

MODELOS MENTAIS DE ALUNOS DO ENSINO MÉDIO SOBRE A PILHA DE DANIELL: ANIMAÇÕES PRODUZIDAS POR MEIO DO APLICATIVO STOP MOTION

HIGH SCHOOL STUDENTS' MENTAL MODELS ON DANIELL'S CELL: ANIMATIONS PRODUCED USING THE STOP MOTION APPLICATION

Gustavo Bizarria Gibin¹, Angélica Mattioli Rodrigues²

Recebido: dezembro/2021 Aprovado: maio/2023

Resumo: Neste trabalho utilizou-se a teoria de modelos mentais de Johnson-Laird para investigar a construção de modelos mentais a respeito da pilha de Daniell e de suas características químicas submicroscópicas. Aplicou-se um minicurso a 23 alunos do Ensino Médio de uma escola pública estadual do interior de São Paulo, no qual houve atividades de elaboração de animações em *stop motion*, e atividades experimentais cujos registros imagéticos e escritos foram fontes de informações sobre os modelos mentais de eletroquímica expressos pelos alunos. Foram encontrados resultados que demonstraram noções superficiais sobre o nível atômico-molecular, como a movimentação iônica e o comportamento das espécies químicas durante as reações de oxirredução, além de noções errôneas sobre estequiometria. Dificuldades de compreensão podem ser detectadas por meio da técnica de produção de animações, e corrigidas pelo docente ao longo de momentos de discussão e reflexão posteriores.


Palavras-chave: Educação Química, ensino e aprendizagem, eletroquímica, nível atômico-molecular.


Abstract: In this work, Johnson-Laird's theory of mental models was used to investigate the construction of mental models regarding the Daniell stack and its submicroscopic chemical characteristics. A short course was applied to 23 high school students from a state public school in the interior of São Paulo, in which there were activities to elaboration of stop motion animations, and experimental activities whose imagery and written records were sources of information about the mental models of electrochemistry expressed by students. Results were found that demonstrate superficial notions about the atomic-molecular level, such as ionic movement and the behavior of chemical species during redox reactions, in addition to erroneous notions about stoichiometry. Difficulties in understanding can be detected through the animation production technique, and corrected by the teacher during later discussion and reflection moments.

Keywords: Chemistry Education, teaching and learning, electrochemistry, atomic-molecular level.

1. Introdução

Dentre as várias temáticas ensinadas na disciplina da Química, os conceitos diretamente relacionados à eletroquímica são apontados, tanto por alunos, quanto por professores, como de grande dificuldade de serem compreendidos no processo de ensino e aprendizagem (FREIRE; SILVA JÚNIOR; SILVA, 2012; NIAZ; CHACÓN, 2003).

¹  <https://orcid.org/0000-0001-5526-2639> - Licenciada em Química pela Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP) Campus Presidente Prudente. Mestranda em Ensino e Processos Formativos pela UNESP. Avenida Brasil, 56, Centro, CEP: 15385-000, Ilha Solteira – SP, Brasil. E-mail: angelica.mattioli@unesp.br

²  <https://orcid.org/0000-0001-9473-255X> – Doutor em Química pela UFSCar. Professor assistente doutor da UNESP, Campus Presidente Prudente e docente permanente do Programa de Pós-Graduação em Processos Formativos da UNESP. Rua Roberto Simonsen, 305, Centro Educacional, CEP: 19060-900, Presidente Prudente – SP, Brasil. E-mail: gustavo.gibin@unesp.br

As dificuldades em eletroquímica apresentadas por professores foram analisadas por Goes, Fernandez e Agostinho (2016), os quais constaram conhecimentos superficiais sobre os conceitos de célula galvânica, força eletromotriz, eletrodos e sobre as grandezas físicas e químicas associadas aos sistemas eletroquímicos. Conforme Santos, Lima e Sarmento (2017), alunos ingressantes do curso de licenciatura em Química possuem noções superficiais sobre a estrutura da matéria e as características do nível atômico-molecular, o que possivelmente foi causado, conforme os autores, por um Ensino Médio cujos ensinamentos se davam a partir de memorização de fórmulas e realização de experimentos sem a devida reflexão conceitual dos conceitos em nível atômico e subatômico. Assim, é necessário o uso de ferramentas metodológicas que auxiliem a explicar e a pensar nos conceitos em escala submicroscópica.

Previamente à explicação sobre a construção de representações internas, e sua importância para o ensino, é necessário descrever as representações externas. Estas últimas constituem símbolos, códigos ou imagens que utilizamos como palavras (linguagem escrita ou falada) ou como desenhos e ilustrações representativas de nossas concepções internas. Por exemplo, mentalmente temos uma concepção sobre o que são e como nos apresentam a água, o fogo, a terra e o ar, e nos expressamos externamente sobre esses conceitos por meio de ilustrações, símbolos e palavras sobre esses elementos da natureza.

Dessa forma, quaisquer simbologias químicas (sobre elementos da tabela periódica ou reações químicas), símbolos matemáticos e informações escritas em livros, são representações externas de ideias, objetos e conceitos científicos presentes na mentalidade humana, e interiorizados pelo indivíduo (FREITAS; GIBIN, 2016).

No processo de ensino e aprendizagem há a externalização de teorias ou conceitos e também a sua internalização: 1. palavras ou imagens presentes em livros e ilustrações são exteriorizadas (explanadas) através da escrita ou de imagens e ilustrações; 2. tais informações ditas em palavras ou demonstradas em imagens, são interpretadas, e os alunos atuam na construção interna desses conceitos (internalização), que passam a se transformar em informações abstratas e de modificação contínua conforme seu aprendizado.

As informações interiorizadas pelos alunos podem ser analisadas quando eles as exteriorizam por meio de ilustrações, linguagem escrita ou oral. Em um ambiente de aprendizagem, há um trabalho cognitivo sobre os fenômenos concretos (empíricos) ou abstratos, e ocorrem processos de reconstruções mentais destes fenômenos, os quais permitem às pessoas descrever e raciocinar sobre eles (MOREIRA; GRECA; PALMERO, 2002).

As atividades e estratégias vinculadas ao ensino tradicional, muitas vezes distantes dos diversos contextos de vida dos alunos, não incentivam a construção de representações internas pela reflexão e pensamento crítico (ROCHA et al., 2017; SILVA, 2013), o que gera um incentivo a memorização e ao armazenamento desconexo de informações. O tipo de metodologia empregada no ensino pode ser um dos fatores que torna a Química desinteressante aos alunos. Entretanto, a aprendizagem real e reflexiva ocorre pela construção de modelos mentais, que consistem em um tipo de representação interna que se forma quando conceitos externos passam a ser reconstruídos internamente, e de forma crítica, pelo indivíduo.

Os modelos mentais são um tipo específico de representação interna, onde por meio destes é possível compreender, explicar e realizar previsões sobre um sistema físico ou sobre reações químicas em nível submicroscópico (MOREIRA; GRECA; PALMERO, 2002). Três tipos de representações internas ou mentais são considerados por Johnson-Laird (1983): representações proposicionais, modelos mentais e imagens. O primeiro tipo consiste em representações de um conjunto de símbolos expressos sequencialmente, em analogia às linguagens escrita e falada. Muitas vezes parte-se das proposições para iniciar a construção de modelos mentais, pois os indivíduos frequentemente têm um contato primário com este tipo de representação.

Os modelos mentais permitem compreender a estrutura empírica de objetos e entender uma teoria, ideias ou conceitos. Os modelos mentais possuem uma estrutura análoga ao modo de organização dos elementos no mundo físico, refletindo a sua realidade empírica e conceitual. Os modelos também são considerados análogos estruturais dos fenômenos que podem ser apenas imaginados (MOREIRA; GRECA; PALMERO, 2002), e refletem a realidade presente no mundo das ideias, dos conceitos e do não palpável mundo subatômico.

