

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA

DOS DETALHES AO MANUSEIO: ENSINO DE
CONFIGURAÇÃO ELETRÔNICA COM O QUADRO DE
BOHR

Leandro Borges Matos da Silva*

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de MESTRE PROFISSIONAL EM QUÍMICA, área de concentração: ENSINO DE QUÍMICA.

Orientadora: Clélia Mara de Paula Marques

***ESCOLA ESTADUAL JOÃO AMOS COMENIUS**

São Carlos - SP
2023



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Química

Folha de Aprovação

Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato Leandro Borges Matos da Silva, realizada em 20/06/2023.

Comissão Julgadora:

Profa. Dra. Dulce Helena Ferreira de Souza (UFSCar)

Prof. Dr. Tiago Venâncio (UFSCar)

Profa. Dra. Mitsuko Aparecida Makino Antunes (PUC-SP)

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação em Química.

Para minha mãe que de algum lugar assiste minha caminhada.

Agradecimentos

Muitas pessoas de diferentes maneiras e em diferentes momentos, contribuíram para a realização desse trabalho.

De modo especial, agradeço aos meus pais Elias e Osmana pela minha vida.

Destaco sobretudo o estímulo e apoio incomensuráveis de minha esposa Raquel e minha filha amada Clara, que mais que ninguém me apresentou o método Montessori.

Meu carinho e agradecimento à Edimara de Lima pelo seu saber sensível e competente.

Obrigado pela orientação e acompanhamento da professora Dr^a Clelia.

E finalmente um agradecimento especial aos estudantes que me permitiram a realização deste trabalho.

Lista de figuras

FIGURA 1: Losango que descreve as sequencias didáticas.....	14
FIGURA 2: Operações cognitivas.....	18
FIGURA 3: Quadro de Bohr.....	19
FIGURA 4: Respostas das ideias dos alunos atividade I.....	22
FIGURA 5: Atividade de I.....	24
FIGURA 6: Atividade I.....	24
FIGURA 7: Atividade I.....	24
FIGURA 8: Atividade II.....	29
FIGURA 9: Atividade II.....	29
FIGURA 10: Atividade II.....	29
FIGURA 11: Atividade II.....	30
FIGURA 12: Atividade de desenho.....	33
FIGURA 13: Atividade de desenho.....	34
FIGURA 14: Atividade de desenho.....	35
FIGURA 15: Atividade de desenho.....	36
FIGURA 16: Imagem do experimento de Rutherford para determinar a estrutura do átomo.....	38
FIGURA 17: Imagem de determinação da relação carga-massa de elétron.....	39
FIGURA 18: Imagem de descoberta dos nêutrons.....	40
FIGURA 19: Imagem determinação da carga do elétron.....	41
FIGURA 20: Atividade de conceituação.....	43
FIGURA 21: Excitação e radiação.....	45
FIGURA 22: Espectro de emissão.....	46
FIGURA 23: Quadro de Bohr.....	47
FIGURA 24: Quadro de Bohr.....	49
FIGURA 25: Atividade prática de configuração eletrônica.....	53
FIGURA 26: Atividade avaliação.....	55
FIGURA 27: Gráfico de desempenho.....	58
FIGURA 28: Tabela de desempenho.....	59
FIGURA 29: Gráfico de autoavaliação.....	60
FIGURA 30: Gráfico de autoavaliação.....	61
FIGURA 31: Gráfico de autoavaliação.....	61
FIGURA 32: Gráfico de autoavaliação.....	62
FIGURA 33: Imagem dos participantes.....	63
FIGURA 34: Imagem dos participantes.....	63
FIGURA 35: Imagem dos participantes.....	64
FIGURA 36: Imagem dos participantes.....	64
FIGURA 37: Gráfico de desempenho.....	65

Resumo

DOS DETALHES AO MANUSEIO. ENSINO DE CONFIGURAÇÃO ELETRÔNICA COM O QUADRO DE BOHR. A trajetória dessa pesquisa consiste em revelar os detalhes de conceitos encobertos na estrutura do material sensorial, o quadro de Bohr. Com ele seguiremos estudando a configuração eletrônica com uma abordagem mecânico quântico. O manuseio desta ferramenta rompe com as barreiras impostas pela abstração do conteúdo e eleva as operações e funções cognitivas decorrentes de uma aprendizagem feitas pelas mãos.

Esse estudo foi desenvolvido com quarenta estudantes de uma escola pública de São Paulo. Por meio de uma sequência didática os aprendizes fizeram previsões, observações e explicações acerca das atividades, do material e do conteúdo escolar. Os desempenhos destes estudantes foram avaliados e enquadrados em escala de desempenho que os categoriza em operacional concreto ou operacional formal. No contexto do ensino aprendizagem, avaliaremos a dimensão epistemológica e a dimensão pedagógica, e o seu impacto na qualidade da aprendizagem dos estudantes.

Palavras chaves: método Montessori, quadro de Bohr, configuração eletrônica.

Abstract

FROM DETAILS TO HANDLING: TEACHING ELETRONIC CONFIGURATION WITH THE BOHR MODEL. The trajectory of this research consists of revealing the details of concepts hidden in the structure of sensory material, the Bohr model. With it, we will continue studying the electronic configuration with a quantum mechanical approach. The handling of this tool breaks down the barriers imposed by the abstraction of the content and enhances the cognitive operations and functions resulting from hands- on learning. The study was conducted with forty students from a public school in São Paulo. The students participated in a didactic sequence that involved making predictions, observations and explanations about activities, materials and school content. Their performances were evaluated and categorized on a performance scale as either concrete operational or formal operational.

In the context of teaching and learning, we will evaluate the epistemological and pedagogical dimensions, and their impact on the quality of student learning.

Key Words: method Montessori, model Bohr, electronic configuration.

Sumário

1- Área de estudo	3
1.1- Justificativa do estudo	3
2- Revisão da literatura	5
3 – Modelo da investigação e metodologia	14
3.1- Seleção da escola e alunos	17
5 – Compreensão dos alunos sobre o quadro de Bohr	19
5.1-Introdução	19
5.2 Visão da ciência sobre modelo atômico de Bohr	20
5.2- Análise e observação da tarefa I	21
6- Entendimento dos estudantes sobre a contextualização das partículas atômicas	25
6.1 Análises e observações na etapa de contextualização	26
7- Entendimento dos estudantes na conceituação do átomo e seus domínios	37
7.1- Introdução	37
7.2-Visão da ciência escolar acerca do átomo e seus domínios	37
8-Configuração eletrônica e o quadro de Bohr	44
8.1-Introdução	44
8.2-Visão da ciência escolar sobre Configuração eletrônica e o quadro de Bohr	44
8.2- Análises e observações dos estudantes na utilização da ferramenta e suas impressões acerca do conteúdo de aprendizagem.....	51
9- Avaliação	54
9.1- Discussão dos resultados.....	55
10 - Autoavaliação	60
11- Questionário pré e pós estudo	65
11.1- Resultados.....	65
12- Conclusões	66
13- Considerações Finais	68
14- Referências	72
Anexos	75

Prefácio

É sempre um desafio mexer em regiões e em modelos em que o tempo, os livros e as práticas já se acostumaram.

Quando pensei na química da estruturação eletrônica e nos moldes que ela vinha sendo trabalhada, resolvi mudar. Precisava, naquele momento, buscar novas ideias, novas abordagens, novos recursos, além daqueles que já estava habituado a utilizar.

Tudo, até então, era feito com base no livro texto, em aulas teóricas e expositivas que não nos levavam a lugar algum. A estratégia não ativava funções cognitivas e as operações mentais ficavam comprometidas.

Diante dessa “inércia”, entendi que precisava encontrar a “energia mínima” que fosse capaz de revelar esse processo de mudança.

Nessa “excitação”, deparei-me com o quadro de Bohr, um material artesanal construído em madeira de forma clara e precisa. Esse recurso tem estreita relação com o método Montessori, porque na sua essência, obedece aos princípios do método.

Percebido isso, busquei contato com as idealizadoras do material. Mulheres que, unidas por uma causa maior e por uma iniciativa inovadora, desenvolvem materiais sensoriais e distribuem para o mundo inteiro. Essas empreendedoras vivem no Canadá, e por meio de sua loja virtual (*mirustoy.com*), consegui adquirir o material.

O quadro de Bohr é um artefato que descreve de forma sensorial as características do modelo atômico de Niels Bohr. O material tem esculpido, em madeira, o núcleo, as partículas, as órbitas, os níveis e subníveis de energias, ou seja, ele tem, na sua estrutura, todos os elementos fundamentais da teoria.

E como características secundárias, o aparato, revela-nos, na sua sutileza, os números quânticos e o quanto é importante conhecê-los, para compreendermos a representação e a estabilização da partícula eletrônica (elétron).

Diante dessa nova “energia”, metaforicamente, dei um “salto quântico” e uma luz mostrou-me um ensino de configuração eletrônica com outras formas, que não aquelas que repetidamente vinha executando.

A boa docência requer isso, um revisar permanente. Esse tem sido o meu exercício diário.

Meu ingresso no magistério deu-se ainda na graduação de forma temporária no estado de Santa Catarina. Hoje, acumulo de forma legal a atividade docente com um cargo de natureza técnica na companhia de saneamento do Estado de São Paulo (Sabesp).

Sigo me desafiando nessas duas funções profissionais, procurando fazer sempre o melhor para que tenhamos água e educação, ambos tratados com respeito.

1- Área de estudo

A área deste estudo concentra-se na investigação sobre o uso do quadro de Bohr, uma ferramenta montessoriana, no ensino de Química. A área temática escolhida para esta pesquisa foi a configuração eletrônica dos elementos químicos com uma abordagem mecânico quântica. A ferramenta sensorial, o quadro de Bohr, foi usado para mediar o conhecimento, assim como, para minimizar o grau de abstração do conteúdo de aprendizagem. Com a exploração sensorial, os estudantes obtiveram uma melhor compreensão sobre distribuição eletrônica e, além disso, parte dos aprendizes conseguiu estabelecer relações do conteúdo, tanto em nível do pensamento operacional concreto, quanto ao pensamento operacional formal.

1.1- Justificativa do estudo

Este estudo surgiu, então, de uma reflexão sobre as metodologias no ensino de Química, propondo um repensar sobre a prática docente, um novo olhar para uma escola que ainda adota metodologias inativas, abordagens que consistem em puras anotações que não evidenciam a evolução pessoal, nem tampouco conceitual.

Diante dessa realidade, inspirados pela pedagogia Montessori, propomos uma nova possibilidade de trabalho no ensino de Química com o material “o quadro de Bohr”. A pedagogia Montessori está em expansão no Brasil e, por seu histórico como método consolidado, norteia o objetivo desta pesquisa. É um método que tem suas raízes em preocupações com o conhecimento científico e com a humanização do indivíduo. Uma educação plena, baseada nos sentimentos de cooperação, de respeito e de amor à natureza e ao universo.

A fundadora desse método de ensino foi a médica Maria Montessori, que nasceu em Chiaravalle, na Itália, onde deu início ao seu trabalho como educadora. O seu método foi estruturado em estudos psicológicos e

pedagógicos e, após a sua consolidação, espalhou-se pelo mundo todo.

A escola pública de nível básico, no Brasil, vem sofrendo inúmeros desafios no que se refere à qualidade da educação e os resultados que vêm sendo revelados ano a ano. Já a escola montessoriana tem uma estrutura de ensino em que o ambiente, o material curricular e o professor, nessa ordem, são preparados, produzidos e formados para trazer à luz os conceitos científicos mais diversos e intangíveis de qualquer área do conhecimento humano. Entre essas diferenças de ensino, seria possível, em um particular contexto ou conceito, transpor essas barreiras e trazer, para dentro de uma aula comum, elementos, teorias, ferramentas montessorianas que modifiquem a escola tradicional? Como aplicar e adaptar o método do material que usaremos nessa escola pública real? Qual seria a evolução significativa da aprendizagem dos estudantes com o dispositivo montessoriano? Diante de tantas dúvidas e incertezas, uma coisa já é certa: nossa prática docente precisa ser repensada e o ensino, para além do quadro negro e do livro didático, precisa ser colocado em outra dimensão.

Em suma, o papel fundamental para o desenvolvimento deste trabalho é olhar para uma das primícias fundamentais do método Montessori, que é a sensorialidade característica de seus materiais, e como esse recurso pedagógico pode influenciar de maneira robusta na construção do pensamento e das respostas dos alunos acerca das atividades de ensino.

2- Revisão da literatura

A Pedagogia do século XIX na Itália era fortemente influenciada pela Psicologia, Antropologia e Medicina. As escolas de Pedagogia, naquela época, preparavam os professores sob a supervisão de médicos. Já as escolas de antropologia interessavam-se pela observação metódica das crianças durante os sucessivos períodos de crescimentos e pelas medidas com instrumentos de precisão. Essa prática impôs-se em movimentos educacionais italianos, assim como na Alemanha, na França e em outros países. [...] “Para a elaboração de métodos naturais, visando o nosso corpo, são necessárias numerosas observações exatas e racionais dos homens e, sobretudo, das crianças; é aqui que devemos situar as bases da educação e da cultura.” [...] (ROHRS, 2009, p.52)

As escolas de pedagogias científicas da época formavam seus educadores com bases nos pressupostos psicológicos e antropológicos, segundo os quais se aprendia a fazer medidas antropométricas, a usar os instrumentos de estesiometria e a recolher dados de anamnese.

O mundo experimentou incluir nas suas escolas, esses elementos na esperança de obter uma nova escola, mas os resultados não foram muito animadores. Os professores que vivenciaram essas experiências perceberam que os médicos interessavam-se mais pela ciência do que pela pedagogia e suas contribuições eram sempre no sentido experimental.

Segundo Rohrs (*apud* ALMEIDA, ALVES, 2009, p.53):

pensou-se que, transportando as pedras da dura e árida experiência de laboratório da antiga e abalada escola, poder-se-ia reedificá-la. É que a ciência materialista e mecanizada foi olhada por muitos com demasiada ilusão. Mas, é

justamente por se ter trilhado uma falsa via que se torna necessário ir além para encontrar a verdadeira arte de preparar as gerações futuras.

Para edificar uma pedagogia científica é preciso seguir outra via que não seja a trilhada até aqui.

Necessário é que a preparação dos professores seja simultânea a transformação da escola. Preparamos professores capacitados na observação e na experimentação, é

preciso, porém, que encontrem na escola, oportunidade para observar as crianças e aplicar seus conhecimentos.

Maria Montessori formou-se em medicina em 1896, e seus estudos concentraram-se na área de neuropatologia ainda na universidade. Após formada, atuou durante dois anos como assistente na clínica de psiquiatria da Universidade de Roma, estudando e observando crianças com “retardos mentais”. A partir dessa experiência, ela observou que o desejo de brincar dessas crianças era latente e, diante disso, ela procurou meios para educá-las.

Diante dessa realidade, Maria Montessori foi estudar e pesquisar sobre educação. Nessa busca, ela deparou-se com os estudos dos médicos franceses Bourneville, Itard, Séguin e de Pereira. Montessori concentrou-se, então, mais nos trabalhos de Itard, médico que tentou civilizar uma criança selvagem encontrada nas florestas de Aveyron através da educação dos sentidos.

A experiência de clinicar, o contato com essas crianças e os estudos de Itard fizeram com que Maria Montessori passasse a se dedicar a problemas educativos e pedagógicos. Assim sendo, a partir daí, nasceu a abordagem pedagógica montessoriana, que preconiza, na sua essência, que a aprendizagem dá-se em um ambiente preparado, em que as crianças possam adquirir novas habilidades de acordo com suas necessidades individuais de desenvolvimento de forma livre e autônoma.

Essa educação deve proporcionar um desenvolvimento interno e externo.

Entretanto, o fato de que certa atenção seja atribuída a educação externa, que os filósofos e pedagogos da escola idealista consideram como uma simples consequência do sucesso da educação interna. Nesse ponto, a influência de Séguin foi certamente decisiva, assim como de Pereira, que tinha demonstrado o papel dos sentidos no desenvolvimento da personalidade. A ideia de que é possível educar os seres humanos unicamente manipulando os dados sensoriais que lhes são transmitidos, ideias que Diderot examinou na sua carta sobre cegos e sua carta sobre os surdos e mudos, e que inspirou o programa de Rousseau, no que se refere a educação sensorial, isso teve um papel igualmente importante nas teorias de Montessori. (ROHRS, 2010; p. 17).

Pereira e Séguin eram médicos franceses que dedicaram suas vidas a favor da educação de crianças com deficiência intelectual. O primeiro desenvolveu um método para ensinar linguagem a surdos. Sua experiência foi aplicada e

observada em dois jovens, Aaron e Azy, e ambos conseguiram ter progressos em suas oralidades a partir da aplicação do método idealizado por Pereira. Seguin¹ (1866/190, *apud* ROSA, 2017, p.46) afirma,

que o método elaborado era em parte de uma descoberta fisiológica e teria demonstrado aos fisiologistas de sua época que todos os sentidos são modificações do tato, ao ensinar seus alunos surdos a falarem através da percepção da vibração provocada pelo som.

O exercício fisiológico de um sentido corrobora a ação, bem como auxilia as aquisições de outras; as ideias mais abstratas são comparações e generalizações da mente que são percebidas através dos nossos sentidos, educar os modos de percepção prepara para o sustento do próprio espírito, as sensações são funções intelectuais realizadas por meio de aparelho externo, tanto quanto a imaginação, raciocínio, através dos órgãos mais internos.

Já o segundo tem como *a priori* a ideia de que “toda criança é capaz de aprender”. Seguin foi professor auxiliar de criança com deficiência intelectual e desenvolveu um plano para educar Adrien, um jovem quase mudo. A sua proposta teve bastante sucesso no que se refere ao desenvolvimento do aluno observado. Seguin (1839b/1897, *apud* ROSA, 2017, p.80):

em 1809 ele imprimiu um caderno que aconselhava uma série de atividades a serem executadas com uma criança com deficiência intelectual, tomando como base três pontos essenciais para qualquer melhoria do sujeito.

Os hábitos (horário de atividades, refeições, exercícios físicos etc.) a mente (atividades com imagem, objetos, álbuns etc.) e o caráter (atividades de desenvolvimento da vontade).

Em 1840, ele fundou em Paris, uma escola para a educação dessas crianças. O método utilizado consistia em mantê-las trabalhando em média seis horas por dia. Esses trabalhos eram realizados com bases em jogos que foram projetados e fabricados por Seguin. Tezzari (2009, *apud* ROSA; 2017, p.81) assinala que “[...] anos mais tarde Maria Montessori afirmou, de maneira explícita e reiteradas vezes, que devia a quase totalidade de seus materiais a Seguin, mesmo não o utilizando conforme as proposições de seu criador. Para ele, os alunos deveriam construir as ideias e noções por meio

1 Idiocy: and its treatment by the physiological method. Paris, Chez J.B Bailliére, 1866.

do jogo, mas trabalhando em grupos ou coletivamente [...]”.

Com base nesses influenciadores, Maria Montessori sistematizou o seu método, que, em linha gerais, presume que a utilização correta da imaginação cria altos componentes de interesses e estímulo. Isso se dá através da utilização dos materiais sensoriais que atraem, tanto do ponto de vista literário, quanto ilustrativo, despertando, no imaginário da criança, inteligências, percepções e conceitos.

Os materiais de desenvolvimento são ferramentas imprescindíveis para a consolidação do método. Foram pensados para o desenvolvimento das faculdades perceptivas, refletindo numa tendência voltada para o desenvolvimento do intelecto e do conhecimento do mundo. Isso se inicia com os sentidos e, por meio deles, a criatividade e o desenvolvimento cognitivos são aprimorados.

Segundo Montessori ²(1976, *apud* ROHRS,2010):

Se esses materiais não incentivam a generalização, correm o risco, com suas armadilhas, de amarrar a criança a terra. Se isso ocorre, a criança permanece fechada em círculo vicioso de objetos inúteis.

No seu conjunto, o mundo repete mais ou menos os mesmos elementos. Se estudarmos, por exemplo, a vida das plantas ou dos insetos na natureza, temos a ideia aproximada das plantas e dos animais no mundo inteiro. Ninguém conhece todas as plantas. Mas basta ver um pinheiro para conseguir imaginar como vivem todos os pinheiros’.

Diante de tal observação Maria Montessori orienta a não desconsiderar as percepções diretas.

Nenhuma descrição, nenhuma imagem de um livro pode substituir a vista real das árvores em um bosque com toda a vida que acontece em volta delas.

Na visão do viver Montessori: [...] “os materiais montessorianos são projetados para ajudar a mente do indivíduo a adquirir habilidades para o aprendizado intelectual posterior” [...].

