



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
NÚCLEO DE FORMAÇÃO DOCENTE
CURSO DE LICENCIATURA EM QUÍMICA

AILTON JOSÉ DA SILVA

**EXPLORANDO A ELETROQUÍMICA A PARTIR DE UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA
COM USO DA EXPERIMENTAÇÃO E SIMULAÇÃO ASSOCIADA À TEORIA DA
FLEXIBILIDADE COGNITIVA**

CARUARU

2024

AILTON JOSÉ DA SILVA

**EXPLORANDO A ELETROQUÍMICA A PARTIR DE UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA
COM USO DA EXPERIMENTAÇÃO E SIMULAÇÃO ASSOCIADA À TEORIA DA
FLEXIBILIDADE COGNITIVA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Licenciatura em Química da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Licenciado em Química.

Área de concentração: Ensino de Química.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Flávia Cristina Gomes Catunda de Vasconcelos

CARUARU

2024

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Silva, Ailton José da.

Explorando a eletroquímica a partir de uma sequência didática com uso da experimentação e simulação associada à teoria da flexibilidade cognitiva / Ailton José da Silva. - Caruaru, 2024.

95 p. : il.

Orientador(a): Flávia Cristina Gomes Catunda de Vasconcelos
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico do Agreste, Química - Licenciatura, 2024.
Inclui referências, apêndices.

1. Simulação. 2. Experimentação. 3. Flexibilidade cognitiva. 4. Sequência didática. I. Vasconcelos, Flávia Cristina Gomes Catunda de. (Orientação). II. Título.

540 CDD (22.ed.)

AILTON JOSÉ DA SILVA

**EXPLORANDO A ELETROQUÍMICA A PARTIR DE UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA
COM USO DA EXPERIMENTAÇÃO E SIMULAÇÃO ASSOCIADA À TEORIA DA
FLEXIBILIDADE COGNITIVA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Licenciatura em Química da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Licenciado em Química.

Aprovado em: 23/10/2024

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dr.^a Flávia Cristina Gomes Catunda de Vasconcelos (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. José Ayron Lira dos Anjos (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof.^a Dr.^a Ana Paula de Souza de Freitas (Examinadora Interna)
Universidade Federal de Pernambuco

Dedico este trabalho de conclusão de curso a minha família

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, nosso senhor. Quando me aproximei de Deus nos momentos difíceis da graduação, compreendi que não estou só, e que existe um preço a ser pago para alcançar meus objetivos, e que nessa trajetória, Deus sempre esteve ao meu lado.

Agradeço a minha família, minha mãe Cacilda, meu pai José, minha irmã Dayane e meu irmão Felipe, que são meus pilares e bens mais preciosos. Muito obrigado por sempre apoiarem meus estudos. Tudo que faço não é apenas por mim, mas para nós.

Agradeço também a minha Orientadora Flávia Cristina Gomes Catunda de Vasconcelos, por me orientar na elaboração deste trabalho e por me apresentar as metodologias e a teoria abordada. Muito obrigado professora.

A aplicação deste trabalho só foi possível devido a solicitude da professora preceptora Angela Maranhão Santos, que disponibilizou seus estudantes e o campo de pesquisa, muito obrigado.

Não poderia deixar de agradecer a todos os professores do Núcleo de Formação Docente do curso, que contribuíram grandemente para minha formação profissional. Em especial, aos professores José Ayrton Lira dos Anjos, Regina Célia Barbosa de Oliveira, Ana Paula de Souza de Freitas e Luana Oliveira dos Santos.

Da mesma forma, agradeço a Universidade Federal de Pernambuco por me dar muito mais que uma profissão, um sentido de vida e o objetivo de lutar por uma educação igualitária, em que o conhecimento construído pela sociedade possa ser compartilhado com todos aqueles que dela fazem parte.

Na trajetória acadêmica, conhecemos pessoas que contribuem e nos ajudam nos obstáculos vivenciados, por isso, não poderia deixar de agradecer a todos os colegas de turma, que vivenciaram esse período formativo comigo, muito obrigado Lucas, Edivan, Elenilton, Kleyton, Paula, Maria Eduarda, Caroline e Wesley.

“Educar é crescer. E crescer é viver. Educação é, assim, vida no sentido mais autêntico da palavra” (Anísio Teixeira).

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo validar o uso de uma sequência didática (SD) com a utilização de atividades experimentais e simulação computacional, tomando como base os pressupostos da Teoria da Flexibilidade Cognitiva (TFC), proposta por Spiro e colaboradores no final da década de 80. A TFC é uma teoria aplicável a qualquer área do conhecimento, contemplando aspectos de ensino, aprendizagem e representação do conhecimento, sendo adequada para a aquisição de conhecimentos avançados em domínios complexos e pouco estruturados. Os recursos escolhidos foram articulados por meio de uma sequência didática que explorou os três modos representacionais da Química, que correspondem ao modo macroscópico, submicroscópico e representacional, de acordo com os trabalhos de Jonhstone. A pesquisa apresentou caráter qualitativo e conteve objetivos de uma pesquisa descritiva e exploratória. Os participantes foram estudantes do 2º ano do ensino médio de uma disciplina eletiva em uma escola pública de referência no município de Caruaru, na região agreste do estado de Pernambuco. A escolha do assunto foi devida a Eletroquímica estar presente na maioria do cotidiano de cada indivíduo, detendo não apenas de aspectos sociais e tecnológicos, como também ambientais. A partir disso, a SD foi estruturada com base em três situações, transformadas em casos, os quais exploravam informações sobre lixo eletrônico, carros elétricos e a transição energética, respectivamente. Os dados foram coletados por meio de anotações dos estudantes, gravação de áudio realizada nos momentos das atividades experimentais, desenhos que os estudantes elaboraram utilizando dos modos representacionais para explicar o funcionamento de uma célula voltaica e de um teste de transferência que permitia que os estudantes relacionassem as situações vivenciadas com outras esferas da vida pessoal e social. Por meio da análise dos dados, foi observado que a SD contribuiu para a flexibilização do conhecimento dos aprendizes, em relação ao conteúdo de Eletroquímica, o que pode ter contribuído para a construção do conhecimento. No entanto, a aquisição de conhecimentos avançados foi evidenciada apenas em uma pequena parte dos participantes da pesquisa, o que infere em possíveis fragilidades na estruturação e abordagem da SD.

Palavras-chave: simulação; experimentação; flexibilidade cognitiva; sequência didática.

ABSTRACT

This study aimed to validate the use of a teaching sequence (DS) with the use of experimental activities and computer simulation, based on the assumptions of the Theory of Cognitive Flexibility (CFT), proposed by Spiro and collaborators (Spiro *et al.*, 1988). CFT is a theory applicable to any area of knowledge, contemplating aspects of teaching, learning and knowledge representation, being suitable for the acquisition of advanced knowledge in complex and poorly structured domains. The chosen resources were articulated through a teaching sequence that explored the three representational modes of Chemistry, which correspond to the macroscopic, submicroscopic and representational modes, according to the works of Johnstone. The research presented a qualitative character and contained objectives of a descriptive and exploratory research. The participants were students of the 2nd year of high school of an elective discipline in a reference public school in the city of Caruaru, in the Agreste region of the state of Pernambuco. The choice of the subject was due to the fact that Electrochemistry is present in most of the daily lives of each individual, containing not only social and technological aspects, but also environmental ones. From this, the DS was structured based on three cases that addressed the themes of electronic waste, electric cars and energy transition, respectively. The data were collected through student notes, audio recording made during the experimental activities, drawings that the students created using representational modes to explain the functioning of a voltaic cell and a transfer test that allowed the students to relate the situations experienced with other spheres of personal and social life. Through data analysis, it was observed that the DS contributed to the flexibility of the learners' knowledge, in relation to the content of Electrochemistry, which may have contributed to the construction of knowledge. However, the acquisition of advanced knowledge was evidenced only in a small portion of the research participants, which suggests possible weaknesses in the structuring and approach of SD.

Keywords: simulation; experimentation; cognitive flexibility; didactic sequence.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Triângulo dos modos representacionais da Química de Johnstone.....	21
Figura 2 – Simulação de uma célula voltaica.....	24
Figura 3 – Invenção de Alessandro Volta nomeada como “Órgão elétrico artificial”	41
Figura 4 – Organização curricular do estado de Pernambuco referente ao terceiro bimestre do segundo ano do ensino médio.....	44
Figura 5 – Cobre metálico produzido a partir da reação de oxidação.....	63
Figura 6 – Representação do Grupo A para reação Química com a palha de aço.....	65
Figura 7 – Célula voltaica com arruelas de zinco e moedas de cobre.....	66
Figura 8 – Uso do multímetro para verificar a geração de corrente elétrica.....	67
Figura 9 – Representação do Estudante 4 para o experimento da pilha de Alessandro Volta.....	68
Figura 10 – Representação do Estudante 11 para o experimento da pilha de Alessandro Volta.....	69
Figura 11 – Representação do Estudante 5 para o experimento da pilha de Alessandro Volta.....	71
Figura 12 – Representação do Estudante 2 para o experimento da pilha de Alessandro Volta.....	73
Figura 13 – Representação da Estudante 3 para o experimento da pilha de Alessandro Volta.....	74
Figura 14 – Representação do estudante 4 para o experimento da eletrólise aquosa.....	75
Figura 15 – Descrição dos íons presentes na solução pelo Estudante 9.....	76

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 -	Condições propostas por Spiro e colaboradores (1988) para aquisição de conhecimentos avançados em domínios complexos e pouco estruturados.....	35
Quadro 2 -	Caso, mini-casos e temas de análise conceitual com a temática de lixo eletrônico.....	48
Quadro 3 -	Caso, mini-casos e temas de análise conceitual sobre Carros elétrico.....	50
Quadro 4 -	Caso, mini-casos e temas de análise conceitual sobre produção de energia sustentável.....	53
Quadro 5 -	Características gerais dos testes proposta por Feltovich <i>et al.</i> (1993) para atender ao nível profundo de compreensão.....	55
Quadro 6 -	CrITÉrios de classificação para os dados obtidos.....	57

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BBC	<i>British Broadcasting Corporation</i>
BNCC	Base Nacional Comum Curricular
CETIC	Centro de Estudos sobre as Tecnologias da Informação e da Comunicação
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CTS	Ciência, Tecnologia e Sociedade
ENEQ	Encontro Nacional de Ensino de Química
ENPEC	Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências
FGB	Formação Geral Básica
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
SD	Sequência Didática
TCAM	Teoria Cognitiva da Aprendizagem Multimídia
TFC	Teoria da Flexibilidade Cognitiva
TI	Tecnologias de Informação
TIC	Tecnologias de Informação e Comunicação
WWW	<i>World Wide Web</i>
RASBQ	Reuniões Anuais da Sociedade Brasileira de Química

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
2	OBJETIVOS.....	17
2.1	Objetivo geral.....	17
2.2	Objetivos específicos.....	17
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
3.1	Recursos oriundos das Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) no ensino.....	18
3.1.1	<i>Uso de simulação no ensino de Química.....</i>	21
3.2	Atividades experimentais no ensino de Química.....	25
3.2.1	<i>Experimentação investigativa no ensino de Química.....</i>	28
3.3	Teoria da Flexibilidade Cognitiva.....	33
3.3.1	<i>Pressupostos da Teoria da Flexibilidade Cognitiva aplicados em sala de aula.....</i>	36
3.4	Breve panorama histórico sobre Eletroquímica.....	39
3.4.1	<i>Pressupostos educacionais no ensino de Eletroquímica.....</i>	42
4	METODOLOGIA.....	46
4.1	Classificação da pesquisa.....	46
4.2	Participantes e campo de pesquisa.....	46
4.3	Sequência didática desenvolvida.....	47
4.4	Instrumentos de coleta de dados.....	54
4.5	Análise de dados.....	56
4.5.1	<i>Análise dos desenhos.....</i>	56
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	58
5.1	Análise dos momentos do caso 1.....	58
5.1.1	<i>Análise da atividade experimental “Corrosão de metais”</i>	62
5.2	Análise dos momentos do caso 2.....	65
5.2.1	<i>Análise dos desenhos elaborados pelos estudantes.....</i>	67
5.3	Análise dos momentos do caso 3.....	74
5.4	Análise do teste de transferência.....	77
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	82
	REFERÊNCIAS.....	84

APÊNDICE A – QUESTIONAMENTOS INICIAIS.....	90
APÊNDICE B – TESTE DE TRANSFERÊNCIA.....	91
APÊNDICE C – NOTÍCIA DO CASO 1.....	92
APÊNDICE D – NOTÍCIA DO CASO 2.....	93
APÊNDICE E – NOTÍCIA DO MINI-CASO 2.1.....	94
APÊNDICE F – NOTÍCIA DO CASO 3.....	95

1 INTRODUÇÃO

A sociedade contemporânea transita por um desenvolvimento exponencial de recursos que modificam sua forma de organização e comunicação. Como parte integrante desse desenvolvimento, os recursos tecnológicos contribuem para a modernização da sociedade. Com o advento das Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC), as formas de transmissão de informações foram alteradas, tornando o compartilhamento do conhecimento cada vez mais rápido e acessível.

No entanto, embora o desenvolvimento das TIC tenha proporcionado mais espaços de propagação do conhecimento, sua utilização no meio educacional ainda é motivo de discussão, enfrentando desafios para sua implementação. Isso se deve ao fato de que, as formas de ensino implantadas nos ambientes educacionais do país ainda remetem ao século XX, resistindo às mudanças e contrapondo-se às necessidades da nova sociedade que se apresenta.

De acordo com Leite e Ribeiro (2012) é necessário a união de múltiplos fatores para promover implementação das TIC de modo positivo na educação, como (1) o domínio do professor sob essas novas tecnologias, o que passa por uma formação acadêmica adequada, (2) estrutura física e material adequada das escolas para implementação das TIC, (3) a motivação pessoal dos professores para inovação de suas práticas educacionais, entre outros.

Contudo, observa-se que, além da estrutura inadequada das escolas, a falta de conhecimento e domínio dos professores sob as novas tecnologias é um dos principais entraves para implementação das TIC na educação brasileira (Leite; Ribeiro, 2012). Muitos professores resistem às mudanças, e realizam a manutenção de práticas pedagógicas, em que o professor era o único detentor do saber.

A manutenção da abordagem tradicional com que os estudantes são colocados frente aos novos conhecimentos que devem ser construídos, pode ser um dos motivos para as dificuldades encontradas no ensino de ciências no país. Geralmente, a abordagem tradicional de ensino reduz os estudantes a meros ouvintes, que devem apenas memorizar e repetir os conhecimentos apresentados.

Essa abordagem tem se limitado à mera exposição dos aprendizes ao conhecimento proposto, levando o estudante a realizar tarefas de forma mecânica. Conforme destacam Pozo e Crespo (2009), embora os discentes possam executar determinada tarefa, muitas vezes não compreendem o que foi realizado, resultando

na incapacidade de explicá-las e aplicá-las em contextos diferentes. Os autores destacam que isso se torna evidente quando os estudantes tendem a encarar um determinado problema de maneira repetitiva, sem a devida reflexão para solucioná-lo.

Além disso, é possível destacar também que a abordagem superficial com que os conteúdos são apresentados pode provocar concepções equivocadas e impedir a construção do conhecimento pelos aprendizes. Spiro *et al.* (1988) classificam esse tipo de abordagem como “aprendizagem introdutória”. Segundo os autores, o objetivo da aprendizagem introdutória, em sua maioria, é apenas a exposição e a orientação geral do aprendiz ao campo de estudo.

De forma semelhante, o ensino de Química tem seguido passos correlatos aos descritos. A Química tem sido apresentada por meio de uma abordagem que visa a memorização e repetição, o que não contempla as dimensões e representações dessa ciência. É necessário destacar que o aprendizado de Química ocorre quando o aluno perpassa pelos diferentes modos de representação desta ciência, que correspondem ao macroscópico, submicroscópico e representacional (Johnstone, 1993).

De acordo com Ribeiro e Greca (2003), embora seja possível encontrar estudos relacionados a fenômenos macroscópicos, a maioria dos fenômenos estudados na Química se referem ao modo microscópico da matéria, o que dificulta a compreensão conceitual dos estudantes. Além disso, a Química revela-se como uma ciência essencialmente simbólica, empregando símbolos para denotar espécies químicas e fenômenos (Ribeiro; Greca, 2003). Esse aspecto promove um desafio adicional para os estudantes, pois não requer apenas a compreensão do significado de cada símbolo, mas também exige a habilidade de transitar entre diferentes modos de representação de forma equivalente.

Contrariando essa expectativa, é observado no ensino de Química que muitos estudantes não relacionam o fenômeno visível ao que acontece a modo submicroscópico, ou seja, as reações químicas e interações atômicas moleculares. Ademais, os aprendizes não compreendem a linguagem empregada para representar as reações e os processos da Química.

Dessa forma, os recursos oriundos das TIC se apresentam como viáveis para minimizar essa problemática, em especial através do uso do computador e dos softwares de simulação computacional. Segundo Vasconcelos (2020), o uso de simulação possibilita a compreensão de uma variedade de fenômenos a modo submicroscópico, devido à capacidade de mediar informações científicas por meio de

modelos. As simulações surgem como uma opção de se explorar as interações atômico moleculares, complementando as representações pictóricas, como os modelos estáticos apresentados nos livros didáticos (Vasconcelos, 2020).

Ademais, a articulação desse recurso com a experimentação, prática utilizada com frequência no ensino de Química, pode contribuir para um aprendizado que transita pelas diferentes representações dessa ciência. A articulação desses dois recursos pode auxiliar na compreensão dos fenômenos da Química a modo de representação macroscópica e na compreensão das reações químicas a modo submicroscópico.

Neste trabalho, defendemos que o uso desses recursos auxilia na compreensão dos fenômenos relacionados à Eletroquímica. Ao consultar a Base Nacional Comum Curricular (BNCC), documento que estipula as competências e habilidades que devem ser desenvolvidas pelos estudantes ao longo de todo o ensino médio, nota-se que o ensino de Eletroquímica é enfatizado principalmente para desenvolver a habilidade para compreender o funcionamento de pilhas e baterias, com ou sem o uso de recursos digitais, com o objetivo de discutir sobre questões que levem à sustentabilidade (Brasil, 2018).

Para atender a essa expectativa, o aprendiz deve ser capaz de compreender a Eletroquímica através de um conhecimento profundo e multidisciplinar (Bacchio, 2000). Para isso, o aluno deve transitar por diferentes formas de representação e ser capaz de aplicar o conhecimento construído em uma situação diferente da apresentada, uma vez que, as pilhas no ensino são abordadas comumente pela experiência de Daniell, o que se difere das pilhas e baterias atuais, conhecidas como pilha seca ou pilha de Leclanché.

Nessa perspectiva, a Teoria da Flexibilidade Cognitiva (TFC) apresentada por Spiro e colaboradores no final da década de 1980, apresenta pressupostos adequados para a aquisição de conhecimentos avançados, possibilitando a aplicação e reestruturação de um conhecimento para novos contextos.

Com esse pressuposto, o presente trabalho foi justificado pela necessidade de pesquisas que articulassem esses diferentes recursos por meio de uma estratégia de ensino. Assim, este trabalho teve a seguinte problemática de pesquisa: Como uma sequência didática que relaciona experimentação e simulação pode contribuir para a compreensão dos fenômenos da Eletroquímica, incorporando os pressupostos da Teoria da Flexibilidade Cognitiva?

2 OBJETIVOS

2.1 Geral:

- Validar o uso de uma estratégia didática com base na Teoria da Flexibilidade Cognitiva por meio de atividades experimentais e simulação computacional sobre fenômenos da Eletroquímica com estudantes do ensino médio.

