende da frequência da radiação e não depende da intensidade da luz, como seria esperado na teoria clássica. Percebe-se, então, que apenas a teoria quântica é capaz de explicar esse efeito. (Braunn; Larsen, 2021)

Nesse contexto, Albert Einstein também foi responsável por alavancar a tese de doutorado de um outro físico bastante famoso, Louis de Broglie. O francês propôs, em 1924, que não somente a radiação apresenta a dualidade onda-partícula, mas que na realidade toda a

matéria se comporta assim. Portanto, segundo ele, toda a matéria (um elétron ou uma bola de futebol, por exemplo) teria uma onda que governa seus movimentos.

De Broglie relacionou as características de partícula com as características ondulatórias ao enunciar a equação para o comprimento de onda de de Broglie:

$$\lambda = \frac{h}{p} \quad (2)$$

Essa equação define o comprimento da onda de uma partícula (ou corpo qualquer) como quociente da constante de Planck pelo momento linear dessa partícula. É a dualidade onda-partícula sendo descrita matematicamente. No entanto, foram necessários alguns anos até que essa teoria fosse amplamente aceita na comunidade científica.

Muitos foram os experimentos realizados até que G. P. Thomson, em 1927, conseguiu confirmar a relação de de Broglie ao demonstrar a difração de um feixe de elétrons ao passar por filmes finos, confirmando a natureza ondulatória do elétron. Curiosamente, J.J. Thomson, seu pai, foi quem confirmou a existência do elétron enquanto partícula.

Um outro aspecto novo advindo das ideias da mecânica quântica, referia-se à determinação do movimento de uma partícula microscópica. Dentro dos estudos da física clássica, uma partícula tem trajetória bem definida, e é possível saber sua localização e velocidade a cada instante de seu movimento. Já no caso das ondas, não há como precisar essas duas grandezas. Dessa forma, considerando a dualidade onda-partícula, não há como saber a exata trajetória das partículas. (Atkins; Jones, 2012, p. 15)

O cientista Werner Heisenberg focou parte de seus estudos nessa interpretação, chegando ao chamado princípio da incerteza:

$$\Delta p \Delta x \geq \frac{1}{2} \hbar \quad (3)$$

Essa equação mostra que tanto para o momento linear (p) quanto para a posição (x), existe uma incerteza associada. O produto dessas incertezas é sempre maior que uma constante \hbar , que corresponde a $\frac{h}{2\pi}$. Portanto, quanto menor for a incerteza da posição, por exemplo, maior será a incerteza em relação ao momento. Logo, não é possível precisar, simultaneamente, o momento e a posição de uma dada partícula. (Atkins; Jones, 2012, p. 16)

Neste ponto, abandona-se de vez a mecânica clássica, pois não há mais como prever

com exatidão o funcionamento de um sistema sem a certeza do momento e da localização das partículas a ele associadas. A mecânica quântica, por sua vez, permite prever apenas o comportamento provável das partículas.

Nessa época, um modelo atômico quântico, proposto há mais de uma década, já era completamente aceito.

Em 1911 Niels Bohr, cientista dinamarquês, trabalhou com Ernest Rutherford em Manchester, por um breve período. Logo após, Bohr direcionou seus estudos na intenção de explicar a estabilidade do átomo, que não era possível, por meio do modelo vigente de Rutherford. Seus estudos se concentram totalmente na eletrosfera do átomo, considerando a existência do núcleo já posta por Rutherford.

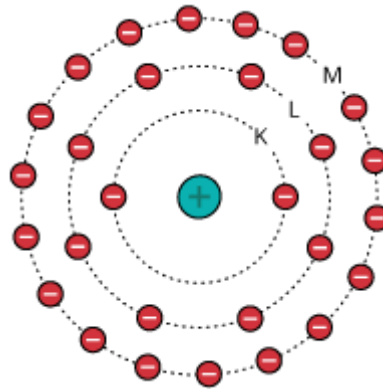
Os experimentos da época com espectros de emissão atômica mostravam que os átomos emitiam radiação eletromagnética em apenas algumas linhas espectrais (diferentemente da radiação de corpo negro), apresentando, portanto, somente alguns comprimentos de onda. Não havia, até então, explicação para o motivo de apenas algumas linhas discretas aparecerem ao invés de todo o espectro de radiação da luz branca. (Atkins; Jones, 2012, p. 6)

Levando em consideração as observações dos espectros atômicos e a quantização proposta por Max Planck e corroborada por Albert Einstein, Bohr apresentou os seguintes postulados:

1. Um elétron em um átomo se move em uma órbita circular em torno do núcleo sob influência da atração coulombiana entre o elétron e o núcleo, obedecendo às leis da mecânica clássica.
2. Em vez da infinidade de órbitas que seriam possíveis segundo a mecânica clássica, um elétron pode se mover em uma órbita na qual seu momento angular orbital L é um múltiplo inteiro de \hbar (a constante de Planck dividida por 2π).
3. Apesar de estar constantemente acelerado, um elétron que se move em uma dessas órbitas possíveis não emite radiação eletromagnética. Portanto sua energia total E permanece constante.
4. É emitida radiação eletromagnética se um elétron, que se move inicialmente sobre uma órbita de energia total E_i , muda seu movimento descontinuamente de forma a se mover em uma órbita de energia total E_f . A frequência da radiação emitida ν é igual à quantidade $(E_i - E_f)$ dividida pelo constante de Planck h . (Eisberg; Resnick, 1979, p. 138)

Partindo desses postulados, Bohr elaborou, em 1913, seu modelo atômico, que consistia num núcleo com partículas positivas, e uma eletrosfera com órbitas específicas, quantizadas (Figura 6). Ele absorveu o trabalho de Planck e o trouxe como explicação para os espectros atômicos obtidos. Seu modelo foi amplamente aceito na época em que foi apresentado, pois muitas experiências mostravam resultados concordantes com seus postulados.

Figura 6 – Representação do modelo atômico de Bohr



Fonte: Univesp.⁵

No entanto, ao observar esses postulados, nota-se que há uma grande mistura entre a mecânica clássica e a quântica. Além disso, ao estudar átomos com mais elétrons, o sucesso do modelo caía por terra. Apenas alguns anos depois, essa teoria, chamada de teoria quântica velha, foi remodelada sob uma nova ótica.

4.3. NOVA MECÂNICA QUÂNTICA E O MODELO DE SCHROEDINGER

Em 1926, Erwin Schroedinger publicou sua própria teoria acerca da mecânica quântica, revolucionando a área. A teoria criada por ele é capaz de fornecer as leis que as partículas de qualquer sistema microscópico obedecem. Dessa forma, é vista como uma extensão do postulado de de Broglie, uma generalização para poder abranger todos os casos (inclusive aqueles que a mecânica clássica é capaz de explicar).

Enquanto o postulado de de Broglie diz que o movimento de uma partícula é governado por uma onda a ela associada, a equação criada por Schroedinger permite determinar essa onda, por meio de uma função matemática chamada função de onda (ψ). Para desenvolver sua equação, Schroedinger teve de usar como base as ideias de Planck, Einstein e de Broglie, precursores da mecânica quântica. Após anos debruçado sobre esses trabalhos, Schroedinger publicou seu primeiro artigo que revela sua tão famosa equação:

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2 \psi(x,t)}{\partial x^2} + V(x,t)\psi(x,t) = i\hbar \frac{\partial \psi(x,t)}{\partial t} \quad (4)$$

⁵ Disponível em: <<https://apps.univesp.br/evolucao-do-modelo-atomico/>> Acesso em 29 de dezembro de 2023.

Esta equação é chamada fundamental, portanto não existe demonstração matemática para sua obtenção. No entanto, alguns aspectos foram observados por Schroedinger na busca por uma equação que pudesse explicar as funções de onda. O primeiro deles é o postulado de de Broglie (equação 2). Além dele, a equação desenvolvida por Einstein e Planck também foi observada (equação 1). Por fim, Schroedinger percebeu que sua equação precisava ser linear e que para casos de energia potencial constante, a solução precisaria ter frequência e comprimento de onda definidos.

Na equação de Schroedinger, o primeiro termo relaciona-se à energia cinética, o segundo termo ao potencial ao qual a partícula está submetida e o termo a direita da igualdade contém a dependência da evolução temporal da função de onda.

As soluções da equação de Schroedinger foram os parâmetros utilizados para a elaboração de seu modelo atômico. Porém, quando se fala da mecânica quântica moderna, é necessário inserir mais um importante nome no contexto.

Assim como Einstein fez em relação à radiação, o físico Max Born elaborou uma unificação para trabalhar com a dualidade onda-partícula. Para isso, considerou a média da função de onda ao quadrado, como forma de calcular a probabilidade de encontrar uma partícula em determinado volume, ponto e instante, como mostra a equação 5. Esse resultado obtido seria a densidade de probabilidade.

$$P(x, t) = \psi^*(x, t)\psi(x, t) \quad (5)$$

Com essa equação, Born aproximou as funções de onda à sua partícula associada, obtendo o máximo de informações possíveis sobre um sistema considerando o princípio da incerteza. É importante notar que, embora as equações (4) e (5) tenham sido criadas para prever o comportamento da função de onda e obter a energia da partícula governada pela onda, tais previsões são sempre probabilísticas, e não podem ser tratadas de outra forma. Enunciou o próprio Max Born (*apud* Eisberg; Resnick, 1979): “O movimento das partículas está de acordo com as leis da probabilidade, mas a probabilidade se propaga segundo a lei da causalidade.”

A equação de Schroedinger é capaz de fornecer como soluções as regiões mais prováveis de se encontrar um elétron no átomo. Essas soluções são funções, matematicamente complicadas, dependentes das coordenadas radiais e angulares em relação ao núcleo atômico, que podem ser inseridas em gráficos, que traduzem de forma tridimensional a probabilidade de densidade. São os chamados orbitais ou nuvens eletrônicas.

Existem diversos orbitais, com formatos e energias diferentes. Essas energias são quantizadas, logo apenas alguns valores de energia são possíveis. Esses valores dependem do estado quântico em que se encontra o elétron e existem 4 parâmetros para definir esse estado, de acordo com Schroedinger, chamados de números quânticos.

O número quântico principal (n), diz respeito à camada ou nível de energia. Os orbitais presentes numa mesma camada têm energias parecidas, e por isso são agrupados dessa forma. Cada camada pode abrigar somente uma quantidade específica de elétrons (ver quadro 1) a depender da quantidade de orbitais que nela existem.

Quadro 1 – Número de elétrons por camada

Nível	Camada	Nº máximo de elétrons
1	K	2
2	L	8
3	M	18
4	N	32
5	O	32
6	P	18
7	Q	8

Fonte: Elaborado pela autora.

Já o número quântico de momento angular (l) determina justamente o momento angular do orbital onde está o elétron, e conseqüentemente, dispõe o formato deste orbital. Para cada valor possível de l (0, 1, 2 ou 3), há uma letra correspondente ao orbital, sendo elas, respectivamente, s, p, d e f . O número quântico l depende de n . Para $n = 1$, l só pode ser igual a 0. Assim, na camada 1, somente existe o orbital s . Já na camada 2, l pode ser 0 ou 1, e orbitais s e também p podem ser observados. A figura 7 explicita essa dinâmica.

Figura 7 – Valores de n e possíveis valores de l

Valor de n	1	2	3	4
Possíveis valores de l	0	0, 1	0, 1, 2	0, 1, 2, 3
Nome	1s	2s, 2p	3s, 3p, 3d	4s, 4p, 4d, 4f

Fonte: Brondani, 2019

A partir da quarta camada, todos os formatos de orbitais podem ser encontrados. Além do formato, os orbitais possuem diferentes orientações espaciais. O número quântico magnético (m_l) é quem determina essa orientação. Ele depende diretamente de l , pois o formato do orbital vai dizer quais as orientações possíveis. m_l varia de $-l$ até $+l$, conforme pode-se observar na figura 8.

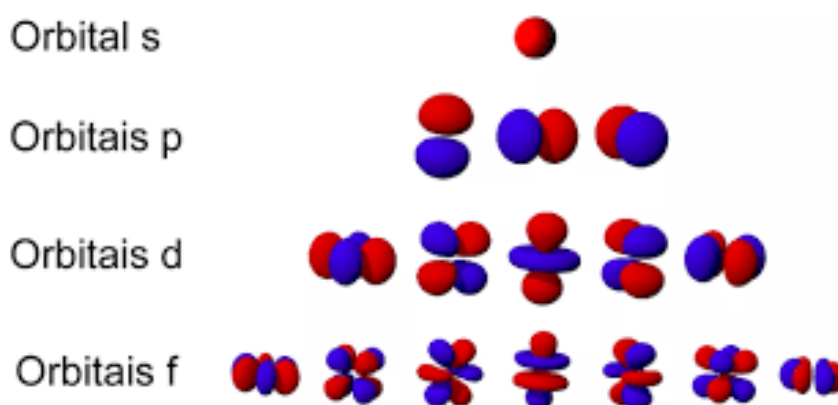
Figura 8 – Valor de n e possíveis valores de l e m_l

Valores de n	1	2	3
Valores de l	0	0	1
Nome	1s	2s	2p
Possíveis valores de m_l	0	0	+1, 0, -1
Nome	1s	2s	2p _x , 2p _y , 2p _z

Fonte: Brondani, 2019

Os orbitais s têm valor de $l = 0$, já que são esféricos, portanto possuem somente uma orientação possível e não há variações no valor de m_l , que também só pode ser 0. Já no caso dos orbitais p , onde $l = 1$, são possíveis três valores para m_l : -1, 0 e 1. Logo, são observadas três orientações possíveis para estes orbitais. Quando $l = 2$, são possíveis cinco valores para m_l , logo, os orbitais d possuem cinco orientações. E, por fim, quando $l = 3$, sete valores de m_l são possíveis, e, assim, os orbitais f têm sete diferentes orientações. Tudo isso pode ser melhor compreendido com a visualização de cada orientação, conforme mostra a figura 9.

Figura 9 – Orientações dos orbitais s, p, d e f



Fonte: Brondani, 2019

Por fim, há um quarto número quântico que precisa ser levado em consideração para a definição completa do comportamento de um elétron. Erwin Schroedinger não chegou a esse número em seus estudos, mas, em 1928, Paul Dirac provou matematicamente a existência da propriedade de spin. (Atkins; Jones, 2012, p. 30)

Experimentalmente, a propriedade de spin já fora demonstrada, em 1920, através do experimento de Stern-Gerlach. Os cientistas removeram todo o ar de um recipiente e fizeram passar por ele um campo elétrico pouco uniforme. Em seguida, injetaram um feixe de átomos de prata pelo recipiente, com um detector a frente. O esperado seria que todo o feixe se direcionasse a um ponto específico, mas o que de fato ocorreu foi a formação de duas bandas distintas. Partindo dessa observação, os dois concluíram que o elétron possuía spin, e que essa propriedade só poderia assumir dois valores distintos. (Atkins, Jones, 2012, p. 31)

Essa propriedade é intrinsecamente de caráter quântico e só aparece em partículas com essa característica, sendo representada pelo número quântico magnético de spin m_s . Os elétrons tem dois valores de spin possíveis: $+\frac{1}{2}$ e $-\frac{1}{2}$, que correspondem a spin “para cima” (\uparrow) e spin “para baixo” (\downarrow), respectivamente.