Os materiais concretos contribuem para um aprendizado que inicia no estágio sensório-motor, sendo que, nessa etapa, a aprendizagem da criança está relacionada com a realidade. As experiências externas, desde muito cedo, já permitem criar mecanismos de ordenamento e conexões com experiências

² Montessori; M. A biography, New York, 1976

internas, que vão se acumulando e desenvolvendo a capacidade cognitiva do indivíduo.

Piaget³ (1975, *apud* CRESPO E POZO, 2009) afirma que,

o pensamento concreto, está centrado na realidade imediata. A criança é capaz de usar as operações concretas baseado nos objetos apresentados, consegue ir além das aparências perceptiva por meio da conceitualização, mas o seu pensamento continua ligado ao concreto, ao real, mais do que ao possível.

A inteligência no pensar e no desenvolver essas ferramentas fez com que o ensino de conceitos pudesse ser construído a partir de uma abstração materializada. Esses materiais, na sua grande maioria, são construídos em madeiras e pintados em cores vibrantes com o intuito de obter a atenção dos estudantes. Cada material tem um propósito para ser alcançado, tanto na fase inicial quanto na fase de operações formais. Eles estão o tempo todo dialogando entre si e entre as diversas histórias do conhecimento.

Para a Organização Brasileira Montessoriana,

os materiais em diferentes áreas do currículo são apresentados em sequência hierárquica, em uma rede complexa de inter-relacionamento com os materiais e as diferentes áreas do currículo. Nenhum outro currículo educacional chega perto do currículo Montessori em termos de níveis de profundidade, amplitude e inter-relação ao longo do tempo. As ferramentas dividem as atividades em uma série de etapas organizadas que os alunos aprendem separadamente antes de reuni-las para fazer a atividade principal. Essas etapas geralmente constituem uma preparação indireta, as crianças não sabem aonde as etapas podem levar, mas o professor está ciente e apresenta os materiais metodicamente.

Uma parte substancial da construção do conhecimento metodológico configura-se na maneira como utilizar esses instrumentos em favor do desenvolvimento da aprendizagem dos alunos. Sabendo disso, é possível fazer inferências sobre como as percepções das crianças interagem com o método, com o material em si e com as próprias percepções da criança. Dentro desse quadro teórico, essas impressões podem lançar mais luz sobre algumas características da compreensão da criança e do seu desenvolvimento cognitivo.

Faremos aqui um paralelismo entre os materiais Montessori e o conhecimento procedimental defendido por CRESPO E POZO. (2009, p.49). [...] “os diferentes tipos de procedimentos podem ser situados ao longo de um

³ Piaget; J. L'equilibration des structures cognitives. Paris, 1975

continuum de generalidades e complexidade que vai desde simples técnicas de destreza até as estratégias de aprendizagem e raciocínio.” [...]

Nesse confronto, o que sabemos é que a concretude dos materiais permite aos aprendizes perceberem, de maneira sensorial, as quantidades, desenvolver uma concentração profunda, definir o senso de classificação e ordem, assim como, ampliar e refinar os sentidos, a lógica, a percepção, a escrita e a consciência.

Para a Organização Montessori do Brasil:

A neurociência revela que os cinco sentidos são apenas partes dos canais que possuímos para a conexão com o mundo. Conhecer e saber desenvolver estes canais é importante para um desenvolvimento integral da criança.

Doutora Montessori, já apontava para estes canais, confirmados pela pesquisa mais recente, ela conseguiu construir uma série de materiais que trabalham os sentidos de forma completa, dando possibilidade de desenvolvimento saudáveis a criança.

O uso desses recursos pedagógicos possibilita criar técnicas cognitivas que habilitam os estudantes a exercer o controle consciente e corretivo, em sua aplicação, e essa consciência é percebida pela natureza do próprio material.

conforme Herron⁴, (*apud* PORTO, p.3),

operações concretas são concretas, sua atividade estruturadora e organizadora está orientada para coisas concretas e acontecimentos no presente imediato. O estudante operacional concreto não pensa em termos de possibilidades e não é capaz de compreender conceitos abstratos que se afastam da realidade concreta.

Para Montessori, as atividades práticas provocam uma atração pelo conhecimento abstrato, à medida que as crianças vão evoluindo em campos até então não explorados por elas.

Essa transição é esperada ao longo do amadurecimento cognitivo, sendo que essa evolução inicia-se nos primeiros anos de vida, passando pelo período pré-operacional (2-7 anos), seguindo para as operações concretas (7-11 anos) e evoluindo para as operações formais (12-15 anos). Essa progressão de desenvolvimento foi descrita por Jean Piaget e, baseado nesse modelo, Lawson sugere, [...] “que existem certos conceitos que são compreensíveis para estudantes que ainda estão no estágio de desenvolvimento operacional concreto, enquanto outros conceitos somente são compreensíveis para aqueles estudantes que

⁴ Herron;D.J. Journal of Chemical Education. V 52, p.146 – 150, 1975

atingiram o das operações formais.” [...]

Entre essas semelhanças de pensar de Montessori e Piaget, entendemos que o modelo teórico se estabelece no imagético (real/visual e dimensional) trazendo benefícios que se consolidam nas operações formais. Nessas operações, o aluno montessoriano é capaz de formar conceitos e categorizar, além das percepções estruturais e funcionais, configurando, nesse momento, uma nova modelagem mental, rica em pensamento abstrato e científico.

Para Meleiros e Jordan: (1999, p.18); [...] “as relações cognitivas tensionadas com o fenômeno, o aluno reconhece a provisoriedade do conhecimento por ele construído e caminha em direção a uma racionalidade aberta, livre das amarras do realismo fenomenológico.” [...]

Os recursos práticos utilizados em uma escola montessoriana proporcionam aos alunos migrar do concreto para o abstrato com a mais absoluta segurança e tranquilidade, em sintonia com a lógica, com a retórica e com a ciência, contribuindo para a aquisição dos processos científicos e para a formação plena do ser humano. De acordo com Montessori, (1949 *apud* SANTINI, p.18),

algumas escolas modernas no Estados Unidos ao adotarem essa parte do método, tem ido longe demais, preparando as crianças nesse estágio de crescimento intelectual para se ocuparem com máquinas, planejando, com base nisso, o desenvolvimento de sua inteligência. Em tais escolas, as crianças, de posse das máquinas, têm permissão de escolher seus próprios trabalhos, e isso é considerado muito bom. No entanto, essas escolas excluem, como sendo insignificante e desprezível, qualquer coisa que não possa ser aprendida desse jeito, incluindo-se aí a matemática e outros assuntos abstratos, considerados como estando além da compreensão da criança como atividade livre e espontânea. Baseadas unicamente no trabalho prático, essas escolas são opostas às escolas chamadas “fora de moda”, nas quais principalmente assuntos abstratos são ensinados e fatos são memorizados. Nós nos opomos igualmente a ambas.

As políticas públicas educacionais no Brasil sofreram ao longo do tempo mudanças que não deram conta de resolver o processo de escolarização da população.

Teorias e métodos vêm sendo implementados na escola pública do país, mas nenhum avançou significativamente nos processos de melhoria do ensino aprendizagem. Conforme Rohrs (2001, *apud* Almeida e Alves, p.23):

Há um entendimento (às vezes equivocado e às vezes intencional) de que a melhoria da escola e do ensino depende tão somente de questões relacionadas a teorias e métodos, desconsiderando questões da qualidade de vida da população, do modelo de distribuição de renda, do não investimento no profissional da educação e na organização do ensino e outros.

Os resultados dos indicadores educacionais refletem bem essa realidade e mostram-nos que caminhamos muito pouco para uma aprendizagem significativa.

Todos nós sabemos que a superação de desigualdades sociais só pode acontecer com uma educação de qualidade e uma escola que exerça essa função equalizadora.

Que escola e pedagogia estão comprometidas com essa mudança? A pedagogia tradicional que é viciosa, que tem, no cerne do seu processo, o professor, e é ele quem transmite o conhecimento ao aluno? Os fatores de aprendizagens são extrínsecos e desmotivacionais, pois eles findam-se nas avaliações e o conhecimento perde-se no tempo e no espaço?

A escola é uma instituição pesada e lenta que se presta muito pouco às vontades políticas revolucionárias. Em suas palavras “há uma cultura escolar profissional que é muito forte do que todos os nossos sonhos. Por isso, mexer na estrutura da escola é o grande desafio. Na escola que está aí com sua história e sua cultura. (ARROYO,2001, p.277 *apud* ALMEIDA, ALVES)

Por outro lado, todos os movimentos que temos assistido com relação à política educacional brasileira mostram que todos eles ficaram mais nos discursos do que na prática. A mais recente reforma do ensino, que coloca uma base nacional comum curricular, talvez seja mais uma, de tantas outras propostas, que não resolve os problemas históricos de nossa educação básica.

O método Montessori surgiu com uma pedagogia de mudança, porém a metodologia que nasceu nas classes menos favorecidas da Itália, hoje tornou-se a prática mais cara e elitista no país.

o requinte do método montessoriano, que demanda material especializado, formação de professores para sua aplicação, espaço amplo e adequado para as atividades propostas, encontrou condições de inserções, quase somente nas escolas privadas destinadas as classes mais favorecidas da sociedade brasileira.(Almeida e Alves, 2010, p.41).

O que sabemos é que as iniciativas montessorianas na rede pública no Brasil ainda são bastante tímidas e isoladas. Há estados que já vêm implementando as práticas do método, isso evidencia a urgência de abandonarmos a escola ultrapassada. Tudo isso aliado a uma vontade política pode mudar o rumo da educação dessa nação.

Dados mais recentes mostram que a educação montessoriana vem crescendo no Brasil. De 2009 até hoje, percebemos que, em todos os estados da federação, houve abertura de escola com essa abordagem. Há, no Norte do país, três escolas, 14 localizam-se no Nordeste, oito no Centro Oeste, 25 no Sudeste e 17 no Sul.

3 – Modelo da investigação e metodologia

Neste estudo, decidimos pela técnica de intervenção com cunho qualitativo. Entendemos que ela é a mais apropriada e oferece a possibilidade de sondar as inter-relações percebidas entre os estudantes, a mudança de conceito e o impacto da ferramenta montessoriana na qualidade da aprendizagem dos estudantes. O percurso dessa trajetória baseia-se, pois, em uma sequência didática.

sequências didáticas são vistas como um conjunto de atividades relacionadas internamente e planejadas para o ensino de um determinado conteúdo. Para a autora, a construção dessa estratégia de ensino exige do professor/propositor uma atenção especial a 4 componentes essenciais, que são o estudante, o professor, o mundo material e o conhecimento científico.

Duas dimensões surgem da interação dual entre os componentes: a dimensão epistemológica, que representa a construção do conhecimento científico e sua relação com o mundo material, e a dimensão pedagógica, que representa as relações entre professor e os estudantes, na gestão do conhecimento científico e sua relação com o mundo material. A figura abaixo apresenta o losango que bem descreve as sequências didáticas. (Oliveira e Queiroz, 2017, p.70)



FIGURA 1: Losango que descreve as sequências didáticas. Fonte: Mourato e Simões Neto, 2015

Para Zabala (1998), a sequência didática é compreendida como uma série ordenada e articulada de atividades que compõem cada unidade temática. Neste sentido, é importante definir cada ação, estimando o tempo de realização de cada tarefa nas aulas, incluindo também a avaliação de aprendizagem.

As ações escolhidas precisam dialogar entre si, para se constituir numa totalidade coerente e significativa, com sentido para o estudante.

As sequências didáticas dizem muito sobre as concepções docentes de

ensino/aprendizagem e os princípios educativos. Quanto mais interativa é a atividade desenhada no passo a passo, mais se evidencia o princípio do estudante como protagonista do seu processo de aprendizagem. O professor mobiliza a participação do estudante por meio de um conjunto de estratégias de aprendizagem ativa, desafiadoras e oferece andaimes, apoios pedagógicos, para o desenvolvimento do estudante em níveis de maior complexidade. A proposição de atividades e recursos diversificados são essenciais na sequência didática. Inclusive, identificar os conhecimentos prévios e as experiências anteriores dos estudantes podem resultar em bons subsídios para a elaboração da sequência didática.

A sequência didática deve apresentar um conjunto de ações para a construção do conhecimento científico compreendendo que é do conflito cognitivo que a aprendizagem se constrói (Zabala, 1998). Nesse contexto, se temos como princípio o protagonismo dos estudantes, podemos partilhar com eles a sequência didática para sugestões, proposições de melhorias e para promover ainda mais o engajamento e o compromisso com a aula. (CAED. UNB)

As atividades desenvolvidas por meio dessa abordagem procuraram mostrar para os alunos formas de conhecimentos que, por si mesmas, seriam muito distantes, ou, pelo menos, não seriam assimiladas pelo seu alto grau de complexidade.

As estratégias aplicadas, neste estudo, incluíram: observações do material, explicações de apoio e manipulações do quadro de Bohr. De fato, essas combinações possibilitaram aos alunos ter uma compreensão da dinâmica do material e fazer previsões da configuração eletrônica dos átomos.

Na fase 1, foi apresentado aos alunos o “quadro de Bohr”. Nessa etapa, não se fez nenhuma inferência, o esperado era que os alunos observassem o material apresentado e respondessem a um questionário. À luz dessa abordagem, alguns conceitos promissores foram gerados ou revisitados. Nessa fase, foi apurada uma visão particular dos estudantes sobre o quadro de Bohr, sua estrutura e mecanismo, identificamos as palavras ou descrições sobre átomos e suas partículas e, por fim, conseguimos observar possíveis mudanças no uso dessas palavras e seus significados ao longo dos anos escolares.

Na etapa seguinte, trouxemos uma videoaula e, depois, fizemos uma roda de conversa. Essa tarefa possibilitou-nos significar os domínios (átomos, prótons, elétrons) e discutir a importância do fenômeno da natureza e os objetos das construções desenvolvidas pela comunidade científica para interpretar a natureza.

Nessa fase foi possível perceber alguma ideia subjacente à atomística que os alunos já possuíam ou adquiriram nesse exercício.

Na terceira fase, usamos a estratégia de debate e desenho. Fizemos uma discussão sobre o núcleo do átomo, contextualizando a sua importância do ponto de vista industrial, econômico e social, com base no texto “Átomo e tecnologia”. Falamos sobre tecnologia nuclear, radioatividade e radiações eletrônicas. Após essa discussão, pedimos aos alunos que desenhassem sua ideia de átomo e que fizessem suas ponderações.

Após as contextualizações feitas anteriormente, foi possível conceituar as partículas do átomo utilizando a ferramenta montessoriana. Na fase (4), o quadro de Bohr esteve no centro da discussão e iniciou-se a abordagem de distribuição eletrônica e o papel dos números quânticos nesse processo, que reforçou as discussões anteriores e permitiu aos estudantes fazerem suas observações, explicações e previsões de configuração eletrônica.

Na última tarefa (5) da sequência de ensino, realizamos a avaliação e, através dos resultados, foi possível dimensionar estágios do pensamento concreto ao formal. A avaliação formal foi individual e com o auxílio do quadro de Bohr. O esperado era que os alunos conseguissem explicar concepções abstratas referentes aos números quânticos e à configuração eletrônica. A avaliação e os resultados obtidos serão discutidos nos próximos capítulos.

3.1- Seleção da escola e alunos

O trabalho foi realizado na Escola Estadual João Amos Comenius, situada na zona sul da capital paulista, nas aulas de química geral para aprendizes da primeira série do novo ensino médio, com idade entre 14 e 15 anos. A turma selecionada para este estudo foi o primeiro ano F do período matutino. Esse grupo cobriu a representação mais heterogênea de habilidades cognitivas e apresentou a maior faixa de estudantes oriundos de outras escolas de ensino fundamental.

O total de participantes compreendido neste estudo foi de 40 participantes, distribuídos em 16 meninos e 24 meninas.

As atividades tiveram início na segunda quinzena do mês de agosto de 2022. Foram ao todo 32 encontros de 45 minutos.

4-Método de análise usado neste estudo

As tarefas executadas, neste estudo, apontaram vários tipos de respostas. Elas foram tratadas e detalhadas nos capítulos que seguem. O procedimento de análise usado para avaliar os objetivos alcançados foi baseado em sistemas alternativos de avaliações. Nas quatro primeiras atividades, o critério utilizado foi procedimentos e coletas de dados, e, na última fase, uma avaliação de caráter mais formal.

Com esse modelo de avaliação formativo, conseguimos perceber o desempenho e as mudanças que as atividades provocaram nos aprendizes, assim como, foi possível também sugerir outras abordagens para aquelas demandas que a aprendizagem não foi alcançada.

Ao final desse processo de verificação de aprendizagem, cada atividade realizada foi comparada, contrastada e, depois, enquadrada na escala de operações cognitivas de Piaget. Em outros termos, os desempenhos alcançados foram classificados em operações concretas ou operações formais.

Operações Cognitivas	
Pensamento operacional concreto	Pensamento operacional formal
<ul style="list-style-type: none"> *centrado na realidade *baseado nos objetos realmente apresentados *incapaz de formular hipótese e comprová-la 	<ul style="list-style-type: none"> *referente ao possível, não real *caráter proposicional: baseado em algum tipo de linguagem *natureza hipotética dedutiva: formulação e comprovação

FIGURA 2.:Operações cognitivas. Fonte: Pozo e Crespo, p.71, 2009

5 – Compreensão dos alunos sobre o quadro de Bohr

5.1-Introdução

O quadro de Bohr é um material confeccionado em madeira que evoca, pelos seus detalhes, o brilhante modelo atômico de Bohr. Um material que obedece aos princípios do método Montessori no que diz respeito à precisão e à exatidão. Assim sendo, ao ser utilizado, o estudante, percebe seu êxito enquanto realiza a atividade.

A ferramenta certamente tem um valor pedagógico inefável, suas características principais e secundárias garantem-nos uma trajetória de aprendizagem de distribuição eletrônica que se compõe de duas ou três partículas, e no modo como a estabilidade e identidade dos elétrons são garantidas pelos números quânticos.

Todas essas regiões traçadas milimetricamente no material são capazes de revelar sensações visuais e táteis relacionadas a leis e fenômenos ocultos.

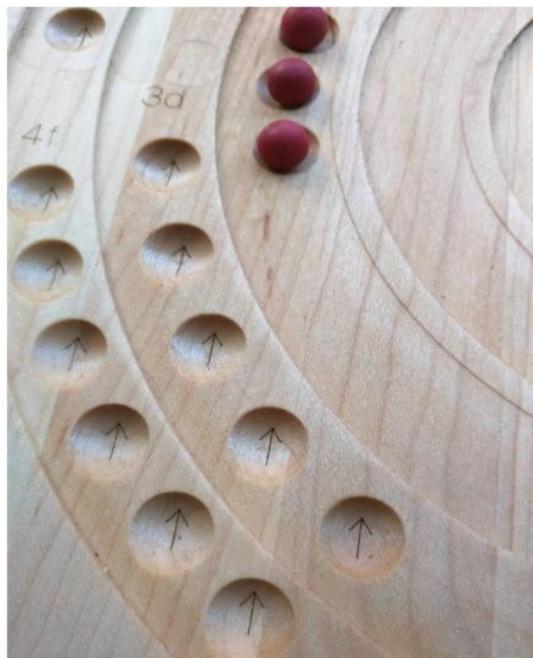


FIGURA 3: Quadro de Bohr. Imagem do autor, (2022)

Existem muitas teorias sobre átomo e pretendemos trabalhar, neste estudo, a do cientista Niels Henrik David Bohr. O material utilizado para esse fim é um material artesanal, elaborado por mulheres canadenses que produzem objetos sensoriais para diversas áreas da educação. É um material que tem estreita relação com o modelo que pretendemos discutir nesta pesquisa.

No que se refere às competências e habilidades da matriz da base nacional comum curricular (BNCC) e o currículo paulista, essa primeira tarefa pretende avaliar a habilidade EM13CNT301, que sugere: “[...] construir hipótese, elaborar hipóteses, previsões e estimativas, empregar instrumentos de medição e representar modelos explicativos, dados e ou resultados experimentais para construir, avaliar e justificar conclusões no enfrentamento de situações problema sob uma perspectiva científica[...]”.(BRASIL, 2017, p.545)

Nessa primeira fase foram necessárias duas aulas de 45 minutos.

5.2 Visão da ciência sobre modelo atômico de Bohr

Nascido em 5 de outubro de 1885 em Copenhague, Niels Bohr teve que deixar seu país porque estava sob o domínio das forças alemãs. Seu destino final foi a Inglaterra. Na universidade de Cambridge, trabalhou com Thomson para concluir sua tese sobre eletrônica. Já em Manchester, Bohr e Rutherford uniram-se para estudar o modelo de seu colega. Nesse meio tempo, Bohr reuniu ideias do modelo já existente e acrescentou os princípios da teoria dos quanta de Planck, para contornar as impossibilidades do átomo de Rutherford.