Como todos os fenômenos cognitivos, não é possível se conhecer objetivamente os modelos mentais dos outros indivíduos, mas entende-se que o simples ato de pensar exige o uso destes análogos estruturais do mundo exterior, que são construídos a partir de conhecimentos prévios e de habilidades linguísticas, cognitivas, culturais e sociais (BORGES, 1999). Os modelos mentais são compostos de elementos (“tokens”) e de “relações” entre tais elementos, que são correspondentes a um estado de coisas singular, e cuja estrutura varia segundo o seu uso específico, pois o modelo mental é estruturado de forma coerente com o processo ao qual irá operar (JOHNSON-LAIRD, 1983).

As imagens são representações internas muito específicas, assim como os modelos mentais e, através de sua exteriorização em desenhos ou ilustrações, é possível obter noções do modelo mental correspondente, e do seu modo de estruturação e construção (JOHNSON-LAIRD, 1983). A exteriorização dos modelos por meio de imagens, permite obter noções dos elementos, aspectos, relações e significados presentes nos modelos.

Segundo Norman (1983), os modelos mentais apresentam alto teor dinâmico, ou seja, são instáveis, se alteram ao longo do tempo e podem possuir problemas, uma vez que é possível a existência de excessivas simplificações nos mesmos, que modificam sua estrutura constantemente. O autor também aponta que depois de certo intervalo do tempo desde a construção de um modelo, há uma alta probabilidade de que conceitos e ideias semelhantes sejam confundidos e alguns aspectos singulares de conceitos ou teorias sejam esquecidos. Norman (1983) também considera a presença de características não científicas, como crenças pessoais, nas quais os sujeitos podem se basear na construção interna de modelos.

Borges (1999) explica que os modelos mentais existem apenas na mente de cada indivíduo, tendo caráter pessoal e simplificado, já que na sua construção nem todos os elementos do sistema são captados, levando a incompletude dos modelos. Quando os modelos passam a ser expressos por meio de esquemas, ilustrações ou pela escrita, pode-se visualizar, mesmo que de forma inexata, os seus aspectos constituintes. Podemos então considerar que os modelos mentais em desenvolvimento pelos alunos não estão plenamente estruturados, mas

sim evoluem ou regridem ao longo do tempo. Aspectos superficiais que os modelos mentais possam ter, quando conhecidos pelo professor, podem ser melhor aprofundados por meio de atividades e discussões reflexivas em sala de aula.

As teorias de aprendizagem afirmam que o processo de ensino e aprendizagem está repleto de diversas relações: entre aluno e professor, entre os alunos e as ferramentas pedagógicas, como as linguagens visuais, escrita, simbologias, e entre os próprios alunos (GARCÍA; PALACIOS, 2006; GIBIN, 2009). Levando isso em consideração, é válida a utilização de recursos como animações, vídeos, figuras e ilustrações como ferramentas pedagógicas interativas, passíveis de serem utilizadas para obter uma visão de conceitos abstratos, sobre os quais os alunos manifestam dificuldades de interpretação, como o nível submicroscópico da matéria. Essas ferramentas podem colaborar para corrigir falhas dos modelos mentais dos alunos, já que permitem que os mesmos tenham um maior “contato” com o nível subatômico.

Neste sentido, é relevante que o professor investigue e conheça as dificuldades dos alunos a respeito de um certo conceito, para que posteriormente utilize metodologias que melhorem a assimilação do conceito pelos alunos (ROCHA et al., 2017). Exemplos de dificuldades que estudantes encontram ao estudar Eletroquímica, de acordo com Caramel e Pacca (2011), se referem às noções sobre reações químicas no nível atômico-molecular de representação, em que os alunos não compreendem termos como “cátions”, “ânions”, “íons”, “oxidação”, pois os empregam em sentidos que se distanciam do que é aceito do ponto de vista científico.

Outro exemplo é referente aos processos de oxidação e redução, que muitas vezes são erroneamente compreendidos pelos indivíduos como uma troca de moléculas de oxigênio e não de elétrons (BUESO; FURIÓ; MANS, 1998; FREIRE; SILVA JÚNIOR; SILVA, 2012; ROCHA et al., 2017). A literatura também mostra situações em que os estudantes atribuem à ponte salina o papel de fornecedora de elétrons (ao invés de íons), os quais completam o circuito (ROCHA et al., 2017; SANGER; GREENBOWE, 1997).

Outras dificuldades que os alunos possuem quanto aos sistemas eletroquímicos envolvem noções incorretas de que o potencial elétrico (ddp) gerado por uma pilha, por exemplo, não seja diretamente relacionado com a quantidade ou concentração de espécies iônicas em solução, além de problemas de identificação do cátodo e do ânodo (ROCHA et al., 2017; SANGER; GREENBOWE, 1997). Pesquisas como de Mendes (2018), mostram que as complicações no ensino da eletroquímica podem ser contornadas pelo uso de técnicas metodológicas alternativas no ensino, visto que a abordagem tradicional se torna cada vez mais ultrapassada.

1.2. Animações e a construção de modelos mentais

A reconstrução interna da realidade por meio da elaboração de modelos mentais está diretamente relacionada com as informações visuais processadas pelo sistema cognitivo, em que tais informações visuais potencializam e auxiliam na organização dos modelos mentais e no crescimento cognitivo dos alunos, conforme assinalam Costa (2005) e Gibin (2009).

Johnstone (1993) afirma que três diferentes níveis de representação do conhecimento químico devem ser interpretados e relacionados entre si para que os fenômenos químicos sejam devidamente entendidos: níveis macroscópico, submicroscópico e simbólico. Os diferentes

níveis devem ser compreendidos, caso contrário, a construção do modelo mental terá falhas e a versão interiorizada e reflexiva do fenômeno químico terá diversos aspectos inadequados.

A dimensão em que o fenômeno químico pode ser observado a olho nu, e na qual toda informação empírica pode ser obtida, está relacionada com o nível macroscópico. O nível submicroscópico, por outro lado, não é visível a olho nu, tem natureza abstrata, complexa, e representa a movimentação e dinamismo dos íons, átomos ou moléculas. Tal é o nível em que os alunos têm a maior dificuldade de “visualizar” mentalmente. Equações e fórmulas químicas, assim como a organização espacial das espécies submicroscópicas estão relacionadas com o nível simbólico, que se associa aos códigos, ou seja, símbolos de elementos químicos, por exemplo, que são usados na representação dos fenômenos (WU; KRAJCIK; SOLOWAY, 2001).

Gibin (2009) afirma que conhecer os três níveis de representação, assim como transitar entre eles é essencial para a compreensão adequada do fenômeno químico. Isso é verdadeiro, já que um fenômeno químico explicado pelos professores por meio de equações químicas no nível simbólico de representação, e que pode ser visualizado no laboratório (nível macroscópico), só é compreendido totalmente quando a dinâmica dos átomos, íons e moléculas (nível submicroscópico) também passa a ser entendida.

Existe uma grande dificuldade em relacionar os três níveis de descrição dos fenômenos químicos e também há dificuldades com a linguagem ambígua utilizada nos diferentes níveis de representação, devido a aspectos complexos e muitas vezes de difícil interpretação intrínsecos ao próprio conceito químico. Acrescenta-se a isso a instrução previamente recebida, pois muitos alunos estão acostumados a ter contato com as informações já "prontas", sem a reflexão devida. Além disso, há mais utilização pelo aluno de noções macroscópicas ao tentar refletir sobre a dimensão microscópica, conforme apontam Caamaño (2007) e Freire, Silva Júnior e Silva (2012).