2.2 Específicos:

- Averiguar como a articulação entre os recursos tecnológicos e a experimentação podem favorecer o ensino de Química.
- Analisar o uso de múltiplas representações de um conhecimento para compreensão da Eletroquímica.
- Investigar como a Teoria da Flexibilidade Cognitiva possibilita a aplicação de conhecimentos em novas situações.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Recursos oriundos das Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) no ensino

Nas últimas décadas a sociedade sofreu inúmeras mudanças em decorrência ao desenvolvimento tecnológico vivenciado, o que acarretou em novas formas de organização e comunicação. Na educação, as novas tecnologias não passaram despercebidas e sua utilização nas práticas educacionais é motivo de debate.

Na década de 1970, foi presenciado no mundo a introdução gradual das tecnologias nos ambientes escolares, por meio da instalação de computadores, seguida da implementação de periféricos como impressoras, scanners, drivers externos e câmeras fotográficas (Leite; Ribeiro, 2012). Tendo esse conjunto de dispositivos recebido a terminologia de TI (Tecnologias de informação).

Com o advento da *internet*, *e-mail*, dos navegadores, da rede *World Wide Web* (WWW) e o surgimento das ferramentas de busca, um novo termo foi criado para se referir às novas tecnologias, agora denominadas de “TIC”, uma abreviação para “Tecnologias de informação e comunicação” (Leite; Ribeiro, 2012).

A implementação gradual desses recursos gerou debates e posturas divergentes entre os pesquisadores. De acordo com Ribeiro e Greca (2003), durante as décadas de 1970 e 1980, alguns pesquisadores atribuíam à tecnologia a possibilidade de superar os problemas educacionais. Porém, esse posicionamento foi criticado, pois não apresentava aprofundamento em discussões essenciais, como as condições necessárias para que o uso das novas tecnologias apresentasse ganhos efetivos na educação (Ribeiro; Greca, 2003).

Embora o uso da tecnologia já fosse motivo de debate em diversos países, apenas na década de 1996 foram criadas políticas governamentais no Brasil para incentivar o uso das tecnologias de informação e comunicação nas redes de ensino do país (Cetic, 2011 *apud* Leite; Ribeiro 2012). A lacuna de tempo desde o surgimento das novas tecnologias para a implementação e incentivo na educação brasileira, pode ter acarretado em questionamentos e falta de preparo dos profissionais para a nova realidade que se apresentava.

Em tempo, ainda é possível observar rejeição dos professores em relação ao uso de tecnologias em sala de aula. Segundo Xavier, Teixeira e Silva (2010), uma das

hipóteses para explicar a não utilização das TIC pelos docentes pode estar relacionada ao simples desconhecimento dos recursos e ao receio de mudarem suas práticas pedagógicas, enraizadas aos métodos tradicionais “baseados na tríade giz, lousa e saliva” (Xavier; Teixeira; Silva, 2010, p. 106).

Além disso, outro ponto discutido desde a implementação dos recursos tecnológicos na educação, está relacionado com o receio de reduzir o ensino a um tecnicismo desumanizador (Ribeiro; Greca, 2003). Nessa perspectiva, a tecnologia promoveria uma ruptura entre os processos educacionais e as interações humanas, reduzindo as relações afetivas entre professores e estudantes, o que implicaria em uma menor ação do docente.

Contra-pondo-se a este pensamento, é necessário destacar que os recursos tecnológicos não substituirão o professor. Entretanto, se torna evidente que a implementação desses recursos modifica as funções dos educadores, que precisam exercer um papel de maior mediação das atividades, em contraproposta a ideia do professor como o único detentor do conhecimento, que deve transmitir seus saberes. Assim, o professor passa a atuar como um “mediador, facilitador, incentivador e animador no processo de ensino e aprendizagem” (Locatelli *et al.*, 2015, p. 10).

Contudo, a discussão sobre a utilização das TIC no ensino não se limita a simples dualidade de usar ou não usar. Alguns professores acreditam que apenas a utilização dos recursos tecnológicos oriundos das Tecnologias da Informação e Comunicação, como o uso de computadores com *softwares* com acesso à internet, irá garantir o aprendizado dos estudantes e a alteração das práticas pedagógicas, o que é um pensamento equivocado (Miranda, 2007). Entretanto, mesmo após anos de pesquisas e desenvolvimento de diversos recursos, os quais possibilitam a aprendizagem dos estudantes, em seus diferentes níveis de ensino, ainda se identificam uma baixa adesão de uso por parte dos professores, os quais muitas vezes não possuem uma formação adequada, bem como não buscam meios de se manterem atualizados quanto aos aspectos metodológicos de uso destes recursos.

Dessa forma, se torna necessário que a implementação das TIC na educação seja feita de modo refletido e planejado (Xavier *et al.*, 2010). Em consonância, os autores Pereira e Araújo (2020), também argumentam sobre a necessidade da utilização das tecnologias por meio de estratégias adequadas:

As tecnologias devem ser utilizadas de acordo com os propósitos educacionais e para isto é preciso analisar as estratégias mais adequadas para propiciar a aprendizagem dos estudantes, evitando-se que constituam apenas uma “informatização” do ensino, o que reduziria as tecnologias a meros instrumentos destinados a instruir o aluno (Pereira; Araújo, 2020, p. 6).

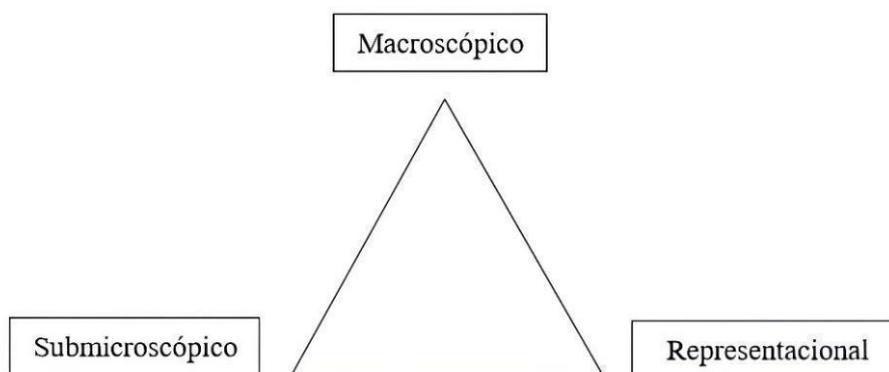
Com base nesse pensamento, é defendido que as TIC devem ser utilizadas no ensino por meio de estratégias, com objetivos educacionais bem definidos, evitando o uso desses recursos apenas como forma de instruir o aluno na realização de determinada tarefa. Para isso, surge a necessidade da mediação do professor, estruturando e definindo a melhor forma de articular os recursos tecnológicos em uma sequência didática (Brasileiro; Matias, 2019).

De acordo com Araújo (2013), uma sequência didática (SD) se refere à forma com que o professor organiza as atividades de ensino à vista de núcleos temáticos e procedimentais. Assim, os docentes buscam elaborar estratégias com o intuito de articular da maneira mais eficiente os recursos didáticos e metodológicos para auxiliar na aprendizagem dos estudantes. Para atender a esse objetivo, os professores podem utilizar de recursos variados, que vão desde o uso dos computadores, *softwares*, textos, vídeos, experimentos, dentre outros.

Em uma perspectiva mais aprofundada, é crucial ressaltar que a efetiva aprendizagem de um campo científico ocorre mediante a utilização desses recursos em uma abordagem que não apenas encoraja a participação ativa do aluno, mas também o posiciona como protagonista do processo de aprendizagem. Desse modo, a estratégia didática utilizada deve promover a reflexão e ação do aluno perante as atividades propostas.

Para a educação em Química, destacamos que o ensino desta ciência deve perpassar por seus diferentes modos de representação. Segundo Johnstone (1993), a Química compreende três modos de representação, que correspondem ao modo macroscópico, submicroscópico e representacional. Os modos de representação são apresentados por meio de um triângulo na Figura 1.

Figura 1 - Triângulo dos modos representacionais da Química de Johnstone



Fonte: Adaptado de Johnstone, 1993.

O modo de representação macroscópico se refere ao que é visível, os fenômenos que podem ser observados a olho nu, o modo submicroscópico se refere às interações atômicas moleculares. Por último, o modo representacional se refere à linguagem química empregada para representar esses fenômenos, como textos, símbolos, números, dentre outros.

O desenvolvimento cognitivo para a construção do conhecimento químico, segundo o autor, precisa passar pelos diferentes modos representativos, viabilizando a compreensão dos fenômenos nas diferentes situações que podem ser apresentadas. Com base nesses pressupostos, é defendido neste trabalho que a sequência didática deva articular diferentes recursos para expandir a visão do aprendiz em relação aos fenômenos da Química.

Para auxiliar na compreensão do modo submicroscópico, os *softwares* de simulação apresentam inúmeras potencialidades quando utilizados de forma adequada. Esses programas utilizam de modelos teóricos desenvolvidos por pesquisadores para auxiliar na compreensão de fenômenos submicroscópicos, geralmente abordados como complexos e com alto grau de abstração, o que dificulta a aprendizagem dos estudantes.

3.1.1 Uso de simulação no ensino de Química

De acordo com Machado (2016), a Química como uma ciência investigativa, convoca para si o uso e aplicação de tecnologias específicas, com o intuito de promover a aprendizagem científica de maneira efetiva. Dessa forma, tomando como

pressuposto que a Química é uma ciência experimental e simbólica, que exige dos aprendizes a capacidade de abstração ao explorar fenômenos em escalas submicroscópicas, o uso de recursos tecnológicos surge como uma alternativa viável, pois acredita-se que o uso do computador, em específico dos *softwares* de simulação, possa auxiliar na compreensão desses fenômenos (Ribeiro; Greca, 2003).

A integração de simulações computacionais na Química foi iniciada nas últimas décadas do século XX, em decorrência da inserção de computadores na educação. De acordo com Glawdin (1992) *apud* Ribeiro e Greca (2003), o uso de computadores na Química surgiu inicialmente para auxiliar na pesquisa em Físico-Química, sendo adotado posteriormente pela Química Orgânica e Inorgânica. Como a introdução pioneira do computador na Química foi para auxiliar na pesquisa, existiam poucas simulações computacionais com qualidade que pudessem ser usadas por estudantes. Contudo, nas décadas de 1994 a 1999, os *softwares* começam a sofrer modificações para serem usados no ensino, com isso muitos *softwares* de simulação foram disponibilizados na internet de forma gratuita (Ribeiro; Greca, 2003).

Disponível na internet, é possível encontrar diversos modelos de simulações computacionais com diferentes possibilidades e abordagens. As simulações podem incluir “sons, imagens, cores, animações, vídeos, hiperlinks e demais recursos multimídia” (Santos; Silva, 2020, p. 843). Esse leque variado de recursos permite uma imersão mais rica e diversificada, tornando as simulações não apenas ferramentas de representação, mas também poderosos instrumentos de aprendizado.

A variação característica das simulações computacionais levou alguns autores a propor formas de classificar cada *software* de acordo com sua especificidade. Segundo Ribeiro e Greca (2003), as simulações computacionais podem ser classificadas em duas formas: conceituais e operacionais. As simulações conceituais apresentam princípios, conceitos e fatos relacionados ao evento representado na simulação. As simulações operacionais incluem operações e procedimentos que podem ser aplicados aos sistemas que estão sendo simulados (Ribeiro; Greca, 2003).

Desse modo, a simulação computacional pode ser usada de acordo com objetivo determinado pelo professor, pois além de permitir a realização de uma prática que apresenta adversidades para sua execução, possibilita também auxiliar os aprendizes na compreensão de fenômenos da Química que apresentam alto grau de abstração, e que são dificilmente compreendidos pelos estudantes.

De acordo com Amante (2011), os softwares de simulação são construídos para auxiliar na abordagem de fenômenos naturais ou sociais, que dificilmente poderiam ser observados experimentalmente. Brasileiro e Matias (2019), contribuem que as simulações computacionais são ferramentas de grande utilidade, pois além de permitirem a reprodução de práticas e fenômenos difíceis de serem realizados em sala de aula, permitem também a compreensão de fenômenos em escala microscópica, com alto grau de abstração.

Outros autores (Melo; Melo, 2005; Vasconcelos, 2020) relatam que no ensino de Química os *softwares* de simulação se tornam uma alternativa para substituir ou complementar as representações pictóricas, esquemáticas e os modelos estáticos, que são geralmente encontrados nos livros didáticos.

Desse modo, a utilização desses *softwares* possibilita uma interação que “permite ao aluno visualizar eventos que acontecem em modo microscópico para construir posteriormente um modelo mental do fenômeno macroscópico, fazendo assim suas próprias interferências e previsões” (Melo; Melo, 2005, p. 57). Complementamos que o ‘visualizar’ poderia se referir a ‘melhor compreender’, visto que as informações são apresentadas e/ou figuradas no modo submicroscópico, e não correspondem a uma representação literal da realidade.

Entretanto, embora as pesquisas em relação às simulações computacionais no ensino de Química, tenham apresentado resultados satisfatórios, quanto ao auxílio na aprendizagem dos estudantes, muitos conteúdos de Química não têm recebido a devida atenção em relação ao desenvolvimento de *softwares*.

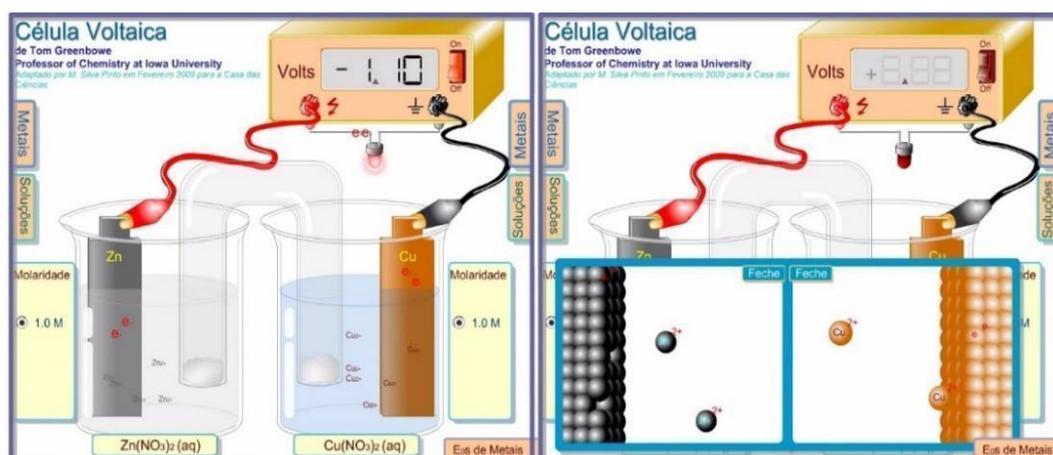
Essa constatação foi relatada nos trabalhos de (Machado, 2016; Santos; Silva, 2020). Os autores relataram que embora a Química apresente diversas áreas de conhecimentos, as pesquisas sobre simulações computacionais no ensino de Química têm se restringido aos conhecimentos de: Atomística, ligações químicas, tabela periódica e concentração de soluções. Logo, é perceptível a necessidade de pesquisas que abordem como a simulação computacional pode auxiliar na compreensão dos demais conhecimentos da Química, bem como de se pensar em outras áreas que as simulações podem viabilizar a compreensão dos fenômenos químicos, mas ainda não foram desenvolvidas, como por exemplo: Termoquímica e Reações Orgânicas.

Destacamos aqui, o uso de *softwares* de simulação para compreensão dos fenômenos da Eletroquímica, através da simulação intitulada “Célula Voltaica”

disponível no site “Casa das Ciências”. O site Casa das Ciências é um projeto educativo iniciado no ano de 2008 com o objetivo de recolher, validar e divulgar recursos digitais para auxiliar no ensino das ciências, Biologia, Química, Física, Matemática, Geologia, entre outras.

Uma característica positiva do portal está relacionada a disponibilidade de materiais totalmente em língua portuguesa, o que facilita a compreensão, acesso e manuseio da simulação para professores do Brasil. A simulação apresentada na Figura 2, pode ser classificada de acordo com Ribeiro e Greca (2003) como sendo uma simulação operacional, visto que é permitida a escolha dos componentes e manuseio do experimento demonstrado. Além disso, a simulação conta com as representações submicroscópicas da reação de oxirredução envolvida.

Figura 2 – Simulação de uma célula voltaica



Fonte: Site da Casa das Ciências¹, 2024.

Simulações como a apresentada, podem viabilizar a compreensão dos conceitos referentes à Eletroquímica por parte dos estudantes. Contudo, os *softwares* de simulação só apresentaram resultados satisfatórios quando utilizados de maneira adequada, o que exige capacitação adequada dos professores para seu uso.

Em seu trabalho, Ribeiro e Greca (2003), evidenciaram que o desenvolvimento de softwares para o ensino de Química não estava sendo acompanhado por uma formação adequada dos professores para utilização de tais recursos. Embora os *softwares* de simulação se mostrem como uma excelente ferramenta para auxiliar no

¹ Disponível em: <<https://www.casadasciencias.org/recurso/6579>>. Acesso em: 20. jan. 2024.

ensino e aprendizagem de Química, é necessário que este recurso seja utilizado com a devida reflexão sobre suas potencialidades e limitações.

Desse modo, os professores que utilizam desses recursos devem compreender que as simulações computacionais são modelos utilizados pelos cientistas para a produção do conhecimento, mas não são cópias da realidade (Vasconcelos, 2015). Dispondo desta compreensão, é possível evitar a construção de possíveis equívocos conceituais pelos estudantes.

Por isso, é imprescindível que os professores sejam formados por meio de uma abordagem articulada entre os três modos representacionais da Química, para assim, construir o domínio necessário para expressarem o conhecimento Químico em seus diferentes modos (Vasconcelos, 2015).

Neste sentido, além da construção de uma compreensão adequada do fenômeno submicroscópico, o professor deve ser capaz também de articulá-lo com o fenômeno visível. O que pode ser feito por meio de atividades experimentais. Logo, reforça-se assim que se pretende com este trabalho possibilitar que haja essa compreensão a partir da interação entre as informações apresentadas em uma atividade experimental com a simulação.

3.2 Atividades experimentais no ensino de Química

A experimentação científica ganhou destaque no século XVII, sendo essencial para a consolidação das ciências naturais no período. Essa ênfase foi devido a necessidade de que as leis deveriam ser formuladas através de situações empíricas, dentro de uma sequência lógica de formulação de hipóteses e verificação de consistências (Giordan, 1999).

Com suas diferentes formas de utilização a experimentação se tornou algo intrínseco a Química, estando presente não apenas na pesquisa científica, mas também como metodologia de ensino. A experimentação no ensino foi incentivada por projetos educacionais que tiveram origem nos Estados Unidos e na Inglaterra. Posteriormente, esses projetos incentivaram outros países na implementação de atividades experimentais, como o Brasil.

A partir disso, a experimentação ganhou notoriedade se tornando uma prática recorrente no ensino de Química, por geralmente ser tratada como algo lúdico que estimula o interesse dos estudantes. No entanto, as atividades experimentais no

ensino de Química, em sua grande maioria, não são acompanhadas de planejamento e objetivos educacionais bem definidos, o que limita a experimentação a simples aplicação para chamar a atenção e despertar o interesse do aluno.

Ademais, o que se observa é que comumente a abordagem experimental realizada pelos professores promove a passividade dos estudantes, à medida que exige dos aprendizes apenas a observação dos fenômenos envolvidos no experimento, sem a reflexão e investigação da situação observada. Isso se deve ao fato de os professores ainda abordarem a experimentação de forma genérica e intuitiva (Ferreira; Francisco; Harting, 2008), com o objetivo de exemplificar o conteúdo e comprovar teorias.