O postulado de Bohr foi baseado no átomo de hidrogênio, que entendia um átomo com suas órbitas discretas, cada uma com seu nível de energia ou estado quântico. Um elétron podia permanecer ali orbitando o núcleo, sem emitir nem perder energia.

Sobre os saltos quânticos, os elétrons podiam mudar de uma órbita de menor energia para uma de maior energia, assim que absorvessem um *quantum*

de energia suficiente para serem deslocados. Na volta do elétron ao seu estado original, ocorria o fenômeno de fluorescência ou fosforescência. Esse fenômeno é possível porque a energia de absorção é igual a energia de emissão.

Os átomos, na concepção de Bohr, não podiam absorver nem emitir energia exceto nesses saltos quânticos. E as linhas discretas de seus espectros eram simplesmente a expressão das transições entre seus estados estacionários. Os incrementos entre níveis de energia diminuíam com a distância do núcleo, e esses intervalos, Bohr calculou, correspondiam exatamente as linhas no espectro de hidrogênio (e à fórmula de Balmer para elas). Essa coincidência de teoria e realidade foi o primeiro grande trunfo de Bohr. Einstein 35 anos mais tarde, ele escreveu: “[...] ainda hoje parece um milagre. [...] É a mais elevada forma de musicalidade na esfera do pensamento”. O espectro do hidrogênio e os espectros geral haviam sido tão belos e tão sem sentido quanto as marcas nas asas das borboletas, comentou Bohr, mas então se pôde ver que eles refletiam os estados de energia no átomo, as orbitas quânticas nas quais os elétrons rodopiavam e zuniam. “A linguagem dos espectros foi revelada como uma música atômica das esferas”, escreveu o grande espectroscopista Arnold Sommerfeld. (Sacks, p.298, 2002)

Bohr foi um grande defensor da paz, que, segundo ele, era indispensável para a liberdade do pensamento e da pesquisa. Em 1957, foi condecorado com o prêmio átomos para paz. Cinco anos mais tarde, vítima de trombose, veio a falecer com 77 anos de idade.

5.2- Análise e observação da tarefa I

A partir deste ponto, vamos discutir os resultados obtidos no momento em que foi apresentada a ferramenta o quadro de Bohr na fase um deste estudo.

Essa etapa foi marcada por uma atividade em grupo e os participantes foram distribuídos em cinco equipes compostas de oito membros.

<p>i) Como você usaria esse material?</p> <p>*Jogos (2x)</p> <p>*Separação/repr esentação/ reunir prótons e nêutrons</p> <p>*Decomposição dos átomos</p> <p>*Não usaria</p> <p>*Medir quantidades/ fórmulas</p>	<p>ii) Você imagina para que serve esse material?</p> <p>*Conhecimento prático sobre o núcleo</p> <p>*Auxiliar nas experiências</p> <p>*Marcar as quantidades de prótons e nêutron</p> <p>*Cálculos</p>	<p>iii) O que essas bolinhas representam para você ?</p> <p>*Nêutrons prótons e núcleo</p> <p>*Água, terra e sol</p> <p>*Funções inorgânicas (2x)</p> <p>*Potência do núcleo</p>	<p>iv) O que você pensa sobre as ranhuras nesse material?</p> <p>*Dar forma</p> <p>*Identificar as bolinhas</p> <p>*Equação de fórmula dos prótons e nêutrons</p> <p>*Níveis 1,2,3...</p> <p>*Separar cada linha</p>	<p>v) Você tem alguma memória ou registro dessa imagem?</p> <p>100% disseram que nunca viram ou ouviram nada a respeito</p>
---	---	--	--	--

FIGURA 4: Respostas das ideias dos participantes na atividade I. Imagem do autor, (2022)

As respostas construídas revelam que as capacidades de reconhecerem uma atividade com conteúdo científico são ainda muito limitadas.

Os aspectos de atitudes e comportamentos envolvidos nessa atividade demonstram que os participantes precisam aprender mais sobre esses processos e entender o quanto eles são importantes para a construção da aprendizagem.

Observamos uma angústia nos participantes no momento dessa atividade. Essa inquietude percebida reflete a dificuldade no saber fazer, e isso ocorre porque há um processo já instaurado na cultura escolar desses alunos, que é fruto do conhecimento declarativo-receptivo.

Quando olhamos para a natureza dessa atividade, pensamos em apurar as técnicas de formulações de hipóteses levantadas, o conhecimento prévio ou memórias de aprendizagens, assim como, o raciocínio adotado para chegar a essas ideias.

As respostas anteriores demonstram que os participantes (grupo 2 e 5) utilizam o método indutivo para construir suas ideias. “A indução é o processo pelo qual podemos obter e confirmar hipóteses e enunciados gerais a partir da

observação”. (Mazzotti e Gewandsznaj, p.11, 1999).

A falta de flexibilidade dos estudantes acerca da atividade mostra o quanto o pensamento intuitivo é recobrado.

[...] No entanto, Piaget (1958) vai mais além e distingue o pensamento lógico do período operatório concreto, em relação ao pensamento lógico do período formal. Assim, o pensamento lógico do período operatório concreto é responsável pela construção de regras específicas e dependentes do contexto concreto. Já o pensamento lógico formal é responsável pela construção de regras formais e gerais[...]”(Gomes, p.150, 2002)

Desse modo, os enunciados grafados no quadro de Bohr (núcleo = Próton + Nêutron) sugerem uma interferência direta em algumas conclusões dos estudantes.

Como um modelo teórico, é impresso de conceitos abstratos, notamos que os participantes conseguem fazer algumas identificações simples baseadas em um pensamento hipotético-inferencial alicerçado pela lógica indutiva.

Pensando nisso, alguns participantes conseguem ativar a percepção clara e precisa com base na sensorialidade e na linguagem não verbal da ferramenta.

O uso de conceito espontâneo resume-se basicamente nos aspectos concretos. Os detalhes do instrumento não foram capazes de estimular algum campo conceitual.

Esperamos que, na etapa de conceituação, os alunos que indicaram essas condições consigam apropriar-se dos significados com mais facilidade, quando lhes forem revelados o significado e a grandeza que o material sensorial permite fazer com relação à lei da teoria de Bohr.

As demais respostas (grupos 1, 3 e 4) trouxeram uma estrutura lógica para a tarefa de pouca familiaridade com o material e suas próprias ideias, incorporando argumentos sem estruturas, soltos e com variáveis específicas muito parecidas entre ambos. Ou seja, participantes com pouca percepção e conceituação comprometida.



FIGURA 5: atividade de I. Fonte:Imagem do autor, (2022).

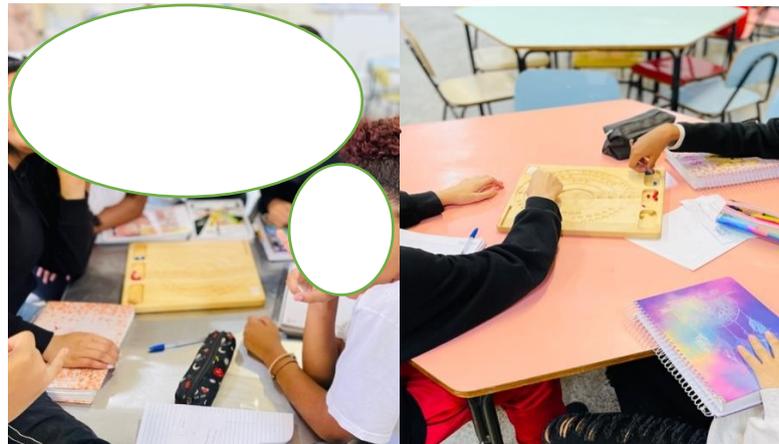


FIGURA 6: Atividade I. Fonte:Imagem do autor, (2022)

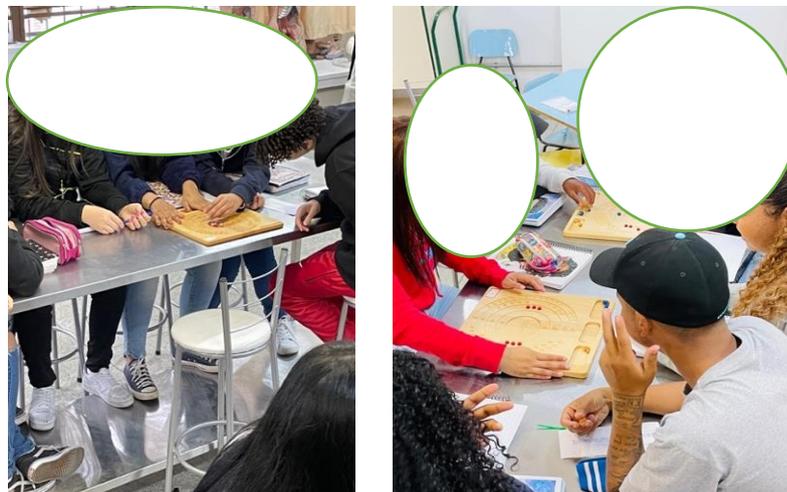


FIGURA 7: Atividade I .Fonte: Imagem do autor, (2022)

6- Entendimento dos estudantes sobre a contextualização das partículas atômicas

No que se refere à contextualização, ela ocorreu em dois momentos. No primeiro, foi apresentado um vídeo intitulado “A origem dos átomos”, uma série de fascínio do universo, disponível no canal da Universidade de São Paulo.

Um recurso que aponta como a fonte de energia cósmica foi capaz de fazer com que elementos mais leves pudessem fundir-se uns aos outros formando átomos mais pesados.

Ainda no campo da contextualização, apresentamos um texto, extraído da revista Química Nova na Escola, e que tem, como autores, os professores Romeu Rocha Filho e Mario Tolentino. O texto aborda o átomo e a tecnologia.

Esse texto é apresentado, porque ele tem aspectos relevantes quando se trata de aplicabilidade dos átomos nos diversos segmentos da sociedade. Essas relações são importantes para que os aprendizes reflitam sobre a importância da ciência no campo social, econômico e político.

[...] As atividades acima apresentam informações que afirmam e declaram algo sobre as partículas atômicas e suas implicações sociais. Porém, o que se revela diante dessas tarefas são os sentidos e os significados dados a esses conceitos. Isso requer relacioná-los dentro de uma rede de significados que explique por que ocorrem e que consequências que eles têm. [...] (Pozo e Crespo, 2009, p.78)

Quando nos referimos à vídeo aula, pensamos em trazer a importância do fenômeno da natureza e os objetos das construções desenvolvidas pela comunidade científica para interpretar a própria natureza.

O texto indicado traz considerações significativas do ponto de vista da aplicabilidade dos átomos. É um texto baseado em justificativas, considerando aspectos conceituais e científicos.

Ambas as atividades trouxeram elementos interessantes nas intervenções dos alunos na hora de construir explicações individuais ou coletivas acerca dos nossos estudos.

[...] Os dados e fatos narrados nessas vias de conhecimentos estão subordinados a compreensão e a funcionalidade do conhecimento. Essa funcionalidade, é determinada, em muitos casos, pelo grau em que facilitam a posterior compreensão de conceitos. [...] (Pozo e Crespo, 2009, p.81).

Nessa atividade ressaltamos como meta e desenvolvimento, a habilidade EMCNT303, que aponta “[...] interpretar textos de divulgação científica que tratem de temáticas das ciências da natureza, disponíveis em diferentes mídias[...], visando construir estratégias de seleção de fontes confiáveis de informações [...]”. (BRASIL, 2017, p.545)

A outra habilidade abordada é a EM13CNT209, que sugere “[...] analisar a evolução estelar associando- a aos modelos de origem e distribuição dos elementos químicos no universo, compreendo suas relações com as condições necessárias ao surgimento de sistemas solares e planetários, suas estruturas e composições [...]”.(BRASIL, 2017, p.542)

Nessa fase do estudo, os aprendizes necessitaram de 12 aulas.

6.1 Análises e observações na etapa de contextualização

A videoaula ofereceu um momento bastante difícil, pois não chamou atenção dos alunos. Consideraríamos que o dispositivo perdeu-se no tempo e no espaço. A familiaridade dos estudantes com o celular e o uso dele nos espaços escolares, fez com que esse momento passasse despercebido.

Analisando esse comportamento e a falta de adesão para esse modelo de aula, percebemos que, talvez, a melhor estratégia seria distribuir um notebook para cada grupo, disponibilizando o link da videoaula e orientando sobre o processo dessa prática e uma posterior sala de aula invertida. Outra sugestão seria fazer uma primeira exibição muda, e solicitar aos aprendizes que elaborassem um texto sobre o que compreenderam. Essa abordagem talvez minimizasse o problema que encontramos e estimulasse a participação, a escrita, a criatividade e a intuição dos estudantes.

A experiência negativa da televisão, ao nosso entender, é fruto do uso indiscriminado do celular em salas de aulas. Infelizmente, não temos ou perdemos o controle sobre isso. Essa situação impacta o trabalho em sala, e o

processo de ensino aprendizagem fica bastante comprometido. Talvez, o combinado de recolher os celulares, assim como fizemos nas fases 1, 3 e 5 deste estudo fosse o ideal para evitar esse conflito.

Em tempos de excessos de telas, a preparação analógica precisa ser revisitada. Esse exercício coloca os estudantes num processo de desaceleração, de contemplação e de introspeção com a natureza do trabalho.

[...]A essência da preparação analógica está em ouvir a si mesmo: deixar que os seus pensamentos esbarrem, lentamente, nas suas experiências de vida e nos seus conhecimentos, mudem de direção, voltem a esbarrar em outras experiências e conhecimentos, e assim sucessivamente, ganhando velocidade aos poucos, como partículas que começam a agitar-se. É um processo criativo e, por isso, recomendamos que seja vivido em grande parte de forma solitária e silenciosa, estados raros na atual sociedade da hiperconexão.[...].(FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS)

Seria oportuno, nessa nova matriz curricular do ensino médio, nos componentes reservados aos itinerários formativos, que surgissem projetos voltados a essas novas tecnologias, orientando os alunos, sobre a compreensão da linguagem midiática, a seleção e utilização de informações que melhorem sua visão crítica e dialógica dentro do processo de ensino e aprendizagem.

Os trabalhos que envolveram o artigo foram realizados em grupos. A nossa orientação foi no sentido de que fizessem a leitura e, depois, apontassem as ideias mais relevantes para uma posterior discussão. Como a escola dispõe de notebooks, sugerimos o recurso *Power Point* para a elaboração dessas ideias acerca do texto.

No entanto, embora exista um forte apelo para inserção da tecnologia e da comunicação no ensino, notamos que a maioria dos alunos ainda não sabia operar o software da Microsoft de edição e criação de apresentações. Para contornar essa problemática, colocamos à disposição papel e pincéis e, com isso, os alunos sentiram-se mais livres e confortáveis para a elaboração de trabalho manual, sem o recurso tecnológico.

Tal fato chamou atenção, visto que todos os alunos possuem celulares, e, como sabemos essa geração é digital, porém quando se cria a oportunidade de incluir essas tecnologias no processo de ensino-aprendizagem, verificamos ainda uma cultura de navegação empobrecida que se finda nela mesma, sem nenhum

propósito e significado para uma mudança conceitual ou cultural na vida dos alunos.

É sabido que a hipermídia é uma ferramenta com bastante potencial para provocar projetos e aprendizagem significativos. Entretanto, percebemos que os alunos precisam ser orientados sobre o correto uso da tecnologia a favor do conhecimento, ajudando-os a identificar o que é informação segura ou enviesada, visto que eles não sabem distinguir o que é relevante e tampouco são capazes de construir conhecimento a partir das informações que estão à disposição.

Tudo isso, nos leva a concluir também que os participantes têm um grau razoável de letramento, conseguem copiar um texto, por exemplo. Porém, quando analisamos a capacidade de refletir, interpretar e avaliar um texto científico, a situação fica num estágio bem crítico. Eles não conseguem identificar as principais ideias, tampouco, utilizam evidências do texto para elaborar e justificar suas conclusões e não elaboram um discurso que explique o funcionamento de fenômenos, aplicando os conhecimentos adquiridos no estudo científico, o que leva a uma oratória desprovida de conteúdo.

Se pensarmos sobre a amplitude do campo mental, que é a facilidade de o indivíduo manipular mentalmente várias informações ao mesmo tempo, poderíamos afirmar que os participantes desta pesquisa têm uma estreiteza do campo mental, pois só conseguem fazer pouquíssimas representações mentais.

O espaço para discussões alunos-alunos e alunos-professores em sala de aula tem, portanto, o importante papel de proporcionar tanto a identificação das ideias dos alunos a respeito do fenômeno a ser estudado, quanto uma oportunidade para que eles ensaiem o emprego da linguagem escolar. É por esse meio que os estudantes podem ir adquirindo desenvoltura dentro dessa área de conhecimento, bem como experimentar e ponderar vantagens de sua utilização em contextos adequados. (Trivelatto e Silva, p.60, 2013).

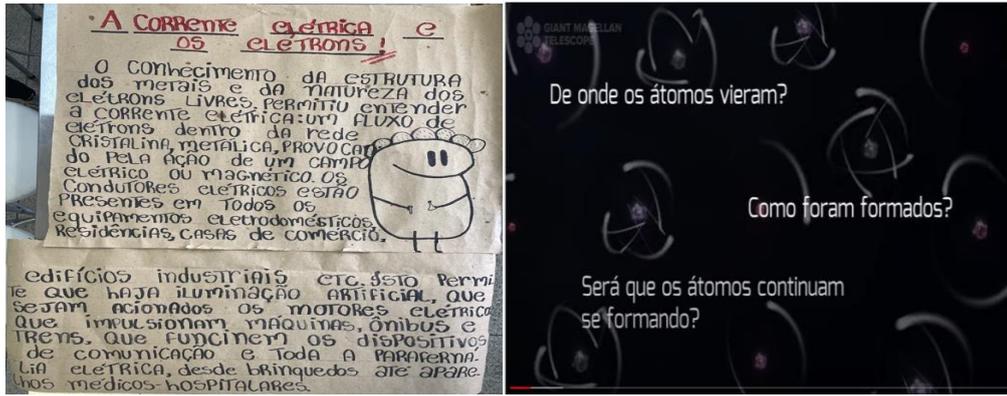


FIGURA 8: Atividade II. Fonte: imagem do autor (2022).

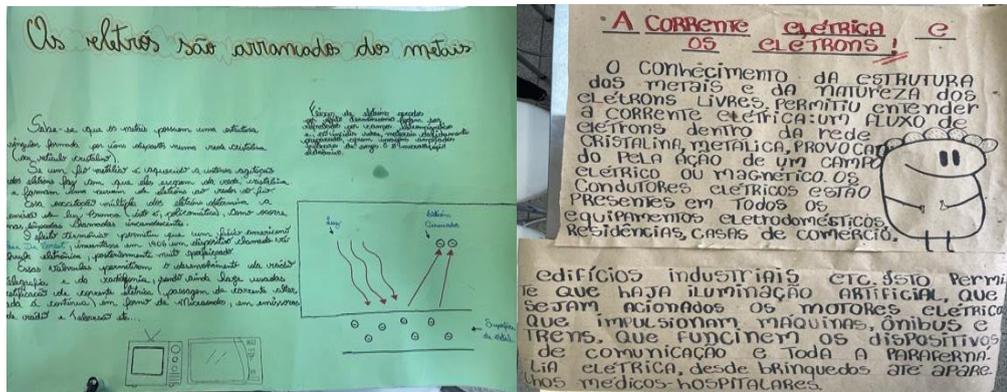


FIGURA 9: Atividade II. Fonte: imagem do autor (2022).

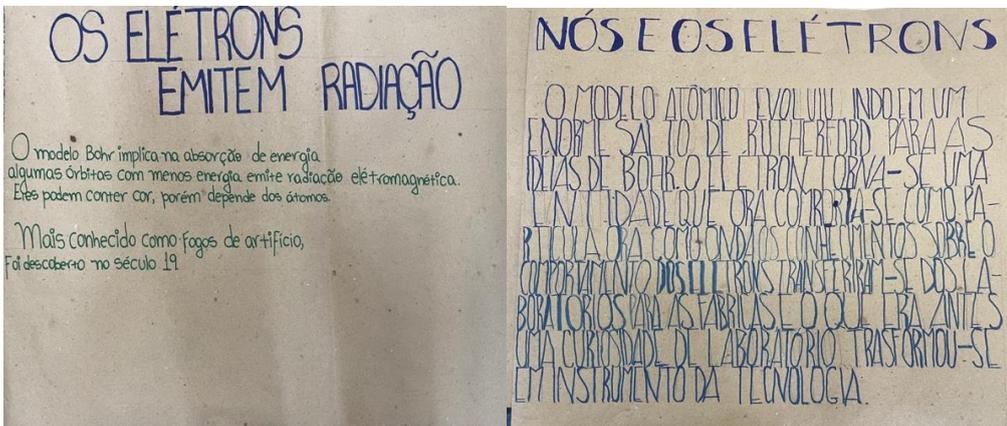


FIGURA 10: Atividade II. Fonte: imagem do autor (2022).