Um exemplo de noção equivocada muito comum nos modelos mentais construídos pelos alunos sobre as reações de sistemas eletroquímicos, é a de que a oxidação (perda de elétrons) e a redução (ganho de elétrons) poderiam ocorrer independentemente uma da outra, como presente no apontamento feito por Caamaño (2007).

Segundo Russel (1997), os obstáculos em visualizar e imaginar o mundo abstrato das moléculas e espécies atômicas e/ou iônicas, podem ser diminuídos pelo emprego em sala de aula de materiais imagéticos, como animações, associados à demonstração do comportamento das espécies químicas no nível atômico-molecular. O uso de tais recursos facilita o desenvolvimento de modelos mentais com menores incongruências, já que o aluno terá um acesso aos diferentes níveis representacionais, e poderá relacioná-los com maior facilidade.

De acordo com Gibin (2009), para que o docente obtenha conhecimentos acerca dos modelos mentais em desenvolvimento pelos estudantes, é necessário que eles participem nas aulas, de modo que suas noções em construção sobre o fenômeno químico estudado sejam levadas em consideração ao longo das explicações. Portanto, atentar para as teorias apresentadas pelo aluno, para explicar um tema, pode auxiliar a desenvolver seu pensamento crítico, através da elaboração de hipóteses, as quais se tornam do conhecimento do professor.

A construção de animações pelos alunos que representam determinado fenômeno submicroscópico também é considerada uma atividade que desenvolve ideias e colabora para a internalização da realidade na forma de modelos mentais cada vez mais adequados para descrever os sistemas químicos. O uso de ferramentas imagéticas, como simulações e animações a exemplo das animações em *stop motion*, colaboram para o desenvolvimento de habilidades associadas à criatividade, imaginação e memória (ONTORIA; LUQUE; GÓMEZ, 2008).

Quanto ao *Stop Motion*, trata-se de uma técnica de geração de animações que se relaciona com as origens do cinema, em que fotografias sequenciais são tiradas de um ou vários objetos, de forma que a posição destes objetos varie ligeiramente de uma fotografia para outra. Quando tal sequência de fotografias é vista em uma velocidade adequada, obtém-se a noção de movimentação dos elementos presentes nas fotografias, devido ao fenômeno da persistência retiniana (HURTADO, 2016). Tais animações podem ser feitas por meio de aplicativos como o *Stop Motion Studio*, de obtenção gratuita no *Google Play Store*, e o emprego destas animações em meio educativo é vantajoso quando se requer a visualização de assuntos químicos abstratos, assim como a reflexão e participação ativa dos estudantes (ESTEVAM; SILVA; SACRAMENTO, 2020; RODRIGUES, ALMEIDA; ESPÍRITO SANTO, 2020). Diante disso, é válido ressaltar que as tecnologias digitais no ensino científico em diversos níveis e na formação de professores, potencializam a aprendizagem crítica, ativa e criativa, conforme constataram Moura e Chagas (2023) e Barboza et al. (2022).

Desse modo, o objetivo deste trabalho foi realizar análises de informações contidas em atividades, como respostas a um questionário, relatórios prático-reflexivos e principalmente animações realizadas em *stop motion*, com o intuito de se investigar a construção de modelos mentais sobre a pilha de Daniell. E também foi objetivo promover modificações nos modelos mentais dos envolvidos, corrigir eventuais erros ao longo das explicações, e apresentar-lhes no final o modelo mais adequado para explicar o funcionamento físico-químico do sistema eletroquímico, para que pudessem ter uma visão mais profunda e crítica sobre o fenômeno químico em nível submicroscópico.

2. Metodologia

A pesquisa contou com a realização de um minicurso de nove horas, organizado em três dias, com duração de três horas por dia, no qual foi abordado o tema eletroquímica, diretamente envolvido com o funcionamento de pilhas. A explicação dos conceitos procedeu-se através de animações em *stop motion*, representativas das espécies químicas em nível submicroscópico, e também por meio de aulas explicativas e atividades experimentais práticas.

O minicurso oferecido em setembro do ano de 2018, foi feito com a participação de 23 alunos do Ensino Médio de uma escola pública do interior do Estado de São Paulo. Os estudantes consistiram em 5 alunos do 1º ano, 7 alunos do 2º ano e 11 alunos do 3º ano, se tratando de um público alvo cuja idade variou entre 15 e 17 anos. A coordenação pedagógica da escola solicitou que o minicurso fosse oferecido a todas as séries, devido ao fato de já terem percebido dificuldades em geral dos alunos com esta temática, a qual poderia incluir conceitos de estequiometria e reações químicas trabalhadas no 1º e 2º anos. Conseqüentemente, assuntos

como potencial padrão de redução e reações de oxirredução poderiam abarcar assuntos trazidos no 2º e 3º ano, pois a coordenação escolar verificou defasagens na aprendizagem destes temas por estas séries, principalmente por alunos do 3º ano.

Se realizou um convite aos alunos, ao comunicá-los presencialmente e com a autorização da gestão escolar, sobre o oferecimento do minicurso e sobre como seria seu funcionamento em três dias, no contra turno escolar. Os alunos interessados e seus pais, assinaram um termo de consentimento que continha informações sobre o minicurso e a utilização de dados para uma pesquisa, de modo que os estudantes não seriam identificados, e poderiam se ausentar e desistir do minicurso a qualquer momento, sem prejuízos ao seu desempenho escolar. Em tal termo de consentimento informou-se sobre a ausência de riscos físicos e subjetivos aos alunos, pois se empregou nas atividades experimentais reagentes diluídos, de concentração em $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$, e as atividades conceituais não influenciariam em notas da disciplina de Química. Os pais ou responsáveis dos alunos também deveriam assinar uma cópia do termo de consentimento, o qual seria entregue assinado aos pesquisadores no 1º dia do minicurso.

A pesquisa se mostrou de natureza qualitativa, pois considerou-se aspectos descritivos, analíticos e houve necessidade de compreensão das concepções dos sujeitos envolvidos. Conforme Günter (2006), em uma metodologia qualitativa trabalha-se principalmente com a elaboração de conceitos, com a análise subjetiva e pode haver presença de materiais visuais ou não. Os modelos mentais são pessoais, reflexivos, e podem ser diferentes entre um grupo de pessoas, o que impede sua análise exata, e nos leva a considerar a sua subjetividade. Nesse sentido, Flick (2009, p. 25) comenta que na pesquisa qualitativa “a subjetividade do pesquisador, bem como daqueles que estão sendo estudados, tornam-se parte do processo de pesquisa [...]”.

Um questionário com questões abertas e discursivas foi aplicado no primeiro dia, por meio do qual se procurou ter uma visão geral sobre os conhecimentos iniciais dos alunos quanto à eletroquímica. O questionário envolveu representações de ganho e perda de elétrons, geração de corrente elétrica, e identificação do cátodo e do ânodo dos sistemas eletroquímicos conforme as reações de oxidação e redução e a carga dos eletrodos.

Posteriormente, o seguinte tópico foi ministrado: “Introdução ao Stop Motion”, no qual foi explicado sobre o vínculo existente entre esta técnica de produção de animações e os instrumentos mais antigos que deram origem ao cinema moderno. Foi explicado sobre o funcionamento do aplicativo quanto à produção das animações, e os próprios alunos inicialmente fizeram vídeos curtos simulando o movimento de um objeto inanimado, como uma caneta ou alguma figura de desenho animado confeccionada por eles mesmos.

Também foi introduzido o tema “Pilhas e Eletrólise”, onde uma breve história da evolução das pilhas foi explicada, partindo das pesquisas de Luigi Galvani e Alessandro Volta até se discutir sobre a pilha de John Frederic Daniell, e o seu funcionamento em termos de reações submicroscópicas. Na etapa posterior, os alunos se organizaram em 6 grupos de até 5 componentes, e aplicou-se o experimento da Pilha de Daniell com as soluções aquosas de sulfato de cobre e sulfato de zinco $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$. Houve identificação da voltagem gerada pela pilha através de um multímetro. A experimentação é uma importante metodologia que pode facilitar a aprendizagem dos conceitos teóricos, desde que acompanhada de explicações, discussões ou

alguma reflexão (ROCHA et al., 2017). Neste sentido, Maldaner (2003) cita a importância de realizar análises, reflexões ou debates sobre o fenômeno observado em práticas experimentais.