Embora trate-se de uma propriedade puramente quântica, é comum interpretar essa propriedade de spin como um comportamento do elétron “girando” em torno do seu próprio eixo. Nesse caso, o spin “para cima” (\uparrow) corresponderia a um elétron girando em sentido horário em torno de seu eixo, e spin “para baixo” (\downarrow) a um elétron girando no sentido anti-horário em torno de seu eixo. (Atkins, Jones, 2012, p.30)

A determinação dos quatro números quânticos permite conhecer a localização provável e o comportamento de um elétron dentro da eletrosfera de um átomo. A Figura 10 traz um resumo do que significa cada número quântico.

Figura 10 – Resumo sobre os números quânticos

Nome	Símbolo	Valores	Especifica	Indica
principal	n	$1, 2, \dots$	camada	tamanho
momento orbital angular*	l	$0, 1, \dots, n - 1$	subcamada: $l = 0, 1, 2, 3, 4, \dots$ s, p, d, f, g, ...	forma
magnético	m_l	$l, l - 1, \dots, -l$	orbitais de subcamada	orientação
magnético de spin	m_s	$+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$	estado de spin	direção de spin

* Também chamado de *número quântico azimutal*.

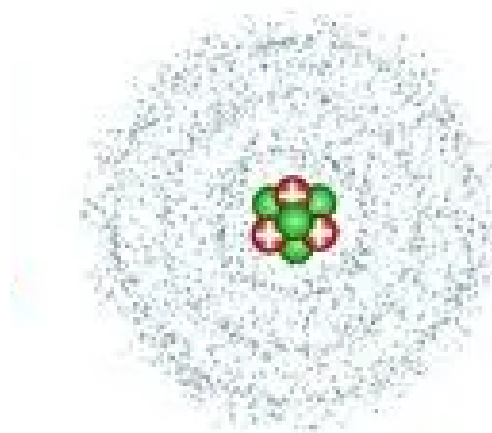
Fonte: Atkins; Jones, 2012, p. 26.

De acordo com a mecânica quântica, não há como determinar com exatidão a localização e o momento de um elétron, por isso costuma-se usar a ideia de nuvem eletrônica, que corresponde às regiões onde é possível encontrar um elétron, dentro de um orbital. Entre essas nuvens, existem pontos onde não é possível encontrar um elétron, conforme o resultado

do cálculo das funções de onda. Essas regiões são chamadas de nós e nesses pontos a probabilidade de encontrar um elétron é nula. (Brondani, 2019)

Com base em sua equação, as soluções que dela derivam e outros princípios da mecânica quântica, Erwin Schroedinger elaborou seu modelo atômico, substituindo as órbitas definidas de Bohr pelas nuvens eletrônicas que são os orbitais. É possível visualizar uma representação simplificada de seu modelo na figura 11.

Figura 11 – Representação do modelo atômico de Schroedinger



Fonte: Brasil Escola, UOL.⁶

O modelo de Schroedinger foi uma grande evolução no entendimento da estrutura atômica, pois permitiu a compreensão de certos fenômenos que o modelo anterior não era capaz de explicar. Além disso, transpôs uma enorme limitação do modelo de Bohr, pois o modelo de Schroedinger se sustenta para átomos polieletrônicos. É com base nesse modelo que a tabela periódica está organizada atualmente, e é por meio do estudo dos orbitais eletrônicos que se compreendem inúmeras propriedades dos elementos químicos.

4.4. DISTRIBUIÇÃO ELETRÔNICA E DIAGRAMA DE LINUS PAULING

A partir dos números quânticos, conforme já discutido, é possível determinar a energia de um elétron e sua região provável de localização. Assim se forma a distribuição eletrônica dos átomos, levando em consideração todos esses aspectos. O estudo da distribuição dos elétrons é muito importante, pois através dele foi possível desenvolver a tabela periódica como

⁶ Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/fisica/modelos-atomicos.htm>> Acesso em 02 de janeiro de 2024.

a conhecemos atualmente, agrupando os elementos justamente de acordo com a distribuição de seus elétrons.

Para efetuar corretamente a distribuição dos elétrons de um átomo, algumas regras precisam ser levadas em consideração. A principal delas é o princípio de Aufbau, que determina a ordem dessa distribuição dos elétrons. De acordo com Aufbau, a ordem de preenchimento deve ser a ordem crescente de energia no átomo, buscando sempre a menor energia total possível. Assim, se estabelece uma ordem de preenchimento iniciando do nível menos energético para o mais energético. (Torres, 2000)

No entanto, sabe-se experimentalmente que a ordem crescente de níveis e orbitais não é seguida no caso dos metais de transição. O que se vê, na realidade, é que a energia total do átomo é menor se o orbital $4s$ for preenchido antes do $3d$. O mesmo ocorre nas camadas seguintes, e também para os orbitais f . Assim, para obedecer ao princípio de Aufbau, segue-se a seguinte ordem: $1s, 2s, 2p, 3s, 3p, 4s, 3d, 4p, 5s, 4d, 5p, 6s, 4f, 5d, 6p, 7s, 5f, 6d, 7p$. (Torres, 2000)

Ademais, deve-se respeitar o princípio da exclusão de Pauli. Segundo ele, dois elétrons não podem ter o mesmo conjunto de números quânticos. Logo, dentro de um mesmo orbital, dois elétrons têm, obrigatoriamente, spins opostos. Por fim, considera-se também a regra de Hund: Segundo Atkins e Jones “Esse procedimento dá a configuração do átomo que corresponde à energia total mais baixa, levando em conta a atração dos elétrons pelo núcleo e repulsão dos elétrons” (Atkins; Jones, 2012, p. 35)

Assim, no preenchimento dos orbitais p , por exemplo, coloca-se um elétron em cada orbital (p_x, p_y e p_z), ao invés de preencher totalmente um deles primeiro. Isso dá mais estabilidade, já que um orbital completamente preenchido ficaria sob ação da repulsão eletrônica.

Considerando-se a dificuldade de memorização da ordem estabelecida pelo princípio de Aufbau, foram criadas diversas maneiras de se apresentar essa ordem de forma a facilitar esse processo. O mais famoso mnemônico utilizado para esse fim é o diagrama de Linus Pauling. Apesar do nome, não foi Pauling quem o elaborou, e sim o alemão Erwin Madelung. Linus Pauling incluiu o diagrama em seu livro *The Nature of the Chemical Bond*, de 1939, e por isso o diagrama ficou conhecido com o seu nome. (Pereira; Nascimento, 2019). O diagrama pode ser visualizado na Figura 12.

Figura 12 - Diagrama de Linus Pauling para a distribuição eletrônica

K	1 s ²			
L	2 s ²	2 p ⁶		
M	3 s ²	3 p ⁶	3 d ¹⁰	
N	4 s ²	4 p ⁶	4 d ¹⁰	4 f ¹⁴
O	5 s ²	5 p ⁶	5 d ¹⁰	5 f ¹⁴
P	6 s ²	6 p ⁶	6 d ¹⁰	
Q	7 s ²	7 p ⁶		

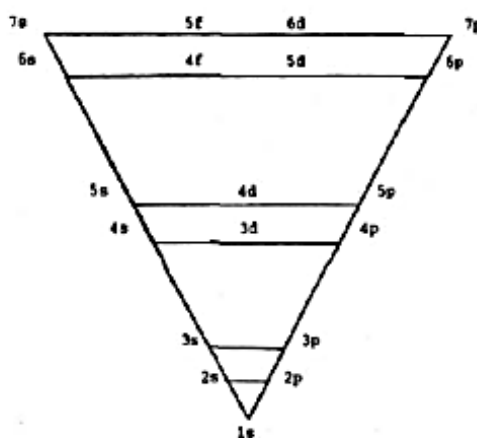
Fonte: Calculadora de distribuição eletrônica⁷

O diagrama de Linus Pauling apresenta os subníveis de energia de um dado nível na mesma linha, reforçando a ideia de que estão numa mesma camada. No entanto, para que a ordem da distribuição fique correta, ela deve ser feita utilizando o sentido das setas vermelhas, nas diagonais.

Ainda que este seja o diagrama mais famoso, outros foram feitos propondo novas formas de indicar a ordem de configuração eletrônica. É o caso dos mnemônicos de Grenda, Iza e Gil, Parsons e Hakala, apresentados a seguir

O mnemônico de Grenda, de 1988, dentre os citados acima, é o que mais difere do diagrama padrão de Linus Pauling, pois utiliza-se de um formato geométrico, tornando seu visual muito diferente, como se pode ver na Figura 13.

Figura 13 – Mnemônico de Grenda para a distribuição eletrônica



Fonte: Grenda, 1998 apud Pereira; Nascimento, 2019

⁷ Disponível em < <https://www.distribuicaoeltronica.com/> Acesso em 10 de janeiro de 2024.

Nesse mnemônico, a ordem se segue da base para o topo da pirâmide invertida, sempre da esquerda para a direita. Apesar de visualmente diferente, Pereira e Nascimento (2019) apontam em seus estudos que os estudantes não se adaptaram bem a essa representação, preferindo o diagrama de Linus Pauling.

Já Iza e Gil (1995) propuseram um mnemônico em linha reta, utilizando apenas as letras de cada orbital em sete grupos, que consta na Figura 14. Os orbitais s e p tem como número da camada o número do próprio grupo onde estão. Por exemplo, se estão no grupo 3, serão 3s e 3p. Os orbitais d terão como número de camada o número do grupo subtraído de uma unidade, e os orbitais f, o número do grupo subtraído de 2 unidades. Por exemplo, se estiverem no grupo 6, serão respectivamente 5d e 4f. (Pereira; Nascimento, 2019)

Figura 14 – Mnemônico de Iza e Gil para a distribuição eletrônica

s, sp, sp, sdp, sdp, sfdp, sfdp

Fonte: Iza; Gil, 1995 apud Pereira; Nascimento, 2019

É perceptível que a forma “limpa” como se apresenta esse mnemônico facilita muito sua memorização. Porém, não basta memorizá-lo, sendo imprescindível lembrar também todas as regras mencionadas acima para poder executar a configuração eletrônica.

Já o mnemônico proposto por Parsons (1989) é bastante parecido com o de Linus Pauling, mas com a ordem trocada para que não seja preciso usar as diagonais. Esse mnemônico é lido da direita para a esquerda, em linha reta, conforme a Figura 15.

Figura 15 – Mnemônico de Parsons para a distribuição eletrônica

1s
2s
2p 3s
3p 4s
3d 4p 5s
4d 5p 6s
4f 5d 6p 7s
5f 6d 7p 8s

Fonte: Parsons, 1988 apud Pereira; Nascimento, 2019

Esse mnemônico apresenta a vantagem de parecer o de Linus Pauling e ainda sim, não precisar das diagonais para ser lido. Todavia, tem uma estrutura um pouco mais complexa para ser memorizada que o de Iza e Gil, por exemplo.

Por fim, cita-se também o diagrama de Hakala (1948), muito semelhante à estrutura de Parsons, mas utilizando somente os números na estrutura, com os orbitais indicados acima, conforme se vê na Figura 16.

Apesar de haver diversas formas de se trabalhar com a distribuição eletrônica, é comum a todos os mnemônicos apresentados a necessidade de se conhecer a teoria por trás da criação deles, pois sem isso, tornam-se apenas um conjunto confuso de signos, que ao invés de facilitar o processo de aprendizagem, acabam por torná-lo ainda mais complexo.

Figura 16 – Diagrama de Hakala para a distribuição eletrônica

...	f	d	p	s
				1
				2
			2	3
			3	4
		3	4	5
		4	5	6
	4	5	6	7
	5	6	7	8
...	⋮	⋮	⋮	⋮

Fonte: Hakala, 1948 apud Bianco; Meloni, 2019

5. DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DA PROPOSTA

A proposta executada neste Trabalho foi pensada a partir do olhar da autora para as dificuldades de seus alunos de nono ano em compreender e executar a distribuição eletrônica com uso do diagrama de Linus Pauling. Dessa maneira, buscou-se compreender as possíveis causas dessa dificuldade e propor formas de enfrentá-las, utilizando uma sequência didática que abrangesse a teoria envolvida na construção do diagrama e pudesse torná-lo menos abstrato.

A sequência didática completa encontra-se no apêndice A. Na seção seguinte estão detalhadas sua estrutura e o cronograma de aplicação. Posteriormente, descreve-se como ocorreu a aplicação de cada uma das etapas da sequência.

5.1. ESTRUTURA E CRONOGRAMA DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Nesse enfrentamento, foi necessário fornecer aos alunos um aporte teórico mais sólido e profundo que o material apostilado que já possuíam. Assim, a primeira parte da sequência consistiu em uma aula expositiva, com o uso de *slides*, que foi precedida de uma atividade de sondagem, visando registrar os conhecimentos prévios dos alunos.

Após a aula, os alunos foram convidados a construir no Espaço *Maker* da escola um modelo físico e/ou jogo sobre a distribuição eletrônica, pautado completamente no modelo atômico de Schroedinger. Os trabalhos feitos foram devidamente apresentados e os alunos interagiram com os seus próprios trabalhos e os de seus colegas. Ao final da sequência, uma atividade foi aplicada a fim de identificar indícios de ampliação no conhecimento após a realização de toda a proposta.

O tempo dedicado a cada etapa e outras informações pertinentes constam no quadro 2.

Quadro 2 - Resumo por etapas da proposta.

Etapa	Duração	Tópicos/habilidades	Materiais
Atividade prévia	10 minutos	Não houveram tópicos abordados na aplicação da atividade. Previamente, os alunos estavam estudando o átomo de Bohr.	Folhas de atividade, lápis, borracha e caneta.
Aula expositiva	Duas aulas (1h40)	Níveis de energia, orbitais, spin, estados quânticos e distribuição eletrônica.	Projetor, microfone e computador.

Desenvolvimento do modelo físico/jogo	Quatro aulas (3h20)	Níveis de energia, orbitais, spin, estados quânticos e distribuição eletrônica. Trabalho em equipe, autonomia e criatividade.	Materiais reciclados como papelão, tampas de garrafa, teclados velhos; tintas, pincéis, MDF, cortadora à laser.
Apresentação do modelo físico/jogo	Duas aulas (1h40)	Foram abordados os seguintes critérios de avaliação: estética, funcionalidade, trabalho em equipe e eficiência em fazer a distribuição eletrônica.	Trabalhos confeccionados pelos alunos.
Atividade final	10 minutos	Não houveram tópicos abordados na aplicação da atividade. Os alunos foram instruídos a responder de acordo com o que aprenderam durante a sequência.	Folhas de atividade, lápis, borracha e caneta.

Fonte: Elaborado pela autora.

5.2. DESCRIÇÃO DAS TURMAS DE APLICAÇÃO

A sequência didática anteriormente descrita foi aplicada em uma escola da rede privada de ensino localizada na parte nobre da cidade de Sorocaba – SP e desenvolvida com as duas turmas de nono ano, com média de 30 alunos por sala. Para melhor contextualização, é útil entender os perfis de cada turma, aqui chamadas de A e B.

A turma A apresenta, em sua grande maioria, divisões internas em grupos que não se conversam e não trabalham bem juntos. Talvez justamente por serem divididos, são uma turma mais quieta e calma durante as aulas e atividades rotineiras, mas que apresenta diversas dificuldades ao se deparar com grupos de trabalho diferentes dos grupos de amizade.

