



O USO DO STOP MOTION NA INVESTIGAÇÃO DE MODELOS MENTAIS DE ALUNOS DO ENSINO MÉDIO SOBRE CONCEITOS RELACIONADOS COM A ELETRÓLISE

The use of stop motion in researching of mental models of high school students on concepts related to electrolysis

Angélica Mattioli Rodrigues [angelica.mattioli@unesp.br]
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP
Programa de Pós-Graduação em Ensino e Processos Formativos
Rua Roberto Simonsen, 305, Presidente Prudente, São Paulo, Brasil.

Gustavo Bizarria Gibin [gustavo.gibin@unesp.br]
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP
Programa de Pós-Graduação em Ensino e Processos Formativos
Rua Roberto Simonsen, 305, Presidente Prudente, São Paulo, Brasil.

Resumo

Nesta pesquisa foram analisados os modelos mentais expressos sobre sistemas eletroquímicos, especificamente relacionados à eletrólise aquosa do hidróxido de sódio. A metodologia consistiu na aplicação de um minicurso para alunos do Ensino Médio de uma escola estadual do Oeste Paulista, com a realização de experimentos e a produção de animações pela técnica de *Stop Motion* pelos alunos, através dos quais se analisaram os seus modelos mentais a respeito dos processos de transferência de elétrons que ocorrem nos eletrodos, além da liberação de diferentes gases como consequência das reações de descarga dos íons, e à cinemática de espécies subatômicas. A análise se baseou na teoria de modelos mentais de Johnson-Laird, em que os materiais coletados, imagéticos ou escritos, foram analisados conforme a presença de elementos (tokens) característicos dos modelos mentais expressos. Os resultados de um questionário prévio demonstraram que os alunos possuem noções superficiais sobre a eletroquímica em geral, pois apresentaram dificuldades sobre como ocorre a eletrólise, em localizar o cátodo e o ânodo e em entender como se procede o fluxo de elétrons nos sistemas por meio de reações de oxido-redução. A explicação dos conceitos envolvidos, a realização de experimentos e a posterior produção de animações em *stop motion* pelos alunos, permitiram localizar suas principais dificuldades em entender a eletrólise. Por meio das animações, foi possível localizar aspectos incoerentes e falhas nos modelos mentais, relativas às noções de perda e ganho de elétrons, estequiometria de reações e movimentação das espécies químicas. A partir de um conhecimento acerca dos modelos expressos dos alunos, foi possível trabalhar em pontos específicos na explicação da eletrólise e contribuir para a construção de modelos mais adequados pelos alunos sobre o conteúdo em seu nível submicroscópico. A utilização do aplicativo *Stop Motion* no desenvolvimento de animações, se mostrou interessante para o ensino de Química e Ciências, pois houve um estímulo à imaginação, criatividade, reflexão crítica e a um pensamento lógico relativo à dinâmica das espécies químicas.

Palavras-Chave: Ensino de Química; Eletroquímica; Animações; ensino e aprendizagem.

Abstract

In this research, mental models expressed about electrochemical systems were analyzed, specifically related to the aqueous electrolysis of sodium hydroxide. The methodology consisted of applying a short course for high school students from a state school in the west of São Paulo, with the conducting of experiments and development of animations using the *Stop Motion* technique by the students, through which their mental models were analyzed regarding the processes of transfer of electrons that occur in the electrodes, in addition

to the release of different gases as a consequence of ion discharge reactions, and to the kinematics of subatomic species. The methodological analysis was based on Johnson-Laird's theory of mental models, in which the collected material, whether imaged or written, was analyzed according to the presence of elements (tokens) characteristic of the expressed mental models. The results of a previous questionnaire showed that students have superficial notions about electrochemistry in general, as they had difficulties in how electrolysis occurs, in locating the cathode and anode and in understanding how the flow of electrons in systems through oxidation-reduction reactions. The explanation of the concepts involved, the carrying out of experiments and the subsequent production of *stop motion* animations by the students allowed them to locate their main difficulties in understanding electrolysis. Through the animations, it was possible to locate incoherent aspects and flaws in the mental models, related to the notions of loss and gain of electrons, reaction stoichiometry and movement of chemical species. From a knowledge of the students' expressed models, it was possible to work on specific points in the explanation of electrolysis and contribute to construction of more adequate models by students about the content at its submicroscopic level. The use of the *Stop Motion* application in the development of animations proved to be interesting in the teaching of Chemistry and Science, as it stimulated imagination, creativity, critical reflection and logical thinking regarding the dynamics of chemical species.

Keywords: Chemistry teaching; Electrochemistry; Animations; teaching and learning.

O ENSINO ATUAL E AS DIFICULDADES DE COMPREENSÃO DA ELETROQUÍMICA EM SALA DE AULA

Tendo em vista as condições do sistema atual de ensino, em que os alunos em sua maioria são meros recipientes para o armazenamento passivo e aleatório de informações (Moreira, Greca, & Palmero, 2002), as investigações feitas por pesquisadores da área de ensino de Ciências buscam principalmente analisar as representações internas, ou seja, ideias, pensamentos e modelos mentais que os alunos apresentam sobre um determinado conceito científico, a fim de tirar conclusões sobre os níveis de conhecimento dos alunos, tornar o ensino mais crítico e reflexivo perante atividades que estimulam a participação ativa, e desenvolver novas abordagens que melhorem o processo de ensino-aprendizagem das Ciências.

As dificuldades apresentadas pelos alunos para compreender adequadamente aspectos das Ciências da Natureza podem estar relacionadas à falta de conhecimentos prévios, ausência de conexões com os novos conceitos adquiridos, à dificuldade do aluno de processar as informações novas através da organização das mesmas, à complexidade de uma atividade imposta ao aluno, ao uso de uma metodologia de ensino que não estimula a participação crítica, e ao modo de aprendizagem do discente, que pode não ser coerente com a abordagem metodológica apresentada pelo professor (Caamaño, 2007; Freire, Silva Jr., & Silva, 2012; Silva & Silva, 2020). Quanto a isso, torna-se relevante citar dificuldades dos alunos do Ensino Médio com conceitos relacionados com a eletroquímica.

A eletroquímica é um tema relevante para a sociedade atual, em processos industriais relacionados com a purificação de minérios, além da produção de pilhas e baterias, que são cada vez mais importantes no emprego de eletrônicos, como smartphones, tablets e notebooks. No entanto, muitos autores citam a incapacidade dos estudantes em entender com facilidade os conceitos necessários à interpretação do tema, como as dificuldades de representar reações de oxido-redução, geração de corrente elétrica, de identificação dos agentes oxidante e redutor, e compreensões superficiais sobre os potenciais de redução (Lima & Marcondes, 2005; Sanjuan, Santos, Maia, Silva, & Wartha, 2009; Freire, Silva Jr., & Silva, 2012; Silva, Silva, Almeida, & Aquino, 2016; Oliveira, Azevedo, Bezerra, Souza, & Araújo, 2018; Grahall, Fernandez, & Nogueira, 2021).

Os conteúdos relacionados à eletroquímica são considerados complexos até mesmo para os professores, que em muitos casos abordam o tema no último bimestre letivo, devido à escassez de tempo para trabalhá-lo ou à complexidade inerente a expressão didática dos conceitos, tratando-se de um empecilho que se impõe ao ensino de tais assuntos, importantes para a formação do senso crítico do aluno e sua compreensão do cotidiano (Sanjuan *et al.*, 2009). É importante que os professores promovam atividades que possam melhorar o ensino e aprendizagem de temas como esse, por meio de atividades inovadoras que permitam a contextualização dos conceitos e demonstrem alguma função social (Lima & Marcondes, 2005; Sanjuan *et al.*, 2009; Oliveira *et al.*, 2018).

Notam-se inúmeros obstáculos de entendimento dos fenômenos em sua escala atômica-molecular, assim como são muitas as dificuldades de compreensão das relações entre as observações empíricas (experimentais) e seus correspondentes acontecimentos em nível submicroscópico (Finazzi, Martins,

Capelato, & Ferreira 2016; Santos, Lima, & Sarmiento, 2017). Nesse sentido, a utilização de abordagens experimentais sobre fenômenos cotidianos ou industriais, como a corrosão de metais, geração de produtos de importância industrial – como a eletrólise do hidróxido de sódio (NaOH) que produzem os gases oxigênio e hidrogênio, é importante no desenvolvimento de habilidades de observação, lógica e raciocínio frente ao que ocorre na sociedade. Assim como o emprego de animações que demonstrem as reações químicas em nível submicroscópico permitem a visualização de estruturas invisíveis a olho nu, abordagens experimentais e atividades que explorem representações do nível subatômico podem conjuntamente auxiliar no ensino de conceitos considerados complexos tanto por alunos, quanto por professores. Cabe citar que compreendemos a experimentação como um recurso que promove a atividade empírica pelos estudantes, com o objetivo de promover aprendizagem conceitual e de estabelecer relações entre a teoria e a prática experimental. Assim, o experimento nesta pesquisa, conforme posteriormente discutido, foi utilizado como oportunidade de manipular um sistema eletroquímico, para auxiliar na compreensão dos fenômenos e conceitos químicos e científicos abordados.

A construção de conhecimento por meio do desenvolvimento de modelos mentais

Denominamos representações externas o conjunto de símbolos, como códigos e imagens, que usamos para nos referir a um objeto ausente ou um conceito. Desse modo, temos mentalmente uma concepção ou imagem relacionada a um elemento químico, por exemplo, ferro, e utilizamos a linguagem escrita ou falada, ou até mesmo um desenho, para nos expressarmos externamente em relação as nossas concepções internas.

Se as representações externas são utilizadas pelo indivíduo para demonstrar as concepções internas, também se pode considerar que os símbolos matemáticos e químicos, além de toda informação conceitual escrita, são representações externas relacionadas a uma ideia, objeto ou conceito interiorizado pelo indivíduo (Gibin & Ferreira, 2010).

Segundo Moreira *et al.* (2002), a aprendizagem não ocorre diretamente a partir da memorização de informações conceituais e de expressões matemáticas que se aplicam aos fenômenos científicos, mas sim a partir do desenvolvimento de representações internas, que são reconstruções mentais desses fenômenos presentes no mundo externo. Ou seja, a aprendizagem se dá pela construção de modelos mentais, a partir dos quais é possível explicar, compreender, e fazer previsões sobre um sistema físico ou sobre reações químicas em nível submicroscópico.

Existem três tipos de representações internas segundo a teoria proposta por Johnson-Laird (1983): representações proposicionais, modelos mentais e imagens. O autor considera as representações proposicionais como uma sequência de símbolos, que em conjunto expressam um significado. Ou seja, as proposições se relacionam com a linguagem escrita ou falada, onde muitas vezes parte-se da mesma para iniciar a construção de modelos mentais, que são representações internas correspondentes ao entendimento de teorias e conceitos científicos ou apenas representações relativas a algum objeto ausente.

Os modelos mentais podem ser definidos de forma sintética como análogos estruturais do mundo exterior (mundo empírico, real) ou do mundo imaginário, onde sua estrutura reflete diretamente o estado das coisas presentes em uma realidade física ou abstrata, como ideias, conceitos, e a dinâmica do mundo subatômico, por exemplo (Moreira *et al.*, 2002).

Borges (1999, p. 68) explica que “*para compreender qualquer fenômeno ou estado de coisas, precisamos ter um modelo funcional dele*”, em que *modelos mentais são “análogos estruturais de coisas e processos que existem ou ocorrem no mundo*”. Este tipo de representação é formado por elementos denominados tokens e de relações entre esses elementos.