Para que ocorressem tais análises e reflexões, após a realização dos experimentos, foi proposto que os alunos fizessem relatórios individuais e manuscritos para que tivessem uma melhor concepção do funcionamento empírico do sistema eletroquímico. No entanto, percebeu-se que durante tal atividade, os alunos dialogavam em grupos sobre os conceitos do relatório experimental. E no mesmo dia da realização do experimento da Pilha de Daniell, os alunos se organizaram nos seus respectivos grupos e, utilizando a técnica das animações em *stop motion*, elaboraram pequenas animações sobre o funcionamento da Pilha de Daniell. Para isso, receberam uma quantidade de figuras impressas dos íons, átomos, moléculas e imagens de lâmpadas, e fios condutores, além de uma placa branca de PVC distribuída a cada grupo, que serviu de pano de fundo para a produção do vídeo. Cabia a cada grupo inicialmente discutir e planejar a produção da animação, ou seja, cada aluno apresentava o seu modelo sobre o conceito e o grupo decidia posteriormente sobre o planejamento da animação.

O terceiro dia se iniciou com o recolhimento dos relatórios produzidos pelos alunos. As animações produzidas pela pesquisadora e aquelas desenvolvidas pelos grupos foram exibidas a todos os alunos, onde os mesmos tiveram contato com o material por meio da sua disponibilização em um grupo de *WhatsApp* criado com finalidades educativas de comunicação com todos os integrantes de todas as séries (1º, 2º e 3º anos do Ensino Médio).

Obtiveram-se dados relativos ao modelo mental dos alunos a partir das animações em *stop motion* produzidas por eles, além do questionário aplicado no início do minicurso, e também dos relatórios escritos após a realização do experimento da Pilha de Daniell. Considerou-se os questionários aplicados no início do minicurso, pois estes forneceram os dados que podem realmente gerar uma comparação entre o modelo mental dos alunos inicial e posteriormente à realização do minicurso. Os dados correspondentes foram classificados nas categorias apresentadas a seguir:

- **Compreensão Total:** Nesta categoria se adéquam os alunos que responderam de forma totalmente correta de 80% a 100% das questões;
- **Compreensão Mediana:** Os alunos que demonstraram ter conhecimento sobre o tema e que obtiveram êxito (total ou parcial) em 50% a 80% das questões são classificados nesta categoria;
- **Compreensão Baixa:** Nesta categoria, os alunos não souberam responder adequadamente ou não tinham um modelo mental definido sobre o tema. Alunos que responderam adequadamente de 0% a 50% (acertos parciais) das questões se adéquam nesta categoria.

As categorias foram elaboradas com base no fato de que qualquer tipo de expressão poderia representar uma noção prévia sobre os conceitos de eletroquímica. Para isso, respostas parcialmente corretas também foram consideradas, assim como analisou-se detalhes ou significados dos termos empregados. Uma compreensão baixa considerou apenas acertos nulos ou baixo número de acertos parciais. A compreensão mediana englobou respostas totalmente corretas e também parcialmente corretas. No entanto, uma compreensão alta exigiu respostas totalmente corretas. A análise de respostas em questionário, relatórios e animações com

geração de categorizações seguiu o referencial de Johnson-Laird (1983), pois procurou-se identificar os *tokens* dos modelos mentais, interpretar os seus significados, descrevê-los e agrupá-los conforme suas características semelhantes.

A estrutura do relatório envolveu: Introdução, Objetivos, Materiais e Métodos, Resultados e Discussão e Conclusão. Os dados gerados por meio dos relatórios permitiram obter uma visão geral do quanto os alunos conseguiram compreender o fenômeno com as práticas experimentais, em termos de envolvimento com a prática e em tentar explicar os acontecimentos visualizados. Por isso, optou-se por categorizar os relatórios nos seguintes parâmetros, os quais foram elaborados também conforme todos os tipos de expressões em texto ou imagens apresentadas:

- Alto Discernimento Teórico-Empírico: O estudante demonstrou reflexões sobre a parte prática, e conseguiu determinar com clareza as explicações para as reações observadas;
- Médio Discernimento Teórico-Empírico: O aluno pode ter compreendido a parte experimental, mas não explicou adequadamente ou houve ausência de explicações sobre as reações em nível submicroscópico. Nesta categoria também se enquadram os casos com a presença de explicação teórica dos fenômenos e ausência de envolvimento e compreensão da prática;
- Baixo Discernimento Teórico-Empírico: São classificados nesta categoria os relatórios onde o estudante não demonstrou refletir sobre os procedimentos práticos, nem ter tentado explicar conceitualmente as reações empíricas observadas.

A análise dos dados gerados pelas animações em vídeo foi feita segundo uma categorização envolvendo os seguintes elementos ("*tokens*") expressos nos modelos mentais, conforme a teoria de Johnson-Laird (1983), em que os modelos mentais são compostos por relações entre os *tokens*:

- Movimentação adequada dos elétrons no sentido do ânodo (pólo negativo) para o cátodo (pólo positivo);
- Representação dos processos de oxirredução, a perda de dois elétrons pelo Zn^0 se transformando em Zn^{2+} . E a redução do Cu^{2+} a Cu^0 pela incorporação de dois elétrons. Trata-se de *tokens* sobre a movimentação eletrônica entre os íons;
- Análise da estequiometria da reação. Corresponde aos *tokens* sobre a quantidade de íons, elétrons e moléculas e seu comportamento dinâmico no sistema;
- Perda de massa pelo eletrodo de zinco e ganho de massa pelo eletrodo de cobre. São *tokens* relacionados aos processos de oxidação e redução;
- Representação da lâmpada "acesa" ou "apagada", relacionada com a corrente elétrica.

Além desses fatores, também se optou pela comparação entre as animações de cada grupo quanto à complexidade e também pela orientação espacial e cinemática das espécies químicas. Sendo assim, realizou-se demonstrações dos resultados, dos aspectos visualizados e de dados obtidos na execução das etapas do minicurso, por meio de tabelas e imagens.

3. Resultados e discussão

A apresentação dos resultados irá se iniciar com os dados relativos ao primeiro questionário aplicado, já que estes resultados iniciais são o ponto de partida para realizar a análise dos modelos mentais desenvolvidos ao longo do minicurso, ou seja, expressam o conhecimento inicial dos alunos a respeito de conceitos básicos da eletroquímica.

Os acertos parciais observados estão envolvidos com respostas que não foram justificadas ou que não tiveram a devida explicação por parte do aluno, e que por isso não poderiam ser consideradas como uma resposta 100% adequada. O maior número de acertos parciais é apresentado na figura 1 e demonstra que os alunos, embora reconheçam os termos químicos empregados, possuem uma visão superficial do sistema submicroscópico, pois o devido entendimento na forma de explicações se mostrou na maioria das vezes ausente.

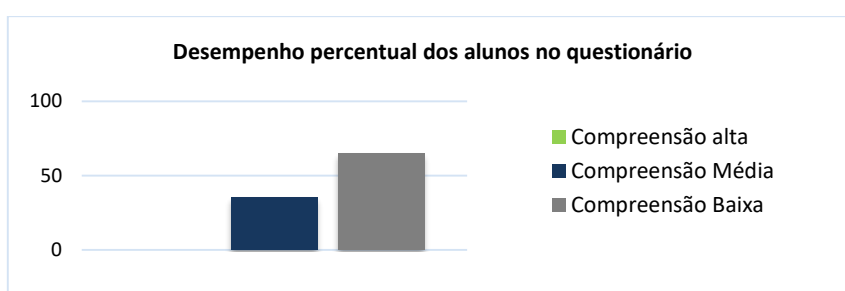


Figura 1 - Categorização quanto ao nível de compreensão dos alunos. Fonte: os autores.