Em concordância com esse pensamento, Galiuzzi e Gonçalves (2004, p. 327), argumentam que é consenso que professores e discentes de cursos de Química, exibem uma visão simplista a respeito da experimentação, “cunhadas pelo empirismo do observar para teorizar”. Nessa perspectiva, os autores apontam para a necessidade de discutir a experimentação como artefato pedagógico nos cursos de Química, pois estudantes e professores apresentam uma visão de ciência neutra, progressista, empirista e objetiva (Galiuzzi; Gonçalves, 2004).

Entretanto, esse não é o único problema identificado na realização de atividades experimentais no ensino de Química. Guimarães (2009), argumenta que outro erro identificado na realização de atividades experimentais, se refere a não relação das informações propostas pelo professor com os conhecimentos prévios dos estudantes, o que distancia o conhecimento científico da realidade dos discentes e torna o aprendizado não significativo.

Para se contrapor a essa postura, é indispensável que a experimentação seja utilizada como método de investigação da natureza, pois assim, pode se tornar uma alternativa viável para despertar o interesse dos estudantes pelo aprendizado, através da construção de conhecimento a partir do cotidiano (Gonçalves; Goi, 2019). Por isso, os conteúdos curriculares das disciplinas devem ser articulados com situações concretas, que estão presentes na realidade dos aprendizes.

Evitando-se assim, que a experimentação no ensino de Química caminhe pelo viés empirista de comprovação de ideias. Mas sim, por uma abordagem que possibilite ao aprendiz refletir e construir o conhecimento a partir do que é observado em cada prática, realizando as devidas interferências. Para isso, Galiuzzi e Gonçalves (2004) afirmam que para que o professor consiga realizar uma atividade experimental com

êxito, deve ter como objetivo a aprendizagem do estudante, em detrimento da transmissão do conhecimento pela prática.

Desse modo, é crucial que as práticas experimentais tenham como objetivo enriquecer as concepções individuais sobre a natureza da ciência. Com a intenção de superar visões simplistas, tais como a ideia de que: (1) teorias aceitas pela comunidade científica, resultam apenas da observação, (2) a validação e comprovação de teorias ocorrem exclusivamente pela experimentação em sala de aula (Galiazzi; Gonçalves, 2004). Além disso, superar a visão de que as atividades experimentais são essencialmente motivadoras, ou que as atividades experimentais contribuem para captar jovens cientistas (Galiazzi; Gonçalves, 2004, p. 328).

Além disso, outro aspecto que deve ser levado em consideração na aplicação de atividades experimentais, está relacionado com a possibilidade de os estudantes aprenderem através do erro. Quando uma atividade experimental é realizada permitindo que o aluno acerte ou erre durante o processo, cria um compromisso do aprendiz com sua aprendizagem, pois ele a reconhece como um caminho para resolver a problemática (Giordan, 1999).

Neste caso, o papel do professor será a mediação das ações realizadas, estimulando que o aluno reflita sobre seu equívoco e elabore novas estratégias para superar a problemática do experimento. Logo, a mediação do professor é uma ação essencial para o segmento de atividades experimentais, pois quando o professor deixa de demonstrar conhecimentos verdadeiros, e passa a problematizar e questionar o conhecimento abordado, está favorecendo a aprendizagem dos estudantes (Galiazzi; Gonçalves, 2004).

Entretanto, é válido ressaltar que existem diversas abordagens de atividades experimentais, e que nem todas oferecem liberdade para o estudante intervir e questionar a dinâmica realizada. De modo geral, de acordo com Oliveira e Soares (2010), a experimentação pode ser classificada de quatro formas diferentes: de forma ilustrativa, demonstrativa, descritiva e investigativa.

Para superar essa visão simplista de atividade experimental, neste trabalho destacamos o uso da experimentação de cunho investigativo, pois ela apresenta potencialidades relevantes, para tornar o discente protagonista do processo de aprendizagem.

3.2.1 Experimentação investigativa no ensino de Química

A experimentação se mostra como um excelente recurso quando integrada a uma prática investigativa. O autor Giordan (1999) disserta sobre a necessidade da integração entre a experimentação e o processo de investigação:

Tomar a experimentação como parte de um processo pleno de investigação é uma necessidade, reconhecida entre aqueles que pensam e fazem o ensino de ciências, pois a formação do pensamento e das atitudes do sujeito deve se dar preferencialmente nos entremeios de atividades investigativas (Giordan, 1999, p. 44).

Assim, o autor argumenta que a formação de um indivíduo, tanto de seus pensamentos e atitudes, deve ocorrer por meio da investigação, já que o processo de investigação é algo que está intrinsecamente relacionado ao desenvolvimento da ciência. Essa postura pode promover o desenvolvimento de um estudante ativo e crítico, que busca questionar e refletir sobre os conhecimentos abordados.

Nessa perspectiva, a experimentação de cunho investigativo apresenta potencialidades significativas, pois permite ao estudante a participação ativa no processo de ensino e aprendizagem. Já que, essa abordagem permite que o estudante promova intervenções para que seja possível a resolução de determinada problemática, proposta inicialmente pelo professor (Oliveira; Soares, 2010).

De acordo com Gonçalves e Goi (2019), a experimentação investigativa é uma estratégia didática, que consiste na observação e solução de atividades pelos estudantes, através do “levantamento de hipóteses, formulação de estratégias, tomadas de atitude, elaboração de experimentos e construção de conceitos científicos” (Gonçalves; Goi, 2019, p. 218).

Na experimentação investigativa, o papel do professor é mediação e motivação, incentivando o estudante na construção do conhecimento (Gonçalves; Goi, 2019). Para isso, o professor pode realizar questionamentos que levem os estudantes a refletirem sobre a prática, a fim de solucionar a problemática proposta.

Ademais, é válido ressaltar que a promoção de uma prática tradicional com resultados previstos anteriormente, não garante que o estudante tenha interesse pelo processo de investigação proposto, pois o estudante compreenderá que já existe um procedimento, e que realizando o passo a passo, chegará à resposta (Gonçalves; Goi, 2019). Assim, as atividades experimentais não devem seguir um roteiro ou um

procedimento específico, devem na verdade, problematizar questões relacionadas aos fenômenos observados, permitindo diferentes interferências para sua solução.

Em consonância com o que foi apresentado, relacionamos com Carvalho (2017) a qual relata que os estudantes aprendem ciência através de atividades planejadas de forma centrada em problemas sobre fenômenos científicos, não em conceitos científicos. As atividades investigativas devem criar condições para que os aprendizes construam o conhecimento a partir da resolução de problemas sobre fenômenos, em um ambiente que proporcione um adequado grau de liberdade intelectual para eles (Carvalho, 2017).

Esse grau de liberdade mencionado pela autora, pode ser possibilitado pela experimentação investigativa. Portanto, quando as atividades experimentais são enriquecidas por abordagens investigativas e quando articuladas com outras estratégias de ensino, podem apresentar potencialidades para auxiliar os estudantes na compreensão de inúmeros fenômenos da Química.

Com base nessas potencialidades, as atividades experimentais investigativas despertaram o interesse de diversos pesquisadores que compartilharam seus estudos na literatura. No trabalho de Cruz *et al.* (2016) foi realizada uma atividade experimental com caráter investigativo e lúdico para o ensino de Química, tendo como temática a Química forense. Segundo os autores, além de proporcionar uma abordagem multidisciplinar, esta temática permite explorar áreas específicas como a Química Orgânica e a Química Analítica. Com esse intuito, os autores realizaram uma intervenção com estudantes do último ano do ensino fundamental de uma escola privada no município de Fortaleza–CE. Na proposta, buscou-se explorar as técnicas relacionadas a “análise da presença de sangue, identificação de DNA e revelação de impressões digitais” (Cruz *et al.*, 2016).

Os pesquisadores estruturaram a atividade em duas etapas, que corresponderam a aulas expositivas sobre o tema de química forense e a divisão da turma em dois grupos para a realização do experimento. No início da atividade, os estudantes foram apresentados a história fictícia elaborada para a abordagem. Após a descrição do caso, os estudantes realizaram as três análises citadas anteriormente, por meio dos experimentos com luminol, eletroforese e a técnica de vapor de iodo. Os resultados do trabalho demonstraram que o simples processo de investigação da problemática gerou expectativa e estimulou a curiosidade dos estudantes.

Reforçando o estudo sobre as atividades experimentais investigativas, destacamos também o trabalho de Pereira *et al.* (2017), que utilizaram indicadores naturais para elaboração de uma experimentação investigativa e problematizadora. No trabalho, os pesquisadores realizaram uma atividade com estudantes do 1º ano do ensino médio de uma escola pública estadual no município de Dourados–MS. A turma foi organizada em oito grupos e a atividade teve duração de quatro aulas. Na proposta dos autores, os conceitos de ácido e base foram introduzidos na primeira aula por meio do experimento de verificação do pH em produtos caseiros, utilizando como indicador o extrato de repolho roxo. Nas aulas seguintes, o professor abordou os conceitos de ácido e base de forma contextualizada.

Para problematizar o tema, o professor questionou os discentes sobre a importância de se conhecer o caráter ácido ou básico de produtos. A abordagem apresentada pelos autores se mostra interessante na medida que utiliza de materiais de fácil acesso, possibilitando a execução da atividade por outros professores. Além disso, a abordagem em relação a produtos utilizados no cotidiano dos estudantes e os possíveis indicadores que poderiam ser utilizados para verificação do pH, permitem uma abordagem contextualizada e investigativa do assunto.

Ainda em relação aos trabalhos disponíveis na literatura sobre atividades experimentais investigativas, é válido mencionar os trabalhos que integram essa metodologia de ensino com outros recursos didáticos. Nessa perspectiva, pesquisadores investigaram as contribuições da integração dessa metodologia com a simulação computacional.

Com essa proposta, Correia *et al.* (2019) desenvolveram uma pesquisa de cunho qualitativo com o objetivo de integrar as TIC e a experimentação perante as representações mentais para abordagem do assunto de “propriedades dos gases”. No trabalho, a pesquisadora realizou uma atividade experimental com 35 discentes do 1º ano do ensino médio, de uma escola pública no município de São Caitano/PE. A atividade experimental teve adição da simulação computacional para auxiliar na compreensão dos fenômenos estudados. A simulação utilizada foi disponibilizada no portal *PhET Interactive Simulations* que foi escolhido devido a disponibilização de recursos para diversos níveis de ensino, como também a possibilidade de traduzir o conteúdo disponível para língua portuguesa (Correia *et al.*, 2019).

A atividade realizada teve duração de 50 minutos e foi estruturada em três etapas, que consistiam respectivamente em lançamento da problemática (com o uso

da experimentação da máquina térmica), desenhos para representar o fenômeno observado, e por fim, uso do *PhET* para explorar as relações entre a simulação “Propriedades dos gases” com a experimentação realizada. Para a coleta de dados, foram criadas duas questões que solicitavam que os discentes ilustrassem “qual será o resultado da bola de sopro quando a mesma fica dentro da caixa de isopor por 10 minutos” e “o que acontecerá ao passar 10 minutos fora do gelo” (Correia *et al.*, 2019). Solicitando também que, os aprendizes explorassem “a simulação modificando as variáveis” e registrassem “todas as relações possíveis, utilizando-se da discussão feita com a lei de Charles e Gay-Lussac” (Correia *et al.*, 2019).

Na análise de dados, os autores criaram três categorias para classificar as respostas dos estudantes, que foram definidas como nível satisfatório, nível parcial e nível insatisfatório. Os resultados da pesquisa evidenciaram a dificuldade dos estudantes em transitar entre os diferentes modos representacionais da química, já que, os discentes não conseguiram criar relações entre o experimento realizado com a simulação explorada na atividade. No entanto, os autores mencionaram que essa fragilidade pode estar relacionada com o tempo de duração da atividade, o que não permitiu uma abordagem adequada da metodologia e do recurso utilizado.

No trabalho de Correia (2021), foi desenvolvida uma pesquisa de cunho qualitativo e com características exploratórias, que foi aplicada com 12 estudantes do 2º ano do ensino médio de uma escola pública na região Agreste do estado de Pernambuco. O trabalho consistiu na aplicação de uma SD que teve como abordagem o conceito de propriedade dos gases, estipulado para essa série do ensino. A SD foi estruturada integrando o experimento de caráter demonstrativo no site de *Darry tools* 5, visando à construção de uma máquina térmica e a simulação “Propriedade dos gases”, que segundo a autora está disponível no site *PhET*. Vale destacar, que devido ao período pandêmico vivenciado na época de aplicação do trabalho, a pesquisadora realizou as atividades de forma remota com os estudantes, visando cumprir os requisitos sanitários recomendados no período.

Além da simulação e experimentação, a autora utilizou de recursos variados para abordar a temática. Os dados foram coletados por meio de um questionário prévio, questões, situações problemáticas e questionários abertos que foram propostos ao longo da SD. Com a análise dos dados, a autora relatou o êxito em alcançar os objetivos de realizar uma abordagem relacionada a Ciência, tecnologia e sociedade (CTS) para promover o entendimento das propriedades dos gases na

atmosfera e investigar como a experimentação e a simulação propostas poderiam auxiliar na compreensão atômico molecular do fenômeno abordado.

Ainda nessa linha de pesquisa, o trabalho de Bezerra (2018) buscou investigar a integração da simulação computacional e da experimentação em estratégias didáticas no ensino de Química. Para isso, a autora desenvolveu uma SD com a temática de “As festividades juninas e os fogos de artifício” com discentes de uma instituição pública. A SD proposta pela autora foi estruturada como base na Teoria Cognitiva da Aprendizagem Multimídia (TCAM), e abordou os fenômenos envolvidos na atividade experimental “teste de chamas”, fenômeno semelhante aos envolvidos na queima de fogos de artifício. Bezerra (2018) utilizou uma simulação disponível no portal *PhET* da *University of Colorado-Boulder* nomeada como “Modelo do Átomo de Hidrogênio” para explorar a reação atômico molecular envolvida.

Para a coleta de dados, os participantes elaboram fluxogramas que possibilitavam aos estudantes relacionar palavras e imagens para explicar o fenômeno em questão (Bezerra, 2018). Para a análise de dados, a autora elaborou três categorias definidas como aceitável, razoavelmente aceitável, e por fim, inaceitável. As categorias versavam sobre a compreensão dos estudantes em relação ao fenômeno observado no experimento e as relações estabelecidas frente as representações atômico moleculares do fenômeno.

Com os resultados obtidos, a autora verificou que algumas limitações foram encontradas devido a quantidade expressiva de fluxogramas classificados como razoavelmente aceitáveis. No entanto, a autora destaca que mesmo com essas limitações, as simulações computacionais em conjunto com atividades experimentais, podem auxiliar no ensino-aprendizagem de química (Bezerra, 2018).

Com o breve levantamento teórico realizado nesta seção, podemos constatar que as pesquisas no ensino de química, que buscam investigar as potencialidades da experimentação investigativa nessa ciência, utilizam de formas, recursos e teorias variadas para o aprimoramento desta metodologia. Neste trabalho, defendemos o uso de uma teoria que possibilite a articulação de todos os recursos supracitados e que permita também, a articulação dos diferentes modos representacionais da química.

3.3 Teoria da Flexibilidade Cognitiva

A Teoria da Flexibilidade Cognitiva (TFC) foi desenvolvida ao final dos anos de 1980 por Spiro e colaboradores. A TFC é comumente definida como uma teoria construtivista de aprendizagem, ensino e representação do conhecimento. O trabalho de Ludwig Wittgenstein no ano de 1987 intitulado “Investigações filosóficas”, por meio da metáfora “travessia da paisagem em várias direções”, influenciou os autores da TFC em sua elaboração (Carvalho, 1998).

Através da metáfora, os precursores da teoria evidenciaram que o aprendizado ocorre quando as “paisagens conceituais” são atravessadas em várias direções. Esse pressuposto implica em um ensino que selecione diferentes materiais com o objetivo de proporcionar explorações multidimensionais de uma paisagem, com a participação ativa do aluno (Carvalho, 2011).

Os estudos iniciais que deram origem a TFC, derivam de um convite feito ao professor Rand Spiro, nos Estados Unidos, para averiguar a causa de uma grande quantidade de processos decorrentes de negligência médica. Assim, os primeiros trabalhos desenvolvidos se referem a assuntos da Medicina (Carvalho, 1998).

Através de um processo de investigação, que envolveu entrevistas com estudantes e análise de aulas em uma universidade, Spiro e os seus colaboradores identificaram que os aprendizes apresentavam dificuldade em transferir o conhecimento supostamente adquirido para novas situações (Carvalho, 1998). E foi com base na dificuldade de transferir o conhecimento para novas situações que os pressupostos da TFC surgiram (Carvalho, 1998).

De acordo com Carvalho (1998; 2000), a TFC não é classificada como uma teoria geral, pois não é aplicável a qualquer nível de conhecimento, apenas a aquisição de conhecimentos de nível avançado em domínios complexos e mal estruturados. Condição tratada pelos autores da obra e por Carvalho (1998), não como um problema, mas sim uma especificidade da teoria.

Um domínio complexo, segundo Carvalho (1998) é caracterizado por uma grande quantidade de conceitos, que interagem de diferentes formas. Com base nisso, para aprender um domínio complexo e mal estruturado é necessário ter domínio e criar relações entre diferentes conceitos que se relacionam (Carvalho, 1998; 2011).

Além disso, a Teoria da Flexibilidade Cognitiva é apropriada para a aquisição de conhecimento de nível avançado. Dessa forma, compreender as formas de

aquisição de conhecimento e suas particularidades, é um passo importante para compreender os pressupostos dessa teoria. De acordo com Spiro *et al.* (1988), a aquisição de conhecimento ocorre em três níveis, que correspondem ao nível introdutório, avançado e de especialista.

A aquisição de conhecimento no nível introdutório geralmente é contemplada pela exposição do aprendiz ao assunto em estudo, para a identificação dos conceitos básicos (Carvalho, 2011). No nível de aquisição avançado de conhecimento, é esperado que o indivíduo alcance uma compreensão profunda de um assunto, sendo capaz de aplicá-lo de maneira flexível em variados contextos. Por fim, o nível de especialista é posterior ao nível avançado e só é alcançado com anos de experiência em relação a um determinado assunto.

Voltando a outros trabalhos da autora, Carvalho (1998) argumenta sobre a necessidade de a aquisição de conhecimento em nível avançado ser pressentida por meio de cuidados particulares, pois esse nível de aprendizado necessita bem mais que a simples exposição do aprendiz ao assunto em estudo, o que promoveria a aquisição de um conhecimento de forma superficial, como ocorre na aprendizagem introdutória. Nesse viés, nota-se que as abordagens que promovem a aquisição de conhecimentos em níveis introdutórios e avançados são antagônicas. Visto que, a simplificação produzida pela aprendizagem introdutória promove o desenvolvimento de concepções equivocadas, como argumentam Spiro *et al.* (1988):

A parcela predominante das concepções equivocadas (e redes de concepções equivocadas) que identificamos reflete um tipo ou outro de simplificação excessiva de material complexo - associada às experiências anteriores dos aprendizes com a aprendizagem introdutória, e até mesmo influenciada por muitas experiências com a aprendizagem avançada (Spiro *et al.*, 1988, p. 5, tradução nossa).