As relações entre os tokens representam a forma de estruturação do modelo, e correspondem a um estado de coisas específico do mundo exterior, ou seja, tais relações variam segundo o uso a que foi destinado o modelo mental (Johnson-Laird, 1983).

As imagens são formas altamente específicas de representações internas, que permitem a visualização do modelo mental correspondente (Johnson-Laird, 1983), assim como também permitem realizar a análise (não objetiva) dos modelos mentais dos alunos e investigar a forma como tais modelos atualmente são construídos.

Não é possível realizar uma análise exata desses modelos, já que, assim como todos os fenômenos cognitivos, existem apenas na mente de cada sujeito, tendo características muito pessoais e simplificadas, pois durante a sua construção nem todos os elementos da realidade externa são captados (Borges, 1999).

Deve-se dar ênfase ao fato de que os modelos mentais desenvolvidos pelos alunos são altamente dinâmicos, instáveis e não são bem estruturados, pois quase sempre existem aspectos incompletos ou muito simplificados. Além disso, detalhes são continuamente esquecidos ao longo do tempo, e ideias ou conceitos que são semelhantes podem ser confundidos, e há grande influência de aspectos não científicos (Norman, 1983). Assim, considera-se que os modelos mentais dos alunos estão em constante evolução, e que na maioria das vezes não estão plenamente estruturados, o que torna necessário compreender seus aspectos falhos e atuar na melhor compreensão das partes não muito bem estruturadas.

Scarinci, Costa, Shimizu e Pacca (2009, p. 2) comentam que a compreensão e o desenvolvimento de modelos que se adequem ao funcionamento de sistemas que contam com utilização de eletricidade, *“exige que se imagine uma estrutura atômica que não é observável empiricamente”*. Isto resulta em muitas dificuldades na aprendizagem de assuntos como o da eletrólise, o que requer a utilização de ferramentas intermediárias à interpretação dos sistemas, como animações, experimentos e atividades interativas, que conectem o mundo abstrato e invisível, com o “palpável” mundo macroscópico.

As abstrações e complexidades que dificultam a compreensão de conceitos científicos não consistem em uma barreira que se contrapõe apenas ao ensino da Química, mas também ao ensino de outras áreas do conhecimento, como a Biologia. Esta última frequentemente trabalha com objetos em nível microscópico (como células), o que acarreta em dificuldades de compreensão tanto para alunos quanto para professores (Bezerra, Souza Jr., Silva., Neves, & Melo, 2015). Portanto, novos métodos e ferramentas de ensino estão constantemente sendo elaborados para superar essa barreira.

Em relação à correção dos aspectos inadequados dos modelos mentais dos alunos, as teorias atuais da aprendizagem consideram o fato de o ensino envolver as diversas relações que o aluno tem com o meio, seja com o professor, com outros alunos ou com as diversas ferramentas de ensino: linguagem, escrita, representações na forma de imagens e símbolos ou qualquer forma de informação visual (García & Palacios, 2006; Gibin, 2009). A utilização de linguagens visuais como figuras, imagens ou animações é relevante no ensino da Química, pois permite a visualização dos conceitos em níveis de difícil compreensão, como o nível submicroscópico das reações químicas, e colabora para um melhor desenvolvimento dos modelos mentais.

Atualmente tem-se dado crédito ao uso de recursos tecnológicos em sala de aula, já que a sociedade cada vez mais está inserida no ambiente virtual, ao passo que as escolas se tornam obsoletas em seus métodos, que são em sua grande parte tradicionalistas. Entretanto, o simples uso de tecnologias em sala de aula não garante o aprendizado dos alunos, pois tais tecnologias podem ser usadas de forma tradicional. A consequência é a perda de interesse por conceitos considerados abstratos e não visíveis no nível macroscópico. Assim, é importante que os professores tenham objetivos pedagógicos bem definidos e utilizem referenciais teóricos em suas aulas. Todavia, acredita-se que, através de metodologias ativas, com a participação ativa dos alunos, como a produção de animações que representem o nível submicroscópico, por exemplo, estimulem a aprendizagem dos estudantes. A manipulação de espécies químicas representadas nessa dimensão do conhecimento químico, pode desmistificar conceitos, além de gerar curiosidade e interesse por parte dos alunos (Santos, Piva, & Gibin, 2016).

O papel das animações para o melhor desenvolvimento dos modelos mentais

Conforme assinalado por Costa (2005) e Gibin (2009), existe uma interligação entre o processamento das informações visuais pelo cérebro e a construção e organização de modelos mentais, já que ocorre uma reconstrução interna da realidade que colabora para o crescimento cognitivo dos alunos.

A Química em si envolve três níveis de representação: macroscópico, submicroscópico e simbólico (Johnstone, 1993), os quais devem ser compreendidos pelos alunos para que não ocorram consideráveis falhas no processo de construção do modelo mental, que consiste na versão interiorizada, consciente e reflexiva sobre o fenômeno químico.

O nível macroscópico de representação trata da observação a olho nu do fenômeno. Já o nível submicroscópico é referente a toda movimentação e dinâmica envolvida entre íons, átomos, moléculas e até elétrons presentes em uma reação química, algo abstrato e que geralmente é de difícil compreensão por parte dos alunos. E no nível simbólico, os fenômenos são representados por meio de estruturas organizadas espacialmente, além de equações, fórmulas e símbolos químicos (Wu, Krajcik, & Soloway, 2001).

Para uma compreensão ideal dos fenômenos químicos, é necessário conhecer todos os três níveis de representação e também realizar transições entre eles (Gibin, 2009), uma vez que um determinado fenômeno (macroscópico) que se apresenta visualmente é mais bem compreendido quando se conhece a atividade das espécies subatômicas envolvidas, algo geralmente representado pelos professores apenas por meio do nível simbólico.

Há relatos de que a maior parte dos alunos apresenta dificuldades, principalmente em correlacionar os níveis submicroscópico e simbólico, pois ambos expressam um caráter invisível e abstrato da matéria, e os alunos costumam ter um senso mais crítico quando se tratam de informações sensoriais provenientes do nível macroscópico (Locatelli & Arroio, 2017).

Por exemplo, autores como Caamaño (2007), Caramel e Pacca (2011), Freire *et al.* (2012) e Goes, Nogueira e Fernandez (2020) citam dificuldades mais específicas apresentadas pelos alunos, como o uso de terminologias incorretas para os componentes do sistema, e distinção das funções dos componentes do sistema eletrolítico: como o cátodo e ânodo, e a sua identificação por meio da circulação de elétrons; a noção errônea de que o ânodo é sempre o polo negativo, e o cátodo conseqüentemente o polo positivo; além de os estudantes não conseguirem relacionar com facilidade o desgaste no metal com a perda e ganho de elétrons, assim como o importante papel da solução eletrolítica para garantir a eletro-neutralidade do sistema.

A pesquisa de Goes, Fernandez e Agostinho (2016) também aponta que até mesmo os professores podem apresentar dificuldades de compreensão dos aspectos fundamentais de eletroquímica. Segundo esses autores, os maiores obstáculos à compreensão da eletroquímica pelos professores investigados por eles estão associados aos conceitos de força eletromotriz, eletrodo, célula galvânica e célula eletroquímica, onde verificou-se o emprego de significados superficiais aos conceitos e grandezas dos sistemas em estudo. Tais autores recomendam até mesmo que os professores realizem cursos de extensão sobre eletroquímica.

Uma pesquisa realizada com ingressantes do curso de licenciatura em Química demonstra que estes não compreendem totalmente os conceitos químicos em nível molecular e atômico, e seu entendimento se baseia principalmente em informações provenientes dos níveis macroscópico e simbólico, conforme Santos *et al.* (2017). Os autores argumentam que isso pode ser causado por um Ensino Médio baseado apenas em tratamentos quantitativos e estudos em nível macroscópico, o que leva a uma compreensão superficial sobre a estrutura da matéria. Cabe salientar que falta uma abordagem do nível submicroscópico no ensino de conceitos químicos no Ensino Médio, e sobretudo, também no Ensino Superior, pois isso consiste em uma lacuna na formação inicial de professores de Química.

Sendo assim, pode-se constatar que novas metodologias de ensino também devem ser aplicadas no ensino superior, para que um maior entendimento possa ser desenvolvido em relação aos conceitos da eletroquímica. Caso contrário, as dificuldades de compreensão dos professores podem repercutir no ensino de seus alunos, e comprometer na correta aprendizagem destes últimos.

Mesmo com as dificuldades em enxergar o invisível e complexo mundo das espécies subatômicas, a utilização de animações de íons, átomos e moléculas tem mostrado melhorias no desempenho dos alunos em tentar relacionar os diferentes níveis representacionais (Finazzi *et al.*, 2016; Lima, Sá, & Vasconcelos, 2019), e assim, construir modelos mentais com maior senso crítico e precisão.

Os modelos mentais desenvolvidos com auxílio de animações que expressam a estrutura e a dinâmica de espécies químicas subatômicas possibilitam certos avanços cognitivos, em termos de maior compreensão e a possibilidade de “simulação” da natureza abstrata da matéria por parte do aluno (Johnson-Laird, 1983).

A proposta de realização do ensino correlacionando-o com as questões cotidianas, é algo que merece destaque, já que a simples transmissão de leis, fórmulas e informações isoladas e desvinculadas da vida do aluno consiste no principal fator que causa o desinteresse pela Química, como assinalam França *et al.* (2012). Tais autores defendem o emprego de materiais alternativos e de fácil acesso para montagem de sistemas eletroquímicos. Ideia semelhante é destacada por Finazzi *et al.* (2016), os quais argumentam sobre a utilização até mesmo de sucos de frutas como soluções eletrolíticas. É possível utilizar diversos materiais alternativos como fonte de soluções eletrolíticas, como refrigerantes, água de coco, suplementos isotônicos, frutas cítricas e até mesmo água de torneira, pois possuem íons dissolvidos.

É interessante que o professor tenha conhecimento dos modelos mentais desenvolvidos pelos alunos, para que possa corrigir os erros conceituais encontrados. Segundo Gibin (2009), conhecer os modelos mentais dos alunos pode ser conseguido desde que o aluno tenha uma participação ativa, expressando suas opiniões, pensamentos e teorias sobre o fenômeno químico estudado.

Desse modo, ouvir as explicações que o aluno tem sobre um tema estudado possibilita que este exercite seu pensamento crítico, exponha ideias, permitindo ao professor corrigir os eventuais erros no modelo mental em desenvolvimento. Além disso, é desejável que o aluno exponha suas ideias e exercite o pensamento crítico pela construção própria de animações representativas de espécies químicas subatômicas e a dinâmica apresentada por elas.

Nesta pesquisa, colocou-se em foco a observação do desenvolvimento dos modelos mentais pelos alunos através das animações desenvolvidas pelos mesmos, por meio do aplicativo *Stop Motion* sobre o tema relacionado à eletrólise aquosa do hidróxido de sódio.

A utilização da experimentação é considerada fundamental ao entendimento da abstração presente nas teorias e conceitos envolvidos na eletrólise, como assinalam Finazzi *et al.* (2016, p. 112), em que "*experimentos de eletroquímica são muito úteis na construção de conceitos [...], principalmente quando fenômenos macroscópicos são facilmente visíveis*".

Os alunos utilizaram figuras representativas das espécies químicas em nível submicroscópico para reconstruir externamente o seu conhecimento relativo a dinâmica submicroscópica da matéria. A análise dessas representações externas (animações) com base no referencial de Johnson-Laird (1983) pelo pesquisador, permite ter conhecimento sobre o que os alunos entendem a respeito do tema, e atuar progressivamente nas correções desses modelos mentais desenvolvidos, de modo que os alunos passem a ter uma visão mais aprofundada do sistema químico.