Foram observadas dificuldades dos alunos em determinar principalmente a polaridade dos eletrodos na pilha de Daniell. Por exemplo, estes tendiam a descrever o cátodo (polo +) como sendo de sinal negativo, indício de uma possível confusão com os sinais dos eletrodos em uma eletrólise, pois esta sim possui cátodo de sinal negativo. Além disso, não conseguiam descrever a constituição de uma corrente elétrica. Trata-se de algo que os alunos não reconheceram na maioria das vezes, tornando seus modelos expressos repletos de dúvidas.

Nenhum aluno obteve um êxito completo em todas as questões do questionário. 35% dos alunos obteve uma compreensão média. E 65% dos alunos obteve um nível de compreensão baixa. Tais resultados apenas confirmaram que o assunto relativo a pilhas é um tanto quanto difícil e complexo para grande parte dos alunos do Ensino Médio, principalmente por se tratar de um tema que abrange muito do entendimento em nível submicroscópico da matéria. Para Locatelli e Arroio (2017), a complexidade em se associar os níveis macroscópico (visível), simbólico (fórmulas, códigos) e submicroscópico, é uma das causas das dificuldades dos alunos na aprendizagem da eletroquímica.

Dito isso, é importante que os alunos relacionem os níveis macroscópico e submicroscópico, pela realização de experimentos e com o desenvolvimento das animações, o que possibilitaria uma maior compreensão do fenômeno químico e auxiliaria na construção do modelo mental pelo aluno. O acompanhamento das modificações nos modelos mentais dos alunos também foi realizado segundo análise do relatório experimental desenvolvido por eles.

3.1. Análise de dados dos relatórios experimentais

O experimento da Pilha de Daniell foi realizado em grupos, com utilização de uma cuba eletroquímica, uma cuba semipermeável (ponte salina), soluções aquosas de CuSO_4 e ZnSO_4 , além de eletrodos de cobre e zinco e um medidor de voltagem. Todos os alunos manipularam e observaram o sistema eletroquímico e também a voltagem gerada pela pilha.

Cerca de 13% (3 alunos) conseguiu se enquadrar na categoria “Alto Discernimento Teórico-Empírico”, o que demonstra que os alunos se expressaram conforme orientações e explicações da pesquisadora e souberam realizar observações, buscar dados e refletir conceitualmente por meio de diálogos, consultas em livros e materiais disponibilizados pela pesquisadora para explicar o fenômeno. E, portanto, efetuaram o relatório e organizaram devidamente as informações e discussões. Por exemplo, um dos alunos (Aluno A) categorizados em “Alto Discernimento Teórico Empírico” conseguiu desenvolver muito bem a Introdução, já que considerou informações acerca dos conceitos submicroscópicos sobre pilhas, além de outras informações que não foram discutidas em sala de aula/laboratório:

[...] quando o processo químico ocorre de forma não espontânea, este é introduzido por uma corrente elétrica [...] em 1836, John Frederic Daniell criou um tipo de pilha usando Zinco e Cobre metálico e soluções de sulfato de cobre e zinco. Essa pilha foi rapidamente incorporada pelos ingleses e americanos em seus sistemas telegráficos. (Comentário retirado da Introdução do Relatório – Aluno A).

A maioria dos relatórios, (70%), entretanto, se enquadrou na categorização “Médio Discernimento Teórico-Empírico”, por que se observou o envolvimento com algumas etapas da parte prática nos “Procedimentos Experimentais” abordados, mas sem a devida explicação científica dos fenômenos observados: redução dos íons de cobre metálico, deposição de uma camada de cobre no cátodo, e oxidação e desgaste da placa de zinco metálico. Na maioria das vezes tais explicações conceituais estavam citadas pela metade, ou se encontravam em outra categoria do relatório, como nas “Conclusões” ou no tópico de “Introdução”.

Cabe ressaltar ainda que para o desenvolvimento do relatório experimental e descrever seus aspectos conceituais e teóricos, os estudantes poderiam consultar livros de Química, materiais disponibilizados pela pesquisadora e empregados em momentos do minicurso, além de pesquisas em materiais virtuais.

Por exemplo, um dos alunos (Aluno B) enquadrados na categoria “Médio Discernimento Teórico-Empírico”, não considerou muitas informações teóricas no tópico da Introdução, a qual consistiu exatamente apenas no que é citado abaixo, sem discussões sobre o sistema gerar ou não energia espontaneamente, além da ausência de citação de eletrodos e soluções envolvidas:

As pilhas constituem fontes móveis de energia elétrica utilizadas no cotidiano, funcionando basicamente transformando a energia das reações de oxirredução (reações de perda e ganho de elétrons) em energia elétrica [...]. (Introdução do Relatório – Aluno B).

Entretanto, o aluno apresentou de forma correta os “Objetivos”, “Materiais e Métodos” e “Procedimentos Experimentais”, sem considerar, no entanto, os “Resultados e Discussão”, os

quais estavam ausentes. As informações que deveriam estar contidas neste tópico foram citadas brevemente na “Conclusão”:

Cheguei à conclusão de que na experiência da Pilha de Daniell, a placa de zinco sofreu oxidação (perca), com isso, a placa de cobre passou a ganhar uma quantidade de elétrons, esse processo é chamado de redução. O mesmo acontece na experiência da Pilha de Vinagre [...]. (Trecho retirado da conclusão do relatório – Aluno B).

Algumas discussões, como a voltagem medida com o multímetro, de aproximadamente 1,1 V, o que está de acordo com o valor teórico, estavam presentes no tópico referente à “Introdução” ou na “Conclusão” ao invés de serem abordados nos “Resultados e Discussão”.

Um total de 4 alunos (17,4%) se enquadraram em “Baixo Discernimento Teórico – Empírico”, pois em seus relatórios não haviam muitos dados experimentais, citações ou explicações científicas para o fenômeno em estudo. Um aluno (Aluno C), por exemplo, não apresentou informações suficientes sobre as reações químicas relativas às pilhas, e os poucos relatos estão associados à eletrólise. Há, portanto, mais uma vez uma confusão entre os dois sistemas eletroquímicos.

A corrente elétrica provoca a neutralização dos íons em solução, existem dois principais tipos de eletrólise: eletrólise ígnea e eletrólise aquosa. Eletrólise ígnea: ocorre quando a passagem de corrente elétrica se dá em uma substância iônica liquefeita, isto é, fundida. (Citação retirada da Introdução – Aluno C).

Além disso, por parte do aluno C, houve ausência de procedimentos experimentais e de explicações relacionadas ao que foi observado no experimento da pilha de Daniell. Entretanto, cabe relatar que ao longo do experimento realizado, os alunos demonstraram grande interesse em compreender o funcionamento da pilha de Daniell, pois houve curiosidade em descobrir as funções dos equipamentos e quais seriam as reações entre reagentes empregados. E durante a elaboração do relatório experimental, os estudantes demonstravam participação ativa, uma vez que dialogavam entre si para buscar conceitos teóricos que explicassem o fenômeno visualizado, além de perguntar à pesquisadora como as reações haviam ocorrido. A partir daí, deu-se início a momentos de discussão e reflexão sobre o fenômeno.