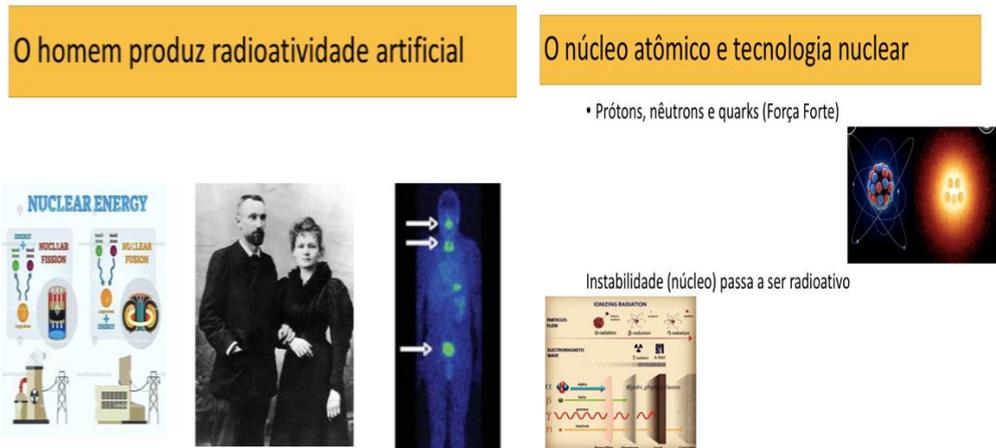


FIGURA 11: Atividade II. Fonte: Imagem do autor, (2022)

Na atividade do desenho, notamos que 34,5% dos participantes preferiram raciocinar a partir de uma afirmação de substância, em vez de usar alguma ideia formal de modelo atômico. Essa concepção alternativa acontece através dos critérios perceptíveis.

Apareceu, em um dos desenhos (fig.13), um caso no qual o (a) estudante, construiu um modelo baseado em um elemento sódio (Na) e concluiu que sal é um elemento químico.

No caso do sal, temos um composto que é formado por íons, que são átomos ou grupos de átomos eletricamente carregados. Um ponto importante é que o (a) estudante fez a notação correta do elemento (átomo), citando a fonte de obtenção e sua aplicabilidade, mas não fez ideia sobre como se deu essa interação. Sabemos que isso é possível, com base na reatividade e ligação de cada elemento, determinado pelos elétrons de valência. Cabe ressaltar que isso o modelo atômico de Bohr consegue prever. Assim, quando o sódio entra em contato com o cloro, ocorre uma união imediata, pois o átomo de sódio doa seu elétron, e o átomo de cloro recebe-o. Assim sendo, o processo torna-se ionizado.

Elementos na língua inglesa, define uma substância constituída por apenas um tipo de átomo (uma substância elementar) e também serve para designar um determinado tipo de átomo. Já no português a palavra tem significado diferente. Elemento é o tipo de átomo (Na), enquanto a substância elementar (P_4 , $O_{2(g)}$, $He_{(g)}$ e $O_{3(g)}$) é aquela formada por apenas um tipo de elemento. (Kotz e Junior, p.3, 2009)

Notamos a dificuldade de os alunos entenderem concepções simples de

elemento e de aplicar o conhecimento prévio do comportamento de alguns modelos. Por isso, os estudantes tendem a escolher respostas que descrevem o fenômeno em termo macroscópico.

Os resultados nessa atividade servem de guia para que, nas fases posteriores, os conflitos gerados entre átomo e compostos (iônicos ou moleculares) sejam trabalhados. Precisamos melhorar também as concepções dos estudantes no que diz respeito à atomística, levando a diminuir os erros conceituais.

A ausência de respostas microscópicas espontâneas deve-se à incompreensão de modelos corpusculares e às interpretações microscópicas e, por isso, os alunos recorreram aos parâmetros físicos observáveis para construir suas ideias acerca da demanda da tarefa.

Poderíamos afirmar que eles utilizam as suas representações macroscópicas, de senso comum, baseadas em estruturas simplificadoras agente-objeto, para interpretar as relações entre partículas, em vez de recorrer aos esquemas de interação nos quais se baseiam essas relações na teoria corpuscular, tal como lhes é ensinado. Em outras palavras, “os adolescentes acabam explicando o funcionamento das partículas a partir das propriedades do mundo macroscópico, em vez de, como propõe a teoria atômico- molecular, explicar as propriedades do mundo macroscópico a partir do funcionamento das partículas” (Pozo e Crespo, p.151, 2009).

Tudo isso se traduz em uma dificuldade para interpretar, em termos de interação dentro de um sistema, as relações entre partículas, e especialmente, na incompreensão de noções fundamentais que talvez não tenham sido tratadas até aqui.

Na figura 15, nós temos um comportamento semelhante ao que abordamos anteriormente. O (a) aprendiz cita o composto água, faz a notação correta em termo da linguagem simbólica, mas apresenta uma confusão entre átomo e molécula (H_2O). “As moléculas são as menores unidades discretas que retém as

características química e de composição do composto”. (Kotz e Junior, p.5, 2009).

Sobre o caso da figura 14, o (a) estudante cita o átomo ferro, ilustra a aplicação em termo industrial (barra de ferro) e faz uma menção à bioquímica (feijão). Interessante é que a estrutura eletrônica dimensionada pelo modelo de Bohr consegue prever o caráter metálico dos metais. Algumas propriedades físicas dos metais (ponto de fusão, densidade, dureza) podem também ser explicadas com base nas ligações dos elétrons com o núcleo.

Logo abaixo, ainda na figura 14, o (a) estudante apresenta um modelo atômico que nada contribui para suas considerações anteriores. O modelo representado remete-nos à teoria de Rutherford, que é um estudo que se concentrou muito no núcleo do átomo, na sua massa e unidades de carga elétrica. Já para os elétrons, o modelo é ineficiente. Essa situação também é observada na figura 12 e nos demais resultados.

Esses resultados que são apresentados pela maioria dos envolvidos no estudo são decorrentes das inúmeras gravuras e modelos impressos nos livros textos, ou até mesmo, em mídias, “que com frequência são tratadas como meras ilustrações. Quando, na verdade, contém um notável potencial de aprendizagem se os alunos fossem ajudados a relacioná-los com o texto escrito, ou seja, se fossem ensinados a interpretá-las, a dar-lhes significado” (Pozo e Crespo, p. 187, 2009).

Apresentamos, abaixo, algumas dessas representações.



The image shows a student's worksheet for a chemistry activity. At the top left is the logo for 'L. Lab. COMENIUS'. In the center, a box contains the word 'QUÍMICA'. To the right is a small cartoon drawing of a person with a crown. Below these are fields for 'Turma' (class) and 'N°' (number), with '23' written in the number field. The 'Turma' field is partially obscured by a black scribble. The date '23/09/22' is written in the 'Data' field. The instruction reads: 'Desenhe no quadriculado abaixo um átomo. Como você representaria ele e explique como você chegou nesse modelo.' (Draw on the grid below an atom. How you would represent it and explain how you arrived at this model.) A hand-drawn Bohr-style atom model is shown in the center of the grid, consisting of a central nucleus with two dots and three elliptical orbits with three dots. At the bottom, a handwritten note says: 'Eu cheguei neste conclusão, pois me lembrei de ter visto em algum lugar.' (I arrived at this conclusion, because I remembered seeing it somewhere.)

QUÍMICA

Turma _____ N° 23

Data: 23/09/22 Turma: _____

Desenhe no quadriculado abaixo um átomo. Como você representaria ele e explique como você chegou nesse modelo.

Eu cheguei neste conclusão, pois me lembrei de ter visto em algum lugar.

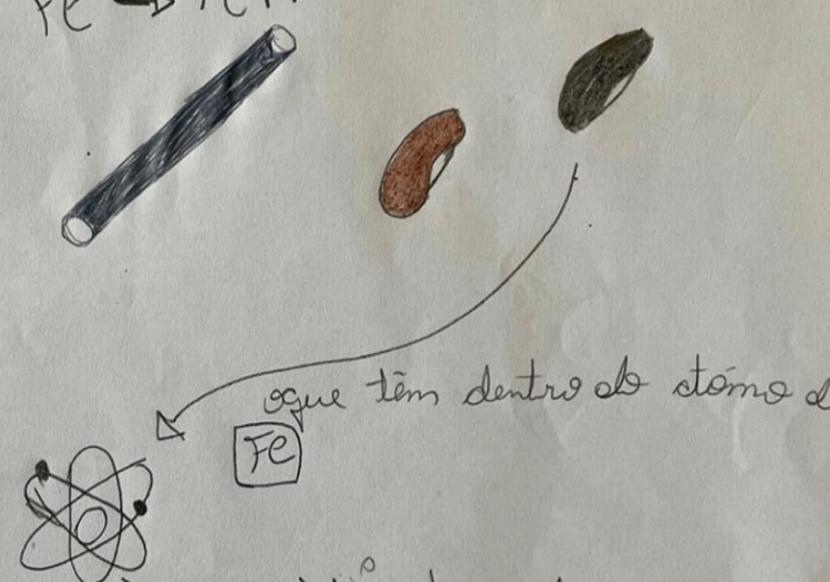
FIGURA 12: Atividade de desenho. Fonte: imagem do autor (2022).

QUÍMICA

Nome: ~~_____~~ N. ~~_____~~
 Turma: ~~_____~~
 Data: 22/08/22 Turma: _____

Desenhe no quadriculado abaixo um átomo. Como você representaria ele e explique como você chegou nesse modelo.

Fe → Ferro



que têm dentro do átomo de

Fe

Sim, vemos eles como uma forma, onde podemos os sentir, mais essa sim é sua forma original de um átomo.

FIGURA 14- Atividade de desenho. Fonte: imagem do autor (2022).

7- Entendimento dos estudantes na conceituação do átomo e seus domínios

7.1- Introdução

Os aprendizes têm dificuldade de lidar com a ênfase da ideia de átomo, porque, na realidade, não sabemos como é realmente um átomo. Nesse campo, nós esbarramos em modelos que nos dão uma representação de conceitos abstratos como prótons, nêutrons e elétrons. Esses conceitos são utilizados para descrever a natureza da matéria e foram definidos dentro de um rigoroso estudo teórico.

O objetivo de aprendizagem e conhecimento nessa fase diz respeito a EM01Q11, que esclarece “[...] reconhecer as propriedades elétricas da matéria e construir um modelo atômico, a partir da atração, repulsão e da estabilidade de cargas [...]” (currículo da cidade de São Paulo, p.118, 2021)

Ao todo, dezoito aulas compreenderam essa etapa do estudo. Os conceitos trabalhados foram: modelo atômico de Bohr, regiões do átomo, partículas atômicas, níveis e subníveis de energia, configuração eletrônica e números quânticos.

7.2-Visão da ciência escolar acerca do átomo e seus domínios

Os estudos de Joseph John Thomson e Ernest Rutherford contribuíram para o estabelecimento das partículas subatômicas, sendo elas, os prótons que são eletricamente positivos, os nêutrons eletricamente neutros e os elétrons eletricamente negativos. “O modelo coloca os prótons e os nêutrons em um núcleo muito pequeno, o que significa que o núcleo contém toda a carga positiva e quase toda a massa de um átomo. Os elétrons com massa muito menor do que os prótons ou nêutrons, cercam o núcleo e ocupam a maior parte do volume. Os átomos não têm nenhuma carga líquida, as cargas positivas e negativas dentro deles balanceiam umas às outras. O número dos elétrons fora do núcleo é igual ao número de prótons no núcleo. (Kotz e Junior, 2009, p. 37)

Ao tratar do núcleo do átomo, trouxemos a importância dos experimentos de Henry Moseley e Ernest Rutherford. Tais estudos voltados para a espectroscopia de raio x com os átomos puderam medir as frequências quando

eles eram bombardeados por raios catódicos. Essa análise demonstrou um aumento, ainda que sutil, na frequência de um elemento ao outro, que Moseley julgava ser um efeito de uma propriedade atômica e essa propriedade podia ser a carga nuclear. Essa descoberta permitiu reorganizar os elementos na tabela periódica em função do seu número atômico, estabelecendo, assim, uma ordem real e contrariando as ideias de Mendeleev. A partir desse estudo, surgiu, então, uma nova organização dos elementos.

Outra conclusão com base no experimento de feixe de partículas α direcionada a uma folha fina de ouro conseguiu determinar o núcleo do átomo, que passou a ser definido como uma região pequena onde se concentra toda a carga positiva e maior parte da massa do átomo.

Os valores atuais para a carga nuclear são de $+79$ e o raio em torno de 10^{-13} cm.

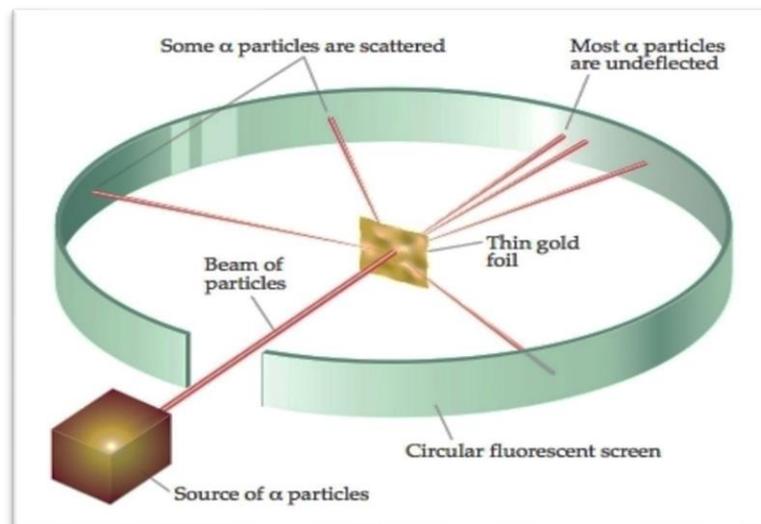


FIGURA 16: imagem do experimento de Rutherford para determinar a estrutura do átomo. Fonte: disponível em: astrocosmo.weebly.com. Acesso 24 ago. 2022.

Dentro do modelo de Bohr, foi suposto que o núcleo permanece estacionário, exceto por um movimento de rotação em torno do próprio eixo. Isso seria verdadeiro se a massa do núcleo fosse infinita, mas a relação entre massas do elétron e do núcleo de hidrogênio é de $1/1.836$. Na realidade, o núcleo oscila

ligeiramente em torno do centro de gravidade e, para adequar-se a essa situação, substitui-se na equação a massa do elétron m por sua massa reduzida μ ,

$$\mu = m \frac{M}{m + M}$$

A inclusão da massa do núcleo explica por que diferentes isótopos de um átomo de um mesmo elemento produzem linhas espectrais diferentes.

O próton surge de uma evidência experimental baseada em estudos dos raios de canais, que foram observados em tubo especial de raios catódicos, com cátodo perfurado.

O experimento foi baseado na aplicação de uma alta tensão ao tubo, essa alta tensão permitiu que os raios catódicos fossem observados. Porém, do outro lado do cátodo perfurado observou-se um tipo diferente de raio. Esses raios eram defletidos em direção a uma placa negativamente carregada, portanto, diante desse fenômeno conclui que o fato observado só podia ser explicado pelos compostos de partículas positivadas.

Cada gás usado no tubo forneceu uma relação carga-massa diferente para as partículas positivamente carregadas. Quando o gás hidrogênio foi utilizado, a maior relação carga-massa foi obtida, sugerindo que o hidrogênio fornece partículas positivas com a menor massa. Considerou-se que essas eram as partículas positivas fundamentais da estrutura atômica, e Rutherford chamou mais tarde de prótons.

A massa experimental de próton é de $1,672622 \times 10^{-24}$ g. A carga relativa do próton, igual em tamanho, mas com sinal oposto à do elétron, é de +1. (Kotz e Junior, p.39, 2009)

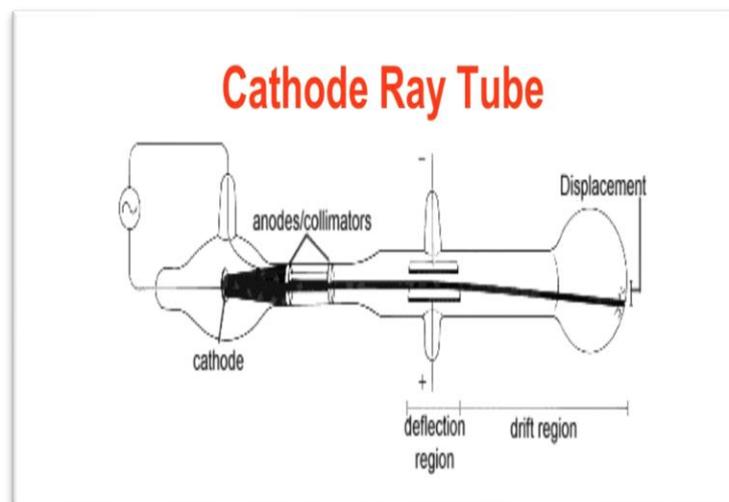


FIGURA 17: imagem de determinação da relação carga-massa de elétron. Fonte: disponível em: beachwoodschoools.org, Acesso 13 set. 2022.

O Nêutron foi descoberto em 1932, pelo físico britânico James Chadwick. ele descobriu que uma radiação muito penetrante era liberada quando partículas

provenientes de polônio radioativo atingiam um alvo de berílio, essa radiação foi direcionada para um alvo de parafina, e então ele observou que prótons emanavam desse alvo. Seu raciocínio foi de que somente uma partícula pesada e sem carga que emanava berílio poderia ter causado esse efeito. Essa partícula, não tem carga elétrica e tem massa de $1,674927 \times 10^{-24}$ g, ligeiramente maior do que a massa de um próton. (Kotz e Junior, 2009, p.40)

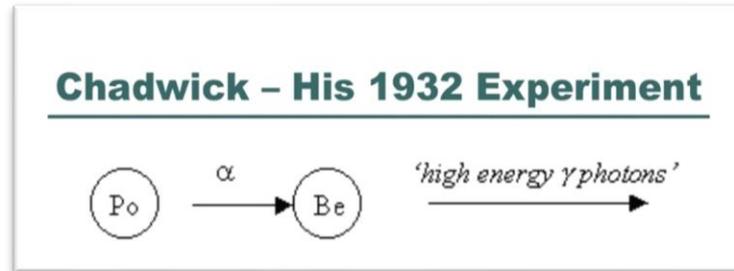


FIGURA 18: Imagem de descoberta dos nêutrons. Fonte: disponível em: www.nuclear-power.com. Acesso 13 de set. 2022.

A natureza das descargas elétricas em tubos de raio catódicos foi objeto de estudo de um grande número de pesquisadores no final do século XIX. Duas visões eram prevalentes: na primeira, apoiada principalmente pelos físicos ingleses, supunha-se que os raios catódicos eram corpos negativamente eletrificados ejetados do catodo a grandes velocidades, na segunda, apoiada pela grande maioria dos físicos alemães, acreditava-se que os raios eram algum tipo de vibração etérea ou ondas. Para demonstrar que suas suposições eram corretas, Thomson realizou uma série de experimentos em que retirou os gases presentes no interior do tubo e demonstrou que, nessas condições, os raios catódicos eram eletricamente defletidos. Os inúmeros experimentos de Thomson permitiram verificar que a deflexão produzida por forças elétricas e magnéticas tinha uma direção que claramente indicava que os raios eram negativamente carregados.

O próximo passo de Thomson consistiu na determinação da velocidade dessas partículas negativas, isso foi determinado pela razão e/m e concluiu que essas partículas eram quase 1700 vezes menor do que a mesma razão obtida para o átomo de hidrogênio carregado. Essa grande diferença só poderia ser explicada se a massa da partícula fosse muito menor do que a massa do átomo de hidrogênio ou se a sua carga fosse muito maior do que a carga do átomo carregado. Fazendo uso dos experimentos de Wilson em câmara de condensação, Thomson descartou a segunda hipótese, o que permitiu a ele estimar o valor da carga das partículas e levou-o a concluir que o átomo não era o limite para a subdivisão da matéria, já que era possível detectar uma partícula negativamente carregada com massa de aproximadamente 1700 vezes menor do que a massa do átomo de hidrogênio. Essas partículas foram chamadas de elétrons. (Miotto e Ferraz, 2011, p. 67)

Já sobre a quantização da carga do elétron, o experimento de Robert Millikan (1909) trouxe descobertas significantes para um quantum dessa partícula.