Ao longo da história do conhecimento humano, os recursos escritos se tornaram prioritariamente associados à lógica e ao pensamento racional presente no processo de alfabetização, ao passo que as ferramentas imagéticas foram vinculadas ao pensamento subjetivo, não tão valorizado no meio científico (Costa, 2005). No entanto, Ontoria, Luque e Gómez (2008) relataram sobre o potencial dos recursos imagéticos (animações, imagens ou simuladores), no desenvolvimento de habilidades que estimulam a imaginação, pois auxiliam a memória e promovem o pensamento criativo. Da mesma forma, Sebata (2006) argumenta que há grande importância destes recursos no ensino, uma vez que estão atrelados às representações gráficas e aos esquemas simbólicos construídos para entender os fenômenos.

Nesse sentido, o objetivo geral dessa pesquisa consistiu em investigar os modelos expressos pelos alunos por meio das animações produzidas por eles. E posteriormente é previsto que os estudantes vejam o modelo conceitual expresso na animação produzida pela pesquisadora, para discutir os elementos (ou *tokens*) destacados por ela, para auxiliar a revisar seus modelos e construir seus conhecimentos sobre conceitos ligados à eletrólise aquosa. Na animação elaborada pela pesquisadora, foi consultado o livro didático "Química Cidadã" – volume 3 (Santos & Mól, 2017), para selecionar os *tokens* necessários para compor o conceito de eletrólise aquosa.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os objetivos do trabalho foram colocados em prática através da realização de um minicurso sobre eletroquímica, que foi oferecido aos alunos da rede pública de uma escola do interior do estado de São Paulo. O minicurso teve carga horária de 9 horas (oferecido em 3 dias, durante 3 horas por dia), e trouxe questões a respeito da natureza submicroscópica da eletrólise, atividades experimentais, além da elaboração de animações, por meio do aplicativo *Stop Motion*, sobre as reações químicas visualizadas experimentalmente. Houve a participação de 5 alunos do 1º ano, 7 alunos do 2º ano e 11 alunos do 3º ano, totalizando 23 alunos. A sequência didática aplicada ao longo do minicurso oferecido está detalhada no Quadro 1.

Inicialmente foi aplicado um questionário que trazia questões sobre o funcionamento básico da eletroquímica: constituição da corrente elétrica, funcionamento dos sistemas eletrolíticos em termos de potenciais de redução, reações de oxidação-redução, e diferenciação entre cátodo e ânodo. As informações obtidas por meio do questionário permitiram a visualização dos conhecimentos prévios dos alunos sobre o assunto.

Procura-se ter conhecimento do nível de compreensão dos alunos a respeito da eletroquímica, através de um questionário aplicado no primeiro dia do minicurso. Várias explicações sobre o funcionamento interno dos sistemas são fornecidas pela pesquisadora, assim como experimentos relativos à eletrólise aquosa do NaOH são desempenhados em grupo para melhorar as assimilações entre os níveis macroscópico, submicroscópico e simbólico dos sistemas em estudo.

Quadro 1: Momentos e atividades envolvidas na sequência didática proposta no minicurso

Momentos da Sequência Didática	Atividades desenvolvidas	Objetivos de pesquisa
Dia 1	Explicações sobre a técnica de <i>stop motion</i> e sobre o funcionamento de um sistema eletrolítico. Realização pelos participantes de uma animação pequena em <i>stop motion</i> com algum objeto inanimado de interesse (lâpis, borracha, etc.) ou desenho feito pelos alunos.	Neste momento, pretendia-se discutir e apresentar a definição de <i>Stop Motion</i> , assim como apresentar e refletir sobre os conceitos envolvidos na eletrólise do hidróxido de sódio. A atividade prática com os alunos, no sentido de realizar uma animação pequena com um objeto, pretendeu proporcionar uma primeira conexão dos alunos com o aplicativo <i>Stop Motion Studio</i> .
Dia 2	Realização do experimento da eletrólise aquosa do hidróxido de sódio, com explicações e reflexões sobre seu funcionamento. Os alunos elaboraram um relatório, através do qual refletiriam sobre os fenômenos observados em associação com os conceitos científicos e sua compreensão do ponto de vista atômico-molecular.	O objetivo foi estimular a reflexão sobre o experimento da eletrólise do ponto de vista empírico, bem como uma interpretação conceitual e sobre o nível submicroscópico. Dessa forma, ocorreria ao longo da atividade uma transição entre os diferentes níveis de representação (macroscópico, simbólico e submicroscópico).
Dia 3	Os estudantes realizaram animações em <i>stop motion</i> sobre o funcionamento em nível atômico-molecular do experimento de eletrólise. Para isso, se reuniram em grupos, utilizaram um suporte branco como plano de fundo e figuras impressas como representação das espécies químicas. Posteriormente, cada grupo apresentou sua animação aos demais. A pesquisadora também apresentou uma animação feita por ela para representar a mesma reação de eletrólise, com o objetivo de discutir alguns de seus detalhes.	Através da manipulação física de figuras impressas, que representavam íons, átomos, moléculas ou elétrons, os participantes poderiam refletir sobre seus comportamentos, movimentações e reações químicas. A discussão entre os grupos objetivava gerar momentos de discussão conceitual. E por meio da animação feita pela pesquisadora, seria possível que se fizessem explicações direcionadas a pontos específicos do sistema estudado.

Explicações a respeito da utilização do aplicativo *Stop Motion* foram realizadas, a fim de ensinar aos alunos o seu funcionamento, assim como as origens desta técnica, que envolve aspectos da origem do cinema. E o aspecto contemporâneo e atrativo do aplicativo foi explicado pela citação de vários filmes atuais conhecidos que foram feitos com auxílio desta técnica, que consiste em utilizar uma sequência de diversas fotografias (ou quadros) de um objeto inanimado, sendo que cada fotografia é ligeiramente distinta da anterior. Quando todos os quadros sequenciais são exibidos rapidamente, há a ilusão de movimento.

O objetivo de realizar uma introdução a respeito do aplicativo foi de incitar nos alunos o interesse pelo *Stop Motion*, para tornar sua aprendizagem mais interativa no momento da elaboração das animações em nível submicroscópico. Posteriormente, os alunos fizeram animações sobre a movimentação de um objeto, ou utilizando desenhos e ilustrações de confecção própria.

Assim que a aprendizagem relacionada à manipulação do aplicativo foi concluída, procedeu-se com as explicações sobre o tópico “Pilhas e Eletrólise”. Neste ponto, o conteúdo químico foi devidamente abordado pela pesquisadora, desde a história das primeiras pilhas e do isolamento dos primeiros elementos por meio da eletrólise, até o funcionamento desses sistemas eletroquímicos em termos do caráter dinâmico das reações das espécies submicroscópicas.

Foi dada ênfase a um exemplo envolvendo a eletrólise aquosa do hidróxido de sódio, a substância química com a qual os alunos fizeram a atividade experimental utilizando o reagente diluído e tomando as precauções necessárias de segurança, com o auxílio e acompanhamento da pesquisadora, que alertou sobre a toxicidade do reagente. No entanto, antes do experimento, discutiu-se a identificação do cátodo e do ânodo conforme o ganho ou perda de elétrons, e a tendência de reação dos íons.

Os alunos se organizaram em grupos de 3 a 5 membros, e realizaram o experimento, seguindo um roteiro experimental fornecido pela pesquisadora. Eles coletaram os diferentes gases gerados, oxigênio e hidrogênio, por meio de uma seringa e identificando-os através do teste com uma chama proveniente de uma vela. O procedimento nesta etapa também foi devidamente acompanhado pela pesquisadora e feito juntamente com cada grupo, para garantir a segurança durante o experimento.

Após a realização do experimento e empregando a técnica das animações em *stop motion*, os alunos produziram animações a respeito do funcionamento submicroscópico da eletrólise do hidróxido de sódio, recebendo para isso uma placa branca de PVC por grupo, para que a utilizassem como plano de fundo para a criação da animação. Cada grupo também recebeu quantidade suficiente de figuras impressas que representam íons, moléculas, elétrons, eletrodos e ilustrações de fios condutores.

A animação feita anteriormente pela pesquisadora, que definiu uma visão mais próxima possível do que é teoricamente aceito sobre a dinâmica das reações e estequiometrias envolvidas, foi mostrada no final a todos os alunos e disponibilizado a eles para fins didáticos, para que eventuais erros conceituais fossem corrigidos através da observação por eles mesmos da animação.

Foram usados diversos instrumentos para a coleta de dados, incluindo o questionário aplicado no início do minicurso, e as animações elaboradas pelos alunos. As animações são os instrumentos que tiveram maior contribuição quanto à investigação das modificações de modelos mentais dos alunos, devido à quantidade de informações visuais envolvidas.

O questionário apresentou questões abertas, de modo que qualquer tipo de representação mental em desenho, esquema ou resposta escrita foram devidamente avaliados. A resposta poderia estar total ou parcialmente correta, caso alguma característica ou detalhe do requerido na questão fosse desconhecido pelo aluno, embora o mesmo conheça algum aspecto do sistema eletroquímico.

A avaliação das respostas permitiu criar uma categorização sobre o nível de conhecimento prévio que os alunos possuíam sobre o assunto, e através disto foi possível realizar comparações com os avanços ou regressões visualizadas posteriormente por meio dos vídeos. Tal categorização se baseou na leitura das respostas obtidas, análise descritiva e interpretativa dos textos, de forma a compreender o que o participante possa ter tentado expressar em sua subjetividade. O processo se iniciou com uma leitura detalhada, realização de “recortes” de partes com as menores expressões de significado, comparação quanto as suas diferenças e semelhanças, e posterior categorização. Tais unidades com as menores expressões de significado eram correspondentes aos tokens dos modelos mentais, os quais foram categorizados. Tais procedimentos tiveram por base a teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird (1983). O referencial teórico de Johnson-Laird (1983) permite a elaboração de categorias por meio dos *tokens* (ou elementos) que compõem um modelo mental. Para o conceito de eletrólise aquosa, foram selecionados os seguintes *tokens*: atração eletrostática entre os íons em solução e os eletrodos; presença do íon sódio como espectador; fluxo de elétrons no circuito metálico; reação de autoionização da água; representação dos gases gerados na reação química e emprego da estequiometria.

Por meio da leitura das respostas ao questionário, foram observadas frases cujos sentidos poderiam se aproximar ou se afastar do que é considerado correto cientificamente, e, dessa forma, houve uma separação dos textos quanto a unidades (frases) que demonstrassem uma compreensão total/alta, mediana/parcial ou baixa. Dessa forma se procedeu a primeira categorização conforme o nível de compreensão em relação ao modelo científico demonstrado em trechos de textos. A partir de tais unidades, ou seja, respostas que apresentavam diferentes níveis de coerência, foi realizada uma nova categorização que considerava o desempenho individual de cada aluno conforme suas diferentes respostas, conforme também consta nos procedimentos de pesquisa de Rodrigues e Gibin (2020). Além disso, tais procedimentos se assemelham aos procedimentos realizados por Biagiotti (2005) e Basso (2017):

- **Compreensão Total:** Para que o aluno esteja inserido nesta categorização, 80% a 100% das questões deveriam estar respondidas de forma coerente do ponto de vista científico.
- **Compreensão Mediana:** Esta categoria se adequa aos alunos que responderam de forma total ou parcialmente correta, com um ou outro detalhe que estaria faltando em sua resposta, e acerto de 50% a 79% das questões.
- **Compreensão Baixa:** Os alunos que não demonstraram ter muitas noções, ideias ou qualquer tipo de modelo mental definido sobre a eletroquímica se adequam nesta categoria, obtendo um nível de acertos parciais ou nulos, no intervalo de 0% a 49% das questões.