3.2. Animações em *Stop Motion*

A maioria das figuras impressas, utilizadas pelos alunos para montar as animações, seguiram aproximadamente um tamanho em escala. Por exemplo, os cátions são menores que os átomos que lhes deram origem, e o ânion sulfato é a espécie química com o maior tamanho. Entretanto, o elétron não foi representado em escala, pois essa espécie química é muito menor que os átomos e íons presentes no sistema. No total, seis grupos se reuniram para o desenvolvimento das animações. A figura 2 expressa a animação produzida pelo grupo 1.

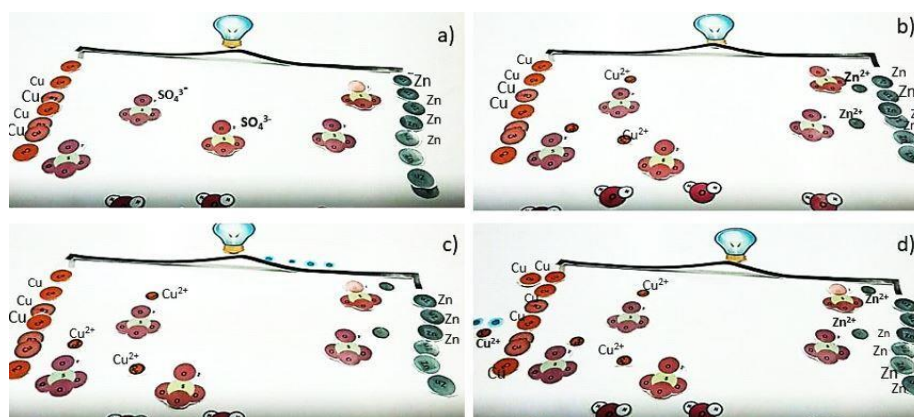
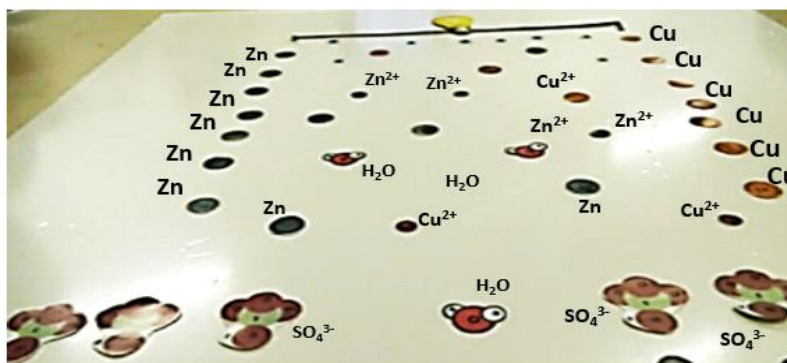


Figura 2 - Representação realizada em Stop Motion pelo Grupo 1. Fonte: os autores.

Mesmo com erros na natureza cinemática, o grupo 1 representou corretamente a estequiometria das reações de oxidação e redução: pode-se perceber pela figura 2, que inicialmente haviam 8 átomos de Zn no eletrodo de zinco (eletrodo à direita), os quais repentinamente passaram a ser 6 átomos. Houve o surgimento de dois íons Zn^{2+} em solução e também de 4 elétrons (a oxidação de cada átomo gera dois elétrons, conforme as Figuras 2b e 2c), os quais reduziram dois íons Cu^{2+} que se tornaram átomos neutros de cobre metálico depositado sobre o eletrodo.

As maiores dificuldades observadas podem ser demonstradas pela animação desenvolvida pelo grupo 2, onde na figura 3 a seguir, pode-se encontrar algumas características incongruentes à movimentação molecular e iônica do sistema.



Não há coerência no surgimento de moléculas e íons. E não segue a estequiometria

Figura 3 - Animação desenvolvida pelo grupo 2. Fonte: os autores

Conforme a figura 3, o grupo 2 não representou as reações de oxirredução de forma estequiométrica, pois os íons e elétrons surgiam ao acaso e de maneira aleatória no sistema. Entende-se, porém, que houve compreensão quanto à natureza da corrente elétrica, que se manifesta na forma de um fluxo de elétrons. Pela leitura e interpretação da figura 4, é possível constatar que o grupo 3 não representou de forma eficaz a oxidação dos átomos de zinco, com consequente surgimento dos elétrons. Também houve falhas na representação da corrente elétrica, conforme a figura 4:

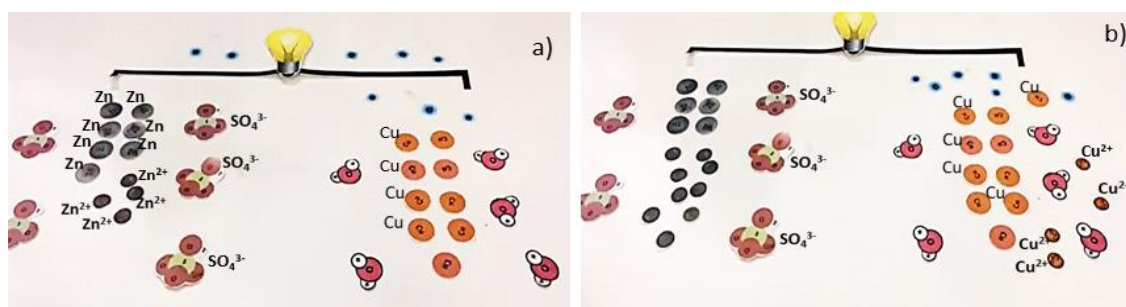


Figura 4 - Animação desenvolvida pelo grupo 3. Fonte: os autores.

Em termos estequiométricos, o número de íons Zn^{2+} formados, inicialmente está de acordo com o número de elétrons na corrente (figura 4a), mas posteriormente esta correspondência entre o número de elétrons e número de íons Zn^{2+} desaparece (o número de elétrons deveria permanecer sendo o dobro do número de Zn^{2+}) (figura 4b). As animações desenvolvidas pelos grupos 4, 5 e 6 foram em certos aspectos semelhantes entre si, nos quais as inconsistências também foram observadas nas animações dos grupos apresentados anteriormente. Como as animações destes três últimos grupos se assemelham, a animação desenvolvida pelo grupo 4 foi tomada como exemplo, e está expressa na figura 5.

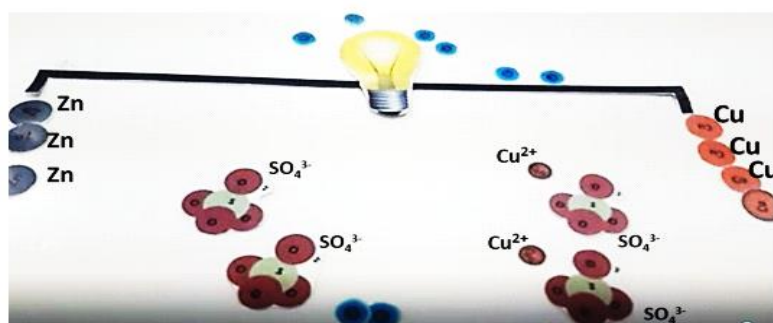


Figura 5 – Animação desenvolvida pelo grupo 4. Fonte: os autores.

As inconsistências observadas nestes três últimos grupos são: ausência de consideração dos fatores estequiométricos do sistema, pois o número de elétrons é tido pelos alunos como independente do número de átomos de zinco oxidados, o que é uma visão incorreta do sistema. Foi observado o surgimento aleatório das espécies químicas, a ausência de representação da oxidação dos átomos de zinco e visões distorcidas da cinemática do sistema, como a movimentação dos íons e dos elétrons de forma aleatória, ou seja, que não demonstrava alguma coerência em seus posicionamentos e direções a fim de se expressar as reações eletroquímicas.