Já a turma B é muito unida, o que se deve ao fato de estarem quase todos estudando juntos desde a educação infantil, na mesma escola e mesma turma. Dessa forma, seu desempenho em grupos de trabalho é bom, existe um maior engajamento e até mesmo empolgação para esses tipos de atividade. Em contrapartida, são muito mais agitados, falantes e dispersos que a turma A, tendo uma menor aceitação a aulas expositivas e conteudistas.

5.3. ATIVIDADE PRÉVIA E AULA EXPOSITIVA

Para que fosse possível comparar o conhecimento dos alunos acerca do tema trabalhado antes e depois da aplicação da sequência, foram desenvolvidas atividades, de cunho bastante simples, para iniciar e encerrar o projeto. A atividade prévia foi pensada para captar os conhecimentos dos alunos antes da aplicação da sequência.

A atividade, que pode ser consultada no apêndice A1, consistiu em apenas 2 itens: um desenho do átomo, e uma breve explicação do funcionamento da eletrosfera. Neste caso, em que se trabalha com modelos imagéticos, o desenho é uma ótima forma de avaliar o que os alunos associam ao conceito de átomo.

No mesmo dia, logo após a aplicação da atividade prévia, a aula expositiva foi dada. Com duração de 1h40 (duas aulas de 50 minutos cada) e uso de slides para a melhor visualização dos alunos, a aula foi pensada de maneira a construir com os alunos a base da quântica, de maneira bastante simples, mas que fosse capaz de explicar a eles o modelo atômico de Schroedinger, base para a criação do diagrama de Pauling.

Dessa forma, a aula foi iniciada retomando o que os estudantes já sabiam sobre o átomo. Eles foram incentivados a descrever brevemente as características do átomo, e nas duas turmas vários alunos se propuseram a responder em voz alta, citando as partículas subatômicas (prótons, nêutrons e elétrons) e a separação em núcleo e eletrosfera.

Em seguida, foi introduzida a definição de quântico como sendo algo de escala de grandeza tão pequena que as leis da física clássica não se aplicam. A nível atômico ou menor, tudo é quântico – como os prótons e elétrons. Isso posto, a propriedade de spin foi discutida com os alunos, utilizando inclusive o experimento que comprovou a existência da mesma.

Esse foi um momento onde várias dúvidas e rostos confusos surgiram. Apesar de parecer mais simples, o conceito de spin como movimento giratório do elétron não foi citado, pois, na realidade, não há giro algum. Neste caso, foi a imagem demonstrativa do experimento de Stern-Gerlach que mais ajudou os estudantes a entender a propriedade.

O princípio da incerteza de Heisenberg foi também colocado, mas sem o enunciado matemático. A incerteza é uma característica muito importante dos sistemas quânticos e necessária para o entendimento do que foi explicado logo em seguida – o modelo da nuvem eletrônica, baseado nos estudos de Erwin Schroedinger. Também sem utilizar a linguagem matemática, foi posta aos alunos a ideia de que o cientista conseguiu calcular a energia de cada elétron dentro de um átomo, e que esta energia dependia de 4 parâmetros.

Na sequência, os 4 parâmetros foram devidamente colocados e explicados. O primeiro deles, o nível eletrônico, diz respeito às camadas da eletrosfera. Explicou-se para os alunos que cada camada tem um número, sendo 1 a camada mais próxima ao núcleo, e a quantidade máxima de elétrons por camada foi citada. Depois disso, o segundo parâmetro, subnível eletrônico ou orbital, foi colocado, incluindo a forma de representação com as letras *s*, *p*, *d* e *f*. O terceiro parâmetro falado foi a orientação espacial de cada orbital. Para uma melhor visualização dos alunos, uma imagem com desenhos de cada orbital e suas orientações foi projetada.

Durante toda a explicação desses 3 parâmetros, a quantidade de elétrons por camada foi retomada. Ao perceberem que, somando a quantidade de elétrons em cada orbital de uma camada, o resultado era a quantidade por camada listada junto ao primeiro parâmetro, os estudantes finalmente puderam compreender como funcionavam os orbitais.

A imagem também foi de enorme ajuda, pois com ela foi possível mostrar que as variações de orientação no espaço não mudam o formato do orbital, apenas a forma como ele é visto, tendo como referência diferentes pontos no espaço. Para ajudá-los a ter essa percepção, o orbital *s* foi usado como exemplo, pois não possui variação de orientação já que é esférico, e uma esfera vista de qualquer posição continua tendo exatamente o mesmo formato.

Por fim, o quarto parâmetro apresentado foi a orientação do spin, podendo ser chamado de “para cima” ou “para baixo” e representado pelas setas. Juntos, todos esses parâmetros foram utilizados para construir com os estudantes a ideia do estado quântico de um átomo, que seria a distribuição de seus elétrons seguindo algumas regras. Eles foram ensinados que, em cada orientação espacial poderiam haver apenas dois elétrons, sempre de spins opostos. Assim, ao falarmos do orbital *s*, teríamos apenas 2 elétrons ao todo. No caso do *p*, 2 elétrons por orientação resultam em 6 elétrons ao todo, e assim por diante.

Além disso, também foram ensinados a preencher cada uma das orientações com spin para cima. Um exemplo foi feito totalmente pela professora, e em seguida os alunos foram convidados a tentar fazer essa distribuição para um átomo neutro de oxigênio. Surpreendentemente, vários demonstraram entender a lógica, respondendo corretamente e com rapidez.

Os alunos também aprenderam, após uma breve pausa de alguns minutos, que a energia total de um átomo depende também da repulsão eletrostática que ocorre na eletrosfera, o que pode interferir na distribuição dos elétrons. Esse conceito foi utilizado como base para explicar porque se preenche o orbital *4s* antes do *3d*, conforme se vê na ordem padrão de distribuição de elétrons.

Assim, após todos esses novos conceitos, uma pergunta foi feita aos alunos: como seria possível memorizar a ordem de distribuição eletrônica, principalmente levando em conta que ela deixa de ser crescente após a inversão do $3d$ e $4s$? E para responder esse questionamento, surgem modelos mnemônicos para ajudar a memorização. O mais famoso deles, que foi apresentado aos alunos, foi o diagrama de Linus Pauling. Alguns estudantes já tinham visto o diagrama, na própria apostila, e relataram que somente após conhecerem o modelo quântico foram capazes de entender o significado dos números e da ordem utilizada no diagrama.

A aula toda foi pensada e construída na intenção de que os alunos pudessem primeiramente conhecer o modelo quântico, saber suas características e por fim perceber que existem ferramentas para auxiliá-los na distribuição dos elétrons, mas que é necessário entendê-las para que possam ser usadas.

Esse era o grande objetivo da aula, mostrar aos alunos o que significa cada número, letra e a ordem do diagrama de Linus Pauling, para que aquilo se tornasse para eles muito mais do que um amontoado de signos. Conforme Ausubel, Novak e Hanesian (1983) embora possa ser transformada em significativa, a aprendizagem por recepção (baseada apenas na exposição de conceitos) é, por si só, completamente mecânica.

Dessa forma, para que os conceitos vistos pelos alunos pudessem tornar-se significativos, além de estarem ancorados em conceitos prévios, era necessária alguma outra ferramenta. Os trabalhos, portanto, são propostos justamente com a intenção de fazer com que os alunos aprendam também pela descoberta, buscando estratégias para dar vida aos modelos de distribuição eletrônica.

5.4. DESENVOLVIMENTO E APRESENTAÇÃO DOS TRABALHOS

A fim de consolidar os conteúdos vistos na aula expositiva, para tornar significativos os conceitos apresentados, os alunos foram convidados a elaborar trabalhos, sendo eles modelos físicos e/ou jogos em que fosse possível exercitar a distribuição dos elétrons de acordo com a teoria quântica.

A comanda exata dada aos alunos consta nos apêndices desse trabalho. Foram feitas algumas exigências, como a formação de grupos de 4 integrantes, a representação de, no mínimo, 82 elétrons em materiais móveis e a necessidade de considerar a propriedade de spin. Cada grupo ficou responsável por combinar como faria o trabalho, listar e providenciar os materiais e planejar a execução, que começaria na semana seguinte. Eles receberam, também, exemplos de como montar seus modelos.

Além disso, os alunos também foram incumbidos de elaborar um cartaz mostrando a evolução dos modelos atômicos, relacionando a data de publicação de cada teoria com o contexto histórico da época. Esse cartaz foi uma parceria com a disciplina de História, que estava trabalhando o século XX.

Os trabalhos foram propostos em grupos por diversas razões, entre elas a questão logística, mas principalmente porque é parte da forma de trabalhar da própria escola. Os alunos se sentam em mesas colaborativas, geralmente já em grupos de 4 a 5 pessoas, e assim assistem as aulas e realizam suas atividades.

Ademais, sabe-se que o trabalho colaborativo é importante, tanto para enriquecer o ambiente de aprendizagem dos alunos, que podem contar uns com os outros para fortalecerem virtudes e superarem dificuldades, quanto para fortalecer a convivência com outros, as noções de compartilhamento e de solidariedade para encarar e vencer desafios. (Damiani, 2008).

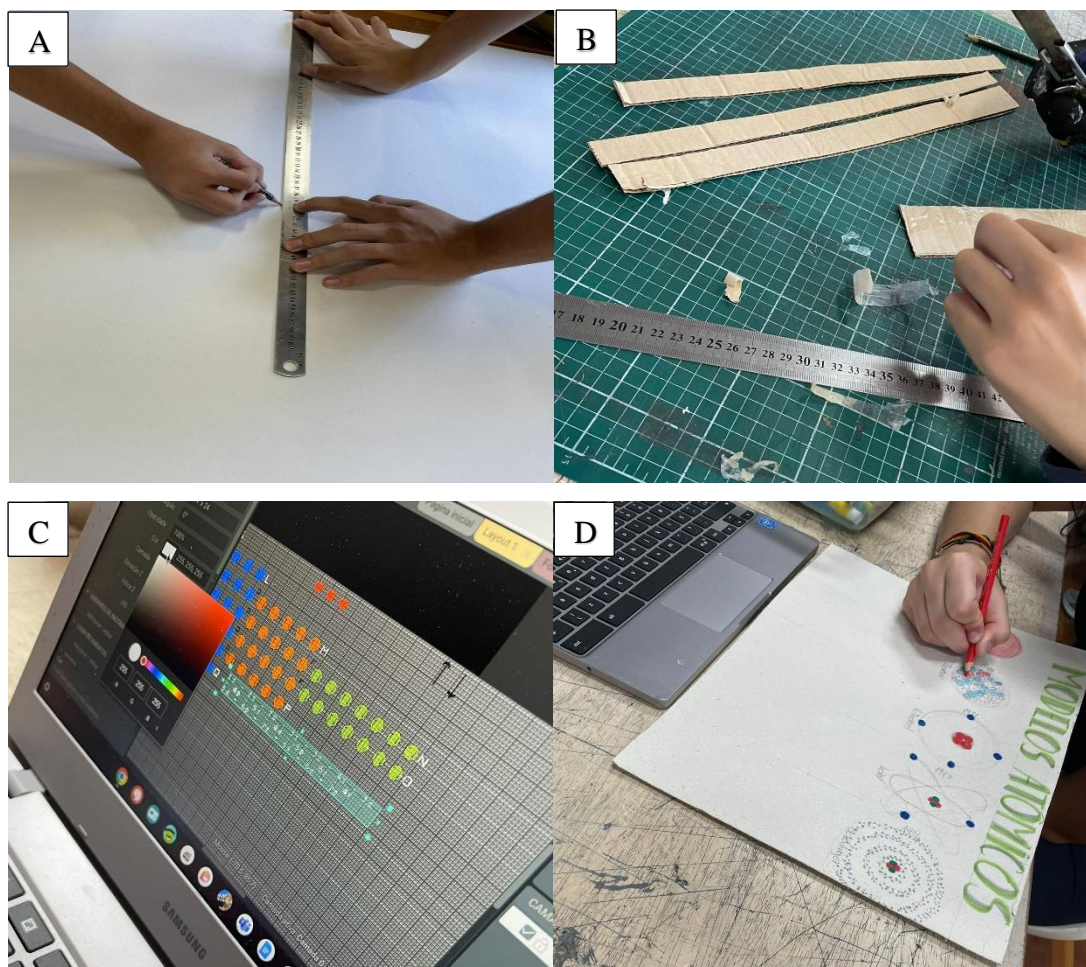
Partindo da comanda passada, os alunos puderam então começar a execução de seus trabalhos, que se deu ao longo de quatro aulas de Ciências, sendo duas por semana, que foram destinadas exclusivamente a este fim. Para isso, os alunos foram conduzidos ao Espaço *Maker* da escola, onde tiveram acesso a diversas ferramentas para a confecção dos trabalhos, como a cortadora à laser e serras para corte. Alguns registros do processo de confecção dos trabalhos são apresentados na Figura 17.

É possível observar, na figura 17c, que há a construção de um modelo virtual, e não físico. Embora a comanda não tenha sido essa, foi considerada uma estratégia muito válida e interessante. Além disso, é sempre muito importante saber ouvir e dar espaço a individualidade e aos conhecimentos dos alunos para além do que se espera na sala de aula. Dessa forma, esse grupo optou por programar um jogo online da distribuição eletrônica.

Ademais, se pôde observar durante o desenvolvimento dos trabalhos o surgimento de diversas dúvidas e inconsistências. Foi um momento muito importante para retrabalhar os temas postos na aula expositiva, lembrando conceitos e esclarecendo questionamentos. Alguns grupos mostraram um bom domínio das características de cada modelo atômico, elaborando ótimos cartazes, mas na hora de criar o modelo para a distribuição, tiveram dificuldades.

As principais dificuldades vistas estavam atreladas ao fato de nem todas as camadas possuírem todos os orbitais. Em vários momentos foi preciso retomar a quantidade máxima de elétrons por camada e também por orbital, para que os alunos pudessem montar seus modelos de maneira correta de acordo com o diagrama de Linus Pauling.

Figura 17 – Alunos iniciando a produção de seus trabalhos e cartazes.



Fonte: Arquivo da própria autora.

Além dos percalços relativos ao trabalho em si, houveram algumas intercorrências dentro de equipes. Conforme dito anteriormente, a turma A não trabalha bem quando os grupos de trabalho diferem dos de amizade. Devido ao número de integrantes por grupo, não foi possível obter um arranjo que satisfizesse a todos.