Ao se tratar da análise teórica – conceitual das animações produzidas pelos alunos sobre a eletrólise aquosa do NaOH, foram analisados os seguintes elementos (tokens) nos modelos expressos:

- 1 - Atração dos íons positivos ($H^+_{(aq)}$, $Na^+_{(aq)}$) pelo polo negativo (cátodo) e atração dos íons negativos ($OH^-_{(aq)}$) pelo polo positivo (ânodo);

- 2 - Ausência de reação do íon $\text{Na}^+_{(\text{aq})}$, pois na eletrólise aquosa no NaOH, os íons $\text{H}^+_{(\text{aq})}$, derivados da autoionização da água, apresentam maior tendência a reagir em comparação com os íons $\text{Na}^+_{(\text{aq})}$;
- 3 - Fluxo correto de elétrons do polo positivo para o polo negativo;
- 4 - Reconhecimento da autoionização da água;
- 5 - Representação dos produtos gerados (O_2 e H_2 gasosos);
- 6 - Representação das reações seguindo a estequiometria adequada;

Também se realizou uma análise comparativa entre animações elaboradas por todos os grupos, quanto à dinâmica, orientação espacial, estequiometria e exatidão das representações das reações químicas.

Nenhum dos resultados obtidos por meio da pesquisa foi divulgado ou contou como método avaliativo da disciplina de Química. Os alunos voluntariamente participaram do minicurso, com a permissão dos pais ou responsáveis, com vistas a compreender os sistemas eletroquímicos. Os estudantes receberam um certificado de participação no final do minicurso, e todos os dados obtidos permaneceram no anonimato, colaborando apenas para a pesquisa científica.

A análise dos dados contou com tratamento quantitativo relativo aos dados percentuais, elaboração de tabelas e organização de categorias por métodos gráficos. Entretanto, cabe destacar que a pesquisa é de natureza essencialmente qualitativa, devido ao trabalho com informações visuais, ilustrativas e descritivas dos sistemas eletroquímicos, pois se deseja compreender os modelos expressos pelos alunos sobre os conceitos ligados a eletroquímica.

Além disso, a reflexão se tornou algo importante na análise dos modelos mentais e na compreensão de sua subjetividade. Em outras palavras, os modelos mentais são pessoais a cada indivíduo, daí o seu caráter inexato, sendo necessário ao longo da pesquisa refletir e compreender o pensamento dos envolvidos. As relações interpessoais também se mostraram importantes, ao estabelecer comunicação com os alunos, na retirada de dúvidas e na construção conjunta do conhecimento. Nesse sentido, Flick (2009) aponta que:

“De modo diferente da pesquisa quantitativa, os métodos qualitativos consideram a comunicação do pesquisador em campo como parte explícita da produção de conhecimento, em vez de simplesmente encará-la como uma variável a interferir no processo. A subjetividade do pesquisador, bem como daqueles que estão sendo estudados, tornam-se parte do processo de pesquisa [...]” (Flick, 2009, p. 25).

Na pesquisa qualitativa há uma ênfase na compreensão e no estudo subjetivo, de modo que os objetivos não são voltados ao tratamento numérico e estatístico. Neste tipo de pesquisa existe a construção de teorias, além de ser muito importante se trabalhar com materiais visuais, mesmo que em tal pesquisa se aplique muitos textos (Günter, 2006).

Como o objeto de análise da pesquisa é de natureza visual (animações), além de requerer reflexão e interpretação descritiva, considera-se a metodologia empregada como sendo de natureza qualitativa. Além disso, os resultados são essencialmente descritivos, pois não é possível analisar de modo exato os modelos mentais, já que possuem caráter subjetivo. Tanto o questionário de conhecimentos iniciais quanto as animações foram analisados segundo o referencial de Johnson-Laird (1983), o qual é abrangente quanto a interpretação de dados escritos e também de natureza imagética. Os pontos 1) a 6) foram definidos de acordo com a literatura e correspondem aos tokens dos modelos mentais.

Os tokens são elementos estruturantes dos modelos mentais, e diferentes formas de arranjo e combinação destes elementos representam diferentes estados de coisas (Johnson-Laird, 1983). Ao se tratar das animações feitas pelos alunos para representar as reações químicas eletrolíticas, os tokens de seus modelos e as relações entre estes se expressam nas movimentações de figuras de diferentes íons e moléculas, nas aproximações entre distintas figuras e na proporção com que aparecem nas animações. As representações em animação não são um reflexo exato dos modelos mentais, devido ao seu caráter subjetivo, embora possam indicar a forma com que os conceitos são construídos pelos alunos e quais dificuldades possuem na interpretação de um fenômeno (Rodrigues, 2021).

A técnica de *Stop Motion* utilizada na produção das animações, se baseia na geração de quadros ou fotografias sequenciais de objetos com ligeiras movimentações ou alterações sucessivas em suas posições. Por exemplo, podem ser animados objetos simples, como um lápis, um boneco ou uma figura impressa.

Inicialmente se fotografa a posição inicial do objeto, e posteriormente são realizadas pequenas alterações em sua posição espacial. Para cada alteração, uma nova fotografia sequencial é capturada. Quando as fotografias são dispostas sequencialmente e realiza-se a rápida visualização das mesmas, há a noção de movimentação de seus elementos, pois conforme Herman (2014):

“A animação em stop motion requer que o animador mova objetos reais ou fantoches na frente da câmera antes de capturar uma imagem estática dos objetos nessa posição. O animador então ajusta o objeto, muitas vezes apenas levemente, e tira outra fotografia. Esse processo é repetido para construir segundos de animação, que são compilados para criar filmes inteiros de animação” (Herman, 2014, p. 24, tradução nossa).

A sensação de movimento está relacionada ao fenômeno da persistência retiniana, que se baseia no fato de que o cérebro humano mantém por um certo momento a aparência das imagens anteriormente vistas, sem detectar “quebras” ou descontinuidades entre um número de imagens sequenciais com ligeiras alterações na posição de seus elementos (Hurtado, 2016).

Atualmente, a produção das fotografias e seu arranjo sequencial no formato de animação é facilmente realizado por meio do aplicativo *Stop Motion Studio*, gratuitamente disponível no *Google Play Store*. Há benefícios quanto a utilização do *stop motion* no ensino de Ciências, uma vez que a inserção de tal recurso tecnológico gera um ambiente interativo, motivador e estimulante para a criatividade e o raciocínio reflexivo dos alunos, conforme as pesquisas de Ernst (2017), Rodrigues, Almeida e Espírito Santo (2020) e Silvério (2020).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O conhecimento inicial dos alunos a respeito de conceitos básicos da eletroquímica foi analisado por meio das respostas apresentadas no questionário, as quais foram categorizadas em acertos totais ou parciais e em erros (resposta totalmente incorreta), conforme a Tabela 1 a seguir, que expressa o conceito tratado em cada questão, e o total de erros e acertos totais ou parciais.

Tabela 1 - Número de acertos totais e parciais e erros segundo as questões do questionário

Questão	Conceito	Acertos Totais	Acertos Parciais	Erros
1	Representação ilustrativa de uma corrente elétrica. Do que é constituída a corrente elétrica?	–	12	11
2	Identificação dos metais correspondentes ao cátodo e ao ânodo em termos de oxidação e redução	7	9	7
3	Como ocorre a eletrólise? Semelhanças e diferenças em relação à pilha	–	5	18
4	Identificação do cátodo e do ânodo na eletrólise	–	3	20
5	Observação dos N ^{ox} dos metais, e correlação com as reações oxirredução	–	19	4

Diante dos dados observados na tabela 1, foi observado que a maioria dos estudantes apresentou dificuldades sobre os conceitos relacionados com o conteúdo de eletrólise aquosa. Por esse motivo, foi definido que os alunos não seriam identificados em função da sua seriação no Ensino Médio, e conseqüentemente, estariam em um semelhante patamar de conhecimentos associados ao conceito de eletrólise. Estes resultados iniciais são o ponto de partida para iniciar a investigação sobre as modificações nos modelos mentais dos alunos sobre a eletrólise. Pode-se perceber o grande número de acertos parciais

(respostas parcialmente corretas), o que indica que os alunos possuíam uma visão superficial sobre o tema, ou o desconheciam totalmente.

Observou-se grandes dificuldades nas respostas, devido à ausência de justificativas ou explicações, o que fez com que tais respostas não fossem consideradas totalmente corretas. A maioria dos acertos parciais indicou que grande parte dos alunos conhecem alguns termos químicos empregados, no entanto, não entenderam adequadamente as reações eletroquímicas apresentadas, a ponto de não conseguir expressá-las por palavras ou símbolos.

Os alunos em sua quase totalidade desconhecem o conceito, ou tem um modelo mental inadequado sobre o elétron, e sobre sua movimentação em metais, que constitui a corrente elétrica. Isso gerou grande número de erros nas questões 1, 3 e 4. A identificação dos processos de oxidação e redução nos eletrodos conforme os potenciais padrão de redução e conforme as variações de número de oxidação, N_{ox} , nas reações de transferência de elétrons (questões 4 e 5), também parece gerar dúvidas nos alunos, tendo em vista o grande número de erros e acertos parciais. Podemos levar em conta, entretanto, que se trata de um tema complexo aos alunos, no qual reações e movimentações diversas se dão simultaneamente, aumentando sua complexidade.

Observou-se que muitos estudantes confundiram o cátodo e ânodo da eletrólise com o cátodo e ânodo presentes nas pilhas, pois como exemplo, o polo negativo na eletrólise é o cátodo e nas pilhas é o ânodo. E a mesma inversão procede com o polo positivo destes sistemas. Isso confirma as citações de Norman (1983), que relata que os modelos mentais com pontos semelhantes em suas estruturas podem ser confundidos. Modelos mentais relativos a assuntos complexos, conforme visto através de suas expressões imagéticas ou escritas presentes no questionário, são conseqüentemente carregados de incompletudes e superficialidades.

As superficialidades e aspectos incorretos presentes nos modelos mentais também podem ser exemplificados em relação ao Aluno A, pois em sua resposta para a questão 1, sobre a corrente elétrica e sua representação, o estudante comenta: “*imagino que seja constituída por energia química*”. Isto indica que houve confusão quanto ao tipo de energia envolvida: a energia química presente nas pilhas e baterias refere-se aos íons e às reações de oxirredução, onde tal energia é convertida em corrente elétrica, um fluxo contínuo de elétrons.

Acredita-se que o conhecimento conceitual sobre a eletroquímica seja difícil para os estudantes envolvidos. No entanto, esses conceitos atrelados à geração de corrente e à interpretação de reações de oxidação e redução, possuem uma dificuldade intrínseca atrelada a complexidade dos fenômenos submicroscópicos, pois segundo Caramel e Pacca (2011, p. 9) “*muito pouco é conhecido por eles [os alunos] sobre o mecanismo microscópico de geração e circulação da corrente elétrica e a interpretação desses fenômenos em termos de entidades eletrostáticas é precária [...]*”.

Em relação aos conhecimentos sobre a eletrólise e sua diferenciação das pilhas (questões 3 e 4), houve predomínio de erros ou ausência de respostas. E é um fato desconhecido por parte dos alunos pesquisados, de que seria necessária a passagem de uma corrente elétrica, na eletrólise, para que a reação química proceda, tratando-se de um processo não espontâneo, contrariamente às pilhas e baterias, nas quais a corrente elétrica é gerada espontaneamente por meio das reações de oxirredução.

Ao analisar os alunos individualmente e seu desempenho geral no questionário, percebe-se que grande parte obteve uma compreensão baixa, de 0 a 50% de entendimento sobre o sistema eletroquímico, conforme a Figura 1 a seguir. O desempenho individual de cada aluno, permitiu concluir, que grande parte dos envolvidos obteve uma compreensão baixa, ou seja, não apresentaram um bom entendimento sobre os sistemas eletroquímicos requisitados.