Desse modo, corroborado com Carvalho (1998), fica evidente que mesmo que a aprendizagem de nível avançado venha após uma iniciação do aprendiz, através da aprendizagem de nível introdutório, a simplificação promovida por essa abordagem pode prejudicar uma compreensão futura da aprendizagem na aquisição de conhecimento de nível avançado.

Foi com base nessas informações, que os autores da teoria elaboraram os pressupostos necessários para promover a aquisição de conhecimento em nível avançado e promover a flexibilidade cognitiva por parte do aprendiz. A Flexibilidade Cognitiva pode ser definida como a capacidade de reestruturar o conhecimento

adquirido e aplicá-lo a novas situações e contextos. Desse modo, Carvalho (2000) classifica a flexibilidade cognitiva como a capacidade que o sujeito tem de, frente a uma situação ou problema, reestruturar o conhecimento para resolvê-la(o).

Para alcançar esse objetivo, na TFC são propostos princípios adequados para promover a aquisição de conhecimentos de nível avançado, em domínios complexos e pouco estruturados, permitindo que o indivíduo reestruture o conhecimento de maneira flexível (Carvalho, 2000). Essas condições são apresentadas por Carvalho (1998) e estão descritas no Quadro 1.

Quadro 1 - Condições propostas por Spiro e colaboradores (1988) para aquisição de conhecimentos avançados em domínios complexos e pouco estruturados

Condições para aquisição de conhecimentos avançados	
1	Evitar o excesso de simplificação e de regularidade
2	Múltiplas representações
3	Centrar o estudo no caso
4	Conhecimento conceptual como conhecimento aplicado ao caso
5	Construção de esquemas flexíveis
6	Não compartimentação de conceitos e casos (Múltiplas interconexões)
7	Participação ativa do aprendente e orientação no hiperdocumento

Fonte: Adaptado de Carvalho, 1998.

Na primeira condição (1) proposta pelos autores (Spiro; Coulson; Feltovich; Anderson, 1988), busca-se demonstrar a complexidade e a falta de regularidade de um assunto, evidenciando que o conhecimento não é algo linear e isolado. A condição (2) destaca que uma única representação de um conhecimento impossibilita a compreensão de assuntos complexos, sendo necessário uma variedade de modos para se pensar e representar um tópico conceitual (Carvalho, 1998).

A terceira condição (3) se refere à centralidade do estudo no caso. Quando essa condição é realizada, o ensino pode promover uma aprendizagem através da contextualização do conhecimento. De acordo com Spiro *et al.* (1988), um caso pode ser um filme, um capítulo de livro ou um acontecimento. A quarta condição (4), relata que em um domínio complexo e pouco estruturado o conceito está diretamente relacionado com o seu uso Spiro *et al.* (1988). Desse modo, a aplicação conceitual deve receber foco em relação ao conceito abstrato.

A quinta condição (5), relata que em domínios complexos e pouco estruturados, não se pode ter rigidez em relação aos esquemas utilizados, mas sim, esquemas flexíveis, para usar o conhecimento em várias situações. A condição (6), informa que os conceitos não podem ser tratados como capítulos separados (Spiro *et al.*, 1988). Por fim, a condição (7), destaca a importância da participação ativa do aprendiz, acompanhada pela orientação e auxílio na compreensão da complexidade.

As condições propostas pelos autores da TFC, podem ser aplicadas em sala de aula, promovendo a flexibilização do conhecimento pelos estudantes. Dessa forma, é possível encontrar pesquisas na literatura que utilizam desses pressupostos, para promover a aquisição de conhecimentos avançados e profundos.

3.3.1 Pressupostos da Teoria da Flexibilidade Cognitiva aplicados em sala de aula

A Teoria da Flexibilidade Cognitiva tem sido motivo de análise, servindo como base para o desenvolvimento de diversas pesquisas na literatura, em variadas áreas de ensino, como física, química, biologia, linguagens, entre outras. Isso se deve ao fato de a TFC ser aplicável a qualquer área do conhecimento (Carvalho, 2011).

Ao realizar uma breve consulta na literatura, é possível identificar alguns trabalhos que utilizam dos pressupostos da TFC na elaboração da estratégia FlexQuest para o ensino. No trabalho de Leão *et al.* (2006), a FlexQuest foi proposta como uma adaptação da Webquest, uma ferramenta de pesquisa orientada que utilizava de recursos disponíveis na internet de forma parcial ou total (Vasconcelos; Leão, 2012). A WebQuest foi adaptada por Leão *et al.* (2006) com o objetivo de integrar os princípios da Teoria da Flexibilidade Cognitiva. De acordo com os precursores da FlexQuest, a ferramenta se baseia em casos disponíveis na internet que posteriormente são desconstruídos pelos professores em casos menores:

FlexQuest (FQ) é baseado em casos existentes na Internet, e não em explicações e interpretações do conteúdo. Estes casos são desconstruídos pelo professor em mini-casos (ao trabalhar os recursos), e posteriormente são indicados alguns percursos temáticos (na parte do processo) com ligações aos mini-casos anteriores, numa perspectiva conceptual em que o professor, como especialista, deseja esclarecer (Leão *et al.*, 2006, p. 140, tradução nossa).

Com esse princípio, a FlexQuest foi desenvolvida como uma plataforma que utiliza de recursos hipermídia, com situações reais denominadas de casos, que na sequência são divididos na forma de mini-casos. A plataforma é composta de

contexto, casos, questões, processos e transferências, utilizando como pressuposto da TFC, a travessia da paisagem em várias direções. Dessa forma, a FlexQuest apresenta características adequadas para compreender as condições da TFC. Pois, a abordagem relacionada aos casos e mini-casos permite a exploração de um assunto de forma multifacetada, permitindo o desenvolvimento da flexibilidade cognitiva.

Dentre os trabalhos desenvolvidos com base na TFC, e que utilizam a plataforma FlexQuest, destaca-se o trabalho de Vasconcelos e Leão (2012), que foi uma produção didática resultado da dissertação de mestrado da autora. Em seu trabalho, a autora desenvolveu uma pesquisa de cunho qualitativo com 25 estudantes do 1º ano do ensino médio, em uma escola da rede privada na cidade de Recife, capital do estado de Pernambuco.

A FlexQuest desenvolvida e aplicada com os estudantes abordava o assunto de radioatividade e contemplou 3 casos e 4 mini-casos para cada um. O caso 1 abordou o tráfico de Torianita no estado do Amapá, o caso 2 abordou a irradiação de alimentos, já o caso 3 se deteve a abordar o acidente com o “Césio-137” que ocorreu em Goiânia-GO. Já os mini-casos foram utilizados para destrinchar a complexidade do assunto em partes menores. A pesquisa realizada pela autora demonstrou que o uso da FlexQuest, que toma como base os pressupostos da TFC, possibilitou o desenvolvimento da Flexibilidade Cognitiva nos estudantes.

Em um contexto mais recente, destaca-se o trabalho realizado por Couto *et al.* (2021), o qual apresenta uma FlexQuest para o ensino de física com a temática de energia eólica, nomeada “Ventos para transformar energia”. Os casos propostos na plataforma foram pesquisados através de notícias, matérias e vídeos publicados na internet. O objeto de estudo era a aprendizagem dos 20 estudantes do 3º ano do Ensino Médio em uma escola estadual de ensino profissional localizada no interior do estado da Bahia, tendo como meio de coleta de dados a gravação de áudios nas aulas, diário de bordo, atividades na plataforma FlexQuest e anotações dos aprendizes (Couto *et al.*, 2021).

Os quatro casos utilizados na estratégia foram definidos como: a Bahia como expoente; eólicas flutuantes; sobre as vantagens e desvantagens da energia eólica; “cadê a física?”. Esses casos foram posteriormente divididos em mini-casos para a abordagem da complexidade do assunto. Os pesquisadores utilizaram como recursos para abordagem dos casos o uso de vídeos, notícias e questões dentro da plataforma. Com a análise dos dados coletados, os autores constataram que a FlexQuest pode

apresentar potencialidade em relação a abordagens flexíveis e transversais, pois os estudantes demonstraram em suas respostas evidências de flexibilidade cognitiva.

Outra pesquisa, identificada no ensino de física, foi realizada por Oliveira e Aquino (2021). Os autores elaboraram uma FlexQuest com a temática de “Escassez Hídrica”, que foi aplicada com dez estudantes do 3º ano de ensino médio de uma escola pública do estado de Pernambuco. A pesquisa buscou identificar se a abordagem que promove a Flexibilidade Cognitiva, potencializa também uma aprendizagem significativa. A coleta de dados ocorreu por meio da produção de mapas conceituais pelos estudantes antes da aplicação e após a aplicação da pesquisa. Os resultados obtidos com os mapas conceituais, demonstraram que os estudantes desenvolveram uma aprendizagem significativa, ao mesmo tempo que foi possibilitada a flexibilização do conhecimento.

Em última análise, destacamos o trabalho realizado por Silva (2021) que teve como temática “O consumo de agrotóxicos no Brasil”. O autor realizou uma pesquisa de cunho qualitativo, que apresentava objetivos descritivos, explicativos e exploratórios. O trabalho consistiu na elaboração de uma SD com o uso do *Facebook*, rede social mundialmente conhecida, e ainda hoje, utilizada diariamente por um grande número de usuários.

A sequência didática do autor foi dividida em 3 casos e 10 mini-casos, que foram estruturados a partir de 3 artigos publicados pela *British Broadcasting Corporation*, veículo de comunicação conhecido mundialmente como BBC, e difundido no país como BBC NEWS Brasil. Os artigos abordavam a temática de agrotóxicos, tratando especificamente sobre o uso indiscriminado desses produtos, e os impactos para o meio ambiente e a saúde de plantas e animais (Silva, 2021). Desse modo, os 3 casos foram nomeados respectivamente como: (1) O agrotóxico que matou 50 milhões de abelhas em Santa Catarina em um só mês; (2) Glifosato: decisão da justiça americana associa agrotóxico liberado no Brasil a câncer; (3) Glifosato: mitos e verdades sobre um dos agrotóxicos mais usados do mundo.

A pesquisa foi realizada em uma escola da rede privada do município de Toritama, estado de Pernambuco. A SD foi aplicada com 10 estudantes do terceiro ano do ensino médio. As atividades foram realizadas em um período de sete dias, tendo início com a aplicação de um questionário para identificar o conhecimento prévio dos estudantes. A coleta de dados foi feita por meio das repostas dos estudantes realizadas na plataforma *Facebook*.

Através das pesquisas analisadas, foi possível observar que a abordagem FlexQuest é utilizada majoritariamente nas pesquisas que utilizam os pressupostos da TFC para o ensino. Pois, a plataforma incorpora com primazia os requisitos necessários para a flexibilização do conhecimento, que é o objetivo da TFC. Contudo, surge a necessidade de pesquisas, que propõem novas estratégias de ensino, tomando como base a TFC, para promover abordagens alternativas de ensino e explorar de forma benéfica todas as dimensões e possibilidades da TFC.

Desse modo, estudos que abordam como os pressupostos da TFC podem ser aplicados, através da articulação de recursos tecnológicos e experimentação, para o ensino de Química, podem contribuir significativamente para o desenvolvimento de práticas pedagógicas que promovam a flexibilização do conhecimento por parte do aprendiz, permitindo assim a aplicação desse conhecimento em novas situações.

Em última análise, destacamos que o número de pesquisas que utilizam da TFC para o ensino de Eletroquímica é escasso na literatura. Dessa forma, surge como necessidade pesquisas que integrem as diferentes abordagens e casos relacionados a Eletroquímica, visto que está inserida no cotidiano de grande parte da população, e de formas diferentes, mas evidenciando as múltiplas dimensões desta área, com base nos pressupostos da TFC.

3.4 Breve panorama histórico sobre Eletroquímica

Na sociedade moderna, a vida cotidiana se mostra habituada a uma vasta gama de recursos tecnológicos. Lidamos diariamente com o uso de celulares, tablets, notebooks, rádios, entre outros aparelhos. Todos esses aparelhos têm uma necessidade em comum, precisam de uma fonte de energia que permita o seu pleno funcionamento. Assim, a utilização destes recursos só foi possível devido a invenção das pilhas e baterias, que ocorreu entre os anos de 1799 e 1800 (Tolentino; Rocha-Filho, 2000).

Embora seja perceptível a necessidade das pilhas e baterias para o funcionamento de eletrônicos, sua utilidade não se restringe apenas à ativação desses aparelhos. No passado, as pilhas e baterias foram essenciais no fornecimento de corrente elétrica para a realização de experimentos, que serviram de base para o desenvolvimento da Eletroquímica (Tolentino; Rocha-Filho, 2000).

Dessa forma, entender como ocorreu o desenvolvimento das pilhas e baterias, nos permite também, entender como a ciência se desenvolveu. Nesse contexto, podemos destacar que o início do panorama histórico da eletroquímica remete ao século 18, com dois personagens importantes: Luigi Galvani e a ideia da “eletricidade animal”, e Alessandro Volta com a invenção da “primeira bateria da história”.

O italiano Luigi Galvani (1737-1798), na segunda metade do século 18, quando executava a função de professor da Universidade de Bolonha, voltava seus estudos para o campo denominado de Eletricidade Médica. Ao final da década de 1780, destinava os seus estudos à eletricidade animal, termo elaborado por Pierre Bertholon (1741-1800) e Giuseppe Gardini (1740-1816) (Tolentino; Rocha-Filho, 2000).

No ano de 1781, quando Galvani trabalhava em seu laboratório com os membros inferiores de uma rã dissecada, que repousavam sobre uma mesa do laboratório, um dos seus auxiliares observou que o tocar no animal dissecado com um bisturi, ocorria uma intensa contração dos membros (Tolentino; Rocha-Filho, 2000). A partir dessa observação, Galvani chegou à conclusão que a contração que ocorria na rã dissecada era provocada em decorrência a descargas elétricas geradas a partir de um fluido invisível, que ele chamaria de eletricidade animal (Oki, 2000).

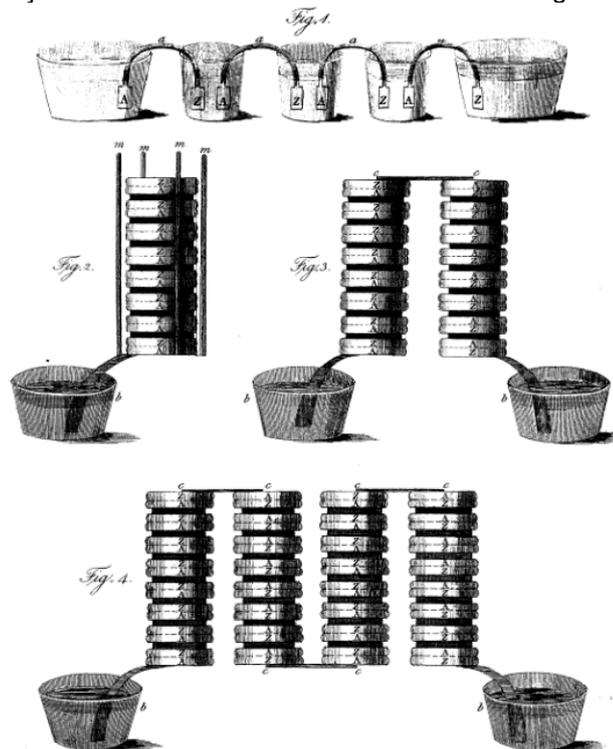
Depois de alguns anos de pesquisa, Luigi Galvani descreveria seus resultados na monografia *Viribus Electricitatis in Motu Musculari* (Forças da eletricidade no movimento muscular) (Tolentino; Rocha-Filho, 2000), concluindo que a eletricidade produzida tinha origem animal. As pesquisas de Galvani influenciaram cientistas e pesquisadores da época. Um dos pesquisadores que despertaram interesse pelos trabalhos de Galvani foi Alessandro Volta, que contrariava as ideias sobre a origem da eletricidade descrita.

Alessandro Giuseppe Anastasio Volta nasceu em 17 de fevereiro de 1745, na cidade de Como na Itália. Volta foi uma figura marcante na história da Química, filho de pais aristocratas, teve uma educação fora dos padrões convencionais (Chagas, 2000). Por seu estudo intitulado *Lettere sull'aria infiammabile nativa delle paludi* publicados (Cartas sobre o ar inflamável nativo dos pântanos), publicado em forma de sete cartas sobre os gases emitidos pelos pântanos próximos a sua cidade, Volta seria reconhecido com o pai do gás metano (Chagas, 2000).

No entanto, Volta marcaria seu nome na história por outra descoberta, ou melhor dizendo, por uma invenção. No ano de 1799 Alessandro Volta, concluía sua pesquisa que correspondia a uma controvérsia com Luigi Galvani. No ano de 1800,

Volta enviava ao presidente da *Royal Society of London* (Sociedade Real de Londres) uma carta que retrata os resultados de sua pesquisa (Chagas, 2000; Tolentino; Rocha-Filho, 2000) intitulada por ele como “Órgão elétrico artificial” (Figura 3), o que viria a se tornar o que conhecemos hoje como a pilha elétrica.

Figura 3 – Invenção de Alessandro Volta nomeada como “Órgão elétrico artificial”



Fonte: Tolentino e Rocha-Filho, 2000, p. 38.

Alessandro Volta, contrariava as ideias de eletricidade animal, relatando que na verdade, a contração realizada pelas pernas da rã era resultado do contato entre os dois diferentes metais utilizados no experimento de Galvani (Chagas, 2000). Com isso, Volta constrói o “Órgão elétrico artificial”, dispositivo constituído de dois metais diferentes empilhados alternadamente. Entre os metais, era adicionado um tecido umedecido com água e sal ou lixívia (Chagas, 2000). Ao adicionar um fio condutor em cada polo da pilha, era possível observar que uma corrente elétrica estava sendo produzida pelo dispositivo. Surgia nesse momento, a primeira bateria conhecida na história.

A invenção da primeira bateria da história possibilitou uma série de avanços na Química e na ciência de forma geral. Como destacam Tolentino e Rocha-Filho (2000), devido a sua invenção, Volta ganharia posição de destaque na ciência mundial, tendo Humphry Davy descrito que “A pilha de Volta retinira como uma campainha de alarme

para os experimentadores de toda a Europa” (Tolentino; Rocha-Filho, 2000, p. 39). Posteriormente, esse cientista conseguiria isolar elementos metálicos com o auxílio da bateria construída por Volta.

3.4.1 Pressupostos educacionais no ensino de Eletroquímica

A Eletroquímica é uma área da Química com grande importância para o desenvolvimento da ciência, além de também integrar questões relacionadas à sociedade e ao meio ambiente. Devido a isso, o ensino dessa área deve ir além da simples exposição do aprendiz aos conceitos de oxidação, redução, agente oxidante, agente redutor, entre outros.

Os avanços nos estudos da Eletroquímica permitiram a construção de pilhas e baterias, dispositivos que geram corrente elétrica por meio de uma reação Química, que são de grande importância para o funcionamento de diversos dispositivos na atualidade. No entanto, as pilhas e baterias não apresentam apenas benefícios. A composição desses dispositivos utiliza de metais tóxicos para seu funcionamento, o que pode promover riscos à saúde humana e ao meio ambiente (Bocchi, 2000).

Essa condição levantou preocupação em diversos países, como o Brasil. Ao final da década de 90, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), publicou no diário da união uma resolução com ações para orientar o descarte e o gerenciamento de pilhas e baterias (Bocchi, 2000). Na atualidade, ações como essa ainda se mostram de extrema necessidade, principalmente devido ao crescente movimento de transição energética vivenciado e a exigência de veículos elétricos, que promovem uma demanda maior por baterias.