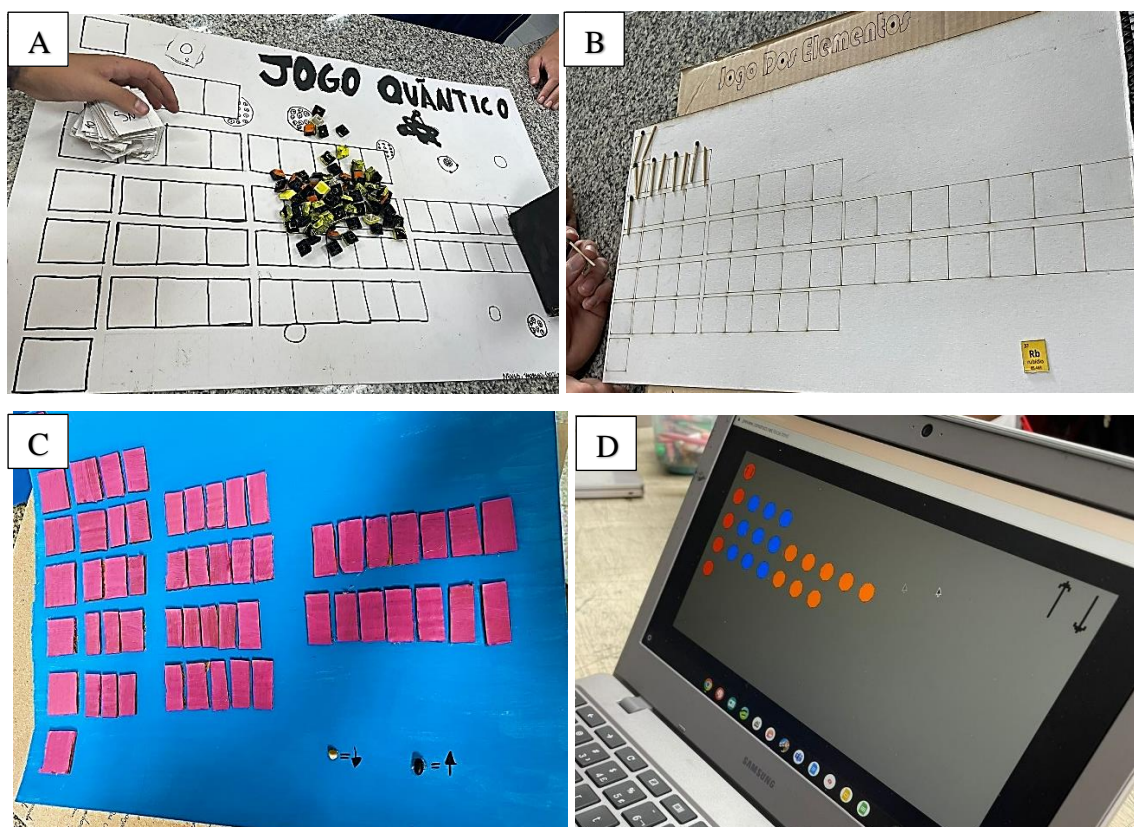
Isso se refletiu em discussões e queixas direcionadas a colegas de grupo. A principal reclamação era sobre a distribuição de tarefas, que em certos casos foi desigual, e gerou queixas não somente de quem fez muito, mas também, em um caso isolado, de quem fez pouco porque foi impedido de participar de outras etapas da elaboração do trabalho. Essas situações foram amenizadas por todos os docentes envolvidos no projeto, e nenhum grupo precisou ser desfeito ou rearranjado.

Passadas as 4 aulas destinadas à montagem dos trabalhos, na semana seguinte cada turma teve 2 aulas para as apresentações de seus trabalhos, separadamente. Cada grupo foi avaliado de acordo com os seguintes aspectos: funcionalidade do modelo, estética,

comportamento durante o desenvolvimento do trabalho e o conteúdo do cartaz com a evolução dos modelos.

Como em todo tipo de atividade, os mais diversos resultados foram apresentados pelos alunos. No entanto, foi possível dividi-los em 2 grupamentos: os que escolheram fazer o modelo usando quadradinhos, e os que escolheram um modelo circular, imitando de certa forma o átomo. Na Figura 18, é possível observar exemplos de modelos feitos em quadradinhos:

Figura 18 – Trabalhos finalizados dos alunos que optaram pelo modelo dos quadradinhos



Fonte: Arquivo da própria autora.

Foi notável, no momento das apresentações, que os grupos que optaram por este modelo o fizeram pois a aula expositiva foi feita utilizando o mesmo. Dessa forma, como já haviam assimilado melhor a ideia de distribuir os elétrons através deste formato, o reproduziram.

Já os grupos que optaram pelo modelo circular, enfrentaram maiores problemas para compreender exatamente o que estavam replicando, mesmo tendo acesso ao exemplo na comanda do trabalho. Mesmo com todo o auxílio durante a construção do modelo, dois grupos apresentaram o modelo circular com erros conceituais. Os trabalhos deste modelo podem ser vistos na Figura 19.

Figura 19 – Trabalhos finalizados dos alunos que optaram pelo modelo circular



Fonte: Arquivo da própria autora.

O que se observa em todas essas figuras é que a execução do modelo circular diferenciou-se bastante do exemplo apresentado (vide apêndice A3). Isso acabou criando certa confusão no raciocínio de vários alunos no momento de construir e apresentar seu modelo físico. Assim, no momento em que lhes foi solicitado realizar a distribuição eletrônica de um átomo qualquer, quase todos os grupos hesitaram e erraram em algum momento.

Pode-se perceber, por exemplo, que alguns dos modelos construídos induzem ao erro. É o caso da figura 19d. Um trabalho lindamente executado, com muito capricho e com muita organização dentro da equipe. No entanto, a forma como colocaram os orbitais não deixa clara a ordem da distribuição dos elétrons e a proximidade entre as camadas também gera confusão no momento de visualizar cada camada.

A figura 19b, por sua vez, mostra um modelo feito de maneira incompleta, pois o grupo pensou que apenas uma aparição de cada subnível seria suficiente para executar a distribuição eletrônica. Já a figura 19c mostra um erro na construção do modelo, onde certos orbitais estão em camada errada, como é o caso do orbital 3d, que está na quarta camada. Além disso, não há sétima camada.

Apenas o grupo da figura 19a conseguiu executar, sem erros e sem dificuldade, a distribuição do átomo que foi pedido. Com toda certeza esse fato está relacionado aos erros induzidos pela forma como os modelos circulares foram apresentados. Dentro do grupamento do modelo de quadrados, nenhum grupo cometeu erros.

Em suma, as apresentações mostraram que grande parte dos alunos aprendeu a fazer a distribuição eletrônica corretamente, inclusive respeitando as regras associadas a propriedade de spin, cuja diferenciação foi feita de diversas formas. Certos estudantes diferenciaram por cores, outros escolheram tipos diferentes de grãos, e alguns até mesmo fizeram pequenas setas.

Foi possível perceber que o processo de elaboração dos modelos físicos foi de crucial importância para detectar as dificuldades dos alunos e intervir de maneira assertiva. Ao se dedicarem na construção de seus modelos, os estudantes puderam refletir sobre o que estavam aprendendo, e precisaram entender o que estavam fazendo para não cometer erros.

Esse processo, portanto, foi visto qualitativamente como um ganho pedagógico, pois fez com que os alunos trabalhassem habilidades da Base Nacional Comum Curricular e também habilidades de comunicação, criatividade, proatividade e autonomia.

5.5. ATIVIDADE POSTERIOR E AVALIAÇÃO

Após a finalização das apresentações, a escola entrou em semana de interclasses e, em seguida, houve um feriado prolongado. Dessa forma, a atividade pós sequência e a avaliação da mesma só foram aplicadas semanas depois. A atividade posterior, que consta no apêndice A5, traz novamente o pedido de um desenho do funcionamento da eletrosfera. No entanto, pede que o aluno se lembre de considerar seus novos conhecimentos acerca do assunto.

Em seguida, a mesma pergunta feita na atividade prévia é repetida. Espera-se, neste momento, que os estudantes tenham uma ampliação em seu vocabulário e em sua capacidade de explicar os fenômenos que ocorrem na eletrosfera.

Por fim, os alunos puderam avaliar a sequência por meio de um formulário online, também anexo neste trabalho. Nele constavam diversas perguntas sobre o formato da aula, do trabalho e as impressões dos próprios estudantes sobre uma possível ampliação de

conhecimento. Para cada item, os alunos tinham a opção de transitar numa escala entre “discordo totalmente” e “concordo totalmente.”

Os resultados das atividades e também da avaliação dos alunos serão posteriormente apresentados e devidamente discutidos.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. ATIVIDADE PRÉ SEQUÊNCIA

Para facilitar a apresentação e discussão dos resultados, os desenhos dos alunos (respostas do item 1 da atividade prévia) foram agrupados conforme suas semelhanças, dentro de 7 categorias. Para exemplificar cada uma delas, um desenho representativo foi escolhido, conforme o quadro 3 (próxima página).

Para cada categoria, foram avaliados os termos chave que os estudantes utilizaram para responder ao item 2: “Descreva, com suas palavras, o comportamento dos elétrons na eletrosfera”. Serão discutidas as associações (ou não associações) entre o modelo atômico desenhado e a resposta dada no item seguinte, começando pela categoria dos alunos que desenharam o átomo de Rutherford.

Quadro 4 – Conceitos utilizados na resposta ao item 2 dos alunos que desenharam o átomo de Rutherford.

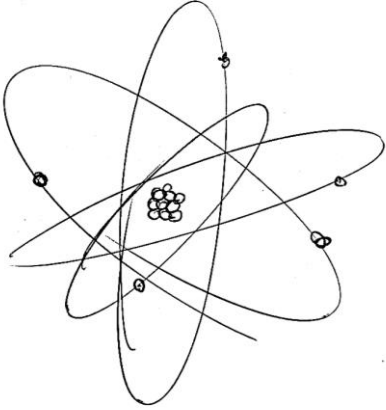
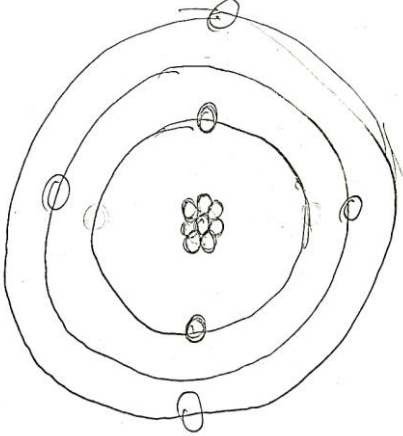
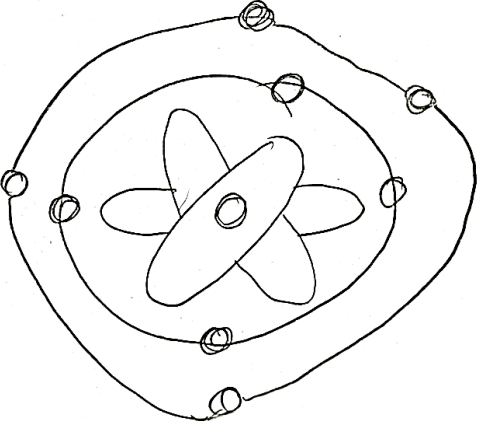

Conceitos chave da resposta à questão 2	Quantidade de alunos que citaram
Elétrons girando em torno do núcleo	30
Carga	3
Movimento	6
Níveis de energia	2
Energia	2
Massa do elétron	1

Fonte: Elaborado pela autora.

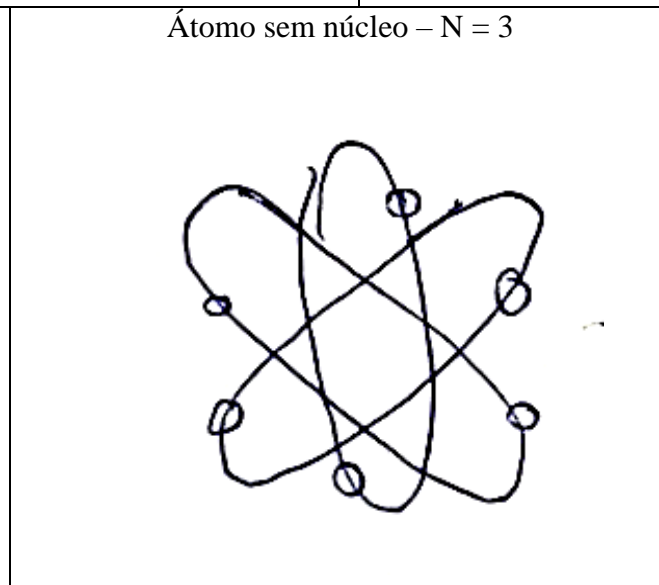
Verifica-se no quadro 4 que a maioria dos alunos traz a ideia de que os elétrons estão girando em torno do núcleo, o que é consistente com o modelo que eles mesmo representaram. Alguns alunos trazem também o conceito de carga, citando principalmente a carga negativa do elétron.

Houve estudantes que citaram o movimento dos elétrons sem especificar detalhes; essas respostas foram enquadradas no conceito “movimento”. Os níveis de energia também foram citados, o que não apresenta consistência com o desenho, pois o modelo atômico de Rutherford não possui níveis de energia definidos na eletrosfera.

Quadro 3 – Desenhos representativos das respostas ao item “Desenhe, de acordo com seus conhecimentos, a estrutura da eletrosfera de um átomo”. A letra N representa a quantidade de alunos cujo desenho se encaixa na categoria listada.

<p>Rutherford – N = 38</p> 	<p>Bohr – N = 14</p> 
<p>Mistura de modelos – N = 3</p> 	<p>Átomo sem órbitas – N = 1</p> 

Átomo sem núcleo – N = 3



Fonte: Elaborado pela autora.

Em apenas uma das respostas, a massa do elétron foi mencionada. De acordo com a aluna: “Eu sei que os elétrons se movimentam bastante [...] tanto que eles nem são contados quando vemos a massa do átomo”. Com essa afirmação, a aluna demonstra a compreensão de que a massa do elétron é muito menor que a das outras partículas que compõe o átomo, a ponto dessa massa ser desprezada no cálculo da massa do átomo.

Em resumo, grande parte dos alunos desta categoria conseguiu ligar corretamente sua representação aos conceitos teóricos. No entanto, o que foi visto em muitas respostas foi uma pobreza no detalhamento. Vários somente mencionam que os elétrons giram em torno do núcleo, sem outras explicações.

No quadro 5, apresentam-se os conceitos citados no item 2 dos alunos que, em seus desenhos, representaram o átomo de Bohr.

Quadro 5 – Conceitos utilizados na resposta ao item 2 dos alunos que desenharam o átomo de Bohr.

Conceitos chave da resposta à questão 2	Quantidade de alunos que citaram
Elétrons girando em torno do núcleo	7
Carga	2
Movimento	2
Níveis de energia	4
Energia	3
Modelos atômicos	1
Spin	1

Fonte: Elaborado pela autora.

O desenho feito pelos alunos dessa categoria, que é do modelo atômico de Bohr, também leva ao entendimento de que os elétrons giram em torno do núcleo. Portanto, faz sentido que vários alunos tenham citado esse fato em suas respostas. As noções de carga, movimento e energia também são mencionadas, assim como na categoria do átomo de Rutherford, assim como os níveis de energia.

Nesse caso, os níveis de energia são mencionados mais vezes que na categoria anteriormente vista. Isso faz sentido, pois o modelo de Bohr traz, de fato, níveis de energia bem descritos em órbitas específicas. Um aluno chegou a falar sobre os modelos atômicos, entendendo que sua representação era uma dentre várias estudadas.

Nesse conjunto, a resposta que mais chama atenção é a que menciona a propriedade de spin, já que essa atividade foi feita antes de se iniciar a sequência didática descrita neste

trabalho. Escreveu o aluno em sua resposta: “Os elétrons orbitam na eletrosfera, com suas características únicas, podendo mudar por exemplo, de camada e subcamada, ou podendo girar em seu eixo (spin).”