Nenhum dos alunos apresentou uma compreensão alta no questionário e cerca de 35% dos alunos obteve um nível de compreensão médio. A maioria dos alunos (65%) se adequou à categoria de “Compreensão Baixa”.

A complexidade inerente ao entendimento do nível submicroscópico da matéria em temas como a eletrólise, é algo evidente nos resultados obtidos. Segundo alguns autores, como Gibin (2009), Scarinci *et al.* (2009), Finazzi *et al.* (2016), Santos *et al.* (2016), Locatelli e Arroio (2017) e Santos *et al.* (2017), os alunos têm dificuldade de compreender o nível submicroscópico da matéria, que é invisível e “não palpável”, com o qual não tem contato visual direto. Já ao se tratar do nível macroscópico, geralmente os alunos têm acesso e o compreendem mais facilmente.

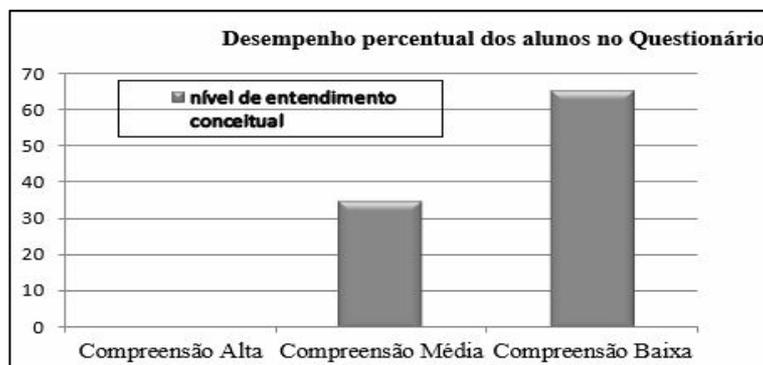


Figura 1 - Quantidade de alunos que obtiveram Compreensão Alta, Média e Baixa

Dito isso, uma relação entre os níveis macroscópico e submicroscópico pode ser estabelecida mais facilmente através da aplicação de atividades experimentais, onde os alunos têm interação com o nível macroscópico da matéria, e posteriormente permitir a melhor compreensão do fenômeno pela elaboração de animações, que simulem as reações entre íons, átomos ou moléculas. Acredita-se que estas duas atividades, quando realizadas conjuntamente, potencializem a construção mais precisa dos modelos mentais sobre conceitos químicos.

Experimento de eletrólise aquosa do hidróxido de sódio

Nesta etapa do minicurso os alunos se organizaram em grupos de 3 a 5 membros e realizaram o experimento da eletrólise aquosa do hidróxido de sódio (NaOH), com uma cuba eletroquímica, solução de NaOH de concentração $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$, seringas para a coleta de gás, uma fonte de energia portátil, cabos para conectar a cuba e a fonte de energia, além de uma chama para realizar a teste de identificação de gases.

É importante ressaltar que a pesquisadora efetuou o experimento junto com cada grupo, para garantir a segurança de todos os alunos. A pesquisadora também explicou a cada grupo as reações químicas envolvidas em cada etapa do procedimento. A Figura 2 a seguir ilustra o sistema para eletrólise e os equipamentos utilizados.

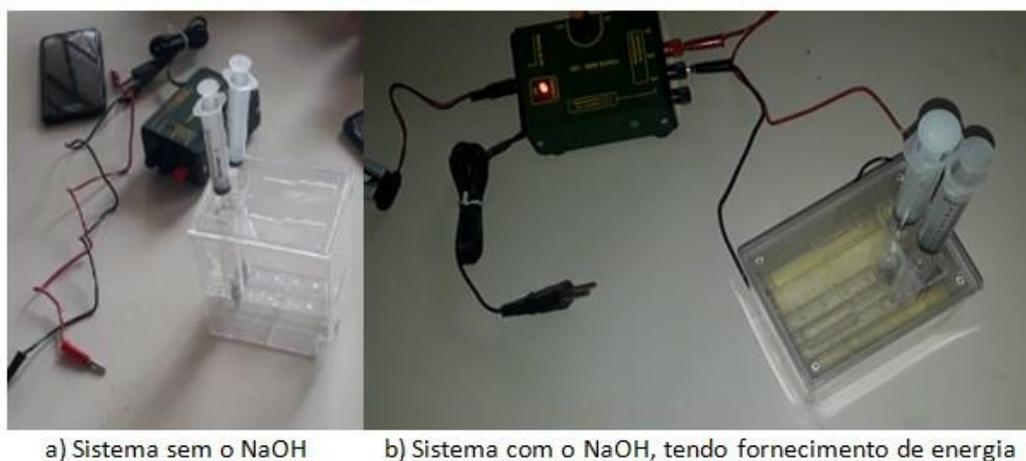


Figura 2 - Experimento da eletrólise aquosa do hidróxido de sódio.

O fornecimento de energia elétrica para o sistema eletrolítico ocorreu por meio de uma pilha de 9V, que foi conectada nos eletrodos de aço inox presentes nas cubas eletroquímicas. O gás foi coletado com seringas, e foi feito o teste para identificação dos gases gerados (hidrogênio e oxigênio), por meio das diferentes reações em contato com uma chama.

Ocorreu durante a atividade experimental um estímulo ao pensamento sobre as dinâmicas iônicas e moleculares das reações empíricas visualizadas. Dessa forma, ao longo do experimento, os estudantes foram convidados a pensar e imaginar como elétrons, íons e moléculas se comportaram a fim de que ocorressem

os fenômenos vislumbrados, como a liberação de gases e as diferentes velocidades de combustão frente ao teste da chama.

Tal exercício de reflexão também se fez presente ao longo do desenvolvimento das animações, uma vez que os discentes deveriam interpretar as reações e representá-las com figuras correspondentes as espécies químicas em nível subatômico.

Análise das animações feitas em *stop motion* com representações submicroscópicas da reação de eletrólise aquosa do NaOH

As animações produzidas em *stop motion* para a eletrólise tiveram erros consideráveis, possivelmente por se tratar de um sistema complexo, e também por ter gerado certa confusão, já que tal processo possui funcionamento oposto ao da pilha. A Figura 3 a seguir apresenta a legenda correspondente às figuras empregadas na animação da eletrólise aquosa do hidróxido de sódio.

Representação empregada	Espécie química
	Molécula de oxigênio (O ₂)
	Cátion hidrogênio (H ⁺), próton
	Molécula de hidrogênio (H ₂)
	Íon hidroxila (OH ⁻)
	Cátion sódio (Na ⁺)
	Elétron (e ⁻)

Figura 3 - Figuras impressas empregadas nas animações para representar íons, moléculas e elétrons.

A numeração presente nas imagens apresentadas a seguir está de acordo com a sequência de acontecimentos químicos segundo a progressão das animações.

Os vídeos do grupo 1 e 2 seguiram a proporção estequiométrica. Possivelmente utilizaram a equação química fornecida durante as explicações para aglomerar no ânodo (polo positivo) 4 ânions OH⁻, que se transformaram corretamente em 2 moléculas de água e 1 molécula de oxigênio, que foi representada “vagando” para fora do sistema, como no experimento, onde os alunos visualizaram os gases na forma de bolhas. Também foram produzidos 4 elétrons que seguiram o sentido da corrente elétrica em direção ao cátodo, conforme a Figura 4 a seguir.

Entretanto, esses grupos não representaram devidamente a autoionização da água, representada pela equação: $\text{H}_2\text{O}_{(l)} \rightarrow \text{H}^+_{(aq)} + \text{OH}^-_{(aq)}$. Ao considerar um certo número de moléculas de água, o número de íons H⁺ que aparecem ao longo da reação química deve ser proporcional ao número de moléculas de água inicial, de 1 para 1, ou seja, deve constar uma molécula de água para cada íon H⁺. Nas representações feitas por tais grupos, os íons hidrogênio ou hidrônio constam em quantidade desproporcional em relação ao número de moléculas de água. Por outro lado, representam corretamente o fato de que os íons Na⁺ não reagem, visto que apresentam baixa tendência à reação de redução.

Outra visão incorreta na animação destes grupos foi que estes não seguiram a estequiometria em relação à redução dos cátions hidrônio (H⁺), pois representaram o ganho de dois elétrons para um H⁺, liberando uma molécula de hidrogênio (H₂) e água. Esta representação é incoerente, pois seria necessário o envolvimento de 2 íons H⁺, sem surgimento de água. É possível que os alunos tenham se confundido em

relação à redução dos íons H^+ , já que anteriormente tinha-se observado a redução de íons Cu^{2+} , que necessitavam receber 2 elétrons. Mesmo considerando a presença de erros estequiométricos, estes grupos demonstraram o melhor desempenho em termos representacionais do modelo mental da eletrólise, comparativamente aos outros grupos.