Por outro lado, a representação da redução dos íons Cu^{2+} a Cu^0 é correta nas animações de todos os outros grupos, menos na animação do grupo 4. Este grupo representou também uma visão distorcida do sistema, que não foi encontrada nas outras animações: a movimentação dos elétrons tanto em solução aquosa quanto no fio condutor. Na solução, entretanto, ocorre apenas a locomoção das espécies carregadas (íons) e não dos elétrons em si que se movem apenas nos fios condutores. Trata-se de uma não distinção entre um elétron e uma espécie carregada, conforme também observado na pesquisa de Gibin e Ferreira (2010) e Santos, Cortes Junior e Santos (2021). Um resumo dos resultados está presente no quadro 1 a seguir, onde estão presentes informações sobre os níveis de compreensão que os alunos obtiveram

primeiramente (compreensão média – CM e compreensão baixa – CB) no questionário, além de dados sobre o seu desempenho em termos participativos e reflexivos nos relatórios, sendo observado o seu discernimento teórico-empírico conforme expresso na legenda do quadro 1. Também estão presentes no quadro 1, informações sobre os modelos mentais que os alunos representaram imageticamente em animações, como as reações de oxirredução, movimentação das espécies e reconhecimento da natureza dos eletrodos.

Quadro 1: Resultados obtidos por meio do Questionário, Relatórios e desenvolvimento de animações

Alunos	Questionário*	Relatório**	Alunos	Questionário	Relatório
A	CB	ADTE	M	CB	MDTE
B	CB	MDTE	N	CM	ADTE
C	CB	BDTE	O	CB	MDTE
D	CM	MDTE	P	CM	MDTE
E	CM	MDTE	Q	CB	MDTE
F	CB	MDTE	R	CB	MDTE
G	CM	MDTE	S	CB	MDTE
H	CB	BDTE	T	CB	MDTE
I	CM	BDTE	U	CM	MDTE
J	CB	MDTE	V	CB	ADTE
K	CM	MDTE	W	CB	BDTE
L	CB	MDTE			
Atividade com animação	Alunos presentes nos grupos	Reação de oxidação representada	Reação de redução representada	Reconhecimento da polaridade dos eletrodos	Movimentações de íons, átomos, moléculas e elétrons
Grupo 1	E, H, I	Correto quanto a estequiometria.	Correto quanto a estequiometria.	O sentido da movimentação eletrônica está de acordo com a polaridade dos eletrodos, de forma que os elétrons que surgem no ânodo percorrem o circuito até a placa de cobre (cátodo)	Há pequenos erros de movimentação, como surgimento repentino de íons.
Grupo 2	C, G, L, R, V	Incorreto. Há surgimento repentino de íons Zn^{2+}	Incorreto. Não obedece a estequiometria.		Incoerente. Não há representação de interações eletrodo-íon. Mas o sentido dos elétrons é correto.
Grupo 3	A, M, K, W	Inicia de forma correta. Posteriormente se torna errôneo.	Correto quanto a estequiometria.		A movimentação iônica é incorreta, e os elétrons entram em contato com a solução.
Grupo 4	B, J, S, U	Incorreto quanto a estequiometria.	Incorreto quanto a estequiometria.		Há casos de surgimento repentino e sem sentido de íons e moléculas. A movimentação eletrônica é correta.
Grupo 5	F, N, P				
Grupo 6	D, O, T, Q				

*CB = Compreensão Baixa; *CM = Compreensão Média; **ADTE = alto discernimento teórico-empírico;

**MDTE = médio discernimento teórico-empírico; **BDTE = Baixo discernimento teórico-empírico.

Fonte: os autores.

Conforme o quadro 1, pode-se observar que no questionário, a maioria dos estudantes (15) apresentou uma compreensão baixa. E os demais apresentaram uma compreensão média, o que indica que inicialmente, os estudantes possuíam dificuldades sobre os conceitos relacionados à eletroquímica. No relatório, houve um predomínio de um médio discernimento teórico-empírico (16 estudantes). Pode-se afirmar que houve uma melhoria em geral das concepções em relação ao questionário.

Em relação à animação, o grupo 1 desenvolveu a animação que mais se aproxima em complexidade em relação ao funcionamento do sistema, desconsiderando-se os eventuais erros

na representação da oxidação dos átomos de zinco. Em termos de observação dos aspectos gerais, pareceu haver alguma evolução no desenvolvimento dos modelos mentais no que se refere a uma melhor compreensão do fenômeno estudado, já que anteriormente (pelo Questionário prévio aplicado) até mesmo o fluxo retilíneo de elétrons (corrente elétrica) era um conceito extremamente abstrato para todos os alunos. Os demais grupos apresentaram dificuldades em relação ao aspecto dinâmico do fenômeno e não levaram em conta a estequiometria entre as espécies químicas. Entretanto, no final do minicurso, quando foi exibida aos alunos a animação feita pela pesquisadora, que procurava demonstrar o fenômeno de forma mais próxima do ponto de vista científico, os alunos discutiram entre si e cada grupo percebeu por conta própria, onde estavam seus aspectos corretos e falhos, o que desencadeou discussões e reflexões críticas entre eles, sobre o que fariam para deixar sua representação mais coerente.

4. Considerações finais

O método de ensino empregado, de produção de vídeos com o aplicativo *Stop Motion* com utilização de figuras representativas de espécies químicas atômicas e subatômicas, se mostrou vantajoso, através do qual o aluno conseguiu desempenhar o papel protagonista do processo de ensino-aprendizagem, já que este passou a manipular a matéria no nível submicroscópico, tentou representar as reações eletroquímicas envolvidas, e passou a discutir criticamente e procurar por melhores compreensões sobre o conceito estudado. Para isso, foi fundamental também o papel da atividade de experimentação realizada antes do desenvolvimento das animações, pois durante a realização do experimento e a confecção do relatório, os estudantes demonstraram curiosidade, interesse em dialogar com os colegas e com a pesquisadora, e em pesquisar, para compreender e refletir melhor sobre os conceitos. Neste processo houve um maior envolvimento do aprendiz, contribuindo para uma construção mais eficaz de representações internas correspondentes aos modelos mentais. Associações entre os três níveis de representação estiveram presentes em reflexões críticas sobre os acontecimentos empíricos (experimento químico realizado em nível macroscópico), seus conceitos teóricos demonstrados em fórmulas e códigos (nível simbólico) e manipulação de figuras que representavam íons e moléculas (nível submicroscópico).

Por meio da observação das animações produzidas, pôde-se identificar os principais pontos onde os alunos tiveram maior dificuldade em “visualizar mentalmente” e criar o modelo mental sobre um determinado fenômeno químico, seja relacionado à perda e ganho de elétrons, reações de oxirredução, movimentação das espécies químicas em direção aos polos da pilha ou entendimento da estequiometria das reações. Os fenômenos químicos que se mostraram mais difíceis de serem representados pelos alunos foram as trocas de elétrons que ocorrem em reações de oxirredução, e principalmente a estequiometria das reações. É compreensível que este último fenômeno químico (coeficiente estequiométrico específico de um reagente em relação ao outro), seja de difícil representação, pois envolve um conhecimento muito específico das espécies químicas subatômicas e de como as espécies se movimentam, visto que algumas reações e acontecimentos ocorrem de forma simultânea no sistema.

Cabe salientar que os modelos mentais são altamente dinâmicos, e tendem a se modificar com o tempo, seja no sentido de aprimoramento ou de esquecimento e regressão. Percebeu-se que melhorias ocorreram ao se estimular discussões críticas ao longo da elaboração do relatório experimental, e principalmente quando os alunos desenvolveram a animação e ao observarem as animações de cada grupo e a feita pela pesquisadora, questionaram a si mesmos sobre a disposição das espécies submicroscópicas em sua animação. Os alunos perceberam (perante reflexão em grupos) seus próprios erros e acertos, discutindo sobre como melhorariam suas representações. Tais reflexões puderam suscitar em melhorias em seus modelos mentais. Portanto, é importante que o professor conheça os modelos mentais em desenvolvimento dos alunos, para que eventualmente atue na explicação e detalhamento de aspectos ainda não compreendidos.