Os alunos não haviam estudado nada sobre o modelo da mecânica quântica para o átomo, e não se sabe se o mesmo estudou o tema por fora, ou se consultou algum material, ainda que instruído a não fazê-lo, no momento da aplicação da atividade. Porém, apesar de sua descrição elaborada, seu desenho representa um átomo que sequer leva em consideração as subcamadas e a propriedade de spin.

As outras três categorias listadas no quadro 1 envolvem poucos alunos, portanto suas respostas serão citadas por completo, no quadro 6.

Quadro 6 – Respostas à questão 2 dos alunos que desenharam modelos misturados, átomo sem núcleo ou átomo sem órbita.

Grupo	Quantidade	Resposta à questão 2
Mistura de modelos	3	"Eles ficam girando em volta do núcleo porém descoordenadamente"
		"Os elétrons se movem livremente pela eletrosfera ao redor do átomo, em um movimento não linear, podendo inclusive passar de um átomo para outro"
		"Eles rodeiam o núcleo e podem ser passados do átomo para átomo gerando energia a partir disso"
Átomo sem núcleo	3	"Eles se reproduzem e se espalham"
		"Ele produz energia"
		"Eles ficam girando na eletrosfera em torno do núcleo"
Átomo sem órbitas	1	"Os elétrons giram em torno do núcleo aproximando-se e afastando-se"

Fonte: Elaborado pela autora.

Três alunos desenharam um misto de, pelo menos, dois modelos atômicos diferentes. Pode-se perceber, por suas respostas, que todos têm uma noção clara dos elétrons girando em torno do núcleo, e dois alunos também citam a passagem de elétrons para outros átomos, já trazendo uma visão do que seriam as ligações químicas interatômicas. É bastante possível que seus desenhos tenham sido produto de uma confusão com as representações imagéticas dos modelos.

Houveram, também, três alunos que desenharam um átomo sem núcleo, muito provavelmente porque esqueceram de desenhá-lo, pois inclusive há uma resposta que menciona o núcleo. Todavia, há também uma resposta que demonstra uma total falta de domínio do tema,

dando aos elétrons uma função de ser vivo, animado, ao dizer que os mesmos se reproduzem. Também é possível que este aluno tenha confundido os estudos de atomística com os estudos das células.

Por fim, um único aluno desenhou um átomo sem órbitas, somente com os elétrons em torno do núcleo, assemelhando-se inclusive ao átomo de Schroedinger. Sua resposta, no entanto, demonstra que os conceitos teóricos são os mesmos de seus colegas de turma que desenharam os outros modelos. Possivelmente foi apenas uma grande coincidência que esse aluno tenha feito um desenho da eletrosfera sem órbitas.

6.2. ATIVIDADE PÓS SEQUÊNCIA

Da mesma maneira que no item 6.1, as respostas dos alunos à atividade final da sequência também foram categorizadas de acordo com seus desenhos, e um desenho foi escolhido por categoria, para representá-la. Esses desenhos podem ser vistos no quadro 7 (próxima página).

Os desenhos também serão analisados levando em consideração as respostas ao item 2 da atividade, idêntico ao da atividade pré sequência, “Descreva, com suas palavras, o comportamento do elétron na eletrosfera”, começando pelo grupo que desenhou o modelo de Rutherford, cujos conceitos citados constam no quadro 8.

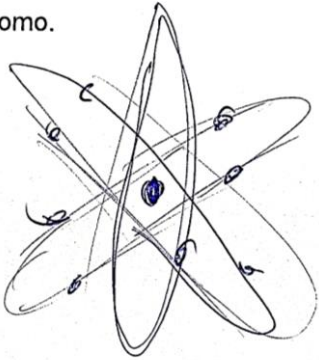
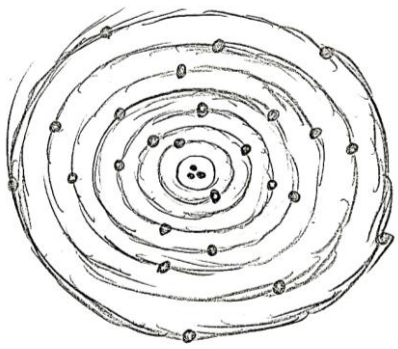
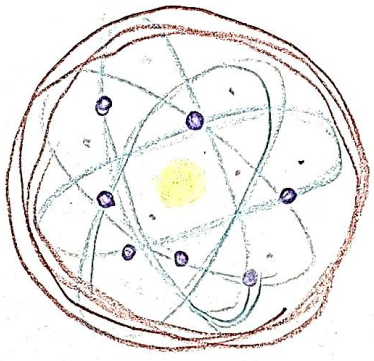
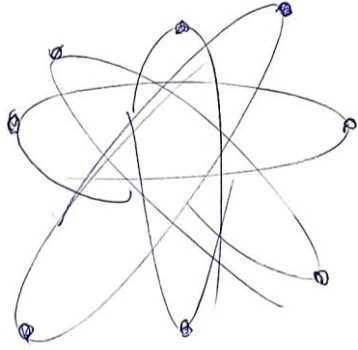
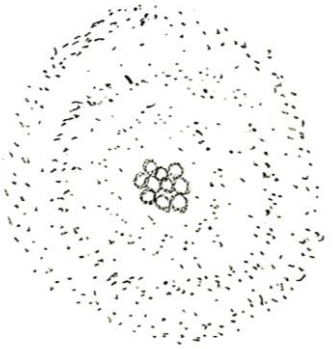
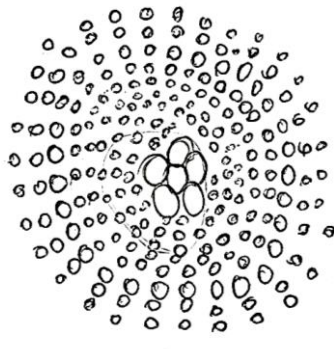
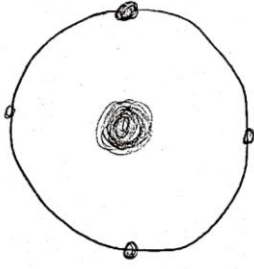
Quadro 8 - Conceitos utilizados na resposta ao item 2 dos alunos que desenharam o átomo de Rutherford na atividade pós sequência.

Conceitos chave da resposta à questão 2	Quantidade de alunos que citaram
Elétrons girando em torno do núcleo	4
Camada de valência	1
Movimento	1
Elétrons ocupam qualquer posição	1

Fonte: Elaborado pela autora.

Assim como na atividade prévia, o conceito dos elétrons girando em torno do núcleo foi o mais citado dentro do grupo que desenhou o átomo de Rutherford, e, assim como no caso do conceito de movimento, desenho e conceitos se encaixam. No entanto, o conceito de camada de valência não existe dentro da teoria atômica de Rutherford, já que as camadas só são citadas por Niels Bohr.

Quadro 7 – Desenhos representativos das respostas ao item “Desenhe, de acordo com seus novos conhecimentos, a estrutura da eletrosfera de um átomo”. A letra N representa a quantidade de alunos cujo desenho se encaixa na categoria listada.

<p>Rutherford – N = 5</p> <p>átomo.</p> 	<p>Bohr – N = 22</p> 
<p>Mistura de modelos – N = 3</p> 	<p>Átomo sem núcleo – N = 2</p> 
<p>Schroedinger com regiões de probabilidade – N = 12</p> 	<p>Schroedinger sem regiões de probabilidade – N = 6</p> 
<p>Erros conceituais – N = 3</p> 	

Fonte: Elaborado pela autora.

Além disso, a noção de que os elétrons ocupam qualquer posição também não vem deste modelo, e sim do modelo quântico de Schroedinger. Percebe-se, portanto, que alguns alunos deram explicações que não condizem totalmente com o que eles mesmos representaram no momento de desenhar.

Quadro 9 - Conceitos utilizados na resposta ao item 2 dos alunos que desenharam o átomo de Bohr na atividade pós sequência.

Conceitos chave da resposta à questão 2	Quantidade de alunos que citaram
Camada de valência	1
Níveis de energia	11
Carga	6
Elétrons girando em torno do núcleo	13
Força eletrostática	2
Movimento	2
Número de elétrons por camada	2
Nuvem eletrônica	1
Probabilidade	1
Spin	1
Subníveis	8

Fonte: Elaborado pela autora.

O primeiro ponto que chama atenção no quadro 9 é a quantidade de conceitos listada, já bem maior do que do grupo de Rutherford. Novamente, o movimento dos elétrons em torno do núcleo foi amplamente citado. Os níveis de energia, que são parte do modelo de Bohr, também aparecem em grande quantidade de citações, o que condiz perfeitamente com os desenhos dessa categoria de alunos.

É interessante notar que o número de elétrons por camada é citado mais de uma vez, mostrando que os alunos fizeram associações com outros conceitos, como camada de valência e níveis de energia. Outro ponto que se destaca é o conceito de força eletrostática, citado duas vezes em respostas muito diferentes, de alunos de salas diferentes, sem qualquer combinação. O objetivo da sequência não englobava a aprendizagem desse conceito, embora ele tenha sido citado na aula expositiva, portanto surpreende que mais de um aluno tenha se lembrado dele e o inserido no contexto da eletrosfera.

Novamente o conceito de movimento, sem especificações, aparece algumas vezes, assim como o conceito de carga, associado principalmente ao elétron. O conceito de camada de valência, citado apenas uma vez, também vem do modelo de Bohr e, portanto, é condizente também com os desenhos.

No entanto, vários conceitos que aí aparecem são, na realidade, do modelo de Schroedinger, como probabilidade, spin, nuvem eletrônica e subníveis (que foi citado numa quantidade razoável de respostas). Isso indica que os conceitos apresentados durante a sequência didática foram levados em consideração no momento em que os estudantes elaboraram suas respostas, ainda que seus desenhos não estejam de acordo com o que escreveram.

Quadro 10 - Conceitos utilizados na resposta ao item 2 dos alunos que desenharam o átomo de Schroedinger sem regiões de probabilidade na atividade pós sequência.

Conceitos chave da resposta à questão 2	Quantidade de alunos que citaram
Elétrons ocupam qualquer posição	1
Níveis de energia	2
Movimento	4
Número de elétrons por camada	2
Não há elétrons por camada	2

Fonte: Elaborado pela autora.

O grupo de alunos que desenhou o átomo de Schroedinger foi subdividido em duas categorias: uma para quem o desenhou sem regiões de probabilidade claras, e uma outra para quem desenhou as regiões de probabilidade. O que se percebe nesse grupo que desenhou o átomo sem as regiões é que a ideia da incerteza da posição dos elétrons fez com que criassem em sua mente uma representação com elétrons soltos aleatoriamente ao redor do núcleo, como está no desenho apresentado no quadro 7.

Também é possível notar essa ideia ao constatar a presença dos conceitos sobre os elétrons: elétrons ocupam qualquer posição e não há elétrons por camada. Este segundo é ainda mais curioso, pois a quantidade de alunos que o citou, foi exatamente a mesma dos alunos que citaram o exato oposto, falando sobre a existência de um número certo de elétrons por camada.

O conceito mais citado nessa categoria foi o de movimento, sem outras especificações, o que faz sentido em relação ao desenho que os estudantes fizeram, de acordo com o átomo de Schroedinger, que não pressupõe órbitas dos elétrons em torno do núcleo.

No outro grupo, os desenhos demonstraram claramente as regiões de probabilidade, separadas por nós, como se vê no quadro 7. É possível notar, ao observar os conceitos do quadro 11, que muitas coisas foram mencionadas, e a maioria delas tem total relação com o modelo de átomo desenhado pelo grupo de estudantes, excetuando-se a noção dos elétrons girando em torno do núcleo.

Quadro 11 - Conceitos utilizados na resposta ao item 2 dos alunos que desenharam o átomo de Schroedinger com regiões de probabilidade na atividade pós sequência.

Conceitos chave da resposta à questão 2	Quantidade de alunos que citaram
Elétrons girando em torno do núcleo	1
Carga	3
Movimento	5
Camada de valência	3
Subníveis	3
Linus Pauling	1
Probabilidade	4
Schroedinger	1
Mudança de nível	1
Nuvem eletrônica	2
Spin	1
Onda-partícula	1
Número de elétrons por camada	1
Elétrons delocalizados	3
Níveis de energia	7

Fonte: Elaborada pela autora.

É interessante perceber que ainda que a categoria citada anteriormente tenha desenhado uma versão do modelo de Schroedinger, não listaram muitos conceitos em consonância com seus desenhos, diferentemente do grupo que desenhou o modelo de Schroedinger com as regiões de probabilidade.

Alguns conceitos chamam atenção por não terem sido citados até então, em momento algum – Schroedinger, onda-partícula, elétrons delocalizados e Linus Pauling. Todos eles foram apresentados durante a aula expositiva no início da sequência, juntamente com a representação imagética que esse grupo de alunos desenhou.

Houveram respostas muito elaboradas dentro desse grupo. Citando um aluno: “Os elétrons se comportam por um sistema de camadas e subníveis, não alterando entre eles e buscando pela estabilidade (8 elétrons). Os elétrons não seguem um padrão regular de comportamento, não possuindo um trajeto específico, com cada ponto acima representando a sua possível posição no modelo de Schroedinger.”

Nessa resposta percebe-se toda uma construção de pensamento acerca do modelo quântico, e a ligação desses conceitos com outros pré-existentes, como é o caso da noção de estabilidade pelo preenchimento total da camada de valência do átomo, que foi inserida de

maneira natural no desenrolar da resposta do estudante. Ademais, constrói-se perfeitamente a ideia do princípio da incerteza e a forma como isso afeta o modelo atômico quântico.

Em geral, dentre todos os grupos categorizados da atividade pós sequência, esse foi o que mais trabalhou as ideias em suas respostas, com textos longos e justificativa para as suas afirmações e para os respectivos desenhos.

Quadro 12 – Respostas à questão 2 dos alunos que fizeram desenhos com erros conceituais, misturaram modelos ou desenharam o átomo sem núcleo.

Grupo	Quantidade	Resposta à questão 2
Erros conceituais	3	"Que a eletrosfera são camadas que protegem e os elétrons em si são só o complemento"
		"Os elétrons se movimentam entre a eletrosfera e o núcleo. Prótons e nêutrons ficam se movimentando. Positivo dentro, negativo fora.
		"Eles ficam orbitando o átomo. Que é onde ficam os elétrons."
Mistura de modelos	3	"Eles ficam se movimentando e girando em torno do átomo"
		Sem resposta
		"Os elétrons circulam na eletrosfera sendo uns positivos e outros negativos"
Átomos sem núcleo	2	"Eles vão se mexendo pela eletrosfera"
		"Eles se movimentam no núcleo e na eletrosfera"

Fonte: Elaborada pela autora.

No quadro 12 estão contidas as respostas dos três grupos com poucos alunos. Assim como na atividade prévia, dois alunos desenharam o átomo sem núcleo, ainda que um deles tenha citado o núcleo em sua resposta, o que demonstra, mais uma vez, que muito provavelmente foi um caso apenas de distração.

Também houveram, novamente, três estudantes que misturaram dois ou mais modelos atômicos em seus desenhos, conforme se vê no quadro 6. Analisando suas respostas, nota-se inclusive um erro conceitual, pois um aluno cita que alguns elétrons têm carga negativa e outros, positiva. Outro argumenta que os elétrons ficam em torno do átomo, possivelmente uma confusão com os termos átomo e núcleo.