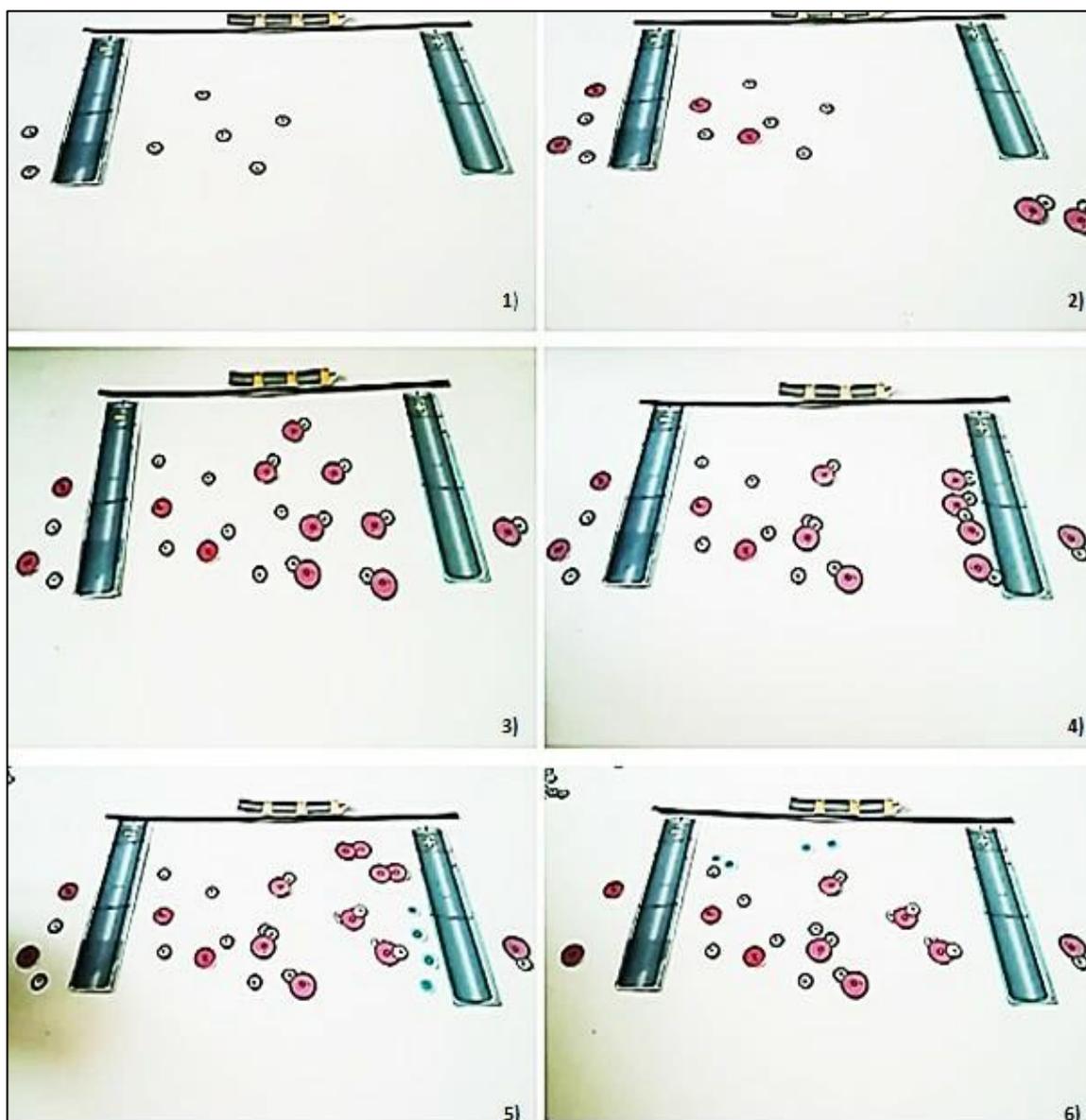


Figura 4 - Momentos da animação desenvolvida pelo Grupo 1

Analisando a animação produzida pelo grupo 3, por sua vez, notou-se uma dificuldade para definir em qual dos polos ocorreria a oxidação, pois inicialmente o grupo começa a movimentação dos elétrons pelo polo negativo, apresentado no quadro 1 da Figura 5 a seguir. Nesse ponto, provavelmente houve confusão, pois é nesse polo onde ocorre a oxidação na pilha. E posteriormente os elétrons surgem repentinamente no polo positivo, exibido no quadro 2 da Figura 5. A estequiometria seguida por eles é de um elétron para 2 cátions H^+ , conforme apresentado no quadro 4, o que está incorreto, já que neste caso seriam necessários 2 elétrons para a redução de 2 íons H^+ e a formação da molécula de hidrogênio (H_2). Além disso, não são representadas as reações dos ânions hidroxila (OH^-) gerando moléculas de água, oxigênio molecular (O_2) e liberando elétrons (e^-). A Figura 5 a seguir ilustra a animação produzida pelo grupo.

Também se notam erros cinemáticos e dinâmicos da estrutura interna do sistema, já que há descontinuidades, com as espécies químicas “desaparecendo” e surgindo em algum lugar da animação. Este erro é observado em quase todas as animações, exceto as produzidas pelos grupos 1 e 2.

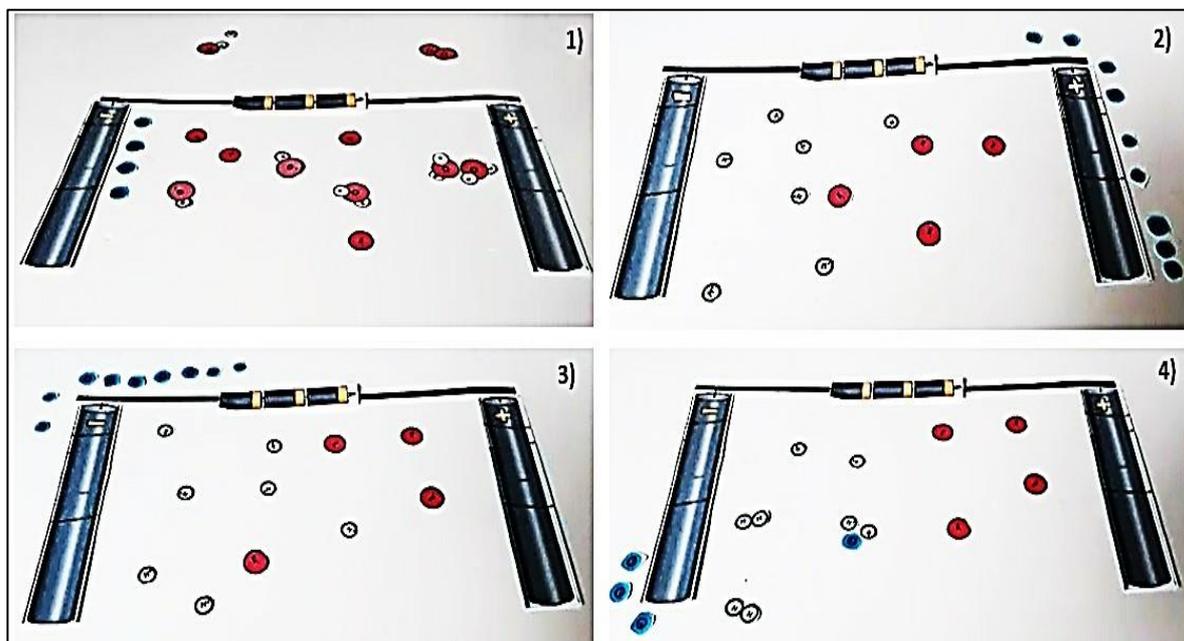


Figura 5 - Momentos da animação desenvolvida pelo Grupo 3

Nas animações desenvolvidas pelos grupos 4, 5 e 6 há várias características em comum quanto às representações feitas: os íons hidroxila (OH^-) se orientam em torno do polo positivo (ânodo), sem, entretanto, reagirem, surgindo posteriormente 4 elétrons que se orientam em direção ao polo negativo. O erro até esta etapa foi a representação dos elétrons sem a reação de oxidação dos íons hidroxila (OH^-), a qual lhes dá origem. A Figura 6 a seguir ilustra a ausência da representação de uma reação de oxidação, e ao mesmo tempo o surgimento de elétrons. Tais elétrons deveriam surgir no sistema apenas após ocorrer uma reação de oxidação. Tal erro foi comum entre os grupos 4, 5 e 6:

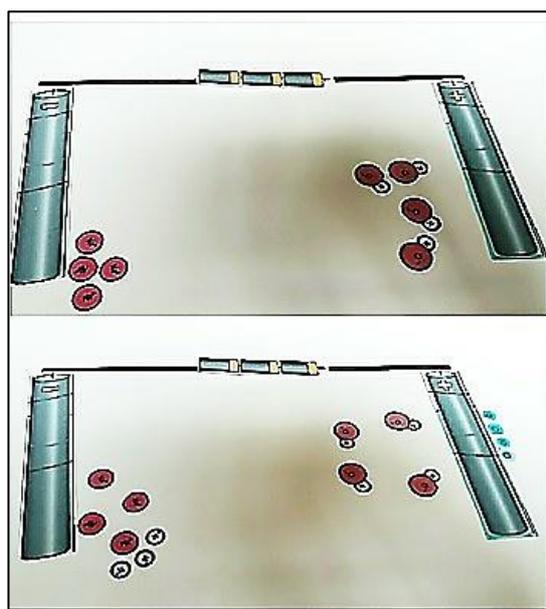


Figura 6 - Ausência de representação de reação dos íons hidroxila (OH^-) pelo grupo 5

Conforme a Figura 6, pode-se perceber que os elétrons surgem espontaneamente, sem a demonstração da reação de redução dos íons hidroxila (OH^-), com posterior formação de gás hidrogênio, duas moléculas de água e quatro elétrons.

Até este momento, as representações são semelhantes, e se distinguem no percorrer final da animação. Os grupos 4 e 5 representaram a redução dos íons H^+ através da formação da molécula de hidrogênio (H_2), sem diminuir, no entanto, o número de elétrons, que continuaram a percorrer o sistema no sentido inverso (em direção ao ânodo), conforme a Figura 7.

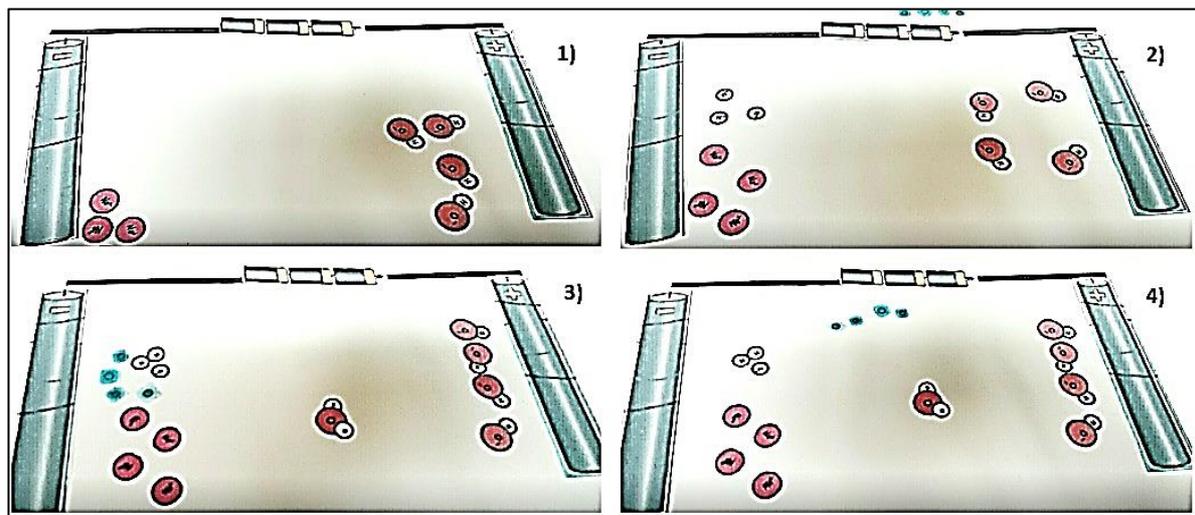


Figura 7 - Momentos da animação desenvolvida pelo Grupo 4

Por meio da Figura 7 também é possível perceber que, assim como nos grupos 4 e 5, os ânions hidroxila (OH^-) se aproximam do ânodo (polo positivo) e nenhuma reação de oxidação é representada, e os elétrons surgem espontaneamente no sistema. Estes resultados são indicativos que os alunos não conseguem “visualizar” mentalmente tal reação em nível submicroscópico, pois a mesma está carregada de abstrações, de modo que os estudantes não conseguiram prever e representar alguns dos produtos da oxidação, como a água e gás oxigênio (O_2).

Já o grupo 6 não representou a redução dos cátions hidrônio (H^+), e no final da animação surgiram 3 moléculas de oxigênio, sem demonstrar a reação que levou ao surgimento das mesmas (oxidação das hidroxilas). Além disso, as relações estequiométricas também não foram obedecidas, conforme a Figura 8, pois a representação da oxidação das 5 hidroxilas (OH^-) não resultaria na produção de 3 moléculas de gás oxigênio. Nestes casos, o processo final de eletrólise em termos de modelo mental, foi considerado inadequado em relação aos acontecimentos reais.