Esse experimento utilizou um aparato como mostra a figura abaixo semelhante à câmara de Wilson e faz uso da determinação da velocidade terminal de uma gota esférica caindo sob a ação de um campo gravitacional, num fluido viscoso. Millikan aproveitando-se do fato de que as gotas estão eletricamente carregadas, utilizando uma diferença de potencial para imobilizar as gotas. As gotas

imobilizadas têm as forças elétrica e gravitacional em equilíbrio, o que permite determinar a carga elétrica elementar através de uma relação simples como $e = 3,1 \times 10^{-19} g/E (V_x - V_j)\sqrt{v_j}$

onde g é o módulo da aceleração da gravidade, E o módulo do campo elétrico aplicado, V_x e V_j são respectivamente, os módulos das velocidades terminais com e sem campo elétrico, e e é a carga do elétron. Esse tratamento permitiu Millikan determinar a carga do elétron que tem como valor $1,602176487(40) \times 10^{-19}$ C. (Miotto e Ferraz, 2011, p.68).

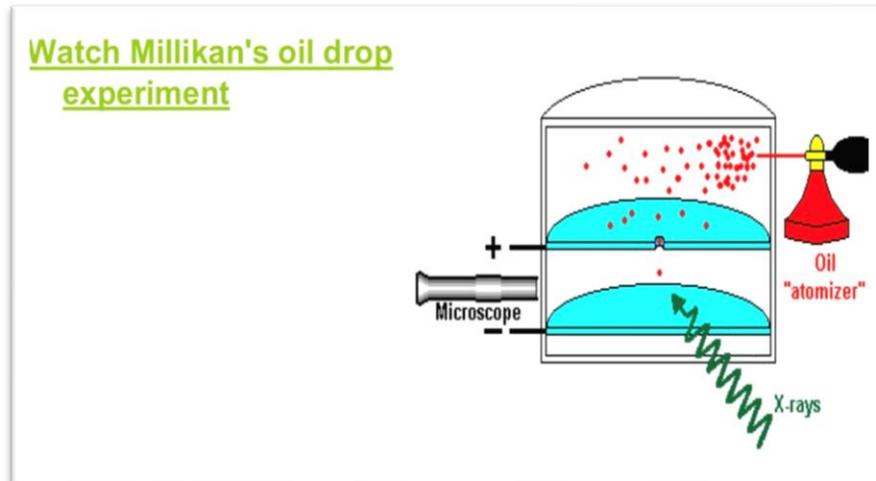


FIGURA 19: Imagem determinação da carga do elétron. Fonte: Disponível em: beachwoodschool.org Acesso em: 16 fev. 2023.

7.3- Análises e observações na etapa de conceituação

No momento que desmitificamos a natureza do quadro de Bohr aplicando e demonstrando todos esses conceitos teóricos anteriormente mencionados, vimos o quanto ele influenciou de maneira positiva no ensino do conteúdo de aprendizagem. Ele ilustra como a teoria pode ser trabalhada para resolver questões ligadas à configuração eletrônica.

Os estudantes ficaram estimulados, à medida que, cada parte ia sendo detalhada. Percebemos um envolvimento significativo de todos em operá-lo e uma atenção nunca verificada antes, no que se refere ao processo de compreensão para a solução de configuração.

Entre alguns participantes, foi possível observar uma interiorização do próprio comportamento. Isso é percebido nas atitudes e consciência de ações produzidas em conhecimento sobre relação sujeito-objeto.

Pela linguagem gráfica impressa na madeira e os elementos pertencentes a esse material (bolinhas, núcleo, as ranhuras) foi possível apresentar conceitos e procedimentos do modelo atômico de Bohr, permitindo aos alunos fazerem uma exploração sensorial, tornando o processo de caracterização das partículas do átomo mais evidente, bem como proporcionando aos estudantes um melhor entendimento do modelo em questão.

Desse modo, os ajustes que a ferramenta permite construir descomplicam o modelo de forma a aproximá-lo da realidade, envolvendo os alunos nesse processo de conceituação e aprendizagem significativa.

Algumas observações merecem ser destacadas: *i)* Quando se refere ao núcleo, os participantes conseguem compreender que partículas estão nessa região; *ii)* conseguem nomeá-las e identificá-las; *iii)* Sabem também se posicionar com relação aos nêutrons e o papel deles no núcleo; *iiii)* Entendem que o miolo é a região massiva, mas uma boa parte dos estudantes apresenta dificuldade de quantificar a massa no núcleo para átomos bem massivos ($A > 10$), a operação de adição compromete a contagem para definir a massa do átomo.

Para essa quarta observação, entendemos que o problema está na codificação e decodificação, que envolve operação básica de matemática e notamos que eles “não conseguem entender os esquemas simbólicos matemáticos (mentalmente) porque não conseguem decodificar a modalidade simbólico numérico em conceitos”. (Gomes, p.146,2019).

Já nas três primeiras análises, percebemos que há um domínio do pensamento lógico concreto, “que é caracterizado como sendo a capacidade do pensamento em agrupar (associar, reverter, incluir) e organizar os elementos do real de forma flexível, reversível, estabelecendo regras para seus agrupamentos e ações”. (Gomes, p.150, 2019)

Quando se fala em número atômico de um átomo no estado fundamental, os estudantes entendem a correlação entre o número atômico, número de prótons e elétrons, porém, não compreendem essa generalização. Esse entendimento

transcende as interações concretas operacionais e, por isso, os pesquisados apresentam dificuldades.

Sobre a abordagem dos elétrons e seu papel com relação ao material, observamos que os alunos entendem o que representam as órbitas e a posição dos elétrons nessa região.

Do ponto de vista operacional, parece que os alunos percebem os dados iniciais relacionados à energia quantizada das órbitas com facilidade.

Outra ideia discutida foi a de que o elétron pode permanecer orbitando o núcleo, sem emitir nem perder energia. Já para o fenômeno do salto quântico, é preciso que o elétron absorva um quantum de energia para esse processo ocorrer. Tudo isso foi discutido com o estímulo do quadro de Bohr, e a absorção desses conceitos não tão simples pelos alunos será analisada durante a avaliação. Como eles elaboraram e trataram essas informações mentalmente, também veremos e trataremos no capítulo que lhe é reservado.



FIGURA 20: atividade de conceituação. Fonte: imagem do autor (2022).

8-Configuração eletrônica e o quadro de Bohr

8.1-Introdução

O modelo físico manipulável desenvolvido pela *Mirustoy's* leva os estudantes a construir estruturas eletrônicas dos átomos com base nas manipulações de peças e regiões desenhadas em uma madeira de dimensões 35cm x 33cm. O material foi pesquisado por nós e adquiridos com recurso próprio.

O simples fato de preencher o quadro de Bohr, não se finda em tarefa corriqueira e simplista. É um mecanismo de alto valor cognitivo, porque leva o estudante a definir a configuração eletrônica de forma mais simples do que apontam sistematicamente os livros didáticos. É oportuno dizer que o material permite relacionar a distribuição eletrônica com os números quânticos, possibilitando fazer uma reflexão muito mais apurada e fundamentada nesse assunto.

No que se refere ao objetivo e desenvolvimento dessa tarefa, citamos a habilidade EM01Q12 que indica, “[...]identificar a distribuição dos elétrons para caracterizar as ligações molecular e iônica[...]”. (currículo da cidade de São Paulo, p.118, 2021)

8.2-Visão da ciência escolar sobre Configuração eletrônica e o quadro de Bohr

Niels Bohr, um físico dinamarquês, propôs o seu modelo em 1913. O modelo é baseado no átomo de hidrogênio que combinados com os trabalhos de Planck, Einstein e Rutherford teve um brilhante sucesso. Ele trabalhou no laboratório de Rutherford durante as experiências de Geiger e Marsden. Nessa época, a hipótese sobre o elétron era que ele girava em torno de uma órbita ao redor de um núcleo positivo, sujeito a uma atração eletrostática. Essa ideia não se sustentou. Era impossível, porque levaria os elétrons a um colapso no núcleo em questões de segundos.

Para resolver esse problema, Bohr propôs, em 1913, que os raios r das órbitas ocupadas pelos elétrons seriam quantizados. Esse conceito de quantização veio dos estudos de Max Planck e foi introduzido por Bohr na quantização do momento angular l do elétron, obtendo a expressão $l = m.v.r$, onde as constantes m e v representam respectivamente a massa e a velocidade dos elétrons. Os raios da órbita seriam obtidos pelo tratamento matemático relacionado aos momentos angulares dados pela expressão $l = m.r.v = n.h/2\pi$, onde $h/2\pi$ é o quantum de energia, e h é a constante de ação de Planck, com valor de $6,60 \times 10^{-34}$ J.s e n é um número quântico que só pode assumir valores inteiros e não nulo. Segundo Oliveira et al (2013, p.349), “[...]nas órbitas, o elétron não emitiria ou absorvia energia, o que explica a estabilidade do átomo. Para passar de uma órbita para outra, estaria envolvida a emissão ou absorção de uma quantidade de energia, exatamente igual a diferença de energia entre as duas orbitas” [...]. Com esses postulados, além da estabilidade do átomo de H, Bohr foi capaz de explicar seu espectro de emissão.

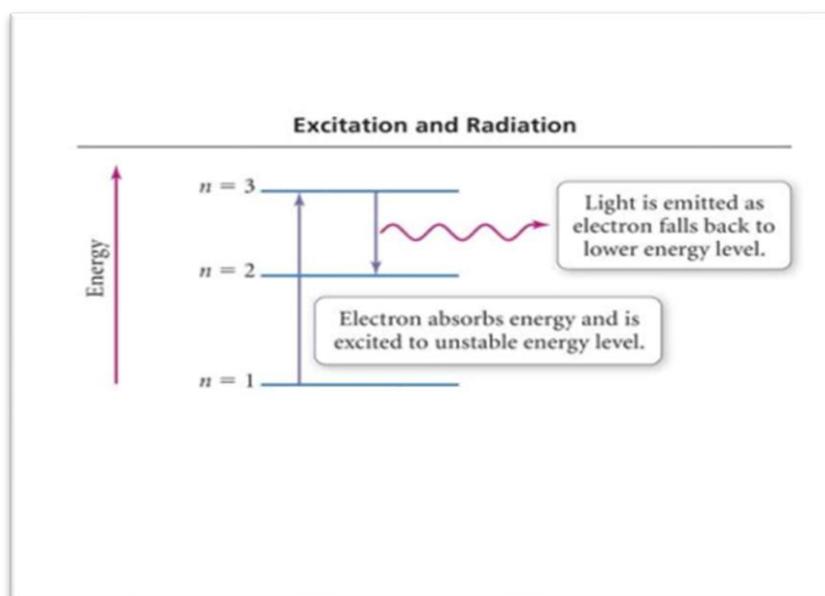


FIGURA 21: excitação e radiação. Fonte: Disponível em: química.ufpr.br. Acesso 10 out. 2022

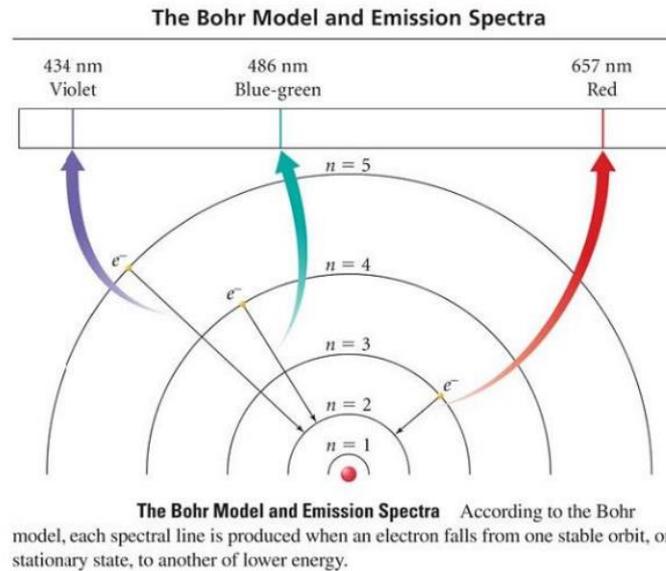


FIGURA 22: espectro de emissão. Disponível em: química.ufpr.br . Acesso 10 de out. 2022

[...] Frequentemente as órbitas são designadas pelas letras K, M, N ... a partir do núcleo, e também podem ser designadas pelos números 1, 2, 3, 4 ... Esse número é denominado número quântico principal e é representado pela letra n . [...] (Lee, 1999).

Com essa introdução do conceito de mecânica quântica no modelo atômico de Bohr, apresentamos, na sequência a ferramenta usada em nosso estudo. A sua confecção traz, na delicadeza dos detalhes, a menção a esses números quânticos. Com isso, foi possível trabalhar com os alunos a distribuição eletrônica dos níveis fundamentais dos elementos através de uma abordagem mecânico quântica. O material sensorial permitiu fazer essa discussão simultânea com muita propriedade. Ao final do processo, o quadro possibilitou construir a sequência de preenchimento de níveis de energia sem demonstrar o famoso diagrama de Linus Pauling, que é, normalmente, o que os materiais didáticos apresentam.

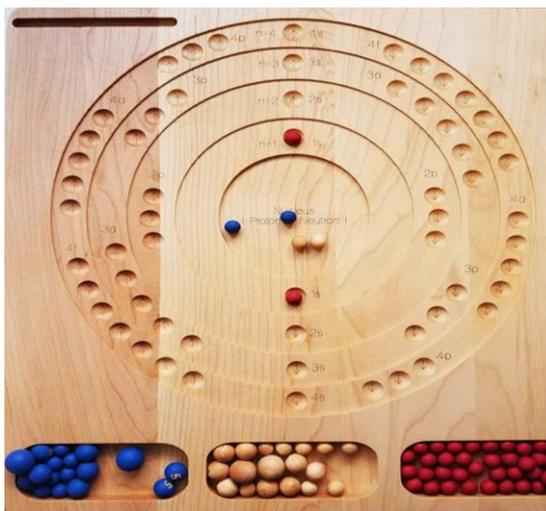


FIGURA 23: Quadro de Bohr. Fonte: imagem do autor (2022).

O que observamos na estruturação desse conceito e na prática de ensino desse conteúdo no ensino médio da rede pública é que a abordagem é sistematicamente teórica e reprodutiva, baseada no diagrama de Linus e sem a conexão com os princípios da mecânica quântica.

O ganho substancial nesta pesquisa, *a priori*, é que o material permite ver, tocar e fazer previsões de configurações eletrônicas com muito significação e menos memorização.

Nesse material está subentendido os quatro primeiros números quânticos. Trataremos mais de cada um, em detalhe, nas páginas seguintes. A ferramenta tem uma limitação no que se refere à quantidade de órbitas, fruto da própria dificuldade de confecção, visto que precisaríamos de uma madeira enorme para esculpir todos os orbitais atômicos. No entanto, essa limitação permite estabelecer a configuração eletrônica dos 36 elementos químicos, que vai do hidrogênio (H) até o criptônio (Kr). Essas operações podem ser feitas manualmente no próprio material, e o que esperamos é que o estudante consiga, a partir dessas operações, fazer as projeções mentais (no caderno) dos demais elementos. Essa possibilidade será discutida no capítulo reservado para a avaliação.

É importante ressaltar que essa limitação do material pode ser perigosa e

induzir o aluno ao erro, sobretudo, quando se refere ao preenchimento do orbital 4s e 3d. Notamos que o aluno, automaticamente, tende a preencher primeiro o orbital 3d para depois preencher o 4s. Essa operação acontece porque o aluno entende que o nível 3d de energia é menor que o 4s, mas, na verdade, é o contrário. O orbital 4s é menor que o orbital 3d, portanto, o orbital 4s deve ser preenchido primeiro, para, depois, preencher o 3d. A explicação desse fato é dada pela soma do número quântico principal (n) e o número quântico do momento angular (l). Por isso, a importância de tratar os conceitos básicos dos números quânticos e o papel deles na construção dessa sequência de ordem de energia. Vale ressaltar que as configurações eletrônicas dos átomos seguem também um tratamento teórico baseado em funções de ondas monoelétrônicas do átomo de H e, por isso, é preciso levar em conta as interações existentes entre o núcleo (+) e o elétron (-).

De acordo com Oliveira et al (2009, p. 365):

- como consequência desse tratamento, há semelhanças e diferenças entre resultados obtidos para o átomo de H e os átomos polieletrônicos, são elas;
- i) Os orbitais de H e dos átomos polieletrônicos tem os mesmos diagramas de contorno (função que só depende do valor de l), a diferença é que para os átomos polieletrônicos, por eles terem carga nuclear maior que a átomo de H, os seus orbitais atômicos estão mais próximos do ao núcleo que no átomo de de H.
 - ii) As energias dos níveis energéticos, que no átomo de H é regida apenas pelo número quântico n , por meio da equação $E = - \text{constante}/n^2$, nos polieletrônicos segue aproximadamente a relação $(n + l)$.
 - iii) Outra diferença refere-se a ordem de energia do subníveis possíveis de existir em cada nível quântico principal n . Como consequência de os níveis energéticos do átomo de H dependerem apenas do valor de n , quando num nível quântico principal n houver a possibilidade de existir vários subníveis, todos os subníveis terão as mesmas energias. Por exemplo, quando um elétron do átomo H ocupa o nível $n=4$ (obviamente este não é o nível fundamental de menor energia do átomo, e o elétron só poderá ocupar momentaneamente esse nível se for fornecida a energia necessária para promove-lo do nível $n=1$ para o nível $n=4$), estão disponível os subníveis 4s, 4p, 4d e 4f para alojar os elétrons promovido, correspondendo aos valores permitidos de $l = 0,1,2,3$, respectivamente. Neste caso, e indiferente qual dos subníveis será ocupado pelo elétron promovido, pois todos terão a mesma energia principal.
Se tivermos tratando de átomo polieletrônico em que um elétron ocupa o nível $n=4$, os subníveis 4s,4p,4d e 4f, disponíveis para alojar o elétron, não mais tem a mesma energia, pois a ordem de suas energias agora é dada pela relação $(n + l)$. Com isto, a ordem de energia dos subníveis do nível 4 é governada pelo valor de l , sendo $4s < 4p < 4d < 4f$. Assim, neste caso, o elétron ocupara o subnível 4s, de menor energia.
Os demais casos e exceções para ordem de preenchimento vão sempre ser levado em conta a ordem de $(n + l)$ crescente e da precedência do valor de n quando a soma é igual para diferentes subníveis. A ordem crescente de energia dos subníveis é: $1s < 2s < 2p < 3s < 3p < 4s < 3d < 4p < 5s < 4d < 5p$ $6s < 4f < 5d < 6p < 7s < 5f < 6d < 7p$

É importante pensar que para os átomos polieletrônicos a forma de preenchimento de uma subcamada em função de uma camada deve-se levar em conta o conceito de penetração e blindagem.

A constante de blindagem é diferente para os elétrons s e p , pois são diferentes as respectivas distribuições radiais. Um elétron s tem maior penetração através das camadas internas do que um elétron p da mesma camada, tendo maior probabilidade de ser encontrado próximo ao núcleo do que um elétron p . Como os elétrons no interior da esfera definida pela posição do elétron contribuem para blindagem, um elétron s sofre blindagem menor do que um elétron p . Por isso, pelos efeitos combinados da penetração e blindagem, um elétron s está mais fortemente ligado do que um elétron p da mesma camada. Analogamente, um elétron d penetra menos do que um outro elétron p da mesma camada, e por isso, a blindagem é mais acentuada.

As constantes de blindagens dos diferentes tipos de elétrons nos átomos foram calculadas pelas funções de ondas obtidas na resolução numérica da equação de Schrodinger do átomo.

Em virtude da penetração e da blindagem, as energias das subcamadas nos átomos polieletrônicos estão, em geral na ordem $s < p < d < f$ (Atkins e Paula, p.306,2008).

Neste ponto, trataremos dos conceitos teóricos dos números quânticos e como foi possível pensar neles usando a ferramenta sensorial.

Os números quânticos são uma espécie de carteira de identidade de um elétron. É a maneira que temos para identificar elétrons e descrever orbitais atômicos (Brown et al, 2005, p.30).