Por fim, há uma categoria a mais do que no caso da atividade prévia, composta por três estudantes que cometeram erros conceituais nos seus desenhos, como no caso do desenho que representa a categoria, onde existem 4 elétrons desenhados na primeira camada do átomo. Pelas respostas é perceptível a confusão de conceitos, principalmente no caso da segunda resposta

listada, onde o aluno inverte não só as cargas das partículas, mas também a localização das mesmas.

6.3. COMPARAÇÕES ENTRE AS ATIVIDADES

Ao comparar os resultados obtidos nas duas atividades, antes e após a aplicação de toda a sequência didática, notam-se certos indícios de ampliação no conhecimento dos alunos. Uma das evidências está na representação feita pelos alunos. Na atividade pré sequência, grande parte dos alunos se concentrou em representar o átomo de Rutherford, alguns representaram o átomo de Bohr, e poucos fugiram a esses dois, desenhando átomos sem núcleo, sem órbita ou misturando modelos.

Já na atividade pós sequência, duas novas categorias apareceram, representando o átomo de Schroedinger – uma delas com desenhos sem regiões de probabilidade e outra com as regiões de probabilidade. Isso mostra que os estudantes conseguiram apreender o modelo de Schroedinger, e assim representá-lo.

Os desenhos da categoria de Rutherford diminuíram drasticamente, porém as representações do modelo de Bohr foram de 14 para 22. No entanto, ao analisar os conceitos colocados junto a representação, percebem-se diversos conceitos atrelados ao modelo quântico do átomo, e não ao modelo representado. Mais uma vez, isso demonstra que há uma dificuldade geral em formar ligações entre os conceitos aprendidos e a representação imagética associada.

Tanto na atividade prévia quanto na atividade posterior, houveram 3 alunos que misturaram modelos nas suas representações, colocando, geralmente, uma representação de Rutherford e de Bohr juntas. Curiosamente, não foram os mesmos alunos a fazer essa confusão nas duas vezes.

Ambas as atividades também tiveram representações de átomos sem núcleo. Também não foram os mesmos estudantes nas duas ocasiões, o que leva a crer que foram somente displicentes e acabaram esquecendo de desenhar o núcleo, concentrando-se mais em representar a eletrosfera.

Quanto aos conceitos chave de resposta à segunda pergunta, notam-se que, na atividade prévia, poucos conceitos foram listados por categoria, geralmente repetindo-se parte deles, como a noção de que o elétron gira em torno do núcleo e a noção de movimento. Já na atividade posterior, muitos conceitos são listados nas categorias com mais desenhos.

Além disso, diversos conceitos da área da mecânica quântica aparecem, listados até mesmo pelos alunos que representaram os modelos de Rutherford e Bohr. São exemplos disso os conceitos de spin, probabilidade, nuvem eletrônica e subníveis. Ao analisar as representações

do modelo de Schroedinger, existe ainda mais acurácia entre o que é desenhado e o que é conceituado.

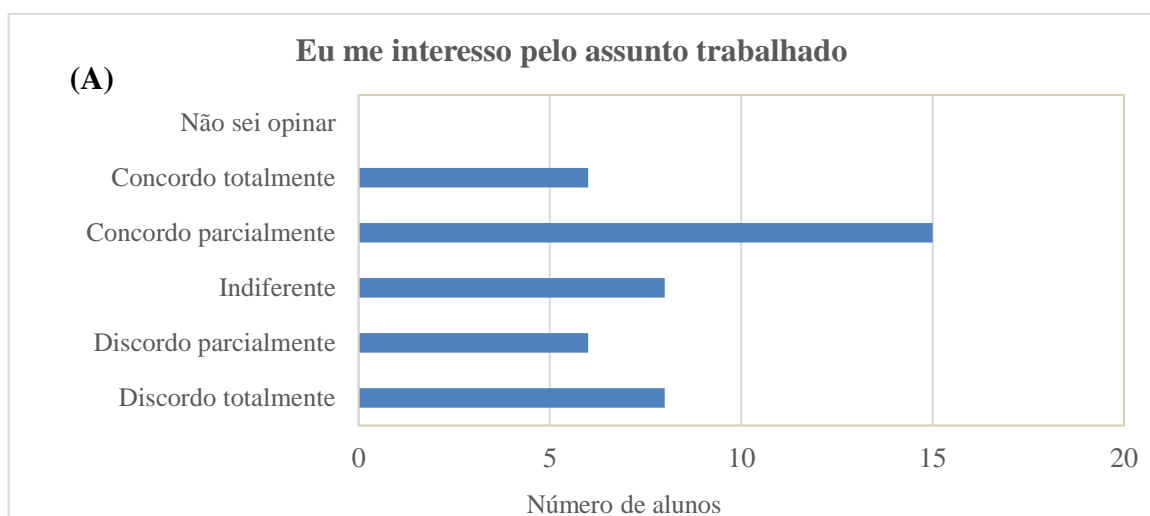
Isso posto, fica notável que houve ampliação dos conceitos aprendidos pelos alunos, ainda que nem todos tenham alterado suas percepções acerca do átomo. Não há como esperar que a totalidade dos estudantes consiga absorver um conteúdo que possui certa complexidade, devido ao nível de abstração necessário para seu entendimento. Entretanto, uma quantidade considerável de respostas às atividades mostra o ganho significativo de conhecimento dos alunos.

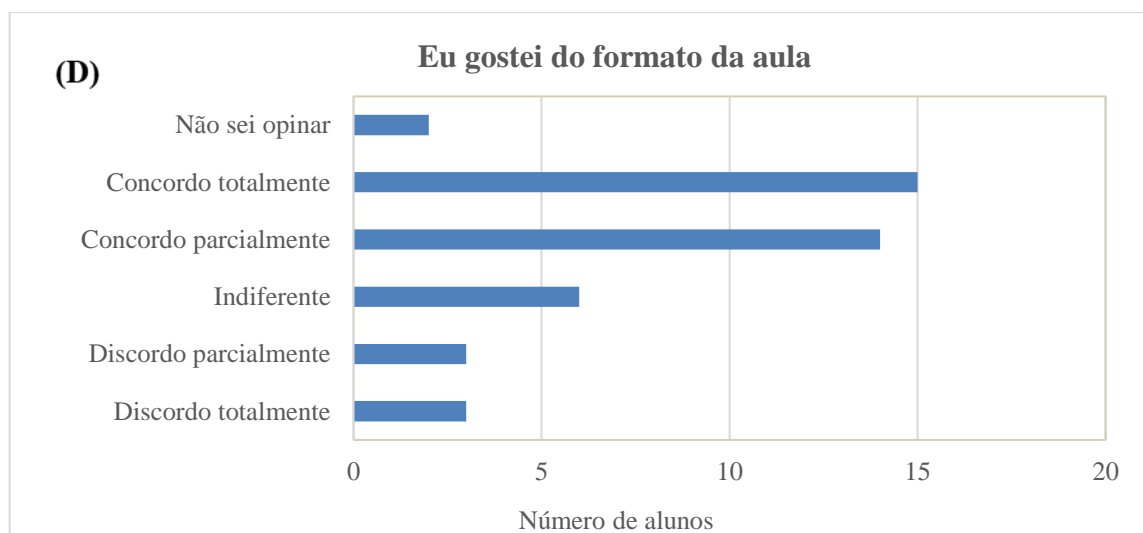
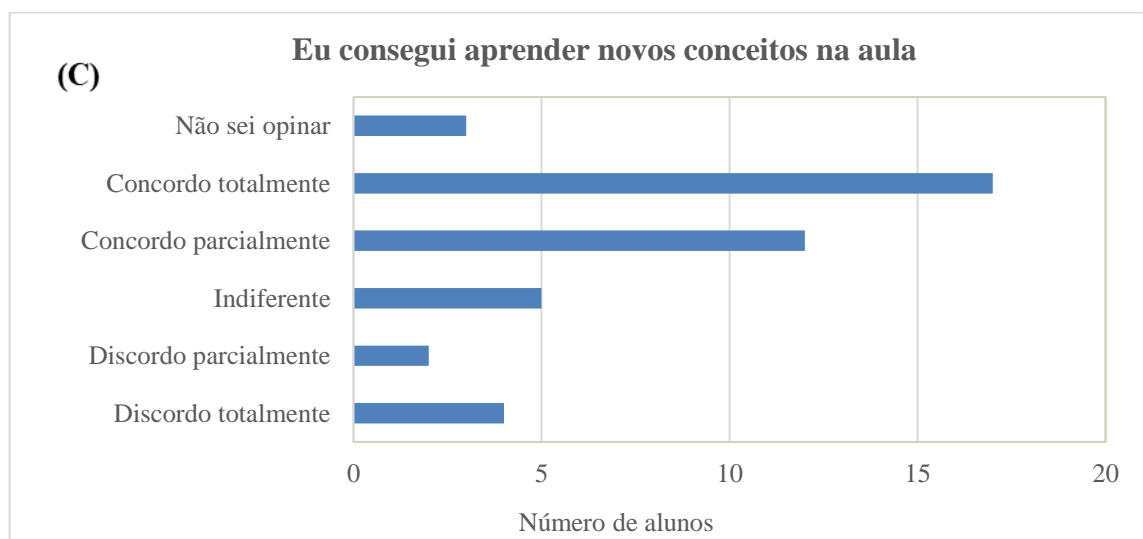
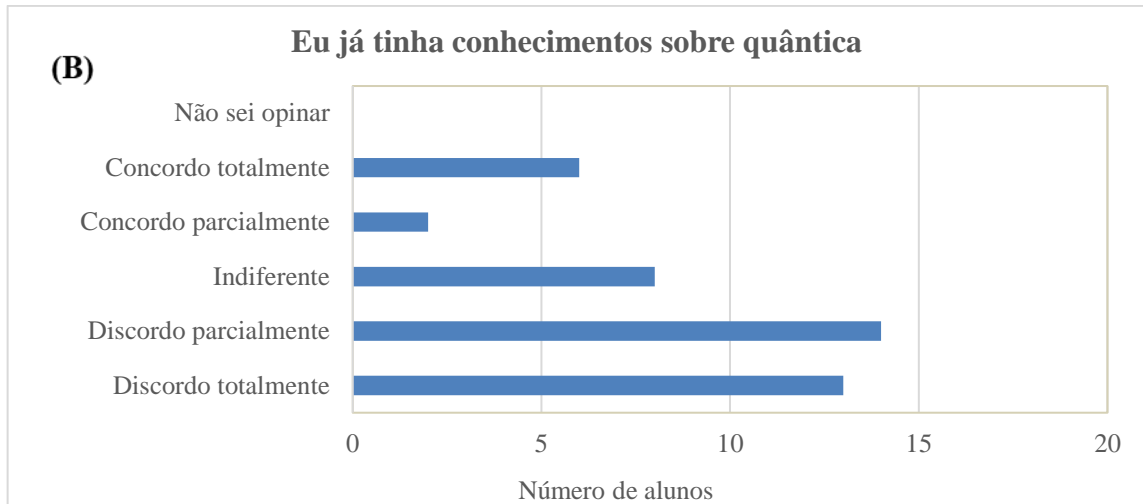
Ademais, o objetivo desta sequência vai além do aprendizado dos conceitos do modelo quântico. É importante que se estude essa área, que já há muito foi descoberta e estudada, e mesmo assim está longe de ser abordada no Ensino Básico. A maior parte dos alunos demonstrou ao menos mudar sua concepção acerca do átomo e sua eletrosfera, o que já pode ser considerado um saldo positivo.

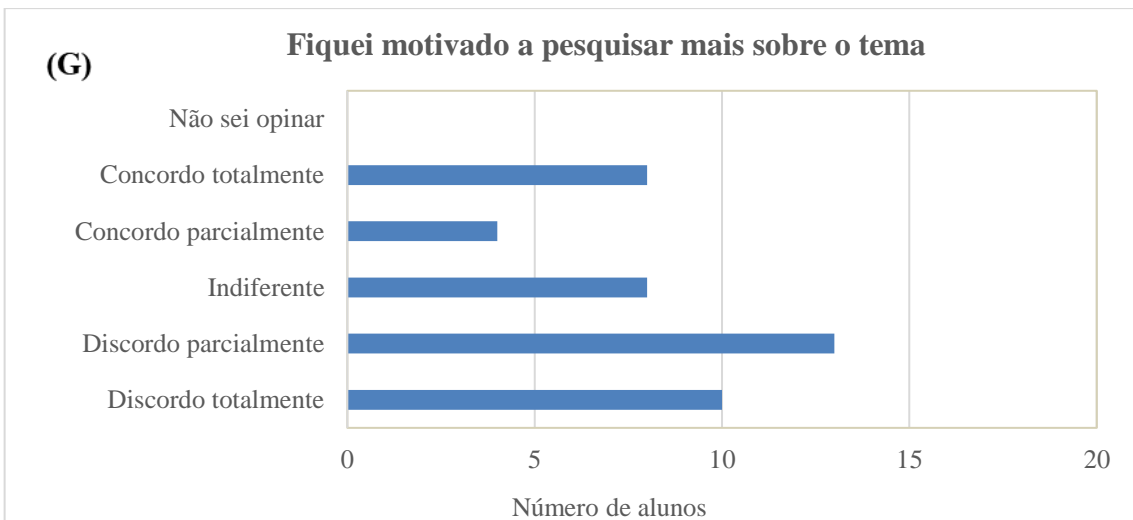
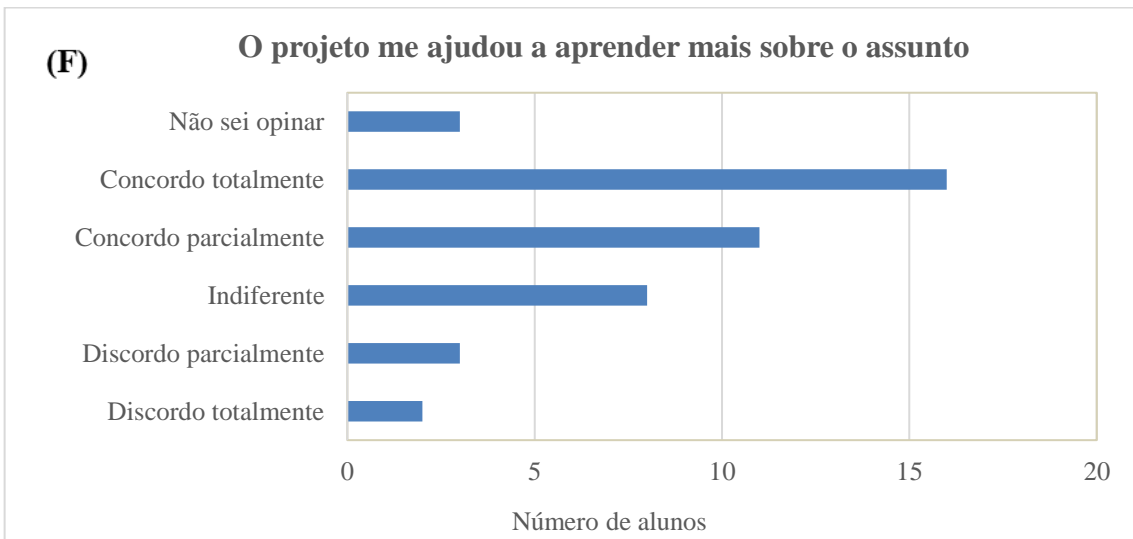
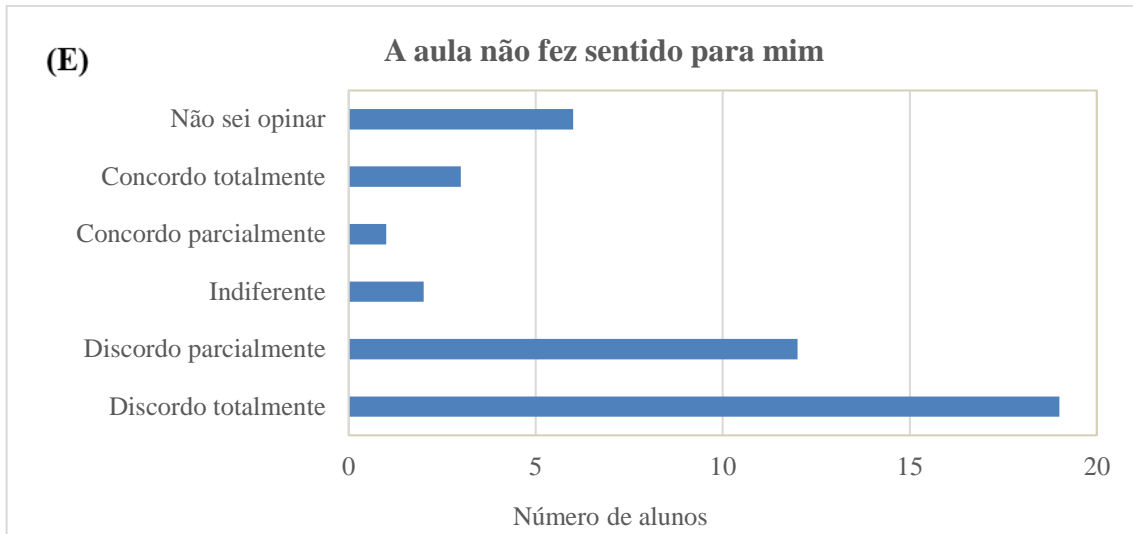
6.4. AVALIAÇÃO DA PROPOSTA DA SEQUÊNCIA