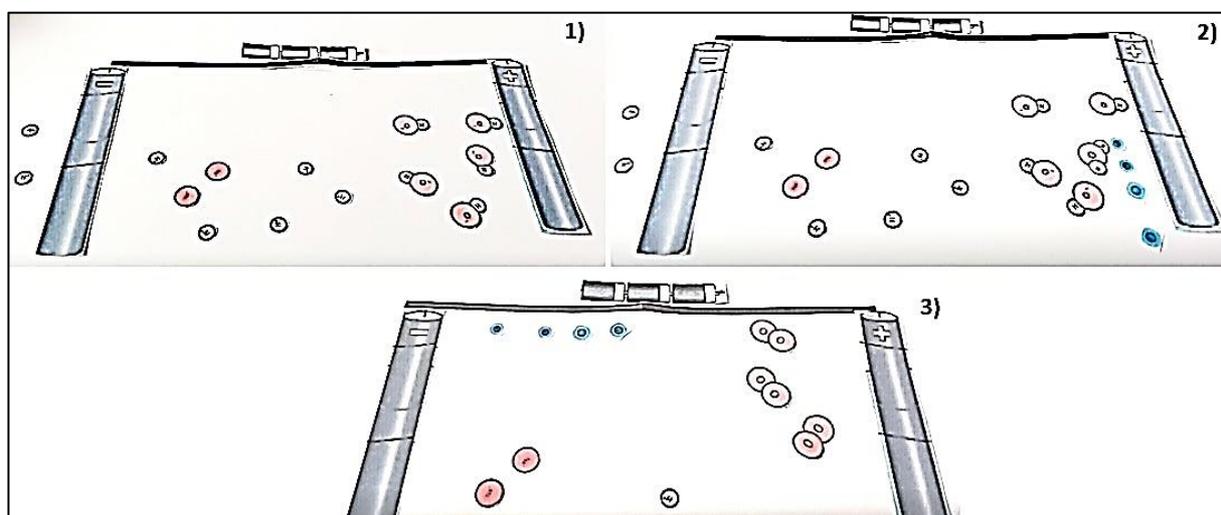


Figura 8 - Momentos da animação desenvolvida pelo Grupo 6

Constatou-se que os modelos mentais desenvolvidos pelos alunos tendem a ser muito simplificados, pois se observou uma ausência de representação cinemática e dos processos de oxidação e redução na maior parte das animações. Houve confusões entre os conceitos de pilhas e eletrólise, o que demonstra que os modelos expressos são incompletos, pois não seguem com rigor os detalhes que compõem o funcionamento dinâmico do sistema. No Quadro 2 a seguir, é realizada uma síntese acerca dos tokens constituintes dos modelos mentais expressos através de animações.

Quadro 2: Tokens dos modelos mentais observados nas animações em *stop motion* (Adaptado de Rodrigues & Gibin, 2019, p. 6).

Grupo que desenvolveu a animação	Comportamento dos íons Na ⁺ em solução e autoionização da água	Movimentações de elétrons, íons, átomos ou moléculas	Sentido de movimentação dos elétrons	Estequiometria das reações
1 e 2	Os grupos não representaram a reação de redução dos íons Na ⁺ , o que é correto considerando a baixa tendência de reação do íon. Entretanto, não houve demonstração do processo de autoionização da água. Esta observação está presente em todos os grupos".	A movimentação das espécies químicas foi adequada, pois houve continuidade entre o surgimento de moléculas e íons e a demonstração das consecutivas reações.	Foi representado de forma correta, pois o fluxo de e ⁻ se origina no ânodo (polo +) e percorre o circuito em direção ao cátodo (polo -). Esta observação está presente em todos os grupos".	Foi corretamente representado quanto a oxidação de átomos de Zn e surgimento de e ⁻ . Entretanto, o número de moléculas de água e oxigênio que surgiram é incorreto, assim como a redução dos íons H ⁺ procedeu com 2 e ⁻ para cada H ⁺ , ao invés de 1 e ⁻ por H ⁺ .
3		A movimentação de íons e moléculas não foi coerente, já que havia espécies químicas que surgiam indefinidamente.		As proporções são incoerentes. Não são expressas as reações de oxidação dos íons OH ⁻ e a redução dos cátions H ⁺ não segue a estequiometria adequada.
4, 5 e 6		Foi inadequado, pois íons, moléculas e elétrons apareciam ou desapareciam do sistema, sem representações de reações químicas que explicassem tais movimentações.		A reação de oxidação dos íons OH ⁻ é incorreta, e a redução dos íons H ⁺ não é representada.

Entende-se que os sistemas eletroquímicos apresentam alto grau de complexidade, já que envolvem muitas espécies químicas, relações de ganho e perda de elétrons, solvatação e migração de íons, diferentes tendências à reação, e autoionização da água, o que é a causa da aprendizagem incompleta desta temática no Ensino Médio, já que muitos conceitos são confundidos e tratados como extremamente difíceis principalmente pela necessidade de compreensão do nível submicroscópico da matéria.

No entanto, é perceptível certa evolução nos modelos mentais de todos os grupos, já que comparativamente ao questionário inicial, poucos alunos sabiam algo a respeito da eletrólise, desconhecendo principalmente o fato de que se trata de um processo não espontâneo, que necessita do fornecimento de energia elétrica para que ocorra as reações de “descarga” dos íons. É muito provável que os estudantes não compreenderam conceitos que são base para a compreensão da eletroquímica, como a concepção de corrente elétrica e as diferenças entre sistemas eletroquímicos, por exemplo. Certamente esta característica da eletrólise foi assimilada pelos alunos através realização dos experimentos, por meio da série de explicações dadas sobre o assunto ao longo do minicurso, e também através da produção das animações. Isto pôde ser percebido por meio das animações, uma vez que foram representados fluxos de elétrons (pequenas esferas em azul nas animações) demonstrativos da corrente elétrica, que se locomoviam no sentido correto dos polos. Os alunos poderiam trabalhar em suas animações, tanto com uma imagem de uma bateria que completaria o circuito, como foi feito por todos os grupos, quanto com uma lâmpada que representaria a passagem da corrente elétrica pelo seu ascendimento. A opção dos alunos em utilizar a imagem da bateria, sugere que possuíam a concepção de que para o sistema eletrolítico funcionar, deve

haver o fornecimento de uma corrente elétrica (bateria ou pilha), ao passo que, uma lâmpada por si só, em ausência de uma bateria, não forneceria energia elétrica ao sistema.

Os erros encontrados nas animações se tornaram evidentes aos próprios alunos (ou seja, os mesmos comentaram entre si as reações e movimentações incorretas dos íons e moléculas), quando estes observaram a animação com o funcionamento mais ideal possível do sistema (produzida pela pesquisadora). Notou-se grande envolvimento e interesse pelo aplicativo de produção de animações, de modo que o assunto relativo à eletrólise também deixou de ser algo rigorosamente teórico, para se tornar algo passível de ser visualizado e interpretado pelos alunos através de experimentos. Neste sentido, a proposta didática que envolve a teoria e prática sobre eletrólise motivou os estudantes inicialmente a procurar entender o experimento, pois eles se questionavam sobre os motivos ligados à ocorrência de dado fenômeno ou sobre a movimentação iônica. Este interesse se tornou maior com o processo de elaboração da animação, que facilitou o seu processo de raciocínio e análise do sistema.

CONCLUSÕES

Mesmo reconhecendo o pequeno avanço tido pelos modelos mentais dos alunos quanto à eletrólise, devido à complexidade do tema e às muitas dificuldades em visualizar e criar um modelo mental relativo à perda e ganho de elétrons, estequiometria de reações e movimentação das espécies químicas, conclui-se que a utilização do aplicativo *Stop Motion Studio* no ensino de Química, para criação de animações representativas da dinâmica das espécies submicroscópicas, é vantajosa. Se tornou evidente o papel protagonista do aluno, no processo de ensino e aprendizagem, ao fazer representações imagéticas e reflexões sobre o fenômeno químico visto experimentalmente e explorado de forma didática.

O envolvimento do aprendiz é algo que muitas vezes se encontra ausente nas salas de aula, tanto no ensino público quanto no ensino privado, devido ao uso ainda frequente de métodos tradicionais. E a falta de interesse dos alunos pela Ciência corrobora para a perda de qualquer motivação em aprender conteúdos simples ou complexos. Neste sentido, compreende-se que o uso de métodos tradicionais que valorizam a memorização ainda é muito presente devido ao que é ditado pelos grandes vestibulares e ENEM, o que acarreta em currículos e materiais didáticos conteudistas. Entretanto, é também importante chamar a atenção dos alunos para algo não estritamente teórico, mas que pode ser visto em prática e manipulado por meio de simples animações, pois ferramentas como esta auxiliam na compreensão conceitual, e permitem auxiliar na imaginação dos fenômenos pelos estudantes, além de estimular o senso crítico, o raciocínio e o trabalho em equipe.

A visualização das animações permitiu localizar os pontos em que os alunos mais tiveram dificuldades de visualizar mentalmente e entender, quanto ao funcionamento da dinâmica submicroscópica. Algumas destas dificuldades são comuns, já que os modelos mentais naturalmente tendem a apresentar pontos incongruentes e superficiais (Norman, 1983). No entanto, estas superficialidades podem se intensificar ao se tratar de temas complexos e abstratos. O professor pôde localizar tais dificuldades por meio da técnica de produção das animações, e agir intervindo por meio de explicações detalhadas direcionadas a aspectos conceituais ainda não completamente compreendidos. É possível que em sala de aula, o docente acompanhe o desempenho dos estudantes e intervenha corrigindo e aperfeiçoando detalhes específicos do modelo expresso deles, já que assim como os modelos mentais, a aprendizagem se dá perante um processo contínuo que pode ser direcionado ao aperfeiçoamento.

Vale ressaltar que o método, quando empregado pelo professor, deve ser devidamente planejado, com o acompanhamento da aprendizagem dos alunos, que pode ser uma evolução, regressão ou sem alteração aparente. Também é necessário levar em conta os conhecimentos prévios dos alunos, para atuar nas falhas conceituais encontradas nos modelos mentais. Desse modo, acredita-se que um modelo mental sobre um conceito abstrato e de difícil compreensão, pode se tornar mais preciso ao longo do tempo.

O uso do aplicativo *Stop Motion Studio* se tornou válido ao longo de explicações que não poderiam ser realizadas simplesmente por meio da fala ou da escrita simbólica, pois os movimentos das espécies químicas foram melhor descritos e compreendidos a partir de sua demonstração dinâmica e visual. Sistemas com alto nível de abstração e complexidade necessitam de ferramentas ou recursos visuais que possibilitem a desmistificação destes sistemas e a construção do raciocínio e da lógica perante a modelagem de fenômenos invisíveis ou não palpáveis. Também foi possível concluir que, assim como descrevem Ontoria, *et al.* (2008), os recursos visuais estimulam o raciocínio, a criatividade e a participação ativa dos discentes, de forma que estes passam ter papel protagonista no processo de construção do conhecimento.