Essas ações de conscientização podem encontrar uma porta de acesso por meio do ensino, como a possibilidade de promover a compreensão de aspectos como a composição, funcionamento e o descarte adequado desses dispositivos. No entanto, apesar de ser de um conhecimento essencial, esse tema muitas vezes não recebe a devida atenção na abordagem dos processos de ensino e aprendizagem.

Em pesquisa realizada por Costa *et al.* (2023), foi evidenciado que os estudantes participaram da pesquisa, sejam eles de escolas públicas ou privadas, não apresentavam conhecimento sobre a forma correta de descartar as pilhas e baterias. Além disso, os autores constataram que os familiares dos estudantes não tinham esse

conhecimento. Sendo identificado também que, as escolas não promovem projetos para inserir a temática ambiental no cotidiano dos estudantes (Costa *et al.*, 2023).

Dessa forma, é imprescindível promover um ambiente em que os conteúdos propostos para os estudantes estejam diretamente relacionados a questões sociais e ambientais. Para além de possibilitar a construção de conhecimento, estimular a conscientização do aprendiz que pode intervir através de consciência crítica e social, com os indivíduos da comunidade que esteja envolvido. Esse viés é ancorado por documentos governamentais que guiam a educação do país.

Como exemplo, a Base Nacional Comum Curricular (BNCC), apresentada em 2018, propõe competências e habilidades que os estudantes devem desenvolver ao longo de todo o ensino médio. Sendo que, essas competências e habilidades devem permitir a ampliação e a sistematização dos conhecimentos desenvolvidos no ensino fundamental, no que se refere “aos conhecimentos conceituais da área; à contextualização social, cultural, ambiental e histórica” (Brasil, 2018, p. 547).

De acordo com o documento, para o ensino de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, é proposto que o conhecimento científico e tecnológico deve ser discutido em sala de aula, por meio da análise da relação entre ciência, tecnologia, sociedade e ambiente, pois possibilita a discussão de questões como a organização social, de pautas ambientais, saúde humana e da formação cultural (Brasil, 2018).

A BNCC apresenta também, uma habilidade referente à primeira competência para o ensino de ciências da natureza e suas tecnologias. Destacamos na sequência o que propõe a habilidade:

Realizar previsões qualitativas e quantitativas sobre o funcionamento de geradores, motores elétricos e seus componentes, bobinas, transformadores, pilhas, baterias e dispositivos eletrônicos, com base na análise dos processos de transformação e condução de energia envolvidos – com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais –, para propor ações que visem a sustentabilidade (Brasil, 2018, p. 555).

Com fundamento na BNCC, o estado de Pernambuco articula por meio do Organizador Curricular por Bimestre da Formação Geral Básica (FGB), os objetos de conhecimento que os estudantes devem trabalhar, para desenvolverem as habilidades gerais e específicas, propostas pela Base Nacional. Conforme observado na Figura 4, a seguir.

Figura 4 – Organização curricular do estado de Pernambuco referente ao terceiro bimestre do segundo ano do ensino médio

QUÍMICA		
2º ANO		
3º BIMESTRE		
HABILIDADES DA ÁREA BNCC	HABILIDADES ESPECÍFICAS DOS COMPONENTES	OBJETOS DE CONHECIMENTO
(EM13CNT107) Realizar previsões qualitativas e quantitativas sobre o funcionamento de geradores, motores elétricos e seus componentes, bobinas, transformadores, pilhas, baterias e dispositivos eletrônicos, com base na análise dos processos de transformação e condução de energia envolvidos – com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais –, para propor ações que visem a sustentabilidade.	(EM13CNT107QUI09PE) Compreender o funcionamento de pilhas, baterias e sistemas de eletrólise a partir de suas reações de constituição, potencial elétrico, tempo de vida útil e aplicações práticas, visando a tomada de decisões por ações sociais, ambientais e economicamente viáveis.	Processos de oxidação e redução. Cálculo do número de oxidação (Nox). Balanceamento de reações redox. Eletroquímica. Pilhas e baterias. Química da eletrólise em escala laboratorial e industrial. Pesquisa de tecnologias e materiais alternativos menos nocivos à vida e ao ambiente.

Fonte: Pernambuco, 2023².

Por meio dos documentos oficiais, que norteiam o ensino na educação básica, em específico o ensino da Eletroquímica, é possível notar a exigência de uma abordagem que relacione não apenas a tratamento conceitual da área, mas também uma abordagem que possibilite aos estudantes, a reflexão sobre questões sociais e ambientais. Além disso, também é possível notar que os documentos destacam a importância de um tratamento que vise a sustentabilidade, em relação a utilização de dispositivos como pilhas e baterias.

Para isso, é feita uma menção, em específico na BNCC, sobre o uso de recursos digitais, para auxiliar na compreensão dos dispositivos mencionados. Nessa perspectiva, diversos recursos metodológicos poderiam ser utilizados para auxiliar na compreensão dos estudantes sobre o funcionamento desses dispositivos.

Em uma pesquisa realizada por Medeiros e Silva Júnior (2021), foram investigadas as principais metodologias utilizadas por professores para o ensino de Eletroquímica, por meio da análise das publicações de eventos nacionais como do Encontro Nacional de Ensino de Química (ENEQ), do Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC) e Reuniões Anuais da Sociedade Brasileira de Química (RASBQ), como também revistas nacionais de ensino de Química e ciências. O intervalo de tempo analisado envolveu as publicações entre os anos de 2007 e 2017, resultando em um total de 102 trabalhos encontrados.

² Disponível em: <<https://portal.educacao.pe.gov.br/ensino-medio/>>. Acesso em: 10 de fevereiro de 2024.

De acordo com os autores, a principal atividade utilizada pelos professores para o ensino de eletroquímica é a atividade experimental. Além da experimentação, foram encontradas estratégias com o uso de contextualização, TIC, enfoque CTS, jogos didáticos e uso de sequências didáticas (Medeiros; Silva Júnior, 2021). Contudo, os autores não destacaram o uso de simulação computacional nas pesquisas correspondentes.

Desse modo, pesquisas para o ensino de Eletroquímica, que utilizem o uso de recursos digitais, como a simulação computacional, ainda são escassas em relação a outros recursos e metodologias, como observado no levantamento apresentado acima. Logo, o presente trabalho pode contribuir para desenvolver uma perspectiva mais aprofundada sobre o uso de simulação para auxiliar na compreensão dessa área.

4 METODOLOGIA

4.1 Classificação da pesquisa

O presente trabalho se caracteriza como uma pesquisa qualitativa, porque não se detém a uma análise numérica dos dados, mas busca analisar as relações feitas pelos indivíduos investigados. Visto que, busca-se analisar a perspectiva dos participantes, em sua prática do cotidiano e em seu conhecimento relativo à questão em estudo (Flick, 2009).

Em relação ao objetivo, essa pesquisa se classifica como descritiva e exploratória. De acordo com Oliveira (2007), a pesquisa descritiva procura analisar fatos ou fenômenos, descrevendo de forma detalhada como eles são apresentados. Além disto, ela possui caráter exploratório, que ainda segundo a autora corresponde a pesquisas em que o tema é pouco explorado. Assim, este trabalho recebe essa característica devido à escassez de estudos que relacionem experimentação e simulação com base nos pressupostos da TFC. Além disso, são identificados poucos trabalhos na literatura que exploram os pressupostos da TFC com a temática de Eletroquímica.

4.2 Participantes e campo de pesquisa

A pesquisa foi realizada com estudantes matriculados no segundo ano do ensino médio em uma escola pública de referência localizada no município de Caruaru, região Agreste do estado de Pernambuco. Os participantes da pesquisa apresentam idade entre 15 e 17 anos, uma vez que esse intervalo reflete a faixa etária média dos discentes que cursam o segundo ano na escola.

A escolha da escola foi devida ao autor deste trabalho ter realizado estágios curriculares obrigatórios e programas de formação de professores na instituição, o que gerou uma maior facilidade e bom acolhimento da comunidade e gestão escolar para aplicação da pesquisa. Em relação a escolha dos estudantes, foi devida ao assunto de eletroquímica ser proposto para discentes do segundo ano do ensino médio, segundo o Organizador Curricular por Bimestre da Formação Geral Básica (FGB), disponível na Figura 4 (pág. 44).

Ao todo, 27 estudantes participaram da aplicação e coleta de dados da SD. No entanto, apenas 12 estudantes participaram de forma efetiva dos cinco momentos descritos na metodologia deste trabalho. Com isso, para a análise dos dados foi considerado apenas estes estudantes que participaram de todos os momentos da aplicação. Essa ação corresponde a necessidade de analisar os dados através de cruzamentos de informações obtidas preferencialmente em todos os momentos da SD. Já que, para que fosse identificado aspectos de flexibilidade cognitiva e da aquisição de conhecimentos avançados, era necessário a participação em todos os momentos.

Considerando essa necessidade como premissa e visando assegurar a confidencialidade dos participantes da pesquisa, os estudantes tiveram seus nomes preservados, mantendo apenas o artigo indicativo do gênero gramatical do(a) estudante. Sendo que, para a análise dos dados cada participante recebeu uma nomenclatura como Estudante 1, 2, 3, e assim sucessivamente. Foram estabelecidos quatro grupos, denominados A, B, C e D. O grupo A corresponde aos Estudantes 1, 2 e 3; Grupo B aos Estudantes 4, 5, 6 e 7; Grupo C pelos Estudantes 8, 9 e 10; por fim, o Grupo D contempla os Estudantes 11 e 12.

4.3 Sequência didática desenvolvida

A elaboração da sequência didática baseou-se nos princípios da Teoria da Flexibilidade Cognitiva proposta por Spiro *et al.* (1988) e abordada por Carvalho (1998; 2000; 2011). A SD contemplou cinco momentos distintos, que equivaleriam a oito aulas com uma média de 50 minutos de duração, totalizando aproximadamente 6 horas e 40 minutos. Ao longo dessa SD, foi realizada uma integração estratégica entre simulação computacional e experimentação, com o intuito de proporcionar aos estudantes uma compreensão mais abrangente dos fenômenos químicos por meio dos três modos representacionais dos fenômenos da Eletroquímica, explorados na sequência didática.

Esse movimento é ancorado por pressupostos da TFC, que se referem às condições para aquisição de conhecimentos avançados em domínios complexos e pouco estruturados. Assim, a SD proposta contempla a condição de uma aquisição de conhecimento avançado por meio de “múltiplas representações” de um

conhecimento, possibilitando as “travessias temáticas” em várias direções, mencionadas pela TFC.

Visto que, segundo Spiro *et al.* (1988, p. 7, tradução nossa) “A flexibilidade cognitiva depende de ter um repertório diversificado de maneiras de pensar sobre um tópico conceitual”. Com isso, a SD foi estruturada através de três casos, que foram divididos posteriormente em 8 mini-casos, com o intuito de abordar o assunto de Eletroquímica através de diferentes visões e contextos. A seguir, os casos e mini-casos propostos são detalhados, juntamente com a organização dos momentos em que eles foram apresentados. Além disso, os momentos são justificados de acordo com os pressupostos da TFC utilizados como base.

Primeiro momento:

De acordo com as condições propostas por Spiro *et al.* (1988), o estudo deve ser centralizado no caso. Para isso, foi apresentado aos estudantes uma notícia relacionada a produção e descarte de lixo eletrônico no mundo (Apêndice A). Após a leitura da notícia, os estudantes foram incentivados a refletir sobre algumas questões problematizadoras referentes ao lixo eletrônico, a composição desse lixo e o tempo de vida útil desses dispositivos.

Dessa forma, o caso 1 foi intitulado como: “Mundo gera 62 milhões de toneladas de lixo eletrônico em 2022, alerta relatório da ONU”. Sendo este caso dividido em três mini-casos, nomeados como: mini-caso 1.1 – “O que é lixo eletrônico?”; mini-caso 1.2 – “Corrosão e degradação de dispositivos eletrônicos”; mini-caso 1.3 – “Contaminação do meio ambiente e risco a saúde humana provocada por metais pesados”. As informações referentes a primeira abordagem dessa SD estão disponíveis no Quadro 2, como também os princípios conceituais abordados no caso.

Quadro 2 – Caso, mini-casos e temas de análise conceitual com a temática de lixo eletrônico

Caso 1 - Mundo gera 62 milhões de toneladas de lixo eletrônico em 2022, alerta relatório da ONU		Temas de análise conceitual
Mini-caso 1.1	O que é o lixo eletrônico?	Corrosão
Mini-caso 1.2	Corrosão e degradação de dispositivos eletrônicos.	Oxidação e redução Número de oxidação

Mini-caso 1.3	Contaminação do meio ambiente e risco a saúde humana provocada por metais pesados.	Agente oxidante Agente redutor
---------------	--	-----------------------------------

Fonte: Própria, 2024.

O mini-caso 1.1, abordou a definição de lixo eletrônico. Este mini-caso foi iniciado com a discussão em grupo do questionário proposto (Apêndice A). Desse modo, foram adicionadas perguntas que visaram diagnosticar o conhecimento prévio dos estudantes em relação a problemática trabalhada. Ainda neste mini-caso, foi apresentado aos estudantes um vídeo disponível na plataforma *YouTube*, intitulado como “Lixo eletrônico: entenda a importância de descartar corretamente”³.

Com o término do mini-caso 1.1, foi dado início ao mini-caso 1.2 que abordou o processo de corrosão dos componentes presentes no lixo eletrônico, como os metais pesados. Para compreender o processo de corrosão envolvido, foi realizada uma atividade experimental com o uso de sulfato de cobre (CuSO_4), alumínio (Al) e cloreto de sódio (NaCl). A experimentação consistiu em uma reação de oxirredução catalisada por sal de cozinha, e desencadeada a partir do contato entre o alumínio proveniente de uma latinha de refrigerante e uma solução de sulfato de cobre, encontrada comercialmente em lojas de floricultura.

Nessa dinâmica, os aprendizes foram divididos em quatro grupos. Posterior a divisão, cada grupo recebeu uma latinha de alumínio, uma pequena porção de sal de cozinha e uma quantidade de solução de sulfato de cobre em água. Em seguida, foi solicitado que um dos participantes colocasse a solução de sulfato de cobre em contato com a latinha de alumínio, e que os estudantes anotassem suas observações. Após a primeira observação, outro participante adicionou sal de cozinha a reação, registrando as novas observações.

Esse experimento teve como objetivo levantar indagações e reflexões em torno da composição do sulfato de cobre e o porquê é desencadeado o processo de corrosão na lata de alumínio. O levantamento das hipóteses pelos estudantes foi registrado por meio de gravação de áudio.

Nesse momento, mediou-se a situação, apresentando e explorando juntamente com os estudantes a reação química envolvida, como também os reagentes e

³ Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=52pfRQawboA> . Acesso em 10 de maio de 2024.

produtos formados nesse processo. Dessa forma, a situação vivenciada perpassou por dois diferentes modos representacionais da Química, o modo macroscópico e representacional.

Além disso, outra observação que deve ser feita no momento vivenciado se refere ao uso de analogias. Embora a TFC recomende o uso de analogias de forma adequada, como relata Carvalho (1998), o que se pretendeu com o experimento descrito foi a investigação do processo de oxidação envolvido, e não “exemplificar” a oxidação/corrosão dos metais em dispositivos eletrônicos. A partir do estudo proposto, os estudantes puderam desenvolver a compreensão em relação ao processo de oxidação, e a partir disso, compreender a corrosão de metais no meio ambiente.

Após a aplicação do mini-caso 1.2, iniciou-se o mini-caso 1.3, que teve como proposta promover discussões sobre o descarte inadequado do lixo eletrônico e suas consequências. Para atender a este objetivo, foram apresentados aos estudantes problemas de saúde que estão relacionados com a exposição a grandes concentrações de metais na composição do lixo eletrônico. A finalização do mini-caso 1.3 e conseqüentemente do caso 1, ocorreu com discussão entre os estudantes, com indagações sobre os locais mais adequados para o descarte desses materiais, e as formas de contaminação em locais inapropriados.

Segundo momento:

O segundo momento da SD apresentou o caso 2, nomeado como “Carros elétricos: uma solução eficaz ou uma mudança de problemática?” trazendo a discussão sobre as baterias utilizadas em carros elétricos e os impactos ambientais decorrentes da extração dos metais usados na composição desses dispositivos. Como o momento anterior, este caso envolveu três mini-casos, que destrincharam a discussão acerca da temática. A definição dos mini-casos está descrita no Quadro 3, como também os princípios da Eletroquímica que podem ser abordados com o caso.

Quadro 3 – Caso, mini-casos e temas de análise conceitual sobre Carros elétricos

Caso 2 - Carros elétricos: uma solução eficaz ou uma mudança de problemática?		Temas de análise conceitual
Mini-caso 2.1	As baterias de carros elétricos	Oxidação e redução

Mini-caso 2.2	Como uma bateria funciona?	Cátodo e ânodo
Mini-caso 2.3	Sustentável para quem? O Lítio Brasileiro: A Promessa da Transição Energética e a Insustentabilidade Socioambiental	Eletronegatividade Corrosão Corrente elétrica Potencial de redução

Fonte: Própria, 2024.

Posterior a leitura do caso 2, disponível no Apêndice B deste trabalho, foi dado início ao estudo dos mini-casos. O mini-caso 2.1 se deteve a explorar a composição das baterias comumente utilizadas em carros elétricos. Com o uso de *slide*, foi apresentado aos estudantes os diferentes tipos de pilhas, e as mais comuns em carros elétricos, as baterias de íon-lítio.

Tomando como base o mini-caso 2.1, o mini-caso 2.2 buscou explorar a reação decorrente da composição desses dispositivos, que resulta no seu funcionamento. Neste momento, foi explorado a reação de oxirredução envolvida em uma célula galvânica, e conseqüentemente nos dispositivos descritos.

Para auxiliar na compreensão dos estudantes, em relação aos processos e reações químicas envolvidas no funcionamento de uma bateria, foi utilizado como recurso metodológico a experimentação investigativa, intitulada como “a primeira bateria da história”, experiência referente a invenção de Alessandro Volta.

Nesta atividade experimental, os estudantes empilharam moedas de cobre e arruelas de zinco alternadamente, contendo entre os dois eletrodos uma pequena camada de papel umedecido com uma solução eletrolítica composta por água e sal (NaCl). Nessa dinâmica, foi solicitado que os estudantes conectassem dois fios condutores, um em cada eletrodo, com o objetivo de acender uma *Light Emitting Diode* (Diodo emissor de Luz), aparelho conhecido como “LED”.

Durante a realização do experimento, foram levantados questionamentos para os estudantes, como: 1) Se não houvesse a solução eletrolítica entre os dois metais, ainda seria possível acender o LED? (2) Utilizando apenas moedas de cobre, a reação ainda seria possível? E de Zinco? (3) Apenas observando os materiais envolvidos na reação, é possível definir quem sofreu oxidação e redução? Essas perguntas tiveram como objetivo que os estudantes “experimentassem” e testassem suas hipóteses, refletindo sobre aspectos para além do que é observado.

Este momento foi necessário para a aquisição de conhecimentos avançados, já que, a compreensão acerca do funcionamento de uma bateria de íon-lítio pode ser caracterizada como um conhecimento de domínio complexo. Entender o funcionamento de uma pilha desta espécie, ou até mesmo o funcionamento de uma pilha convencional, exige que o aprendiz assimile saberes relativos a reações de oxirredução, cátodo e ânodo, eletrólitos sólidos e líquidos, dentre outros. Além disso, essa situação é um claro exemplo de transferência de conhecimento para uma nova situação, já que a bateria estudada na teoria (íon-lítio) se difere da bateria observada no experimento, devido aos diferentes eletrodos e eletrólitos.