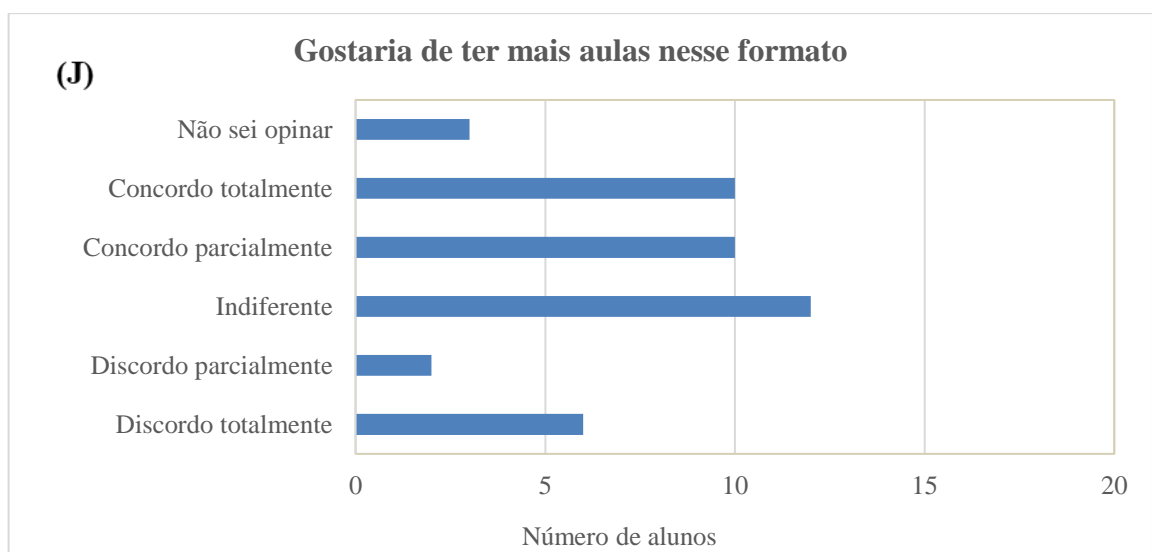
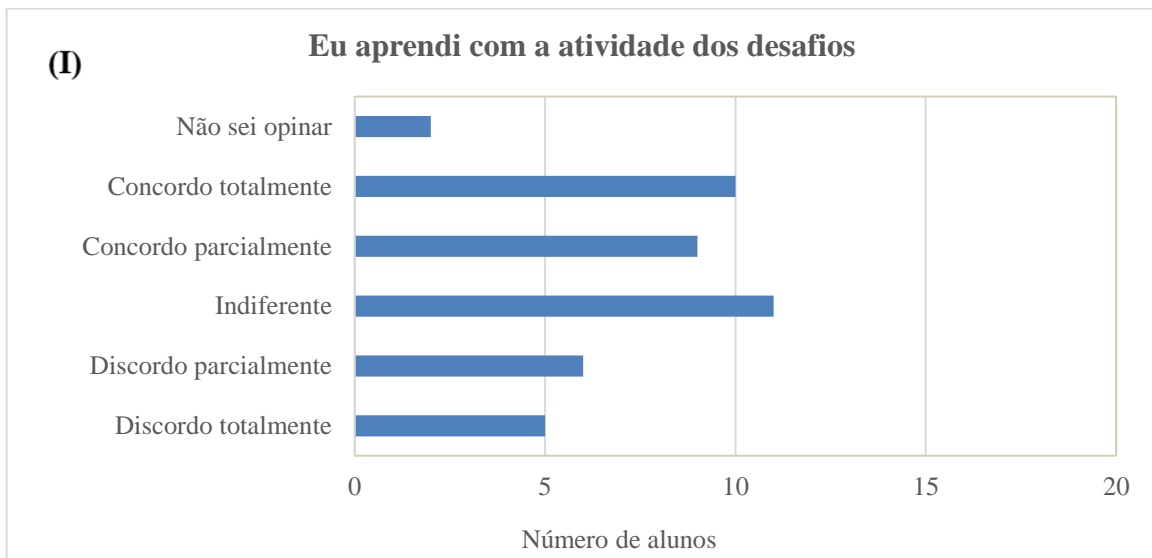
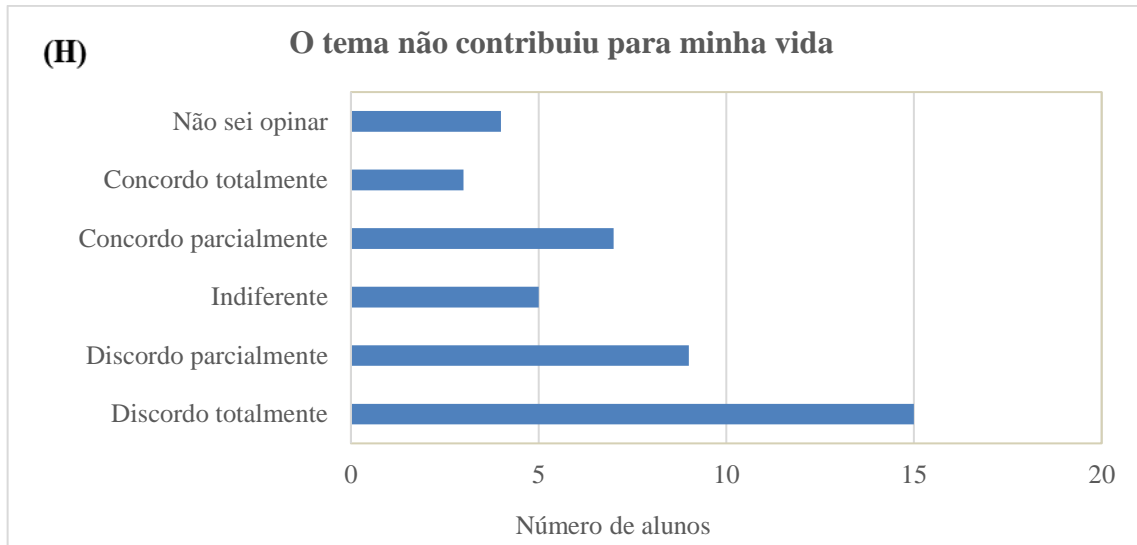
Os alunos receberam, ao final de toda a sequência, um formulário eletrônico para preencherem, a fim de avaliar a sequência de aulas e sua experiência com esse projeto. Foram postos dez itens para que os alunos julgassem, indo de “discordo totalmente” a “concordo totalmente”. Abaixo apresentam-se os gráficos contendo as informações sobre cada um dos itens.

Figura 20 – Respostas aos itens do questionário de avaliação da sequência didática feito aos alunos.









Fonte: Elaborados pela autora.

Ao todo, 43 respostas foram coletadas através do formulário. Ao analisar a figura 20a, é visível que a maior parte das respostas ficou no campo “concordo parcialmente”. Logo, entende-se que o assunto trabalhado gerou interesse em parte considerável dos alunos. Ao somar os grupos “concordo parcialmente” e “concordo totalmente”, totalizam-se 21 alunos, quase metade do total de respondentes. Considerando-se o assunto, que é complexo e distante do concreto, ter quase metade dos alunos interessados pelo tema é promissor.

Na figura 20b, visualiza-se que a grande maioria dos alunos não tinha nenhum conhecimento sobre a área da mecânica quântica, como é de se esperar, já que o assunto não é abordado em nenhum momento anterior a este dentro da BNCC. Os poucos que sinalizaram já ter algum conhecimento o adquiriram muito provavelmente na internet ou em casa.

A figura 20c traz a percepção dos próprios estudantes sobre seu aprendizado com a aula expositiva. 29 alunos concordaram, ao menos parcialmente, que conseguiram aprender novos conceitos na aula, enquanto apenas 6 alunos discordaram em algum grau dessa afirmação. Pode-se considerar, portanto, que a aula foi efetiva na função de apresentar aos alunos novos conceitos de atomística.

Já a figura 20d trata da opinião pessoal de cada aluno sobre a aula. Novamente, 29 alunos concordaram em algum grau que gostaram da aula expositiva, enquanto 6 foram indiferentes, e apenas 6 discordaram, ou seja, afirmaram não gostar da aula. Os dados indicam que, em geral, a aula teve um formato que agradou aos estudantes, possivelmente pelo cuidado em conversar numa linguagem adequada a eles e buscar sempre interações com a turma durante a exposição dos conceitos.

A figura 20e trata do item “a aula não fez sentido para mim”, e 31 alunos discordaram, parcialmente ou totalmente, dessa afirmação. 2 foram indiferentes e apenas 4 alunos concordaram que, para eles, a aula não fez sentido. Com isso, é possível perceber que, ao menos na percepção dos estudantes, a aula expositiva foi de grande proveito, pois a maioria gostou, aprendeu com ela e viu sentido no que foi exposto.

O sexto item diz respeito ao aprendizado em relação ao projeto como um todo, incluindo, portanto, toda a sequência de aulas. 27 dos 43 alunos concordaram que aprenderam mais do assunto através do projeto, enquanto 5 discordaram, ainda que parcialmente, de que o projeto contribuiu com o aprendizado do tema. Este é mais um indicativo de que, aos olhos dos alunos, o projeto foi válido e proporcionou a aquisição ou ampliação de seus conhecimentos.

No entanto, apesar dessas considerações acima citadas, o sétimo item mostra que grande parte dos alunos não se sentiu motivado ou interessado em pesquisar mais sobre o tema. 23 alunos discordaram da afirmação “fiquei motivado a pesquisar mais sobre o tema”. 8 alunos

mostraram-se indiferentes e apenas 12 alunos concordaram que se sentiram interessados em buscar mais sobre o assunto. Logo, ainda que tenham apreciado o projeto, o tema não os agradou a ponto de ficarem curiosos em buscar mais informações sobre ele.

A oitava afirmação a ser julgada era “o tema não contribuiu para a minha vida”. O objetivo com essa afirmação era captar o pensamento dos alunos acerca daquilo que consideram um conhecimento útil para suas vidas fora da escola. Conforme se observa na figura 20h, 24 alunos discordaram da afirmação, 5 foram indiferentes a ela e 10 concordaram em algum grau. Assim, se vê que a maioria enxergou alguma vantagem em aprender sobre esse tema para suas vidas.

No entanto, o grupo que julgou o tema como algo sem contribuições a suas vidas não é tão reduzido, o que mostra que, para alguns, não foi possível transpor o conteúdo visto na escola para sua vida fora dela. Existem vários motivos para isso – não se pode excluir, por exemplo, a complexidade do tema, que por ser tão abstrato pode ter dado a esses alunos a impressão de não ter aplicações reais.

Na figura 20i, a afirmação era sobre a atividade dos desafios, onde cada grupo tinha que cumprir a distribuição eletrônica dos átomos pedidos. Uma razoável parte dos alunos foi indiferente sobre ter aprendido com essa atividade. No entanto, 19 alunos concordaram que aprenderam com a atividade, enquanto 11 afirmaram não ter aprendido.

Já na figura 20j, a intenção era que os alunos se posicionassem sobre seu desejo de ter mais aulas no formato adotado durante essa sequência. 12 alunos se mostraram indiferentes a isso, enquanto 20 concordaram ainda que parcialmente, e 8 discordaram.

Além dos itens a serem julgados, outras três perguntas foram feitas aos alunos, em formato aberto para que pudessem expressar suas impressões. Logo, a segunda pergunta do formulário era “O que você mais gostou dentro dessa sequência de aulas? ”. Em geral, o que mais foi citado nessa resposta foi o desenvolvimento do modelo físico no espaço Maker da escola.

Para alguns alunos, o trabalho foi bom não somente para desenvolver habilidades, mas também pelo ambiente mais descontraído, o trabalho em grupo e a oportunidade de sair um pouco do ambiente da sala de aula. Além disso, a dinâmica de todo o projeto, incluindo, portanto, toda a sequência de aulas, também foi posta diversas vezes nessa resposta.

Ademais, diversos estudantes também citaram o formato e a explicação da aula expositiva que iniciou a sequência, pontuando, inclusive, as interações durante a aula, com perguntas e respostas feitas visando o maior engajamento dos alunos. Por fim, 5 alunos

mencionaram em suas respostas que gostaram da matéria em si, e que o trabalho foi um incentivo para gostarem ainda mais de química.

Ainda que tenham sido poucos alunos a falar sobre sua preferência pessoal pela matéria, é interessante que o tenham feito. Isso mostra a importância desse tipo de atividade, não somente para captar a atenção dos alunos para a matéria, mas para incentivar aqueles que já gostam dela a continuarem pesquisando e aprendendo sobre a área. Considerando que, no ano seguinte, esses alunos terão os componentes curriculares de química e física no Ensino Médio, esse primeiro contato com a química quântica e a física moderna como um todo, ainda que tenha sido algo introdutório, é muito relevante.

A terceira pergunta no formulário, “O que você menos gostou dentro da sequência de aulas? ”, trouxe diversas reclamações sobre o tempo dado para o desenvolvimento do projeto. Houve quem reclamou do tempo escasso para desenvolver todo o trabalho, o que levou alguns estudantes a concluírem em casa para entregar a tempo. No entanto, surpreendentemente, houve também uma reclamação de que o tempo havia sido exageradamente longo durante a sequência, principalmente na aula expositiva.