REFERÊNCIAS

- Basso, A. (2017). Avaliando em matemática através das rubricas. In Anais do XIII Congresso Nacional de Educação. Curitiba, PR. Recuperado de https://educere.bruc.com.br/arquivo/pdf2017/24029_11960.pdf
- Ben-Zvi, R., Eylon, B., & Silberstein, J. (1987). Student's visualization of a chemical reaction. *Education in Chemistry*, 24(4), 117-120.
- Bezerra, E. J., Souza Jr., A. S., Silva., D. G., Neves, R. F., & Melo, S. W. (2015). Concepções e modelos mentais de célula com estudantes do ensino médio. In Anais do X Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. Águas de Lindóia, São Paulo, SP. Recuperado de <http://www.abrapecnet.org.br/enpec/x-enpec/anais2015/listaresumos.htm>
- Biagiotti, L. C. M. (2005). Conhecendo e aplicando rubricas em avaliações. In Anais do XII Congresso Internacional de Educação a Distância. Florianópolis, SC. Recuperado de <http://www.abed.org.br/congresso2005/por/pdf/007tcf5.pdf>
- Borges, A. T. (1999). Como evoluem os modelos mentais. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências*, 1(1), 66-92. Recuperado de <https://www.scielo.br/j/epec/a/bHKXtCD5SnMdppvGyhs4c5q/?format=pdf&lang=pt>.
- Caamaño, A. (2007). La enseñanza y el aprendizaje de la química. In A. Caamaño, A. Oñorbe, E. Pedrinaci, A. de Pro, & M. P. Jiménez Aleixandre (Orgs.). *Enseñar Ciencias* (pp. 95-118.). Barcelona, España: Graó.
- Caramel, N. J. C., & Pacca, J. L. A. (2011). Concepções alternativas em eletroquímica e circulação da corrente elétrica. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 28(1), 7-26. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3683134.pdf>
- Costa, C. (2005). *Educação, imagem e mídias*. São Paulo, SP: Cortez.
- Ernst, P. (2017). *Cinema e ensino: a produção de cinema de animação para o ensino de ciências por meio do enfoque ciência, tecnologia e sociedade (CTS)*. (Dissertação de mestrado). Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciência e Tecnologia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, PR. Recuperado de https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/2723/1/PG_PPGECT_Ernst%2C%20Priscila_2017.pdf
- Finazzi, G. A., Martins, C. N., Capelato, M. D., & Ferreira, L. H. (2016). Desenvolvimento de experimento didático de eletrogravimetria de baixo custo utilizando princípios de química verde. *Química Nova*, 39(1), 137-261. Recuperado de <https://www.scielo.br/j/qn/a/3rs7vzhHLBqV7WkCHM6RT8d/abstract/?format=html&lang=pt>
- Flick, U. (2009). *Introdução à pesquisa qualitativa*. (3a ed.). Porto Alegre, RS: Artmed.
- França, M. C., Rolim, L., Correia, M. J. M., Santos Jr., M. S., Rocha Jr., L. C., & Chaves, D. C. (2012). Recurso didático alternativo para aula de eletroquímica. In Anais do II Congresso Internacional de Educação Científica e Tecnológica. Santo Ângelo, RS. Recuperado de https://san.uri.br/sites/anais/ciecitec/2012/resumos/REL_EXP_POSTER/poster_exp8.pdf
- Freire, M. S., Silva Jr., C. N., & Silva, M. G. L. (2012). Dificuldades de aprendizagem no ensino de eletroquímica segundo licenciandos de química. In Atas do VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. Campinas, SP. Recuperado de http://abrapecnet.org.br/atas_enpec/viii/enpec/resumos/R1150-1.pdf
- García, J. J. G., & Palacios, F. J. P. (2006). ¿Cómo usan los profesores de química las representaciones semióticas?. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 5(2), 247-259. Recuperado de http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen5/ART3_Vol5_N2.pdf
- Gibin, G. B. (2009). *Investigação sobre a construção de modelos mentais para o conceito de soluções por meio de animações*. (Dissertação de mestrado). Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP. Recuperado de http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select_action=&co_obra=147406
- Gibin, G. B., & Ferreira, L. H. (2010). A formação inicial em química baseada em conceitos representados por meio de modelos mentais. *Química Nova*, São Paulo, 33(8), 1809-1814. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422010000800033>
- Goes, L. F., Fernandez, C., & Agostinho, S. M. L. (2016). Concepções e dificuldades de um grupo de professores de química sobre conceitos fundamentais de eletroquímica. In Anais do XVIII Encontro Nacional de Ensino de Química. Florianópolis, SC. Recuperado de <https://www.eneq2016.ufsc.br/anais/resumos/R0236-1.pdf>

- Goes, L. F., Nogueira, K. S. C., & Fernandez, C. (2020). Limitations of teaching and learning redox: a systematic review. *Problems of Education in the 21st Century*, 78, 698-718. <https://doi.org/10.33225/pec/20.78.698>
- Grahall, H. C., Fernandez, C., & Nogueira, K. S. C. (2021). Um estado da arte sobre reações redox no contexto do ensino de química no Brasil. *Scientia Naturalis*, 3(3), 971-995. Recuperado de <https://periodicos.ufac.br/index.php/SciNat/article/view/5728>
- Günther, H. (2006). Pesquisa qualitativa versus pesquisa quantitativa: esta é a questão? *Psicologia: Teoria e Pesquisa*, 22(2), 201-210. Recuperado de <https://www.scielo.br/j/ptp/a/HMpC4d5cbXsdt6RqbrmZk3J/?lang=pt&format=pdf>
- Herman, S. (2014). *Brick flicks: a comprehensive guide to making your own stop-motion Lego movies*. New York, United States of America: Skyhorse Publishing.
- Hurtado, D. (2016). *Flipping out: the art of the flipbook animation*. Lake Forest, United States of America: Quarto Publishing Group USA Inc.
- Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental models: towards a cognitive science of language, inference, and consciousness*. Cambridge, United States of America: Harvard University Press.
- Johnstone, A. H. (1993). The development of chemistry teaching: A changing response to changing demand. *Journal of Chemical Education*, 70(9), 701-705. <https://doi.org/10.1021/ed070p701>
- Lima, V. A., & Marcondes, M. E. R. (2005). Atividades experimentais no ensino de química. Reflexões de um grupo de professores a partir do tema eletroquímica. *Enseñanza de las Ciencias, extra*, 1-4. Recuperado de https://ddd.uab.cat/pub/edlc/edlc_a2005nEXTRA/edlc_a2005nEXTRAp291atiexp.pdf
- Lima, R. A., Sá, R. A., & Vasconcelos, F. C. G. C. (2019). O uso de simulações PhET no ensino dos conceitos de ácido e base. In *XII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*. Natal, RN. Recuperado de <http://abrapecnet.org.br/enpec/xii-enpec/anais/resumos/1/R0938-1.pdf>
- Locatelli, S. W., & Arroio, A. (2017). Dificuldades na transição entre os níveis simbólico e submicro – Repensar o macro pode auxiliar a compreender reações químicas? In *X Congresso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias*. (pp. 4239-4244). Sevilla, España. Recuperado de https://ddd.uab.cat/pub/edlc/edlc_a2017nEXTRA/21_-_Dificuldades_na_transicao_entre_os_niveis_simbolico_e_submicro.pdf
- Moreira, M. A., Greca, I. M., & Palmero, M. L. R. (2002). Modelos mentales y modelos conceptuales en la enseñanza & aprendizaje de las ciencias. *Revista Brasileira de Investigación em Educação em Ciências*, 2(3), 84-96. Recuperado de <https://www.if.ufrgs.br/~moreira/modelosmentalesymodelosconceptuales.pdf>
- Norman, D. A. (1983). Some observations on mental models. In D. Gentner & A. L. Stevens (Eds.). *Mental models* (pp. 7-14). Hillsdale, United States of America: Lawrence Erlbaum Associates.
- Oliveira, J. B. S., Azevedo, F. F. C., Bezerra, D. P., Souza, L. G. S., & Araújo, D. M. (2018). Pilhas: uma proposta para o ensino de eletroquímica. In *Anais do V Congresso Nacional de Educação*. Recife, PE. Recuperado de https://editorarealize.com.br/editora/anais/conedu/2018/TRABALHO_EV117_MD4_SA16_ID8462_09092018113917.pdf
- Ontoria, A., Luque, A., & Gómez, L. P. R. (2008). *Aprender com mapas mentais – uma estratégia para pensar e estudar* (3a. ed.). São Paulo, SP: Madras.
- Rodrigues, A. C. L., Almeida, V. E., & Espírito Santo, A. C. (2020). Stop motion como suporte no processo de aprendizagem por meio das mídias. *Revista Carioca de Ciência, Tecnologia e Educação*, 5(1), 63-77. <https://doi.org/10.17648/2596-058X-recite-v5n1-6>
- Rodrigues, A. M. (2021). *Modelos mentais sobre conceitos de eletroquímica de licenciandos em química desenvolvidos pela técnica de stop motion*. (Trabalho de conclusão de curso). Licenciatura em Química, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, SP, 2021.
- Rodrigues, A. M., & Gibin, G. B. (2019). Investigação sobre modelos mentais de alunos do ensino médio sobre eletrólise expressos em animações. In *Anais do VII Congresso Brasileiro de Educação*. Bauru, SP. Recuperado de <https://hospeda.fc.unesp.br/cbeunesp/anais/index.php?t=TC2019031430482>

- Rodrigues, A. M., & Gibin, G. B. (2020). Modelos mentais dos alunos sobre a pilha de Daniell: Investigação com o aplicativo stop motion. *TICs & EaD em Foco*, 6(2). <https://doi.org/10.18817/tics.v6i2>
- Russel, J. W. (1997). Use of simultaneous-synchronized macroscopic, microscopic, and symbolic representations to enhance the teaching and learning of chemical concepts. *Journal of Chemical Education*, 74(3), 330-334. <https://doi.org/10.1021/ed074p330>
- Sanjuan, M. E. C., Santos, C. V. D., Maia, J. O., Silva, A. F. A., & Wartha, E. J. (2009). Maresia: uma proposta para o ensino de eletroquímica. *Química Nova na Escola*, 31(3), 190-197. Recuperado de http://qnesc.sbg.org.br/online/qnesc31_3/07-RSA-2008.pdf
- Santos, L. R. L., Lima, J. P. M., & Sarmiento, V. H. V. (2017). Concepções de alunos ingressantes no curso de licenciatura em química sobre alguns conceitos de soluções. *Revista de Ensino de Ciências e Matemática*, 8(3), 41-60. Recuperado de <https://revistapos.cruzeirosul.edu.br/index.php/rencima/article/view/1239/895>
- Santos, A. S., Piva, G. M., & Gibin, G. B. (2016). Uso de simulações para o desenvolvimento de modelos mentais sobre estados físicos da matéria. In *Anais do XVIII Encontro Nacional de Química*. Florianópolis, SC. Recuperado de <http://intertemas.toledoprudente.edu.br/index.php/ETIC/article/view/5398>
- Santos, W., & Mól, G. (2017). *Química cidadã*, v.3 (3a. ed.). São Paulo, SP: AJS Ltda.
- Scarinci, A. N., Costa, R., Shimizu, S., & Pacca, J. L. A. (2009). Modelos representacionais da estrutura da matéria e o ensino de eletricidade. In *Anais do XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física*. Vitória, ES. Recuperado de <https://repositorio.usp.br/item/001742502>
- Sebata, C. E. (2006). *Aprendendo a imaginar moléculas: uma proposta de ensino de geometria molecular*. (Dissertação de mestrado). Programa de Pós Graduação em Ensino de Ciências, Universidade de Brasília, DF. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/33531357.pdf>
- Silva, E. A., & Silva, W. R. (2020). *Dificuldades encontradas no processo de ensino e aprendizagem da disciplina de ciências naturais por alunos e professores do ensino fundamental de uma escola pública do município de Itaituba – SP*. (Trabalho de conclusão de curso). Licenciatura em Ciências Biológicas, Faculdade de Itaituba, São Paulo, SP. Recuperado de <http://www.faculadadedeitaituba.com.br/pdf.php?id=211&f=DIFICULDADES%20ENCONTRADAS%20NO%20PROCESSO%20DE%20ENSINO%20E%20APRENDIZADO%20NA%20DISCIPLINA%20DE%20CIENCIAS%20NATURAS%20PRO%20ALUNOS%20E%20PROFESSORES%20-1.pdf>
- Silva, R. M., Silva, R. C., Almeida, M. G. O., & Aquino, K. A. S. (2016). Conexões entre cinética química e eletroquímica: a experimentação na perspectiva de uma aprendizagem significativa. *Química nova na escola*, 3, 237-243. <http://dx.doi.org/10.21577/0104-8899.20160033>
- Silvério, L. M. P. (2020). *Stop motion e produção de textos narrativos no ensino fundamental*. (Trabalho de conclusão de curso). Escola de Educação Básica e Profissional, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG. Recuperado de <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/34958>
- Wu, H. K., Krajcik, J. S., & Soloway, E. (2001). Promoting understanding of chemical representations: students' use of a visualization tool in the classroom. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(7), 821-842. <https://doi.org/10.1002/tea.1033>

Recebido em: 06.12.2021

Aceito em: 22.05.2022