Terceiro momento:

O terceiro momento da SD se referiu ao uso das TIC no ensino, em especial sobre o uso da simulação computacional com o objetivo de abordar o modo de representação submicroscópico, relacionado a reação de oxirredução envolvida na pilha construída. Para isso, foi utilizado a simulação da “célula voltaica” disponível no site Português “Casa das Ciências”. Nesta simulação, é possível escolher os eletrodos e eletrólitos envolvidos na reação, como também a concentração de cada componente.

A simulação abordou aspectos necessários para a compreensão dos aprendizes sobre a dissociação de íons do eletrodo em contato com a solução eletrolítica, o processo de corrosão do eletrodo oxidado e o depósito de íons no eletrodo reduzido. Durante essa fase da simulação, foi solicitado que eles criassem desenhos para representar o experimento e os fenômenos envolvidos. Esperava-se que os participantes estabelecessem uma relação entre o que observaram no experimento e as representações atômico-moleculares dos fenômenos.

Na sequência do uso da simulação computacional, o caso 2 foi finalizado por meio da abordagem do mini-caso 2.3. Este momento se deteve a incentivar a reflexão acerca do uso do lítio para a fabricação de baterias usadas em eletrônicos e carros elétricos, destacando os problemas decorrentes de sua extração. Para isso, os estudantes realizaram a leitura de uma notícia nomeada como “Sustentável para quem? O Lítio Brasileiro: A Promessa da Transição Energética e a Insustentabilidade Socioambiental” disponível no Apêndice C deste trabalho.

Quarto momento:

O quarto momento da SD se dedicou a abordagem relacionada ao movimento de transição energética vivenciada no mundo, movimento este, que deu nome ao terceiro caso apresentado. A escolha da “transição energética” como assunto do terceiro caso foi devido a relevância do tema atualmente, que tende a se intensificar com o decorrer dos anos, mostrando-se assim, uma temática relevante para formação de estudantes informados sobre as discussões sociais e ambientais que estão em debate no mundo. Para abordar a temática, o caso foi dividido em dois mini-casos, que podem ser consultados no Quadro 4.

Quadro 4 – Caso, mini-casos e temas de análise conceitual sobre produção de energia sustentável

Caso 3 – A transição energética		Temas de análise conceitual
Mini-caso 3.1	Tecnologias e desafios para produção de energia sustentável	Número de oxidação Oxirredução
Mini-caso 3.2	Eletrólise da água e a produção de hidrogênio verde	Eletrólise Potencial de redução

Fonte: Própria, 2024.

Para destrinchar a temática, o mini-caso 3.1 foi nomeado como “Tecnologias e desafios para produção de energia sustentável”, e teve como objetivo apresentar para os estudantes as formas de produção de energia sustentável mais utilizadas no contexto global atual, e como o Brasil é destaque nesse quesito. A apresentação do mini-caso foi feita por meio de *slide* para facilitar a exibição de imagens pertinentes para a compreensão do assunto.

Na sequência, o mini-caso 3.2 aprofundou-se especificamente em um dos combustíveis considerados sustentáveis e importantes para a conquista da transição energética, o hidrogênio “verde”. O termo hidrogênio verde, se refere ao gás hidrogênio, molécula diatômica (H₂), produzida a partir da hidrólise da água com o uso de energias renováveis. Para introduzir a temática aos estudantes, foi disponibilizado, assim como nos momentos anteriores, uma notícia referente a situação abordada, que pode ser consultada no Apêndice D deste trabalho.

Após a introdução do assunto, por meio da leitura da notícia, foi dado início ao estudo do processo envolvido na produção do hidrogênio verde, a eletrólise. Para trabalhar com o processo de eletrolise, optou-se pelo uso do experimento de hidrólise da água, para produção de H₂ na prática. Nesta atividade experimental, os aprendizes receberam um recipiente para que na sequência fosse preenchido com uma solução de água e sal (NaCl), possibilitando assim, através do uso de dois fios condutores conectados a uma pilha, que os estudantes pudessem realizar a reação de eletrólise.

Ao fim do quarto momento da SD, todos os casos e mini-casos foram apresentados como descrito. Entretanto, embora os casos e mini-casos tenham sido apresentados de forma sequencial ao decorrer dos momentos, é válido destacar que a relação entre os três casos apresentados permite diversas formas de organização da SD. Desse modo, em uma situação hipotética, o caso 2 que se refere a temática de carros elétricos poderia ser apresentado de forma inicial na SD, para posterior apresentação dos outros casos.

Essa relação entre os casos e mini-casos propostos na estratégia didática, reflete um dos pressupostos mencionados na TFC, em específico no trabalho de Spiro *et al.* (1988). Como descrito no Quadro 1 deste trabalho (pág. 35), uma das condições para a aquisição de conhecimentos avançados e conseqüentemente da flexibilidade cognitiva é a construção de esquemas flexíveis. O que, de forma positiva, é possibilitado pela estruturação da SD descrita.

Quinto momento:

A última etapa da SD consistiu na resolução de um teste de transferência (Apêndice B), tomando como base a proposta de Feltovich *et al.* (1993) *apud* Carvalho (1998), que pode ser consultada no Quadro 5 na sequência do texto. Nesta etapa da SD, foi proposto que os estudantes refletissem sobre as relações entre os casos e experimentos observados, pois para alcançar esse objetivo, os aprendizes deveriam ser capazes de transferir o conhecimento supostamente adquirido para diferentes situações. Dessa forma, é esperado que os participantes da pesquisa tenham desenvolvido aspectos da Flexibilidade Cognitiva.

4.4 Instrumentos de coleta de dados

Neste trabalho, todos os dados foram coletados no decorrer da SD. Inicialmente, os estudantes foram indagados através de questionamentos (Apêndice A), sobre os aspectos relacionados ao lixo eletrônico. Essa atividade inicial teve como objetivo identificar possíveis conhecimentos prévios dos discentes sobre a temática de lixo eletrônico. Além disso, em todos os casos apresentados os estudantes foram convidados a registrar em diário de bordo as observações realizadas, seja por meio dos experimentos, da simulação ou da leitura das notícias e casos.

Para realizar a coleta de dados durante os experimentos de “corrosão de metais” e a “primeira bateria da história”, os estudantes foram questionados sobre o que estava sendo observado. As suas respostas foram registradas com a utilização de um celular por meio de gravação de áudio.

Para verificação da promoção da flexibilidade cognitiva a partir do desenvolvimento da SD, foi construído um teste de transferência (Apêndice B) para identificar aspectos relacionados a esse processo. De acordo com Carvalho (1998), tomando como pressuposto que a TFC tem como objetivo a aquisição de conhecimento de nível avançado em domínios complexos e pouco estruturados, promovendo que o estudante compreenda profundamente um assunto, os testes realizados devem contemplar esse nível de aprofundamento.

Para isso, Feltovich *et al.* (1993) *apud* Carvalho (1998) apresentam algumas características que os testes devem obedecer para avaliar o domínio do aprendiz sobre conhecimentos complexos. As características propostas pelos autores podem ser consultadas no Quadro 5.

Quadro 5 – Características gerais dos testes proposta por Feltovich *et al.* (1993) para atender ao nível profundo de compreensão

1	Utilizar de recursos que revelem dificuldades de compreensão e a complexidade do assunto estudado, integrando várias teorias ou conceitos.
2	Testar a capacidade do aprendiz de aplicar o conhecimento conceitual em situações concretas (resolução de problemas, tomada de decisão).
3	Verificar até que ponto o que foi estudado permite compreender uma nova situação ou material sobre o mesmo assunto.

4	Os testes devem permitir diferentes respostas corretas, que utilizam de diferentes perspectivas para sua elaboração.
---	--

Fonte: Adaptado de Feltovich *et al.*, 1993 *apud* Carvalho, 1998.

Tomando como base as características descritas por Feltovich *et al.* (1993) *apud* Carvalho (1998), foi construída uma situação problema que pode ser consultado no item 3 do Apêndice B. A problemática proposta para os aprendizes envolve a oxidação de eletrodomésticos na região litorânea do estado de Pernambuco. Nessa situação, era esperado que os estudantes “articulassem” os possíveis conhecimentos construídos durante a SD para que fosse possível explicar a causa do problema.

4.5 Análise de dados

A análise de dados ocorreu com base nas características da Teoria da Flexibilidade Cognitiva, que dentre outros objetivos, tem como primazia a transferência de conhecimentos para novas situações. Além disso, a TFC visa pela aquisição de conhecimentos de nível avançado, em detrimento a conhecimentos de nível introdutório. Ou seja, foi analisado se ao longo da sequência didática os aprendizes foram capazes de transferir o conhecimento desenvolvido em um caso para os casos seguintes/anteriores, o que demonstraria o desenvolvimento do conhecimento de nível avançado.

Ainda com base na TFC, e ancorado também pelo trabalho de Johnstone (1993), foi analisado se os participantes da pesquisa foram capazes de criar relação entre os diferentes modos representacionais contemplados durante a realização da SD. Dessa forma, a análise do questionário inicial e do teste de transferência seguiram essa premissa. No entanto, a análise dos áudios registrados durante os experimentos e dos desenhos realizados pelos estudantes, tiveram como fundamento os princípios da TFC como também a compreensão acerca do modo representacional, ou dos modos representacionais, observado(s) em cada momento registrado. Sendo que, para a análise dos desenhos foram criadas categorias que nivelaram a construção de conhecimento dos estudantes.

4.5.1 Análise dos desenhos

Para análise dos desenhos produzidos, foram definidos três níveis de classificação (Quadro 6) de acordo com as relações criadas pelos estudantes, com os três modos de representação utilizados durante a SD. Além disso, a análise de dados se fundamentou nos pressupostos propostos pelos autores da TFC.

Quadro 6 – Critérios de classificação para os dados obtidos

Classificação	Critério
Nível satisfatório	O estudante compreende os conceitos envolvidos no caso, como também consegue criar relações entre os aspectos visíveis e submicroscópicos dos fenômenos. Além disso, consegue representar esses fenômenos de forma textual e reestruturar um conhecimento anterior para interpretar um novo modo de representação observado. O que indica aspectos de flexibilidade cognitiva.
Nível intermediário	O estudante compreende os conceitos envolvidos no caso, consegue representar esses fenômenos de forma textual, mas não consegue explicar ou criar relações entre o fenômeno observado no experimento com as representações submicroscópicas. O que indica a flexibilidade cognitiva de forma parcial.
Nível insatisfatório	O estudante não compreende os conceitos envolvidos no caso, como também não consegue criar relações entre o que foi observado no experimento, com as representações submicroscópicas e textuais dos fenômenos. O que indica a falta de flexibilidade cognitiva.

Fonte: Própria, 2024.

A escolha de desenhos como forma de coleta de dados nessa etapa, foi devido a possibilidade que os estudantes poderiam ter, para expressarem a compreensão acerca do modo submicroscópico da Química. Além disso, os desenhos permitem que os aprendizes de expressem de forma livre, o que permite uma verificação de forma adequada sobre o aprendizado.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme descrito na seção anterior deste trabalho, todos os momentos da estratégia didática foram realizados como planejado. A coleta de dados ocorreu ao longo de toda a SD e os resultados obtidos foram apresentados na sequência do texto. Para facilitar a análise, as informações estão dispostas a seguir de acordo com os três casos trabalhados nos cinco momentos de atividades.

5.1 Análise dos momentos do caso 1

Como relatado, o caso que abordou a temática de lixo eletrônico foi iniciado através de um questionário (Apêndice A) que diagnosticava o conhecimento prévio dos aprendizes sobre a temática. Para melhor aproveitar a proposta do questionário, os estudantes foram divididos em grupos para que pudessem discutir e refletir sobre os questionamentos propostos. Após 15 minutos, realizou-se a coleta de dados através de gravação de áudio com o uso de um aparelho celular.

A primeira pergunta solicitava que os discentes explicassem o que seria considerado como lixo eletrônico. O Estudante 1 do Grupo A relatou que o termo “lixo eletrônico” se refere aos aparelhos eletrônicos que não são mais utilizados: *“normalmente seria é [...] aparelhos eletrônicos que queimaram ou deixaram de funcionar, aí a gente acaba descartando em um lugar não apropriado ou até mesmo apropriado”* (Estudante 1 - GA, 2024).

Com a fala do Estudante 1, é possível perceber que ele apresenta consciência que existe uma forma correta para descartar esse material, mas que as vezes não realiza esse processo. Em relação ao descarte desses materiais, os estudantes do Grupo B relataram que o lixo eletrônico se refere aos equipamentos eletrônicos descartados de forma incorreta. Ponto destacado pelo Estudante 6 que considera o lixo eletrônico como *“tudo aquilo que é descartado de forma incorreta que seja algum produto eletrônico, como um celular, um som, um DVD, uma televisão. Até mesmo controle [...] Pilha também”* (Estudante 6 – GB, 2024).

Em consonância, os participantes do Grupo C reforçam a relação do descarte de dispositivos eletrônicos com o lixo eletrônico. Além disso, os participantes desse grupo mencionam a ideia de que as pilhas e baterias são os principais componentes desse tipo de lixo. O que é constatado na fala das Estudantes 7 e 8 que atribuem o

significado de lixo eletrônico às: *“Baterias, pilhas, é [...], controles também. É, eu acho que isso [...] Entre outras coisas”* (Estudante 7 – GC, 2024); *“São coisas que são descartadas que usam bateria, pilhas [...]”* (Estudante 8 – GC, 2024).

Os participantes do grupo D apresentam respostas seguindo o mesmo conhecimento, como por exemplo: *“Lixo eletrônico seria todo o resíduo sólido que compõe componentes tanto elétricos como bateria, cabos etc., e que possam ter algum afeto tanto na natureza como na saúde humana”* (Estudante 11 – GD, 2024), o Estudante 11 complementa que esses componentes podem ser prejudiciais a natureza e a saúde humana, o que poderia demonstrar conhecimento inicial sobre a composição desses materiais.

Nesse viés, as consequências do descarte incorreto desses dispositivos foram abordadas por um novo questionamento, que indagou os estudantes sobre o que é feito na residência de cada participante quando um equipamento eletrônico se danifica e não se mostra mais útil. Com isso, no Grupo A o Estudante 1 relatou que *“normalmente descarta ou senão, leva pra ajeitar em alguma assistência de aparelhos eletrônicos”* (Estudante 1 – GA, 2024).

Esse pensamento se repete no relato dos estudantes do Grupo B, o Estudante 3: *“a gente junta ele, e quando a gente vê que não dá mais pra usar mesmo, a gente leva naquelas lojas de conserto e vende a carcaça do celular. Porque aí não descarta, né, que isso é lixo eletrônico”* (Estudante 3 – GB, 2024). Neste questionamento, apenas os estudantes do grupo C mencionaram que realizam o descarte de lixo eletrônico de forma “normal”, sem utilizar de um local apropriado: *“Jogo no lixo normal”* (Estudante 7 - GD, 2024).

Para verificar a compreensão dos estudantes sobre o descarte irregular desses dispositivos e suas consequências, foi solicitado que os participantes descrevessem as implicações ao meio ambiente quando o lixo eletrônico é descartado de maneira inadequada. De forma geral, os estudantes destacaram os problemas e as consequências para o solo, rios e a natureza, como podemos observar na fala dos participantes do Grupo B: *“Assim, eu acho que pode prejudicar tanto os animais, tanto o ar também. E eu acho que prejudica mais, assim, quando a gente descarta o lixo eletrônico de forma incorreta. Eu... Acho que... É mais isso mesmo [...] O meio ambiente”* (Estudante 4 – GB, 2024).

Sob essa ótica, o Estudante 1 do Grupo A destaca o risco de contaminação para o solo: *“Pode afetar o solo, por causa do líquido que tem dentro da bateria e [...]”*

esqueci o nome [...] calma” (Estudante 1 - GA, 2024). Nesse momento, o Estudante 1 menciona algo interessante, relatando que o “*líquido que tem dentro da bateria*” poderia acarretar em danos ao meio ambiente. Em adição, o Estudante 2 intervém na fala do colega, relatando a presença de “materiais químicos” nas pilhas e baterias: “Os materiais químicos” (Estudante 2 – GA, 2024). “Ah, é isso aí! Mas é uma coisa que vai interferir na natureza, muito, além do solo, que é uma coisa que a gente utiliza bastante pra plantar alimentos e outras coisas” (Estudante 1 – GA, 2024).

Embora os aprendizes tenham destacado a presença de “materiais químicos” e de um “líquido” na parte interior da bateria, ao serem questionados sobre a natureza desse material ou líquido, eles não conseguiam explicar. Isso pode evidenciar o conhecimento superficial dos discentes sobre a composição das pilhas e baterias e, conseqüentemente, sobre seu funcionamento.

Possivelmente, os estudantes tiveram contato com a temática de pilhas e baterias em um momento anterior. Contudo, provavelmente os conhecimentos foram construídos de forma superficial, o que impossibilitou a compreensão do assunto e provocou concepções equivocadas. Em relação as concepções equivocadas, Spiro *et al.* (1988) destacam que a simplificação de materiais anteriores ausenta os aprendizes de um repertório cognitivo para compreender o material em estudo:

Concepções equivocadas de material avançado resultam tanto da interferência de tratamentos anteriores e simplificados desse material quanto de um modo predominante de abordar o processo de aprendizagem de maneira geral, que promove estratégias simplificativas e deixa os aprendizes sem um repertório cognitivo apropriado para o processamento da complexidade (Spiro *et al.*, 1988, p. 5, tradução nossa).

Nessa perspectiva, torna-se necessário o aprofundamento do tema para evitar que a compreensão dos estudantes seja prejudicada por reducionismos. Além disso, em relação a temática de pilhas e baterias, a simplificação excessiva pode prejudicar a compreensão sobre a composição e funcionamento desses dispositivos.

Ademais, outro ponto a ser destacado nesse questionamento é verificado na fala do Estudante 4, que menciona que o lixo eletrônico não se decompõe e conseqüentemente ocupa um espaço significativo no planeta. Embora o estudante não esteja ciente do tempo de decomposição do lixo eletrônico e das conseqüências dos resíduos gerados durante o processo, é interessante notar que ele ilustra essas questões ao citar um filme como exemplo das conseqüências da produção em grande escala desses dispositivos:

Eu acho que... Também é porque, tipo, ele não se decompõe, o lixo, né? Ele não, tipo, se desgasta, assim. Então ele ocupa um espaço. Também tem o filme que é o Wall-e, que ele retrata, tipo, uma vivência assim, que meio que teve uma defasagem, onde, tipo, o lixo eletrônico consumiu completamente o planeta. Aí todo mundo teve que evacuar e viver em naves. Então, isso é uma coisa (Estudante 4 – GB, 2024).

A afirmação do discente está parcialmente correta, já que, embora alguns materiais utilizados na produção de dispositivos eletrônicos se decomponham, os metais pesados presentes na composição desses aparelhos não se degradam. Provocando dessa forma, que esses materiais sejam acumulados na natureza por muito tempo.

Em outro viés, é necessário destacar que apenas com a análise e discussão inicial do Caso 1, o Estudante 4 já demonstra aspectos de flexibilidade cognitiva, fazendo relação entre um caso real, explorado através da notícia do caso, com uma situação fictícia a qual ele teve contato anteriormente. Conforme Carvalho (1998), a flexibilidade cognitiva está relacionada as diferentes situações e perspectivas do conteúdo. Em sua fala, o Estudante 4 apresenta uma nova perspectiva para o tema, trazendo como referência uma situação fictícia que abordou a temática da discussão.