Várias respostas também mencionaram o trabalho em grupo, mas dessa vez como um problema. Conforme já dito anteriormente, a turma A demonstra enorme dificuldade em trabalhar em grupo. Dessa forma, quase todas as respostas que falam de problemas no trabalho em equipe vêm dessa turma. As reclamações variam, citando membros que não contribuíram para o desenvolvimento do trabalho, pessoas que tomam para si todo o trabalho e não aceitam outras opiniões e até mesmo a pouca interação com estudantes de outra sala.

Além disso, diversos alunos apontaram a dificuldade do conteúdo como o ponto que menos gostaram. É natural que exista esse estranhamento, já que o assunto é novo para eles e exige uma abstração que os alunos ainda não estão treinados para ter. Esse primeiro olhar começa a instigar nos alunos essa noção do mundo quântico, que só será melhor desenvolvida conforme o estudo nessa área for revisto e aprofundado.

Um comentário em específico chamou bastante atenção. De acordo com uma aluna, o que ela menos gostou foi “de não ter tido um resumo pronto sobre esse assunto para os alunos”. A aula expositiva foi feita justamente visando dar aos alunos o aporte teórico que o material apostilado não possuía. No entanto, o comentário é muito pertinente, já que a aula não ficou disponível para a consulta dos alunos, e mesmo que ficasse, não teria todos os detalhes.

Assim, aponta-se a elaboração de um material escrito para os alunos sobre esse assunto, contendo as definições necessárias, a explicação sobre cada parâmetro utilizado no

desenvolvimento do modelo de Schroedinger e exercícios de aplicação como um ponto para melhorar a sequência didática aqui proposta.

Por fim, a quarta e última pergunta do formulário era “Você gostaria de deixar mais algum comentário ou sugestão?” A maioria dos alunos optou por não responder. Dos poucos que responderam, quase todos frisaram a vontade de ter mais aulas no formato desse projeto, não somente na disciplina de ciências, mas em todas as outras também.

Percebe-se por esse tipo de comentário o quanto os alunos gostam de ter experiências diferentes na escola. Logicamente, o tempo em sala de aula e os momentos de exposição dos conteúdos tem sua importância, mas faz-se necessário pensar além da sala de aula na educação dos jovens. Metodologias ativas, projetos e outras iniciativas nesse sentido tem grande valor pedagógico e também comportamental, sendo de fundamental importância para o desenvolvimento de cidadãos capazes de resolver problemas e conviver em sociedade.

Além dos alunos, a professora da turma também respondeu a uma avaliação. As perguntas feitas constam no apêndice C. Em geral, na percepção da docente, a sequência didática foi bem montada, e os recursos utilizados foram pertinentes e geraram bons resultados. Segundo ela, pela complexidade do tema, a aula expositiva não teve tanta participação, mas os alunos compensaram isso na elaboração e aplicação dos trabalhos, mostrando seu aprendizado.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como principal objetivo a aplicação de uma sequência didática envolvendo o modelo de Schroedinger, que pudesse apresentar aos alunos de nono ano conceitos introdutórios da mecânica quântica e a explicação da origem do diagrama de Linus Pauling, mnemônico utilizado para memorização da ordem da distribuição eletrônica.

De acordo com os materiais didáticos avaliados neste trabalho, os materiais apostilados desenvolvidos pelas instituições particulares para seus alunos não trabalham em profundidade com as habilidades e competências da BNCC, diferentemente dos livros didáticos, que trabalham os temas de forma mais ampla, visando não somente a memorização, mas o entendimento dos conceitos.

Ao analisar os conceitos citados pelos alunos nas atividades, foi possível perceber que, após a aplicação da sequência didática, houve ampliação na quantidade de conceitos listados. Além disso, conceitos inerentes ao modelo quântico, como *spin*, *probabilidade* e *subníveis* apareceram diversas vezes, demonstrando que se tornaram parte dos conceitos que os alunos associam ao termo 'átomo'.

Ademais, as representações desenhadas pelos alunos também se alteraram ao final da sequência. Vários estudantes conseguiram representar o modelo de Schroedinger, com ou sem as regiões de probabilidade, mas sempre trazendo a ideia dos elétrons delocalizados. Ainda que nem todos os alunos tenham feito a transposição da representação, foi perceptível um avanço no entendimento geral do que é a estrutura atômica.

Não somente as atividades demonstraram a aquisição de conceitos pelos alunos, mas também durante o desenvolvimento e a aplicação dos modelos concretos foi possível avançar na aquisição desse novo conhecimento, com auxílio da docente, da pesquisa na internet e a iniciativa dos próprios alunos para desenvolver um modelo correto. No momento de utilizar o modelo, grande parte dos alunos soube fazer corretamente a distribuição eletrônica dos elementos solicitados.

Por fim, as avaliações respondidas pelos alunos e pela professora das turmas mostram que a sequência didática foi bem aceita e bem avaliada e que, na percepção deles, foi bastante produtiva, trazendo aos alunos um novo olhar sobre o átomo e a chance de introdução à física moderna.

Assim, de forma geral, percebeu-se ao longo do desenvolvimento e da análise dessa sequência didática um avanço na aprendizagem dos alunos, vista de forma verbal em suas

respostas às atividades e também observada ao longo de todo o processo de aplicação, através da pesquisa, do diálogo e também do exercício da distribuição dos elétrons.

Por fim, o que se nota é a grande importância da aprendizagem significativa, que se dá através da construção de novos conceitos através dos antigos, muito além da aprendizagem mecânica que existe pela memorização de mnemônicos e outros recursos.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, E. N. de C. Rutherford and the nature of the atom, 1ª Ed, Heinemann, 1964.

AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D. e HANESIAN, H. Psicologia educativa: un punto de vista cognoscitivo; 2ª Ed, Trillas, 1983.

ATKINS, P.; JONES, L. Princípios de Química, questionando a vida moderna e o meio ambiente; 5ª Ed, Bookman Companhia Ed., 2012

BRAUNN, R. A.; LARSEN, G. Efeito fotoelétrico. ENAPROC, 2019.

BIANCO, A. A. G; MELONI, R. A. O conhecimento escolar: um estudo do tema diagrama de Linus Pauling em livros didáticos de química – 1960/1970. *Química Nova na Escola*, v. 41, n. 2, 2019.

BRASIL. Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional. Brasília: 1996.

BRASIL. Secretaria de Educação Fundamental. Parâmetros Curriculares Nacionais: Ciências Naturais / Secretaria de Educação Fundamental. – Brasília: MEC / SEF, 1998. 138p.

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

BRONDANI, P. B. De orbitais atômicos a orbitais moleculares: explicando ligações químicas e polaridade. Notas de aula. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), 2019.

DAMIANI, M. F.. Entendendo o trabalho colaborativo em educação e revelando seus benefícios. *Educar em Revista*, n. 31, p. 213–230, 2008.

EISBERG, R., RESNICK, R. Física Quântica. Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas. Rio de Janeiro: Campus Ltda, 1979. 928 p.

GREENDA, S. C. A simple mnemonic device for electron configuration. *Journal of Chemical Education*, v. 65, n. 8, p. 697, 1988.

HAKALA, R. W. Letter to the editor. *Journal of Chemical Education*, v. 25, n. 4, p. 229, 1948.

IZA, N. e GIL, M. A mnemonic method for assigning the electronic configurations of atoms. *Journal of Chemical Education*, v. 72, n. 11, p. 1025-1026, 1995.

LOPES, C. V. M. Modelos atômicos no início do século XX: da física clássica à introdução da teoria quântica. 2009. 185 f. Tese (Doutorado em História da Ciência) - Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2009.

MELZER, E. E. M; AIRES, J. A. A história do desenvolvimento da teoria atômica: um percurso de Dalton a Bohr. *Revista Amazônia*, 2015.

MILARÉ, T. Ciências na 8ª série: da Química disciplinar à Química do Cidadão. 2008. 213p. Dissertação. (Mestrado em Educação Científica e Tecnológica). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, 2008.

MILARÉ, T. & PINHO-ALVES, J. Ciências no nono ano do ensino fundamental: da disciplinaridade à alfabetização científica e tecnológica. *Revista Ensaio*, v. 12, n. 2, 2010.

NASCIMENTO, M. N. M. Ensino Médio no Brasil: Determinações históricas. UEPG: Ciências Sociais Aplicadas, [S. l.], v. 15, n. 1, 2009.

PEREIRA, W. G.; NASCIMENTO, T. L. Apresentação de metodologias alternativas para o ensino da distribuição eletrônica no átomo. CONEDU, 2019.

PINHEIRO, L. A.; COSTA, S. S. C; MOREIRA, M. A. Do átomo grego ao modelo padrão: os indivisíveis de hoje. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, UFRGS. 2012.

RIBEIRO, P. R. M. História da educação escolar no Brasil: notas para uma reflexão. Paidéia, FFLCH USP – Ribeirão Preto, v. 4, 1993

SILVA, K. M. de O.; SILVA, O. Dos atomistas ao átomo moderno: Um resgate da história da evolução dos modelos atômicos. IFPE, Curso de Licenciatura em Física, 2021.

TORRES, N. M. Aspectos Qualitativos do Modelo Orbital. *Chemkeys*, 2000.

WERNER DA ROSA, C.; BECKER DA ROSA, A. O ensino de ciências (Física) no Brasil: da história às novas orientações educacionais. *Revista Iberoamericana de Educación*, v. 58, n. 2, p. 1-24, 15 fev. 2012.

APÊNDICES

APÊNDICE A – SEQUÊNCIA DIDÁTICA

A.1. Atividade prévia



Nome: _____ Turma: 9° ____

ATIVIDADE - REPRESENTAÇÃO DA ELETROSFERA

1. Desenhe, de acordo com os seus conhecimentos, a estrutura da eletrosfera de um átomo.

2. Descreva, com suas palavras, o comportamento dos elétrons na eletrosfera.

A.2. Plano de Aula

Plano de aula de Ciências – 9º ano do Ensino Fundamental	
Tema	Modelo atômico de Schroedinger e distribuição eletrônica
Unidade temática e habilidade	Unidade temática “ Matéria e energia”, com enfoque na habilidade EF09CI03 - Identificar modelos que descrevem a estrutura da matéria (constituição do átomo e composição de moléculas simples) e reconhecer sua evolução histórica.
Objetivo	Apresentar aos alunos os conceitos básicos do modelo quântico do átomo, desenvolvido por Erwin Schroedinger, bem como demonstrar, por meio desse modelo, qual é a origem do diagrama de Linus Pauling para a distribuição eletrônica.
Conteúdo	Níveis de energia, orbitais, spin, estados quânticos e distribuição eletrônica.
Recursos didáticos	Computador, projetor, microfone e slides.
Duração	Duas aulas de 50 minutos cada, totalizando 1h40.
Metodologia	Aula expositiva com perguntas direcionadas aos alunos
Avaliação	A avaliação se dará por meio das respostas dos alunos às perguntas feitas durante a aula.
Referências	ATKINS, P.; JONES, L.; Princípios de Química, questionando a vida moderna e o meio ambiente; 5ª Ed, Bookman Companhia Ed., 2011 EISBERG, R., RESNICK, R. Física Quântica. Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas. Rio de Janeiro: Campus Ltda, 1979. 928 p.

A.3. Orientações para elaboração do trabalho



ATIVIDADE 2 - MAQUETE PARA DISTRIBUIÇÃO ELETRÔNICA

Baseado no que aprendemos, vamos construir um modelo físico para trabalharmos a distribuição dos elétrons na eletrosfera de um átomo, de acordo com os estados quânticos.

Especificações:

- Grupos de 4 integrantes;
- 1 modelo por grupo;
- Materiais a critério de cada grupo (papelão, tampinhas, botões, MDF, argolas, isopor, etc.);
- Representar os elétrons (82) com materiais móveis;
- Considerar a propriedade de spin para diferenciar os elétrons;
- Data de entrega: 21/09.

Exemplos:

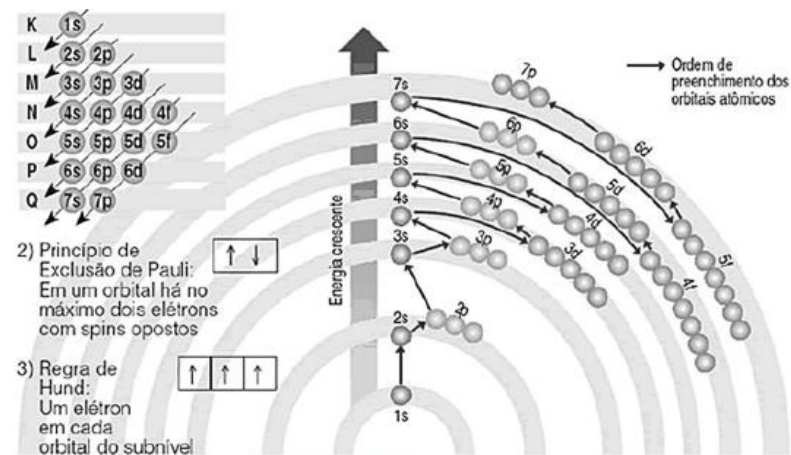


Figura 1. Ordem de preenchimento dos orbitais atômicos

1 K = 1s ²	↑↓
2 L = 2s ² 2p ⁶	↑↓ ↑↓↑↓↑↓
3 M = 3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰	↑↓ ↑↓↑↓↑↓ ↑↓↑↓↑↓↑↓↑↓
4 N = 4s ² 4p ⁶ 4d ¹⁰ 4f ¹⁴	↑↓ ↑↓↑↓↑↓ ↑↓↑↓↑↓↑↓↑↓ ↑↓↑↓↑↓↑↓↑↓↑↓↑↓
7 O = 5s ² 5p ⁶ 5d ¹⁰ 5f ³	↑↓ ↑↓↑↓↑↓ ↑↓↑↓↑↓↑↓↑↓ ↑↑↑
6 P = 6s ² 6p ⁶ 6d ¹	↑↓ ↑↓↑↓↑↓ ↑
5 Q = 7s ²	↑↓

A.4. Atividade Posterior

Nome: _____ Turma: 9° ____

ATIVIDADE - REPRESENTAÇÃO DA ELETROSFERA

1. Desenhe, de acordo com os seus novos conhecimentos, a estrutura da eletrosfera de um átomo.

2. Descreva, com suas palavras, o comportamento dos elétrons na eletrosfera.

3. O que você mais gostou dentro dessa sequência de aulas? *

4. O que você menos gostou dentro dessa sequência de aulas? *

5. Você gostaria de deixar mais algum comentário ou sugestão?

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pelo Google.

Google Formulários

APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DA PROFESSORA

Avaliação - Professora

* Indica uma pergunta obrigatória

1. Como você avalia a pertinência e adequação da sequência de aulas, considerando o conteúdo/habilidade previstos para alunos do nono ano. *

2. Como você avalia as estratégias e recursos utilizados na sequência de aulas? *

3. Qual foi a sua percepção em relação ao interesse e motivação dos alunos para o estudo do tema trabalhado? *

4. Na sua opinião, quais foram as principais contribuições do projeto para o aprendizado dos estudantes? *

5. Você tem outros comentários ou sugestões?

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pelo Google.

 Formulários