5. Referências

- BARBOZA, T. B.; SANTOS, C. M.; KOHORI, R. K.; GIBIN, G. B. Uso de um aplicativo na construção de representações de moléculas orgânicas durante o ensino remoto. **Ensino de Ciências e Tecnologia em Revista**, Santo Ângelo, v. 12, n. 3, p. 131-148, 2022.
- BORGES, A. T. Como evoluem os Modelos Mentais. **Revista Ensaio**, Belo Horizonte, v. 1, n. 1, p. 66-92, 1999.
- BUESO, A.; FURIÓ, C.; MANS, C. Interpretación de las reacciones de oxidación reducción por los estudiantes: Primeros resultados. **Enseñanza de las ciencias**, Barcelona, v. 6, n. 3, p. 244-250. 1988.
- CAAMAÑO, A. La enseñanza y el aprendizaje de la química. *In*: JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M. P. (Coord.) et al. **Enseñar Ciencias**. Barcelona: Graó, 2007, p. 95-118.
- CARAMEL, N. J. C.; PACCA, J. L. A. Concepções Alternativas em Eletroquímica e Circulação da Corrente Elétrica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, São Paulo, v. 28, n. 1, p. 7-26. 2011.
- COSTA, C. **Educação, imagem e mídias**. São Paulo: Editora Cortez, 2005, 198p.
- ESTEAM, I. H. S.; SILVA, E. F. R.; SACRAMENTO, A. P. S. Elaboração e uso de animações como estratégia para o ensino de mecanismos das reações orgânicas. **Química Nova**, São Paulo, v. 43, n. 8, p. 1154-1162, 2020.
- FLICK, U. **Introdução à pesquisa qualitativa**. 3 ed. Porto Alegre: Artmed, 2009, 408p.
- FREIRE, M. S.; SILVA JÚNIOR, C. N.; SILVA, M. G. L. Dificuldades de aprendizagem no ensino de eletroquímica segundo licenciandos de química. *In*: **VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, Campinas, 2012.
- FREITAS, C. J. A.; GIBIN, G. B. Modelos mentais de graduandos em Química: Modelos expressos em animações sobre dissolução iônica. *In*: Encontro Toledo de Iniciação Científica (ETIC), 12., 2016, Presidente Prudente. **Anais [...]** Presidente Prudente, 2016.
- GARCÍA, J. J. G.; PALACIOS, F. J. P. ¿Cómo usan los profesores de química las representaciones semióticas? **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 5, n. 2, p. 247-259, 2006.

GIBIN, G. B. **Investigação sobre a construção de modelos mentais para o conceito de soluções por meio de animações**. 2009 124f. Dissertação (Mestrado em Química), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2009.

GIBIN, G. B.; FERREIRA, L. H. A formação inicial em Química baseada em conceitos representados por meio de modelos mentais. **Química Nova**, v. 33, n. 8, p. 1809-1814, 2010.

GOES, L. F.; FERNANDEZ, C.; AGOSTINHO, S. M. L. Concepções e dificuldades de um grupo de professores de química sobre conceitos fundamentais de eletroquímica. *In: Encontro Nacional de Ensino de Química*, 18., 2016, Santa Catarina. **Anais [...]** Florianópolis, 2016.

GÜNTHER, H. Pesquisa Qualitativa versus Pesquisa Quantitativa: Esta é a Questão? **Psicologia: Teoria e Pesquisa**, Brasília, v. 22, n. 2, p. 201-210. 2006.

JOHNSON-LAIRD, P. N. **Mental models: towards a cognitive Science of language, inference, and consciousness**. Cambridge, MA: Harvard University Press, 513 p. 1983.

JOHNSTONE, A. H. **The development of chemistry teaching**. *University Chemistry Education*, v. 70, n. 9, p. 701-705, 1993.

LOCATELLI, S. W.; ARROIO, A. Dificuldades na transição entre os níveis simbólico e submicro – Repensar o macro pode auxiliar a compreender reações químicas? *In: Congresso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias*, 10., Sevilla, p. 4239-4244, setembro. 2017.

MALDANER, O. A. **A Formação inicial e continuada de professores de química: Professor/Pesquisador**. Ijuí: Editora Unijuí. 424p. 2003.

MENDES, M. **Ensino de eletroquímica sob a proposta CTSA na formação docente**. 2018 91f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Química), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2018.

MOREIRA, M. A.; GRECA, I. M.; PALMERO, M. L. R. Modelos mentales y modelos conceptuales en la enseñanza & aprendizaje de las ciencias. **Revista Brasileira de Investigación em Educação em Ciências**, v. 2, n. 3, p. 36-56, 2002.

MOURA, A. C. O. S.; CHAGAS, S. S. Tecnologias digitais e formação de professores: Um caminho de mediação da aprendizagem por meio de objetos virtuais. **Ensino de Ciências e Tecnologia em Revista**, Santo Ângelo, v. 13, n. 1, p. 27-43, 2023.

NIAZ, M.; CHACÓN, E. A Conceptual Change Teaching Strategy to Facilitate High School Students' Understanding of Electrochemistry. **Journal of Science Education and Technology**, v. 12, n. 2, p. 129-134. jun. 2003.

NORMAN, D. A. Some observations on mental models. *In: GENTNER, D. & STEVENS, A. L. (Eds.). Mental models*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, p. 325-340. 1983.

ONTORIA, A.; LUQUE, A.; GÓMEZ, L. P. R. **Aprender com mapas mentais – uma estratégia para pensar e estudar**. 3. ed. São Paulo: Madras, 2008. 168 p.

ROCHA, T. A. S.; MARQUES, N. P.; TEIXEIRA, G. J.; ESPIR, I. F.; PAIXÃO, G. A.; EPOGLOU, A. A Pilha de Daniell: Concepções Apresentadas por alunos do 2º ano do Ensino Médio de uma Escola Pública de Ituiutaba – MG. *In: IV Congresso Nacional de Educação*. João Pessoa, v.1, nov. 2017.

RODRIGUES, A. C. L.; ALMEIDA, V. E.; ESPÍRITO SANTO, A. C. Stop Motion como suporte no processo de aprendizagem por meio das mídias. **Revista Carioca de Ciência, Tecnologia e Educação**, v. 5, n. 1, p. 63-77, 2020.

RUSSEL, J. W. Use of simultaneous-synchronized macroscopic, microscopic, and symbolic representations to enhance the teaching and learning of chemical concepts. **Journal of Chemical Education**, Rochester, v. 74, n. 3, p. 330-334, dec. 1997.

SANGER, M. J; GREENBOWE, T. J. Common student misconceptions in electrochemistry: galvanic, electrolytic and concentration cells. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 34, n. 4, p. 377-398. 1997.

SANTOS, L. R. L.; LIMA, J. P. M.; SARMENTO, V. H. V. Concepções de alunos ingressantes no curso de licenciatura em Química sobre alguns conceitos de soluções. **Revista de Ensino de Ciências e Matemática**, v. 8, n. 3, p. 41-60. 2017.

SANTOS, I. F.; CORTES JUNIOR, L. P.; SANTOS, D. C. Modelos para condução elétrica em solução eletrolítica propostos por estudantes de graduação. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 7, n. 5, p. 50271-50287, mai. 2021.

SILVA, S. G. As Principais Dificuldades na Aprendizagem de Química na Visão dos Alunos do Ensino Médio. *In: IX Congresso de Iniciação Científica do IFRN (Congic)*, Rio Grande do Norte, jul. 2013, p. 1612-1616.

WU, H. K.; KRAJCIK, J. S. e SOLOWAY, E. Promoting understanding of chemical representations: students' use of a visualization tool in the classroom. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 38, n. 7 p. 821-842. 2001.