Para finalizar a discussão inicial, promovida pelo questionário, solicitou-se a opinião dos participantes sobre o modo adequado para se realizar o descarte de lixo eletrônico. O Estudante 2 do Grupo A relatou que “pode levar na assistência, porque pode haver a reutilização de componentes” (Estudante 2 – GA, 2024). Em consonância, os estudantes do Grupo B reforçaram esse pensamento:

Eu acredito que a forma que eu descarto o meu lixo eletrônico, né, entre aspas, é uma boa forma porque ele nem fica em casa, ali, acumulando, nem vai prejudicar o meio ambiente. Vai pra uma loja de consertos que provavelmente eles vão ver ali alguma peça, alguma coisa que ainda sirva para colocar em outro aparelho (Estudante 3 – GB, 2024).

Assim como os Estudantes 2 e 3, os demais participantes relatam que a melhor forma para descartar o lixo eletrônico seria levar para uma assistência técnica e reutilizar os materiais. No entanto, o comentário de um dos participantes chama a atenção nesse momento. O Estudante 5 do Grupo B sugere a ideia de incinerar esse aparelho: “eu acho que seria uma boa, assim, já que não iria acumular, né?” (Estudante 5 – GB, 2024). A fala do Estudante 5 é mais uma constatação de conhecimento superficial sobre a temática. Ao propor a incineração do material, o aprendiz desconsidera a contaminação do ar que poderia ser ocasionada.

Por fim, destaca-se que a utilização do questionário inicial se mostrou de grande utilidade, pois através dos dados obtidos foi possível perceber que embora os participantes apresentassem conhecimento inicial sobre a temática, esse conhecimento se mostrava superficial com o aprofundamento do tema. Além disso, em nenhuma das respostas obtidas os estudantes utilizaram de princípios da Eletroquímica para explicar determinado fenômeno que poderia estar relacionado com a composição do lixo eletrônico, como o processo de degradação desses dispositivos e suas formas de contaminação.

5.1.1 Análise da atividade experimental “corrosão de metais”

Para iniciar os estudos sobre a Eletroquímica e explorar o mini-caso 1.2, o mediador promoveu alguns questionamentos sobre os princípios básicos da Química, como a estrutura atômica, ligações químicas e reações Químicas. De forma dialogada, questionou-se os estudantes sobre o que eles entendiam por átomos e as partículas que constituíam essa parte da matéria. De maneira informal, foi identificado que os estudantes não compreendiam a estrutura da matéria e suas formas de organização, desconhecendo também o termo “Átomo”, o que se tornou um desafio adicional para a abordagem.

Com isso, no início de todas as atividades, o mediador auxiliou os estudantes na identificação e na representação simbólica dos materiais e reagentes utilizados nos experimentos. Desse modo, na atividade experimental 1 os estudantes pesquisaram sobre os símbolos e as propriedades do cobre, alumínio, sulfato de cobre e do sal de cozinha (Cloreto de Sódio). Essa ação, poderia possibilitar que os estudantes conseguissem representar as espécies envolvidas, como também as reações exploradas. Nesse viés, os discentes realizaram a primeira atividade experimental, intitulada como "corrosão de metais".

Essa atividade consistiu em uma experimentação demonstrativa investigativa, pois exigiu que os estudantes observassem os fenômenos apresentados e que realizassem o processo de investigação para explicar a situação vivenciada. Em relação as observações iniciais, o Estudante 2 destacou que após a adição do sal de cozinha: “*acelerou o processo, ficou [...] oxidou mais rápido*” (Estudante 2 – GA, 2024). Além disso, o Estudante 1 contribui que: “*começou a descascar, tipo [...] como é o*

nome? Que ficou? Ficou preto em baixo, começou a oxidar mais, ficou preto, criou uma crosta” (Estudante 1 – GA, 2024).

Na fala dos Estudantes 1 e 2 evidencia-se o uso do conceito “oxidação” para explicar o fenômeno observado. No entanto, não fica claro se os discentes estão se referindo a corrosão ocorrida no alumínio ou a formação do cobre metálico (Figura 5) na superfície na lata de refrigerante. Possivelmente, os estudantes tenham relacionado o escurecimento da latinha com o processo de oxidação. Alguns estudantes mencionam que seria “ferrugem” na lata de refrigerante, o que é contestado pelo Estudante 2, que menciona que: “*ferrugem não é porque isso daí não é ferro é alumínio*” (Estudante 2 – GA, 2024).

Figura 5 – Cobre metálico produzido a partir da reação de oxidação



Fonte: Própria, 2024.

A confusão conceitual entre a oxidação de um metal e o processo de ferrugem, parece ser um equívoco comum entre os discentes, já que, foi observado que alguns estudantes dos 4 grupos mencionavam que o fenômeno ocorrido se tratava de “ferrugem”. No entanto, o Estudante 2 emprega corretamente os termos ferrugem e oxidação, demonstrando conhecimento inicial sobre o assunto. Além disso, o participante consegue diferenciar processos semelhantes com espécies químicas diferentes (oxidação do ferro e oxidação do alumínio).

Apesar de, os aprendizes utilizarem dos termos de oxidação e ferrugem de forma incorreta, após alguns momentos os estudantes levantaram a hipótese de que o material formado na reação poderia ser cobre. No entanto, foram apresentadas dificuldades para explicar a função de cada componente envolvido. Para superar essa dificuldade, o mediador apresentou a ideia de íons (cátions e ânions) e os processos

de perda e ganho de elétrons, citados indiretamente pelos participantes. De acordo com Spiro *et al.* (1988), o professor deve fornecer auxílios para ajudar o aprendiz a gerenciar a complexidade adicional que vem com a mal estruturação. O que era esperado e necessário devido à complexidade do caso.

Com as orientações do mediador e o processo de investigação, foi introduzido para os estudantes a ideia de cargas elétricas dos átomos. Com isso, os discentes do Grupo B propuseram uma explicação para a reação:

“É [...] essa reação aconteceu tipo uma oxidação do [...] alumínio, só que, nessa reação, vocês usaram o sulfato de cobre, de uma forma bem esdrúxula, o sulfato foi para o alumínio e o cobre virou o resto, e é essa parte de coloração terrosa que tem, foi basicamente isso que aconteceu” (Estudante 6 – GB, 2024).

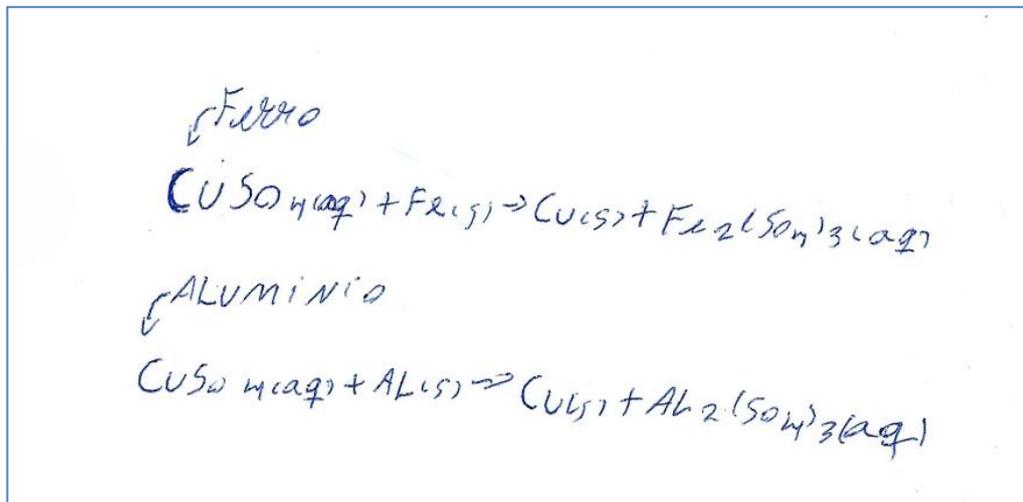
Para tentar explicar o fenômeno observado, o Estudante 6 relata que o alumínio sofreu oxidação e o “sulfato foi para o alumínio”. Infere-se que o Estudante 6 e seu grupo tenham apresentado essa concepção devido a aparência do alumínio após a reação envolvida, já que, a latinha apresenta um aspecto de material corroído.

Em outro viés, os estudantes também mencionam que o “sulfato foi para o alumínio” destacando de forma implícita a formação de sulfato de alumínio na reação. Embora os estudantes apresentem de forma parcial compreensão sobre os produtos formados na reação, não foram fornecidas explicações para se chegar a essa conclusão. Acredita-se que os estudantes tenham apenas relacionado que o cobre se “desprende” do composto de sulfato e passou para o estado sólido ao ser reduzido.

Na sequência das observações realizadas no primeiro momento do experimento, os estudantes realizaram novas observações utilizando a palha de aço (liga metálica de carbono e ferro) no lugar do alumínio. A partir das novas observações, os estudantes identificaram que uma reação semelhante ocorreu, encobrindo a palha de aço com cobre metálico. Para explorar o nível de compreensão, como também estimular o uso da “linguagem Química” pelos aprendizes, o mediador solicitou a representação do novo experimento por meio de uma reação Química.

Como resultado, os quatro grupos que participaram da atividade experimental representaram a reação de forma semelhante, tomando como base a reação observada com a latinha de alumínio. É possível consultar a reação proposta pelos estudantes na Figura 6.

Figura 6 – Representação do Grupo A para reação Química com a palha de aço



Fonte: Própria, 2024.

Embora os participantes da atividade apresentem uma reação Química sem o balanceamento correto dos produtos e reagentes, é possível constatar que os discentes apresentaram compreensão em relação às espécies Químicas envolvidas na reação. Ademais, os estudantes utilizaram uma observação feita anteriormente para propor uma reação para um fenômeno semelhante, o que pode representar a transferência de conhecimento para uma situação e representação diferente da inicialmente apresentada.

Por fim, todos os materiais e resíduos foram coletados com o objetivo de realizar o manejo, descarte e a reutilização de forma adequada. O sulfato de alumínio produzido a partir da reação, foi armazenado em um recipiente de vidro para uma futura reutilização ou descarte após a neutralização. O mesmo ocorreu com o cobre metálico, o metal foi armazenado em um recipiente adequado para a futura reutilização em outros experimentos ou descarte adequado.

5.2 Análise dos momentos do caso 2

Para explorar o funcionamento de uma bateria, os estudantes realizaram a atividade experimental intitulada como “A primeira bateria da história” (Figura 7). Foi dado início à experimentação, explorando uma atividade experimental que faz relação à pilha de Alessandro Volta e os diferentes tipos de pilhas encontradas na atualidade. Nessa abordagem, o mediador solicitou que os estudantes experimentassem diferentes possibilidades para acender o LED.

Figura 7 – Célula voltaica com arruelas de zinco e moedas de cobre



Fonte: Própria, 2024.

Inicialmente, o mediador indagou sobre a função da solução presente na reação, questionando se ainda seria possível acender o LED sem uma solução eletrolítica entre os dois metais. Como resultado, o Estudante 3 argumenta que “*Não porque é o que faz [...] é o que faz funcionar, é o que faz fazer a passagem, né?*” (Estudante 3 – GB, 2024). Na fala do Estudante 3, evidenciase a compreensão incorreta sobre a função da solução eletrolítica da reação, já que, essa solução é responsável pelo equilíbrio de cargas nos dois eletrodos.

No segundo momento, os participantes foram indagados sobre a função do zinco na reação, problematizando se sua ausência ainda possibilitaria que o processo ocorresse. A partir das observações realizadas com o uso do multímetro, os estudantes notaram que apenas moedas de cobre não possibilitavam o funcionamento da célula voltaica. Para explicar essa observação, os estudantes mencionaram que: “*Não, porque [...] só o cobre não ia houver a transição de elétrons, então o zinco tem que está lá, para fazer funcionar*” (Estudante 2 – GA, 2024).

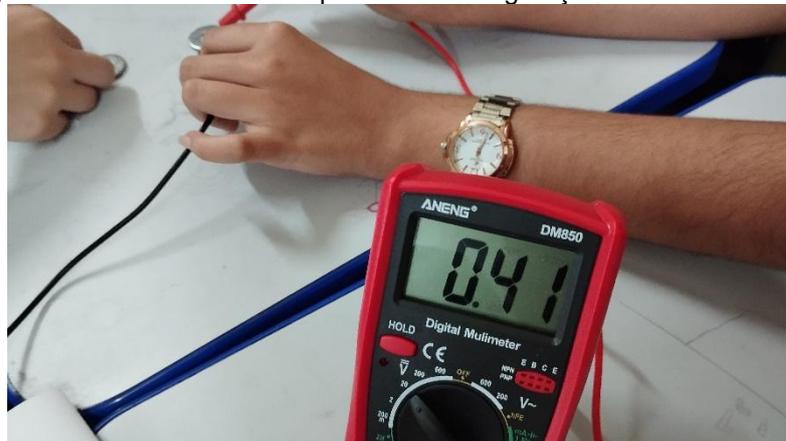
No comentário, o Estudante 2 menciona uma “transição de elétrons” entre o cobre e o zinco, referindo-se indiretamente aos processos de oxidação e redução entre essas duas espécies químicas. Embora o termo usado seja incorreto para isso, a observação é importante, pois indica que o participante compreendeu que uma espécie está perdendo elétrons enquanto outra está ganhando, o que gera a corrente elétrica medida no multímetro.

Posteriormente, após os estudantes verificarem a geração de corrente elétrica a partir do empilhamento alternado de arruelas de zinco e moedas de cobre, o mediador questionou se, apenas observados os materiais da reação, é possível definir quem sofreu oxidação e redução. De maneira geral, os aprendizes relatam que o zinco

sofreu oxidação. Acredita-se que, os discentes tenham criado essa concepção devido a aparência do zinco após a reação na célula voltaica (Figura 7), fazendo relação com as observações realizadas no Caso 1.

Os demais estudantes apresentaram respostas muito simplificadas, relatando apenas se a reação ocorreria ou não, de acordo com os componentes envolvidos. De forma geral, os estudantes buscavam o auxílio do aparelho multímetro para verificar se a reação promovia a geração de energia elétrica suficiente para ascender o LED. Como pode ser observado na Figura 8.

Figura 8 – Uso do multímetro para verificar a geração de corrente elétrica



Fonte: Própria, 2024.

Nessa abordagem, os Estudantes observaram que o valor da corrente elétrica fornecida pelo dispositivo alterava de acordo com os lados em que os fios pretos e vermelhos eram conectados. Por meio das tentativas realizadas pelos discentes, foi possível explorar conceitos como o “polo positivo” e o “polo negativo”. Por fim, acredita-se que esse momento tenha contribuído para que os estudantes investigassem os fenômenos envolvidos no experimento e assimilado novos conceitos. Pois, como destacam Gonçalves e Goi (2019), a atividade experimental com características investigativas consiste no levantamento de hipóteses, elaboração de experimentos e construção de conceitos científicos.

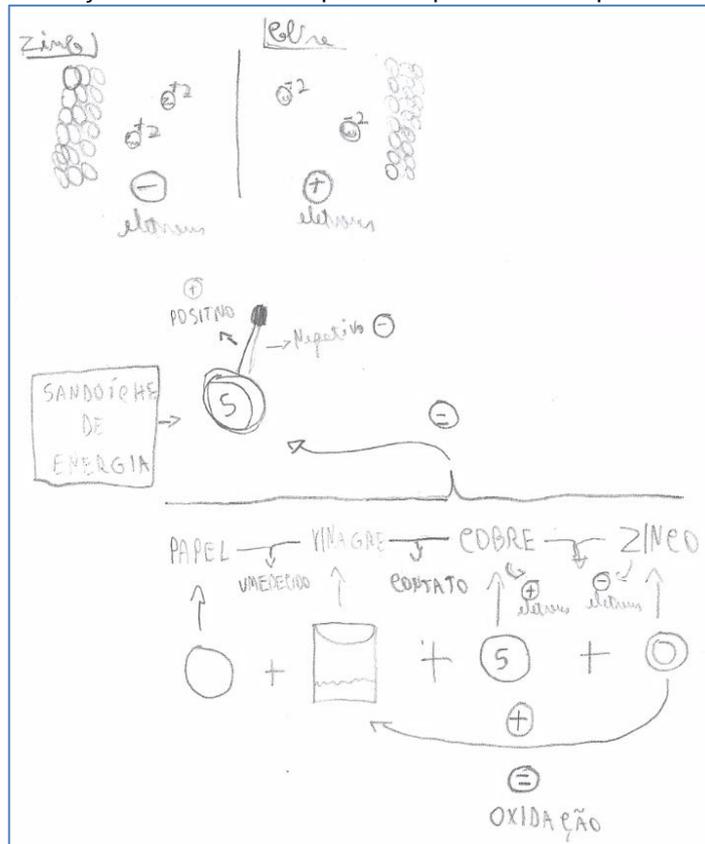
5.2.1 Análise dos desenhos elaborados pelos estudantes

Como informado na seção de metodologia, após a realização da atividade experimental, os aprendizes tiveram acesso a simulação computacional como o objetivo de explorar o funcionamento de uma célula voltaica, o que poderia auxiliar

nas representações submicroscópicas da reação. Em seguida, os estudantes produziram desenhos para representar o experimento realizado com as moedas de cobre e arruelas de zinco.

Os desenhos foram apresentados na sequência deste texto e classificados de acordo com as categorias propostas no Quadro 6 (pág. 57). Para que um desenho fosse classificado como satisfatório, deveriam estar presentes os modos macroscópico, submicroscópico e representacional dos fenômenos envolvidos. Nesta atividade, 3 estudantes produziram desenhos considerados como satisfatórios, com base nos critérios apresentados. Como exemplo, temos a representação do Estudante 4, que pode ser consultada na Figura 9.

Figura 9 - Representação do Estudante 4 para o experimento da pilha de Alessandro Volta



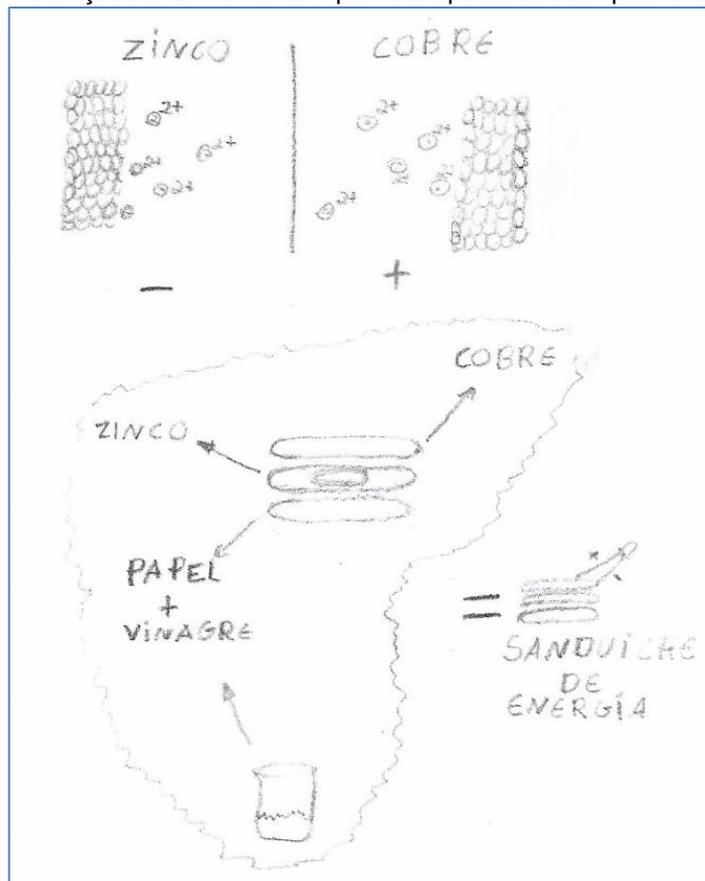
Fonte: Própria, 2024.