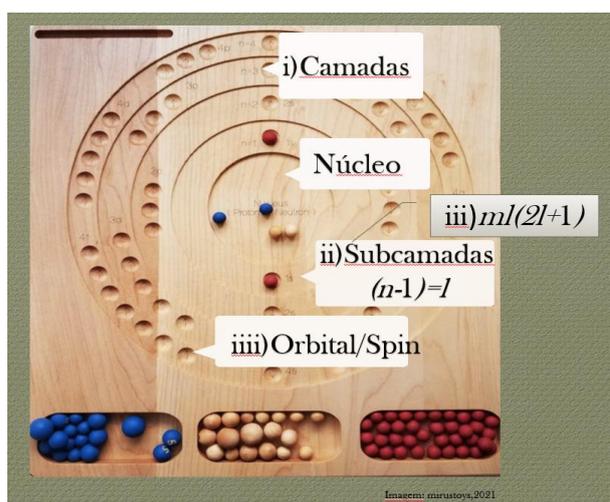


FIGURA 24: quadro de Bohr. Fonte: imagem do autor (2022).

- i) Número quântico principal (n), está relacionado com a distância média entre um elétron e o núcleo em um determinado orbital. Quanto maior for n , maior e menos estável é o orbital do elétron. O número quântico principal pode ter valores que vão de 1, 2, 3 até o infinito. O número quântico também relaciona o nível ou camada eletrônica em que se encontra o elétron.

- ii) Número quântico secundário ou do momento angular l está relacionado com a forma dos orbitais. Os elétrons de uma determinada camada eletrônica podem ser distribuídos em subcamadas ou subníveis de energia caracterizadas por diferentes valores de l . diferentes valores de l correspondem a diferentes orbitais de formato diferentes. Os valores de l dependem do valor do número quântico principal e são números quânticos inteiros que variam de 0 a $(n-1)$. Os valores de l são designados pelas letras s, p, d, f

l	Subcamada
0	s
1	p
2	d
3	f

A designação dos orbitais pelas letras s, p, d, f tem origem nos estudos de espectros de emissão dos átomos. Ao estudar esses espectros, os físicos observaram que, quando excitados eletronicamente, os átomos emitiam radiação na forma de linhas ao retornarem a seu estado fundamental de energia. Perceberam que algumas dessas linhas eram estreitas e denominaram de s do inglês sharp. Outras bem definidas ou fortes p do inglês principal. Algumas espalhadas ou difusas, d, do inglês diffuse e f de fundamental.

Orbitais com mesmo valor de n são chamados de camadas, e orbitais com mesmo valor de l são denominados de subcamadas.

- iii) Número quântico magnético (m_l), está relacionado com a orientação espacial dos orbitais dentro da subcamada. Os valores de m_l estão limitados pelos valores de l e podem variar de $-l$ a $+l$ incluindo o 0. Para um certo valor de l , existem orbitais atômicos, cujos valores são
- iv)

Subcamada	l	Números de orbitais
S	0	1
P	1	3
D	2	5
F	3	7

- v) Número quântico spin (m_s), está relacionado com o movimento de rotação dos elétrons em um orbital. Os valores que podem ser assumidos são $+1/2$ ou $-1/2$. Para identificar um elétron, são necessários quatro números quânticos. (Oliveira et al, 2009, p.351).

Em 1925, o físico austríaco Wolfgang Pauli (1900-1958) enunciou um princípio que serviu como guia de preenchimento de elétrons em orbitais atômicos. “[...] Em um átomo dois elétrons não podem conter o mesmo conjunto dos quatro números quânticos[...]”. (Brown et al, 2005, p.34)

Sobre a regra de Hund, concluímos que o arranjo mais estável dos elétrons nas subcamadas é aquele que contém o maior número de spins paralelos. (Jdlee, p.9, 2009)

8.2- Análises e observações dos estudantes na utilização da ferramenta e suas impressões acerca do conteúdo de aprendizagem

A avaliação, nessa penúltima etapa, começa observando o quanto o material sensorial desperta o processo metacognitivo nos pesquisados. Observamos que há um melhoramento do comportamento dos indivíduos no processo de ensino aprendizagem. Essa atitude e esse comportamento são observados por nós e interiorizados pelos estudantes. Se o número de alunos/série fosse menor, o trabalho seguiria uma outra dinâmica e o aproveitamento seria bastante significativo.

A disciplina ressurge devido a uma aprendizagem feita pelas mãos. Um trabalho feito com um material que molda a percepção da realidade e melhora a cognição, contudo esse procedimento acaba gerando interesses e estímulos, conforme justifica Santini: “A disciplina é resultado de um desenvolvimento completo do funcionamento mental auxiliado pela atividade manual, de outra forma não haveria”. (Santini, p.19, 2003).

O interesse dos estudantes pelo material denota um ponto bastante positivo, porque a aprendizagem acaba sendo mais simples do que com os livros didáticos.

Ensinar dessa forma torna -se prazeroso e acaba refletindo a verdade de um assunto, ao invés de só mostrar um atalho e combiná-lo com uma história imaginária, impessoal e incompreensível.

O quadro de Bohr trouxe uma experiência diferente nunca experimentada antes. Fomos guiados por uma certa ordem, espontaneidade e ganho substancial no que se refere à configuração eletrônica.

Podemos assegurar que todos os participantes, na operacionalização da ferramenta, conseguem estruturar eletronicamente um átomo, sabem definir a

disposição dos elétrons em torno do núcleo, conferem o papel das órbitas, definem as cargas das partículas eletrônicas. Mediante essas evoluções, é esperado que os estudos posteriores, que dependem desses conceitos, tendam a ser mais facilmente apreendidos.

Destacamos uma exceção na configuração dos átomos na ordem de preenchimento, por exemplo, do orbital 4s e 3d, pois foi difícil o aprendiz compreender essa regra. Ela tem aspecto qualitativo e quantitativo, o que sugere que o orbital 3d é mais compacto do que o 4s e, por isso, qualquer elétron que entrar no orbital 3d sofrerá maior repulsão. Por essa qualidade, o 4s é preenchido primeiro, porque aqui o efeito é mais brando.

Quantitativamente, o 4s tem menos energia que o 3d, essa conclusão dá-se com base na operação de $n + l$. Notamos que, no 4s, há ($n = 4 + l = 0$), portanto, energia 4. Já no 3d, situação é, ($n = 3 + l = 2$), portanto, energia 5. Eis aí o motivo do orbital 4s ser preenchido primeiro. Com isso, o estudo sugere que os alunos consigam pensar nessas regras quando estiverem em órbitas de nível 5, 6 e 7.

Observamos outras dificuldades ainda nessa fase. Elas referem-se aos princípios da mecânica quântica para descrever a estrutura interna dos átomos. Sabemos que são conceitos com alto grau de complexidade. Embora seja possível estabelecer uma discussão desses princípios com o auxílio do quadro de Bohr, ainda assim, o processo de internalização conceitual não se consolidou. O aprendiz consegue compreender, no nível operacional, os orbitais atômicos, porém não assimila os números quânticos (n, l, m_l) e o papel deles na definição de cada orbital (s, p, d e f).

Quando tratamos o primeiro número quântico (n), o material utilizado nesta pesquisa (quadro de Bohr) grafa-o até $n = 4$. Esses valores podem ser vistos no próprio corpo do material. Até aí, os alunos compreendem perfeitamente. Sobre o que esse número quântico determina (que tem a ver com a energia do elétron), também fica evidente e claro para os participantes.

Já os outros dois números quânticos l e m_l tornam-se difíceis de entender e

compreender por que há operadores matemáticos para obter esses valores que vão especificar o momento angular do elétron em torno do núcleo. E “o valor do número quântico n controla o valor máximo de l que, por sua vez, controla a faixa de m_l ”. (Atkins e Paula, p.293,2008) e, nesse ponto, a maioria dos estudantes confunde-se.

Sobre as camadas e subcamadas também fica fácil o processo de aprendizagem porque essas questões estão claras no material. O processo crucial, nessa etapa, é fazer os aprendizes entenderem que quando os orbitais tiverem o mesmo valor de n , mas diferentes valores l , existirá, nesse nível de energia, uma subcamada.

Os spins estão simbolizados na ferramenta por $\uparrow\downarrow$, os participantes assimilam os valores e papel desse número quântico. Conseguem aplicar a regra de Hund e o princípio da exclusão de Pauli, “que estabelece que um certo orbital não pode ser ocupado por mais de dois elétrons, e, no caso de estar com dois elétrons, os spins devem estar emparelhados”. (Atkins e Paula, p.321, 2008)

Por fim, podemos concluir que a abordagem quântica dos átomos não atingiu a compreensão cognitiva da maioria dos estudantes. Essa realidade sugere mais estudos, porque, de certa forma, o conteúdo é complexo e demanda mais aulas e um atendimento mais individualizado, utilizando a ferramenta. Entendemos que essa conduta minimizaria o efeito de pouca compreensão sobre os conceitos dos números quânticos.

Na prática, ficou estabelecido que os átomos compõem-se de duas ou três partículas e que sua estabilidade e identidade são garantidas pelos números quânticos. Para especificar o estado de um elétron, devemos ter os valores dos quatro números quânticos (n, l, m_l, s) e, para definir o orbital atômico, é preciso conhecer os três primeiros.

A avaliação nos mostrará, de fato, qual foi o nível alcançado pelos estudantes nesse processo.



FIGURA 25: atividade prática de configuração eletrônica. Fonte: Imagem do autor (2022).

9- Avaliação

Procuramos, ao longo deste estudo acompanhar os estudantes por meio das atividades sugeridas em cada etapa. A partir disso, guiamos nossa avaliação no sentido de observar como o aprendiz alcançou o conhecimento e as formas, os procedimentos e as atitudes que desenvolveram para adquiri-lo.

A avaliação deu-se de duas formas: na primeira, os aprendizes visitaram as demais salas de primeiro ano e passaram a ensinar aos demais colegas o dinamismo da ferramenta. Naquele momento, o estudante atuou de maneira a apresentar o material aos demais. Aqui, foi possível avaliar o ordenamento lógico do aprendizado, observando a motivação e a confiança alcançada, o tratamento dado aos números quânticos e o seu papel na especificação do estado de um elétron. Conseguimos, nesse procedimento, verificar o nível da aprendizagem, se ela ficou no operacional concreto ou se evoluiu para o estágio operacional formal, sobretudo na hora de falar sobre os orbitais 4s, 3d, 4p, 5s.

Na segunda fase da avaliação, os estudantes, individualmente, responderam por escrito às questões relacionadas com o conteúdo de aprendizagem estudado.

O quadro de Bohr foi disponibilizado na forma impressa, no corpo da avaliação, assim como o material físico foi deixado sob uma mesa em cada fileira, para que o estudante consultasse, se houvesse necessidade.

Por fim, os pesquisados voltaram a responder o mesmo questionário apresentado no início das atividades desta pesquisa.



FIGURA 26: Atividade avaliação. Fonte: Imagem do autor (2022).

9.1- Discussão dos resultados

A avaliação formal foi a última tarefa deste estudo e ela mostrou o padrão operacional dos aprendizes. Ao analisarmos os itens da avaliação, observamos que, naquelas questões que tiveram uma abordagem mais associativa, o desempenho destacou-se. Um pouco mais da metade dos participantes (53,30%) teve respostas satisfatórias.

Esse resultado (gráfico a seguir) é fruto do material de aprendizagem, o quadro de Bohr. Quando o aprendiz consegue prever, com base no material, a configuração eletrônica significa que ele constrói e copia sua representação mediante ao estímulo apresentado.

Uma segunda observação, ligada a anterior, é que o estudante consegue prever e obter a estruturação eletrônica sem mesmo ver, conhecer ou ter visto

falar no diagrama de Linus Pauling. Essa importante conquista é possível porque, no corpo do material, são apresentados os elementos estruturantes para consolidação desse conhecimento. sendo que, com as inúmeras repetições, a aprendizagem tornou-se mais evidente.

Outro ponto é a “influência do significado do material sobre sua repetição. Em geral, quando o material tem algum significado para o aprendiz, também será mais fácil de reproduzir literalmente”.

Pensando no diagrama de Linus Pauling, sabemos que ele é o recurso utilizado para o ensino desse conteúdo. De forma reprodutiva, os estudantes decoram e repetem a ordem de preenchimento dos níveis e subníveis de energia. Dessa forma, a aprendizagem por repetição ou associação torna-se limitada, condicionando o estudante a uma estabilidade e repetição de processos cíclicos, impossibilitando-o a uma prática reflexiva.

Com o quadro de Bohr, foi possível construir uma aprendizagem muito associativa, mas ele também permitiu fazer abordagens construtivas. Sabemos que o material sensorial fomenta uma forte aprendizagem por incorporação. No que se refere às aprendizagens para além da reprodução, apontamos os conceitos e teorias que estão encobertos na sua estrutura. Um deles é os números quânticos, objeto também desse estudo.

Essa façanha confere o significado e valor pedagógico do material que não se resume em repetições por elas mesmas. Ele traz eficácia e eficiência na aprendizagem.

Quando analisamos as respostas dos itens que envolvem números quânticos nos deparamos com resultados desanimadores.

Em primeira análise, a complexidade conceitual, em parte, pode justificar esse comportamento. Quase 67% dos participantes não conseguiram resolver as questões que tratavam dos números quânticos. Mora, aqui, um pensamento lógico altamente abstrato, que, mesmo com o auxílio do material concreto os estudantes ainda não aprenderam ou não desenvolveram. “Nesse caso o processo de

pensamento não é linear, mas sim circular e dialético, em uma condição estrutural sistêmica”.

Sobre os 34,4% de desempenhos parciais dos estudantes, ainda com relação aos números quânticos, observamos que esse comportamento pode ser justificado pela posição serial da aprendizagem. “Quando a lista deve ser recordada imediatamente, os últimos são lembrados melhor (efeito da recenticidade). No entanto, quando se trata de uma aprendizagem mais permanente, se aprende melhor os primeiros (efeito de primazia), sendo os elementos intermediários os que pior se aprende em qualquer caso”.

Neste sentido, devemos iniciar um processo de reestruturação das atividades para melhorar o desempenho dos aprendizes. Precisamos revelar melhor as teorias implícitas que estão atreladas ao material, mas, nesse processo de revisão, os estudantes também precisam colocar-se de maneira consciente, refletindo sobre os próprios conhecimentos que “podem dar lugar a processos de ajustes, por generalizações e discriminações ou reestruturações ou mudança conceitual”. Como primeira atividade de revisão, sugerimos a construção de um cartão manualmente e no *power point* (modelo em anexo) em que, o aprendiz constrói o seu próprio quadro. Um material que fica de posse dele para o estudo de revisão e reconstrução das ideias acerca desse estudo.

Por fim, pensamos que a elaboração dos itens de uma avaliação é um aspecto que merece atenção. Trata-se da elaboração do ponto de vista da construção linguística. Nossa atenção para esse aspecto é porque ao analisarmos as respostas da penúltima e última questão (avaliação em anexo), evidenciamos esse ponto.

No caso do item 9, sugerimos uma revisão na sua elaboração. Outra observação que nos chama atenção é que as respostas confirmam o nível operacional dos pesquisados. Eles são e estão no nível operacional concreto. O material junto com nível em que se encontra o pesquisado pode ter induzido ao erro também.

Fica claro que os estudantes não conseguem fazer operações mentais que acionem funções cognitivas responsáveis para obter a resposta dessa questão. A questão 10 é um item que pretende avaliar todas as habilidades trabalhadas nesta pesquisa, sua intenção é ver se o estudante é capaz de relacionar todas as fontes de aprendizagens e, assim, construir sua resposta.

A questão tem um fragmento da música *Quanta* de Gilberto Gil. O item destoa das demais questões em relação ao tamanho, o que pode ter desestimulado a resposta, bem como a linguagem usada no trecho de apoio pode ter sido fator de incompreensão e preponderante para não resolução.

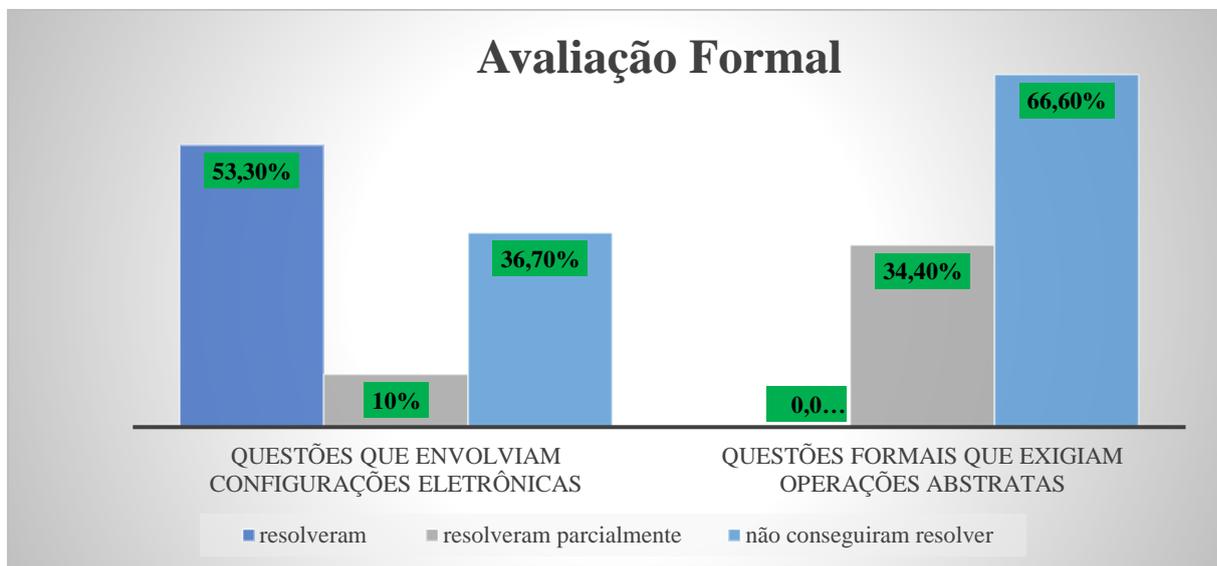


FIGURA 27: gráfico de desempenho. Fonte: Imagem do autor (2022).

Para concluir essa fase, terminamos olhando para todas as tarefas realizadas e desempenhos observados neste estudo. Diante disso procuramos classificá-las dentro das seguintes categorias:

- A- Atividade que o aprendiz manteve-se na operação concreta* e não consegue resolver.
- B- Atividade que o aprendiz manteve-se na operação concreta e consegue resolver.
- C- Atividade que o aprendiz não atingiu a operação formal** e não consegue resolver.

Tarefas	Categoria
1) construir hipótese, elaborar hipóteses, previsões e estimativas, avaliar e justificar conclusões no enfrentamento de situações problema sob uma perspectiva científica.	<u>A</u>
2) interpretar textos de divulgação científica que tratem de temáticas das ciências da natureza, disponíveis em diferentes mídias.	<u>A</u>
3) reconhecer as propriedades elétricas da matéria e construir um modelo atômico, a partir da atração, repulsão e da estabilidade de cargas.	<u>A</u>
4) identificar a distribuição dos elétrons.	<u>B</u>
5) consegue prever configurações eletrônicas dos elementos	<u>B</u>
6) compreensão dos números quânticos e papel deles na estrutura eletrônica do elemento.	<u>A</u>

FIGURA 28: Tabela de desempenho. Fonte: Pozo e Crespo, p.71, 2009).

*(centrado na realidade, baseia-se nos objetos apresentados e é incapaz de formular e comprovar hipótese).

** (referente ao possível, não ao real, caráter proposicional: baseado em algum tipo de linguagem e natureza hipotética dedutiva: formulação e comprovação).

10 - Autoavaliação

Encerramos o ciclo de avaliação com a oportunidade oferecida aos participantes dizerem um pouco dessa experiência de trabalhar com um material sensorial. Foi disponibilizado um questionário (em anexo) com propósito de sondar essa reação e o compromisso de cada um nesse processo quadrimestral. Os números, a seguir, dispensam as nossas observações e representam em parte a grandeza dessa trajetória. Nenhum trabalho é tão urgente e tão importante que não possa ser reavaliado e reexecutado coletivamente.



FIGURA 29: gráfico de autoavaliação. Fonte: Imagem do autor (2022).

Se você respondeu SIM, que é a primeira vez que você faz aula com material sensorial. Em relação as aulas que você participou, voce considera que a aula com esse tipo de material foi,

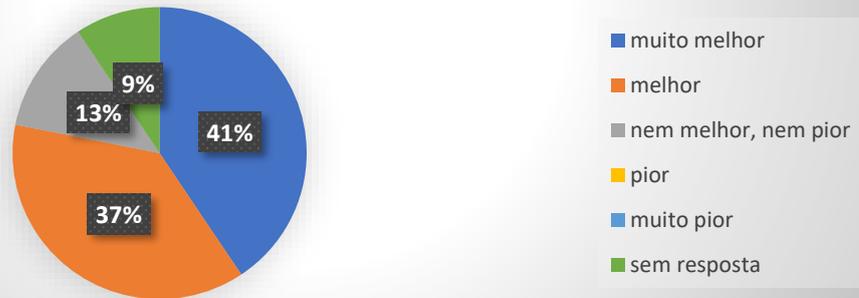


FIGURA 30: gráfico de autoavaliação. Fonte: Imagem do autor (2022).

Em uma escala de 1 a 10, em que 1 corresponde a "quase nada" e 10 equivale a "muito", marque o número que corresponde ao quanto você considera que aprendeu com esse material.

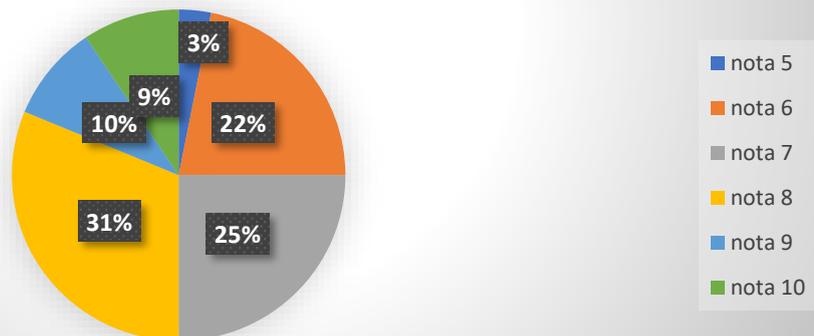


FIGURA 31: gráfico de autoavaliação. Fonte: Imagem do autor (2022).

Em uma escala de 1 a 10, em que 1 corresponde a "quase nada" e 10 equivale a "muito", marque o número que corresponde ao quanto voce considera que se dedicou à realização das atividades propostas.

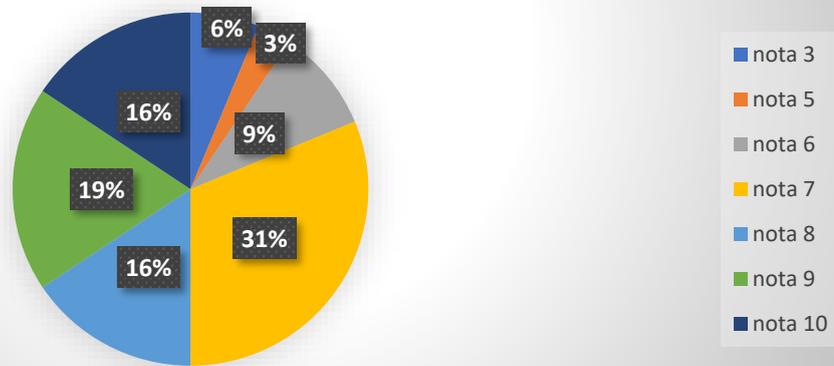


FIGURA 32: gráfico de autoavaliação. Fonte: Imagem do autor (2022).

Em todas as aulas, foram disponibilizados, em cada etapa, textos de apoio e materiais. Com qual ou quais etapas você encontrou mais dificuldades para ler e assimilar o conteúdo? Por outro lado, você gostaria de indicar alguma que você gostou mais, ou considera que tenha sido mais relevante para sua aprendizagem?

"sinceramente, não tive nenhuma dificuldade graças à ajuda e colaboração do professor".

"gostei do tabuleiro que explicava os elétrons, prótons e nêutrons. Com esse material, foi mais fácil de entender o conteúdo, creio que, sem ele seria mais complicado de entender".

"O xadrez".

"Eu achei as aulas muito legais e interessantes".

"encontrei maior dificuldades com os textos. Aprendi melhor com o material sensorial e, principalmente, com a explicação do professor que foi realizada individualmente ou em pequenos grupos".

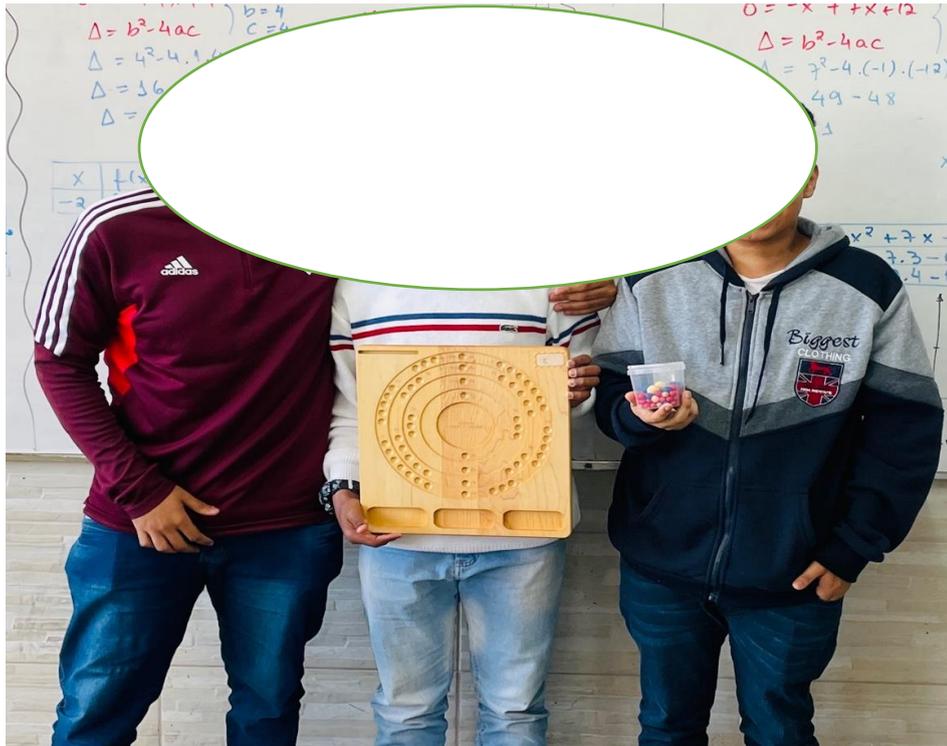


FIGURA 33: Imagem dos participantes. Fonte: Imagem do autor (2022).

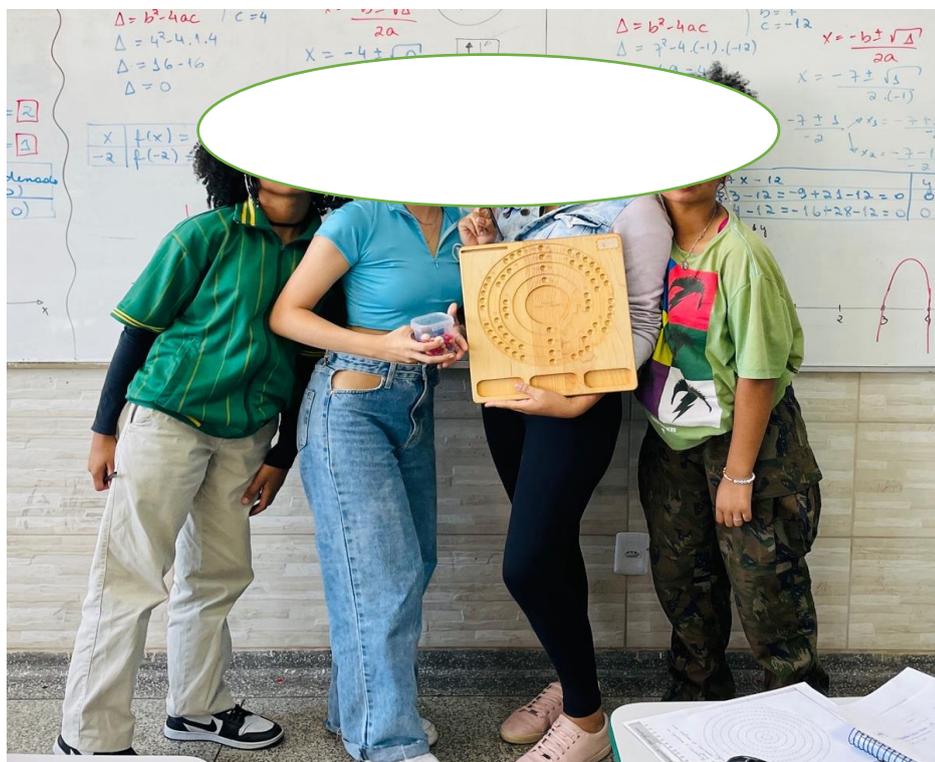


FIGURA 34: Imagem dos participantes. Fonte: Imagem do autor (2022).

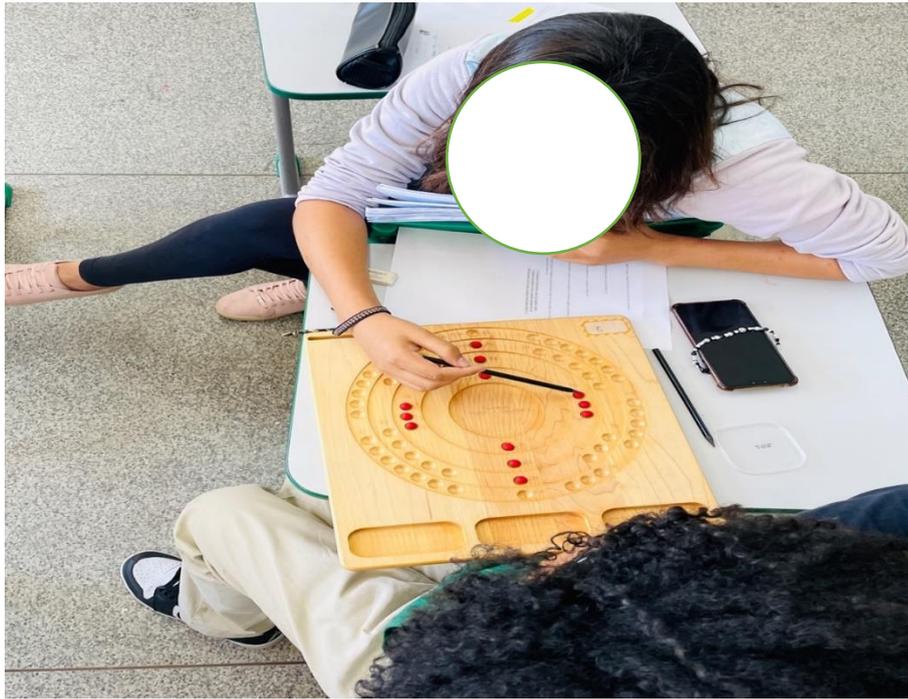


FIGURA 35: Imagem dos participantes. Fonte: Imagem do autor (2022).



FIGURA 36: Imagem dos participantes. Fonte: Imagem do autor (2022).

11- Questionário pré e pós estudo



QUÍMICA

- i) Como você usaria esse material?
- ii) Para que serve esse material?
- iii) O que essas bolinhas (vermelhas, azuis e incolores) representam para você?
- iv) O que você pensa sobre essas ranhuras na peça de madeira
- v) Você já viu ou ouviu alguma coisa sobre imagem? Conte como foi? Onde foi? Quando foi? Você se lembra?

11.1- Resultados

Os gráficos, na sequência, são resultados bastantes positivos com relação ao que foi observado no começo do nosso estudo. Os números representam uma evolução de comportamento, atitude e compreensão, isso nos mostra que uma prática bem desenvolvida é o caminho para uma aprendizagem significativa.

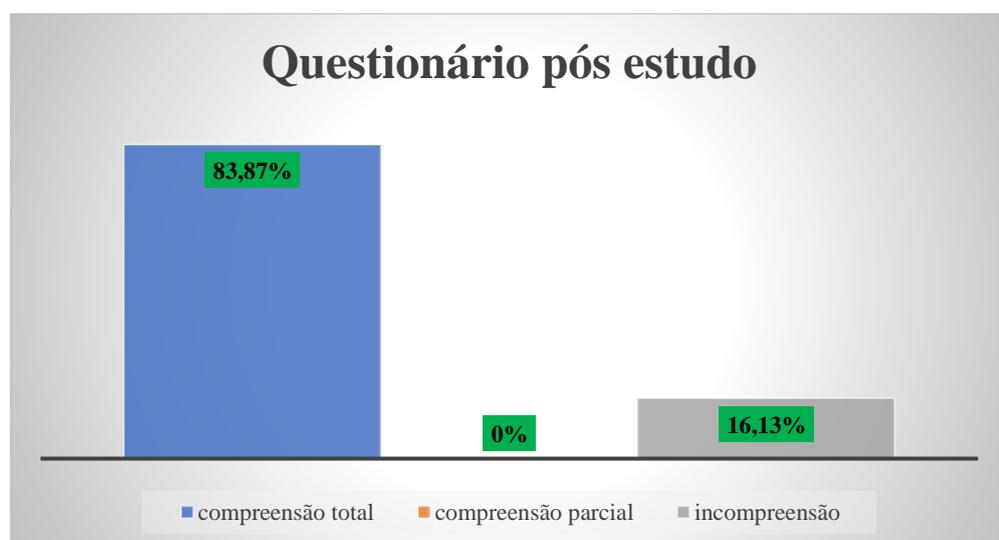


FIGURA 37: gráfico de desempenho. Fonte: Imagem do autor (2022).

12- Conclusões

Diante do resultado desta pesquisa, entendemos que ele indica progressos em algumas etapas e estagnações em outras. O conhecimento ainda permanece no campo superficial e muito atrelado a materialidade.

Na apresentação da ferramenta (fase 1) os estudantes não conseguem construir hipóteses ou fazer conexões conceituais na presença do quadro de Bohr. Sugestão para essa problemática é que o professor elabore mais atividades de ensino com essa perspectiva e ajude os aprendizes a pensarem no processo de construção do conhecimento científico escolar.

Quando o enfoque é a contextualização (etapa 2) o resultado é bem inferior, pois o momento exige conexão com processos de aprendizagem que estão muito deficientes. O desempenho encontrado é muito parecido com os diversos resultados divulgados pelas avaliações externas.

O problema se esbarra na leitura e compreensão de textos em diversas mídias. A argumentação fica comprometida por falta de comportamento exploratório sistemático, onde o estudante não consegue relacionar duas ou mais fontes de informações para estabelecer sua opinião acerca da atividade. Neste sentido, entendemos que a reestruturação dessa etapa deve ser feita de forma partilhada com os docentes da área de linguagem, no sentido, de minimizar cada vez mais a realidade de baixa compreensão e pobre argumentação.

Na fase três e quatro deste estudo, trabalhamos a configuração eletrônica com o quadro de Bohr. Sobre a estruturação eletrônica dos elementos quase sessenta (60%) por cento dos participantes assimilaram esse processo, este resultado é significativo e aponta a importância que a ferramenta representa nesta etapa da pesquisa.

A parte mais densa deste estudo está ligado aos números quânticos. E fica claro, que a compreensão deles exigem operações de probabilidades, assim como operações de significados. O processo de recuperação nesta posição serial da

aprendizagem precisa ser gradativo, intenso e evolutivo. Para isso, sugerimos a modelagem virtual do quadro Bohr e sua impressão para tratarmos essa realidade dos números quânticos com mais individualidade e mais aprendizagem.

Sobre a avaliação, optamos por um modelo colaborativo e outra mais tradicional e individualizada. Na primeira, os pesquisados auxiliam os demais colegas de outras turmas de primeiras série a compreenderem a ferramenta em si e o mecanismo de distribuição eletrônica com o uso dela. Embora nota-se uma comunicação ainda com bloqueio, percebe-se que os estudantes se esforçam para dominar um vocabulário cada vez mais científico. Um momento importante para trabalhar a independência, a escuta, o trabalho em grupo e a fala como processo de narrativa de tudo aquilo que foi sistematizado pelo aprendiz.

Essa avaliação transfere o estudante para uma realidade real, fazendo-os repensar em atitudes, comportamentos e procedimentos, que daqui a pouco serão exigidos no mundo do trabalho. Ela desconstrói a imagem daquele cientista solitário de jaleco branco em um laboratório e reafirma que o conhecimento constrói-se dentro e entre as pessoas.

A avaliação individualizada fecha o ciclo deste estudo. Os números apontam-nos os caminhos a serem refeitos e os rumos que devemos seguir. Baseado na satisfação dos aprendizes por ter estudado este conteúdo escolar com o auxílio do quadro Bohr, concluímos que o desenvolvimento da aprendizagem é operacional concreta para maioria dos participantes. Diante desta realidade processos de recuperação mediada devem ser implementados com o propósito de fazerem com que esses e outros estudantes operem mentalmente e vejam-se livres da materialidade para compreenderem estes conceitos e como eles interagem entre si formando uma rede de conhecimentos necessários para estudos posteriores.

13- Considerações Finais

Chegamos ao fim deste trabalho com alguns resultados conquistados e inúmeras reflexões já apontadas em capítulos anteriores. Nosso objetivo é revisar as implicações dessas descobertas e como elas podem influenciar nossa prática docente.

Os esforços e o envolvimento dos alunos nas tarefas foram cruciais para o levantamento dos dados obtidos.

Notamos que, nos três primeiros momentos da pesquisa, os estudantes demonstraram um sentimento de muita angústia. Essa postura pode estar ligada à maneira rotineira de aulas expositivas, a que eles são submetidos ao longo da sua trajetória escolar. Romper com esse círculo vicioso fala-lousa-giz é uma árdua tarefa, e requer um compromisso de todos os envolvidos no processo pedagógico.

Nas etapas finais, tivemos a questão da reconstrução das ideias. No processo de conceituação o professor teve um papel bem ativo. Uma etapa bastante dialógica, de construção partilhada, de mudanças e aquisições de conceitos, os quais foram importantes para que pudessemos avançar em nossos estudos.

Entendemos que a avaliação é uma função de saída que nos diz muito sobre o processo de ensino-aprendizagem. E fica claro que precisamos buscar aprender estratégias de aprendizagens para melhorar as projeções virtuais dos estudantes a partir de novos recortes da realidade.

Aprendizagem por interação e cooperação entre aluno- aluno é um caminho que precisa ser cada vez mais valorizado no sentido de permitir alcançar uma comunicação sem bloqueios e uma argumentação mais densa e eficiente.

A ferramenta tem alto valor pedagógico porque por trás da simples tarefa de preencher um tabuleiro, por assim dizer, ela permitiu quebrar o abstracionismo do conteúdo estudado e com o clima de apoio na sala de aula, as tarefas, em parte, atingiram seus objetivos.

É evidente que nossos aprendizes estão acostumados com uma abordagem de aula muito diferente do que foi vivenciado. Mas qualquer mudança nessa direção é um desafio enorme e não podemos deixar de fazê-lo.

A experiência que vivemos neste estudo demonstra que é possível, ainda que com ajustes, mover e detalhar uma química através de um método que revela a ciência em seus materiais com capricho e entusiasmo.

As escolas são inteiramente diferentes e, talvez, a nossa esteja ultrapassada, mas, no final de cada processo, os desejos são os mesmos. A nossa escola precisa deixar de lado a indiferença com os resultados que os nossos estudantes estão entregando. O poder público também precisa apoiar, confiar e investir em uma educação transformadora.

Já os pesquisados, mesmos com suas limitações operacionais e cognitivas, não podem ser privados de uma aprendizagem para além dos livros didáticos. Precisam, sim, encontrar no espaço escolar e na ciência, um senso de estabilidade, responsabilidade e ordem para que juntos possamos fazer da educação um empreendimento profundamente humano.

O convite está colocado. É preciso fazermos um movimento urgente para atacar essa problemática exposta. Um movimento com menos discursos e mais ações na construção de propostas que ajudem a redefinir o futuro da educação desses nossos aprendizes. “[...] As reformas, os textos, as recomendações, os artigos e as teses sucedem-se a um ritmo alucinante repetindo os mesmos conceitos, as mesmas ideias, as mesmas propostas[...]” (Nóvoa, 1992, p.) As mazelas agravadas pela pandemia no corpo da educação mundial são sem precedentes. Uma questão que arruinou o desenvolvimento acadêmico daqueles que tiveram menos aporte financeiro, tecnológico, cultural, social e familiar.

Os esforços inimagináveis dos professores, naquele momento, foram brilhantes. Faltariam espaços para relatarmos inúmeras experiências bem-sucedidas, do ponto de vista pedagógico, da profissionalidade docente e da

personalidade do professor, que se fez e refez em um ambiente totalmente diferente do que estava acostumado a fazer.

Neste sentido, é o professor que carece de atenção para que continue fazendo mais com menos. E como fazer? Como ser um bom professor para além da formação acadêmica?

Maria Montessori já afirmava que o professor é um adulto preparado do ponto de vista humano, psicológico e pedagógico. E para reforçar esse pilar tão importante na visão de Montessori, trouxemos, na íntegra as palavras de Nóvoa, porque suas ideias não estão muito longe do que ela já idealizava.

A construção identitária do professor é construída sobre esses pilares; i) O conhecimento. Aligeiro as palavras do filósofo francês Alain: dizem-se que, para instruir, é necessário conhecer aqueles que se instruem, Talvez. Mas bem mais importante é, sem dúvida conhecer bem aquilo que ensina. Alain tinha razão. O trabalho do professor consiste na construção de práticas docentes que conduzam os alunos a aprendizagem. Como escreveu Gaston Bachelard em 1934, é preciso substituir o aborrecimento de viver pela alegria de pensar. E ninguém pensa no vazio, mas antes na aquisição e na compreensão do conhecimento. ii) A cultura profissional. Ser professor é compreender os sentidos da instituição escolar, integra-se numa profissão, aprender com os colegas mais experientes. É na escola e no diálogo com os outros professores que se aprende a profissão. O registro das práticas, a reflexão sobre o trabalho e o exercício da avaliação são elementos centrais para o aperfeiçoamento e a inovação. São essas rotinas que fazem o avançar na profissão. iii) O tacto pedagógico. Quantos livros se gastaram para tentar aprender este conceito tão difícil de definir? Nele cabe essa capacidade de relação e de comunicação sem a qual não se cumpre o acto de educar. E também essa serenidade de quem é capaz de dar ao respeito conquistando os alunos para o trabalho escolar. No ensino, as dimensões profissionais cruzam-se, inevitavelmente, com as dimensões pessoais. iv) Trabalho em equipe. Os novos modos de profissionalidade docente implicam um reforço das dimensões coletivas e colaborativas, do trabalho em equipe, da intervenção conjunta nos projetos educativos de escola. O exercício profissional organiza-se, cada vez mais, em torno de comunidades de prática, no interior de cada escola, mas também no contexto de movimentos pedagógicos que nos ligam a dinâmicas que vão para além das fronteiras organizacionais. E por fim, o compromisso social. Podemos chamar de diferentes nomes, mas todos convergem no sentido dos princípios dos valores, da inclusão social, da diversidade cultural. Educar é conseguir que a criança ultrapasse as fronteiras que, tantas vezes, lhe foram traçadas como destino pelo nascimento, pela família ou pela comunidade. Hoje, a realidade da escola obriga-nos a ir além da escola. Comunicar com o público, intervir no espaço público da educação, faz parte do ethos profissional docente.

[...]Não há escolas ou recursos didáticos bons ou maus, mais adequado ou inadequados aos fins perseguidos e aos processos de aprendizagem mediante os quais podem se obter esses fins. As instruções devem se basear num equilíbrio entre o que se aprende, a forma como aprende e as atividades práticas planejadas para promover a aprendizagem[...].(POZO, p.66, 2002)

Se a verdade absoluta de nossas políticas públicas educacionais não possa valer a nosso favor, encerramos nossas considerações assim, pactuando por uma

formação de professor que seja construída dentro da profissão, consolidada em eficiência e eficácia na formação docente. Que sejamos profissionais que olham para as dimensões pessoais, para as lógicas coletivas e pela presença de professores envolvidos em empreitadas como essa que trilhamos até aqui. E será que estamos dispostos a fazer um pouco mais?

14- Referências

ALMEIDA, M.D.D, ALVES; L.M. **Considerações sobre a influência de Montessori na educação Brasileira.** Coleção educadores. Fundação Joaquim Nabuco, editora Massangana

ARKINS, P, PAULA. J. **Físico-Química.** Tradução Edilson Clemente da Silva *et al.* 8 ed. Rio de Janeiro. LTC, 2008.

AUSUBEL, D.P; NOVAK, J.D. y HANESIAN. H. **Education Psychology.** A cognitive View, 2ª edição, New York.

A origem dos átomos. YOUTUBE. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=A-w8EmA0PNU> . Acesso em: 18 fev. 2023.

Brown, Theodoro L., LeMay Jr., H. Eugene, Bursten, Bruce E. **Química: a ciência central.** 9 ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

BRASIL. **Ministério da Educação.** Base Nacional Comum Curricular. Brasília, 2017.

Currículo da cidade de São Paulo. Disponível em: <portal.sme.prefeitura.sp.gov.br/Portals/1/Files/50628.pdf>. Acesso em: 05 de dez. 2022.

FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS. Cursos gratuitos. Disponível em: https://nc-www5.fgv.br/cursosgratuitos/default_html5.aspx. Acesso em: 02 de fev. 2023.

GOMES, C. M. A. **Feuerstein e a construção mediada do conhecimento.** Porto Alegre: Artmed editora, 2002.

KOTZ, J. C. e PAUL, M. T. J. **Química geral e reações químicas.** Tradução Técnica Flavio Maron Vichi. São Paulo: Cengage Learning, 2009.

LEE, J. D. **Química inorgânica não tão concisa.** Trad. Henrique E. Toma, Koiti Araki, Reginaldo C. Rocha. São Paulo: Edgard Blucher, 1999.

LAWSON. **Research on the acquisition of Science knowledge: Epistemological foundations of cognition.** New York, 1994.

MAZZOTTI, A. J. ALDA e G. F. **O método nas ciências sociais: pesquisa quantitativa e qualitativa.** São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004.

MELEIROS, A.; GIORDAN, M. **Hipermídia no Ensino de Modelos Atômicos.** Revista química nova na escola; n.10, 1999.

MIOTTO E FERRAZ. **Introdução à relatividade e física quântica.** Santo André: Universidade Federal do ABC, 2011.

NOVOA, A. (2008). **Professores.** Imagens do futuro presente. Instituto de educação da universidade de Lisboa, 2009.

OLIVEIRA, F. M. OLGA, J., S. Klaus. e SCHLUNZEN, M. T. Elisa. **Química: Coleção temas de formação.** Universidade estadual paulista. Núcleo de educação a distância, 2013.

OLIVEIRA, L. V. D. R. e QUEIROZ, C. P. R. Gloria. **Conteúdos cordiais: química humanizada para uma escola sem mordação.** São Paulo: editora livraria da física, 2017.

Organização Montessori do Brasil. Disponível em: <http://www.omb.org.br>. Acesso em: 15 nov. 2022.

PORTO, A. P. **Piaget para os Químicos.** Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile>. Acesso em: 25 nov. 2022.

POZO, J. I.; CRESPO; G. A. M. **A Aprendizagem e o Ensino de Ciências: Do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico.** Porto Alegre, Artmed, 2009.

POZO, I. **Aprendizes e Mestre. A nova cultura da aprendizagem.** Porto Alegre, Artmed, 2008.

ROHRS, H. **Maria Montessori.** Hermann Rohrs; Tradução: Danilo Di Manno de Almeida e Maria Leila Alves. Fundação Joaquim Nabuco, Recife, editora Massangana; 2010.

ROSA, S.N.K. **“Da criança que não aprende” a “toda criança é capaz de aprender”**. Lições históricas de Pereira, Itard, Séguin e Montessori. Pontifícia Universidade Católica, São Paulo, 2017.

SANTINI, M. **Para Educar o Potencial Humano**. Campinas – São Paulo, Papirus, 2003.

SACKS, W. O. **Tio tungstênio**: memórias de uma infância química. Tradução Laura Teixeira Motta. Companhia das letras., 2002.

TRIVELATO, F. S. e SILVA, F. L. R. **Ensino de ciências**. São Paulo: Cengage learning, 2013.

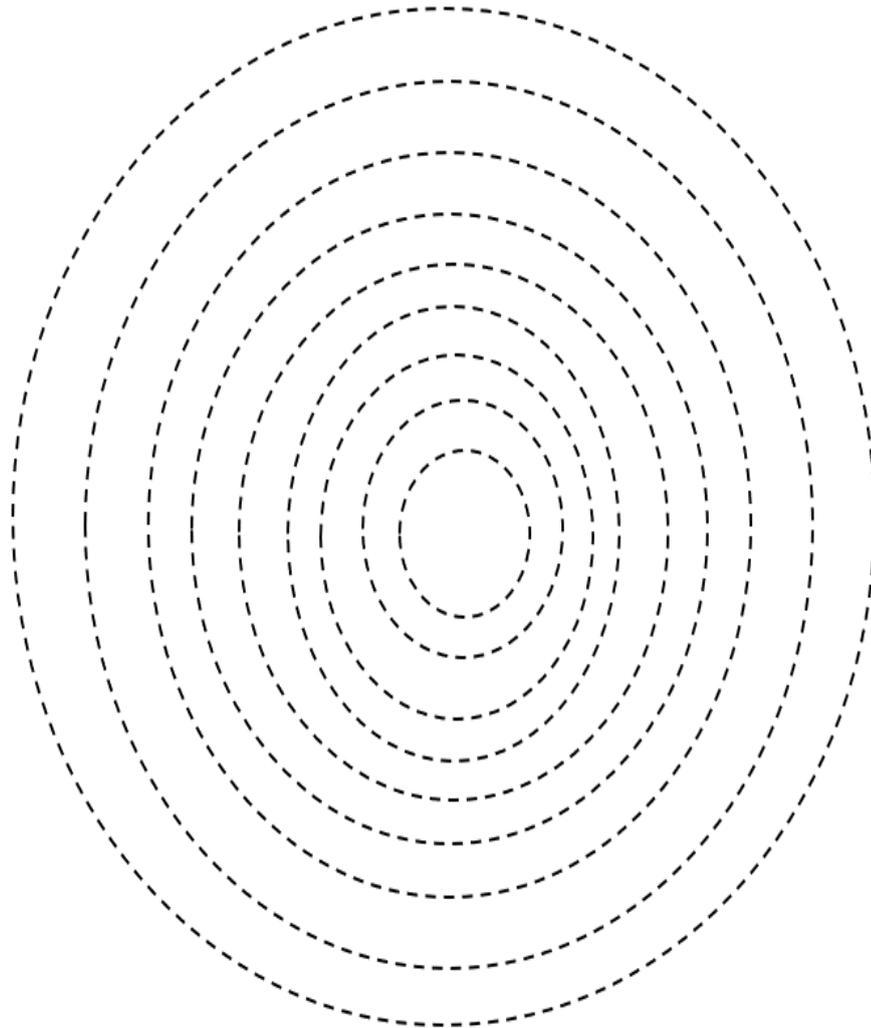
TOLENTINO, M. e FILHO, R. **Átomo e tecnologia**. Química nova na escola, número 3, maio de 1996.

Viver Montessori. Disponível em: [http:// www.vivermontessori.com](http://www.vivermontessori.com). Acesso em: 15 de set. 2021.

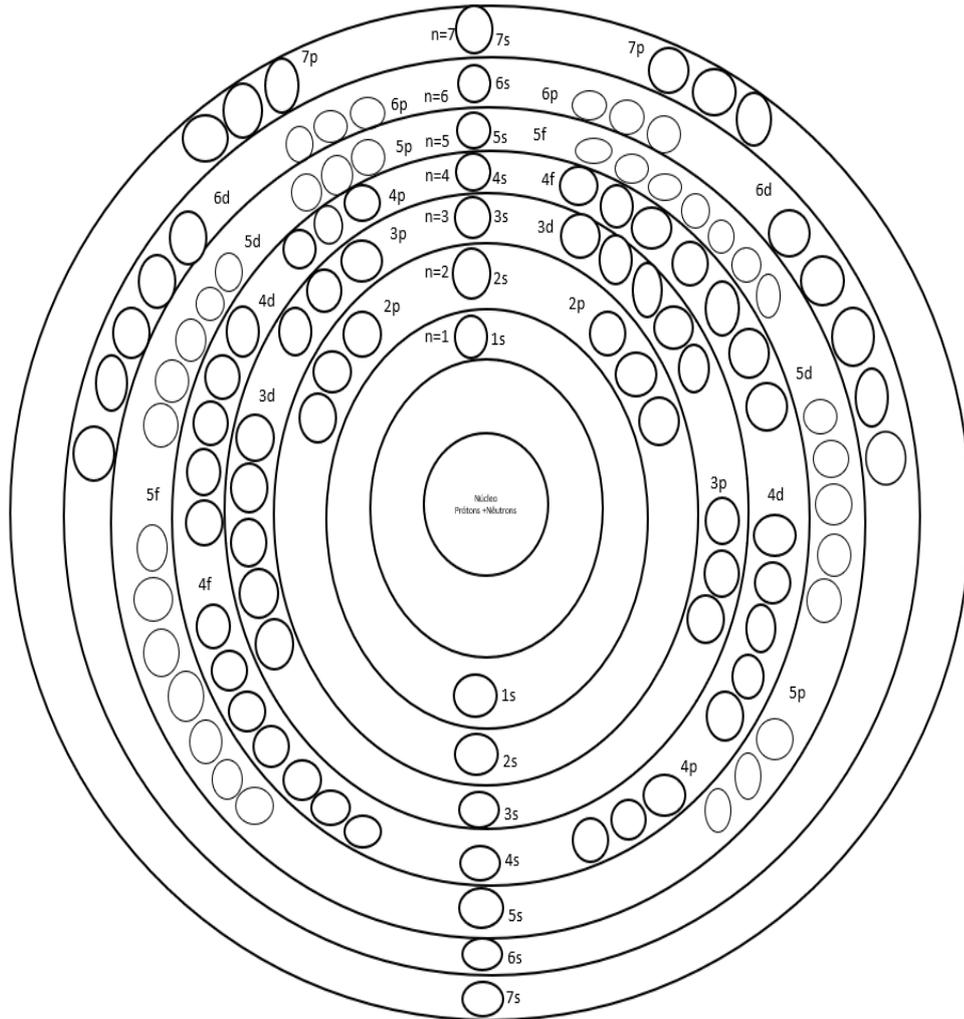
Anexos

Atividade de recuperação

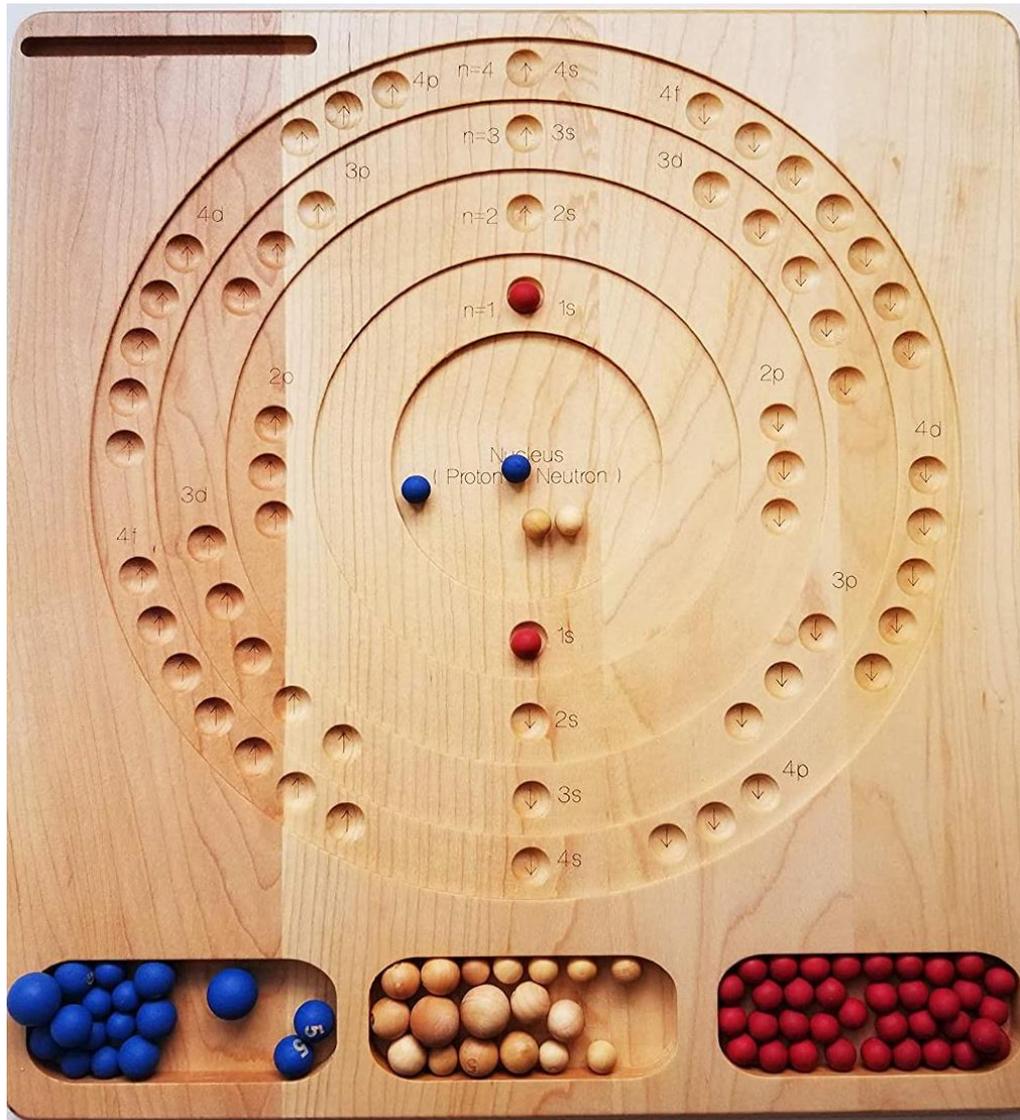
- 1) Preencha as linhas tracejadas e encontre o modelo atômico de Bohr.
- 2) Defina os níveis e subníveis de energia com seus respectivos orbitais.



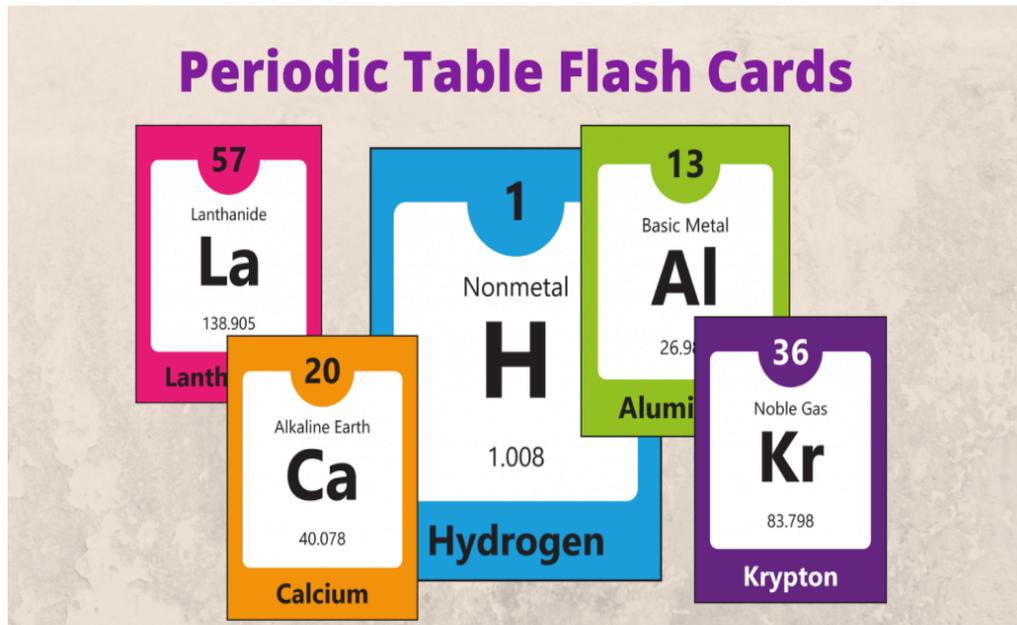
Cartão, material de apoio para recuperação de aprendizagem



Material de apoio para recuperação de aprendizagem (construído no power point)



Material de apoio para recuperação de aprendizagem (material sensorial)



Disponível em: <sciencenotes.org>. Acesso 12 de dezembro 2022



Química



Nome: _____ nº _____

1- Preveja a configuração eletrônica para o

${}^6\text{C}$
Carbono

2- Preveja a configuração eletrônica para o

${}^{12}\text{Mg}$
Magnésio

3- Preveja a configuração eletrônica para o

${}^{30}\text{Zn}$
Zinco

4- Por que a configuração eletrônica do escândio ${}^{21}\text{Sc}$ não pode ser

$1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^6, 3d^3$

5- Escreva os quatros números quânticos para os dois elétrons mais externo do cálcio

${}^{20}\text{Ca}$

6- Qual é a carga e o papel dos nêutrons no núcleo de um átomo?

7- Quantos elétrons cabem na subcamada 4p?

- 8- Escreva os valores de n , l e ml para os orbitais 4d.
- 9- Quantos orbitais existem em uma camada com número quântico principal $n = 4$.
- 10- Qual(is) ideia(s) baseada no modelo de Bohr podem ser relacionadas com o trecho da música de Gilberto Gil.

*“[...] Fragmento infinitésimo, quase que apenas mental
Quantum granulado no mel, quantum ondulado do sal
Mel de uranio, sal de rádio, qualquer coisa quase ideal[...].”*