Em seu desenho, o Estudante 4 apresenta todos os materiais utilizados no experimento e uma esquematização para sua realização. Observa-se que o discente menciona que o zinco sofre “oxidação” em contato com a solução eletrolítica, o que pode evidenciar compreensão sobre o fenômeno macroscópico do experimento. Já no canto superior do desenho, o aprendiz descreve os eletrodos de zinco e cobre

presentes na reação, utilizando para sua representação o símbolo de cada elemento. Ademais, o estudante insere íons positivos ao lado de cada eletrodo, possivelmente fazendo alusão a dissociação de íons de zinco provocadas pela corrosão e ao depósito de íons positivos no eletrodo de cobre.

No entanto, o estudante utiliza de simbologias equivocadas, descrevendo elétrons positivos (+) e elétrons negativos (-). Cientificamente, é conhecido que os elétrons são partículas de carga negativa, o que contaria a colocação do discente. Possivelmente, o Estudante 4 tenha buscado representar os polos positivos e negativos da célula voltaica em estudo, realizando o equívoco conceitual em sua representação. Como verificação do exposto, temos a representação do Estudante 11 (Figura 10), que neste dia, estava construindo o seu desenho juntamente com o Estudante 4.

Figura 10 - Representação do Estudante 11 para o experimento da pilha de Alessandro Volta



Fonte: Própria, 2024.

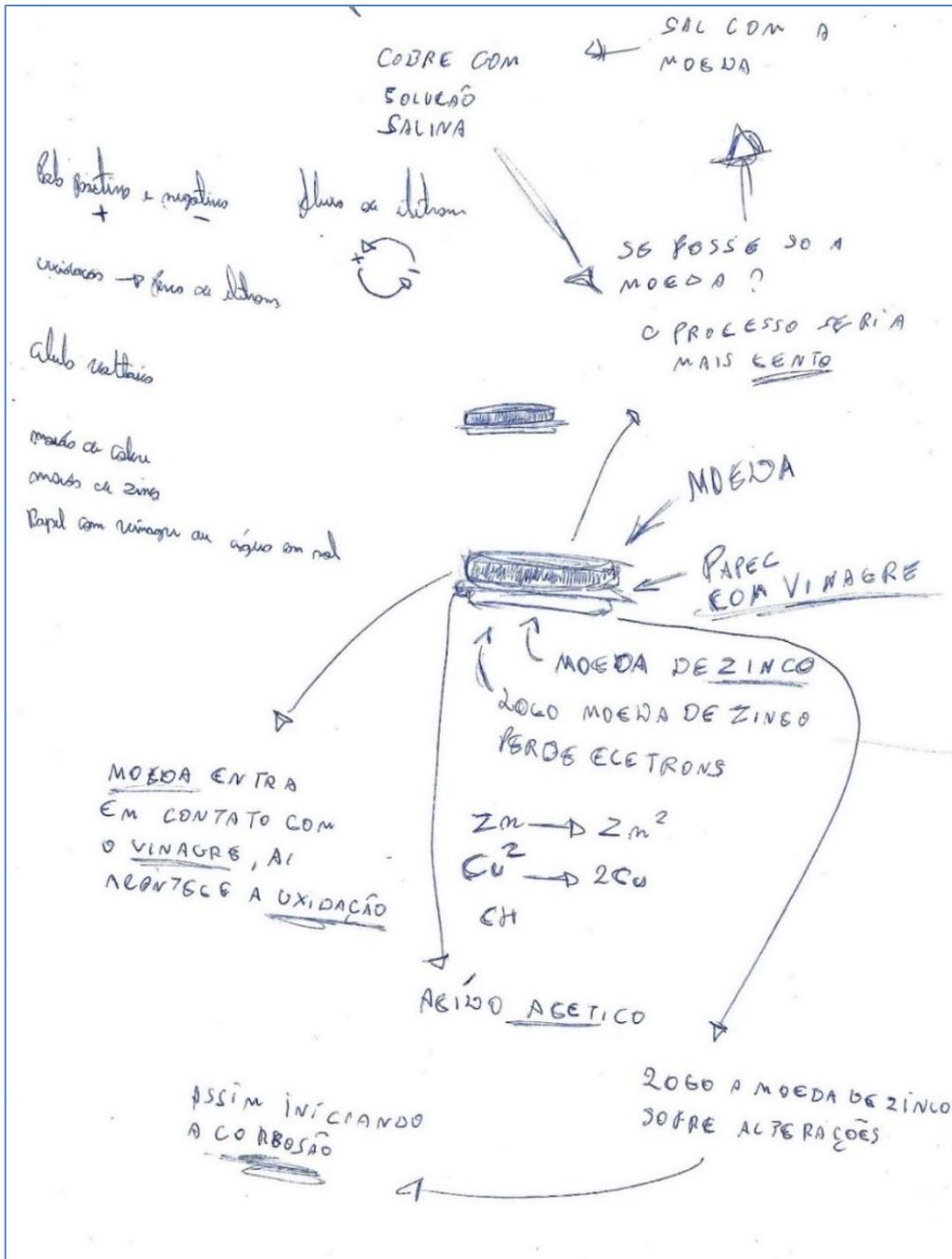
O Estudante 11 apresenta uma representação semelhante ao Estudante 4. No entanto, ao contrário do seu colega, na parte superior do desenho o discente representa apenas os símbolos positivo e negativo de acordo com o eletrodo,

reforçando a ideia de que os sinais colocados pelo Estudante 4 estavam sendo usados para representar os polos da célula voltaica.

Ademais, é interessante notar que tanto o Estudante 4 quanto o Estudante 11, utilizam de uma analogia para descrever os fenômenos observados. Os discentes usam o termo “sanduíche de energia” para descrever a observação macroscópica, referente ao “empilhamento” de moedas de cobre e arruelas de zinco alternadamente. De acordo com Carvalho (1998), os autores da TFC destacam como alternativa o uso de analogias para abordar a complexidade de um assunto, no entanto, deve-se ter o cuidado de revelar as limitações e os aspectos enganosos de cada analogia. Dessa forma, embora os Estudantes 4 e 11 tenham usado a expressão apenas como uma “forma lúdica” para descrever a estrutura do experimento, o mediador deve estar atento para evidenciar essas limitações.

Além dos estudantes que tiveram seus desenhos classificados como satisfatórios, 4 estudantes tiveram seus desenhos classificados com nível intermediário de satisfação. Para que um desenho fosse classificado como nível intermediário de satisfação, deveriam estar presentes pelo menos dois modos de representação da química. Nessa proposta, observa-se que os 4 desenhos desta categoria apresentaram apenas representações macroscópicas e representacionais ou representações macroscópicas e submicroscópicas. Como exemplo, destacamos as representações do Estudante 5 (Figura 11) e do Estudante 2 (Figura 12) respectivamente.

Figura 11 - Representação do Estudante 5 para o experimento da pilha de Alessandro Volta



Fonte: Própria, 2024.

Em seu desenho, o Estudante 5 apresenta o experimento realizado, descrevendo os materiais utilizados e suas respectivas funções. Além disso, ao analisar o desenho é possível notar que o Estudante relata que o Zinco presente na reação apresenta alterações, “assim iniciando o processo de corrosão” (Estudante 5, 2024). A observação do Estudante 5 pode constatar a compreensão do fenômeno

macroscópico, à medida que o aprendiz relaciona o “desgaste” observado na arruela de zinco (Figura 7), como o processo de oxidação.

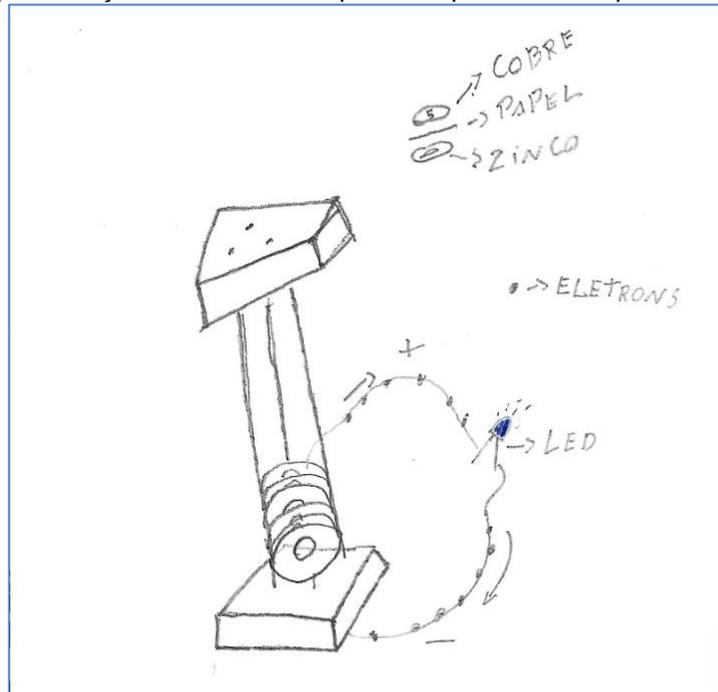
Ademais, o Estudante 5 também propõe uma possível reação química para representar essas alterações. Embora a reação química proposta não esteja correta, pois não apresenta os elétrons envolvidos na reação, é interessante mencionar que até o momento de realização dos desenhos, as semirreações de oxidação e redução não haviam sido apresentadas para os discentes. Logo, o Estudante 5 tentou utilizar da linguagem química, utilizada anteriormente, para representar a reação observada nesse novo experimento.

Com essa observação, evidencia-se que o uso de diferentes representações de um conhecimento pode ajudar na compreensão de assuntos complexos, assim como relata Carvalho (1998, p.159) “em síntese, os assuntos complexos e pouco-estruturados podem ser melhor adquiridos através de representações mentais que suportem a flexibilidade cognitiva, como a utilização de múltiplas representações”. Dessa forma, acredita-se que a exploração do modo representacional pode ter sido útil para o aprendiz na compreensão do fenômeno.

Entretanto, embora o Estudante 5 demonstre compreensão do fenômeno macroscópico e utilize do modo representacional para descrever o que observou, ele não apresenta representações submicroscópicas da reação. Acredita-se que o discente não tenha percebido a representação submicroscópica fornecida pelo *software* de simulação, uma vez que essa representação é oferecida apenas de forma breve ao final dos processos realizados.

Além do Estudante 5, o desenho do Estudante 2 (Figura 12) foi classificado como nível intermediário de satisfação. Neste desenho, percebemos o uso dos modos macroscópico e submicroscópico da reação. O discente ilustra o fenômeno macroscópico com base na experiência de Alessandro Volta, detalhando os materiais utilizados no experimento. Além disso, é notável que o discente representa o movimento de elétrons de um polo para o outro, utilizando pontos/esferas em movimento, conforme indicado pelas setas.

Figura 12 – Representação do Estudante 2 para o experimento da pilha de Alessandro Volta

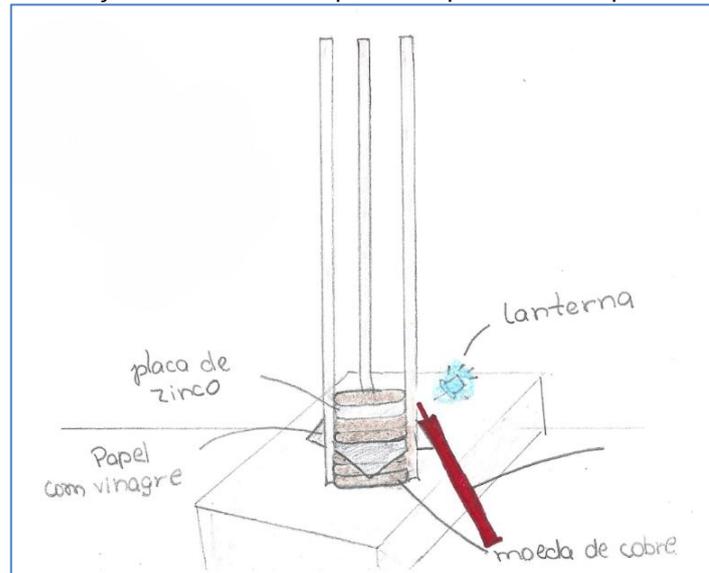


Fonte: Própria, 2024.

No entanto, o Estudante 2 apresenta um erro conceitual ao representar o fenômeno submicroscópico descrito. Ao analisar o sentido das setas descritas pelo discente, percebe-se o erro conceitual ao relatar que os elétrons se deslocam do polo positivo para o polo negativo por meio dos fios condutores. Em uma célula voltaica como a descrita, os elétrons se deslocam do eletrodo que sofre oxidação (zinco) para o eletrodo que sofre redução (cobre). Com isso, o estudante deveria ter descrito o movimento de elétrons do sentido negativo para o positivo.

Em última análise dos desenhos, foi realizada a classificação dos desenhos de 5 estudantes, que tiveram suas representações consideradas insatisfatórias, por não representarem os modos de representação solicitados pelo pesquisador. Nessa última categoria, foram definidos os desenhos que não faziam relação e/ou não descreviam os modos representacional e submicroscópico. Como exemplo, temos o desenho da Estudante 3, que representou em seu desenho os materiais utilizados na atividade experimental, sem realizar nenhuma articulação entre os modos representacionais.

Figura 13 – Representação da Estudante 3 para o experimento da pilha de Alessandro Volta



Fonte: Própria, 2024.

Na representação da Estudante 3, é possível perceber que a parte lúdica do experimento se sobressaiu em relação a compreensão do fenômeno em estudo. Já que, a discente representa apenas o fenômeno macroscópico, observado na atividade experimental desenvolvida. Desse modo, inferimos que a Estudante 5 não desenvolveu compreensão sobre os fenômenos de oxidação, redução, dissociação de íons de zinco e o depósito de íons positivos no cobre.

Por fim, é necessário pontuar que o uso da simulação computacional foi feito de forma coletiva, por meio de um slide apresentado para a turma com o uso de um Projetor/*Datashow*. A escolha dessa adaptação foi devida a escola em que a pesquisa foi aplicada não apresentar sala de informática própria para a dinâmica. Desse modo, acreditamos que ausência de manuseio da simulação computacional por parte dos discentes, pode ter limitado as potencialidades desse *software*.

5.3 Análise dos momentos do caso 3

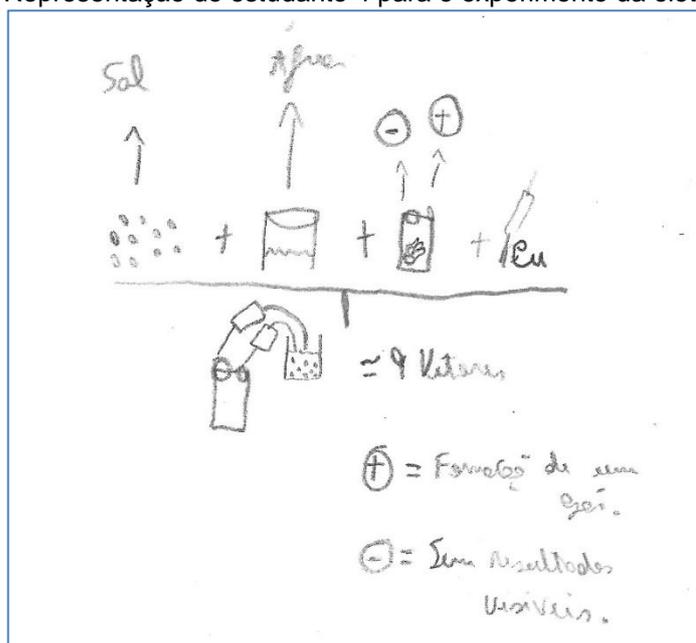
O caso 3 da SD contemplou o tema da “transição energética” e abordou a produção de Hidrogênio verde. Para explorar a produção deste combustível, os estudantes realizaram o experimento de “Eletrólise Aquosa”, utilizando sal de cozinha (NaCl) na reação. Nesse momento, foi solicitado que os estudantes identificassem o que estava acontecendo no experimento e quais os gases que estavam sendo

formados. Além disso, foi requerido que os aprendizes identificassem os produtos da reação e registrassem anotações em seus cadernos.

Para esse momento, a Estudante 3 destacou que na atividade experimental “*Tem uma reação que gera gás a partir de energia elétrica*” (Estudante 3, 2024). A observação da discente destaca o aspecto macroscópico do experimento, como também o princípio básico de uma reação de eletrólise: o fornecimento de uma corrente elétrica para provocar, de forma não espontânea, uma reação química.

Em uma perspectiva diferente, as anotações de um dos participantes ganham destaque. Em seu diário de bordo, o Estudante 4 relata sobre a formação de gás em um dos polos conectados a bateria. Como observado na Figura 14, o discente descreve os materiais utilizados na reação e relata a formação de gás no polo positivo e ausência de observações para o polo negativo.

Figura 14 – Representação do estudante 4 para o experimento da eletrólise aquosa



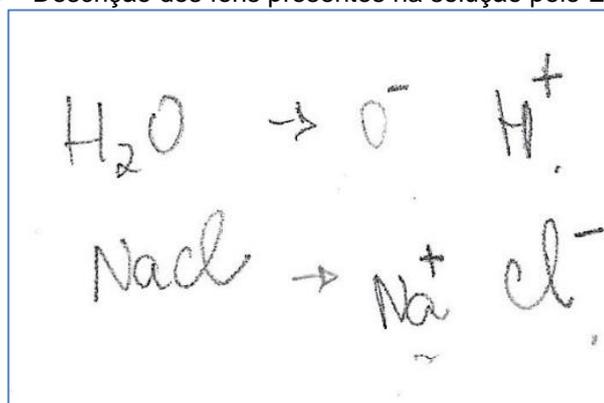
Fonte: Própria, 2024.

Com a observação de que no polo positivo estava sendo formado um gás, os estudantes tinham uma informação adicional para identificar os produtos formados a partir da reação. Para isso, os discentes deveriam retomar um dos conhecimentos trabalhados no primeiro momento da SD, a existência de cargas positivas e negativas nos íons da solução. A partir disso, com o objetivo de auxiliar os estudantes e mediar o caráter investigativo do experimento, solicitou-se que os estudantes identificassem

os reagentes presentes na solução (H_2O e NaCl) e após isso pesquisassem sobre a dissociação e quebra dessas moléculas.

Esta ação é uma importante etapa do papel do professor como mediador de uma atividade experimental pois como destacam Gonçalves e Goi (2019), em atividades experimentais o papel do professor é mediação e motivação, incentivando o estudante na construção do conhecimento. Após a orientação do pesquisador, os discentes propuseram mais informações para resolver o problema proposto. Como observado no diário de bordo do Estudante 9 (Figura 15), mesmo com o erro ao descrever um íon (O^-) ao invés do íon (OH^-), nota-se que o estudante conseguiu identificar os íons positivos e negativos presentes na solução.

Figura 15 – Descrição dos íons presentes na solução pelo Estudante 9



Fonte: Própria, 2024.

Após a identificação das espécies presentes na solução, foi questionado aos estudantes sobre quais seriam as interações desses íons com os polos da pilha, o que já havia sido mencionado pelo Estudante 4. De maneira geral, os estudantes tiveram dificuldade para explicar as interações destes íons. Assim, foi questionado qual a interação entre cargas de sinais semelhantes e opostos, sendo então identificado que os estudantes compreendiam que cargas opostas “sofriam” atração e cargas semelhantes “sofriam” a repulsão.

Com esse pressuposto, os discentes atribuíram que os íons negativos (Cl^- e OH^-) seriam atraídos para o polo positivo, enquanto os íons positivos (Na^+ e H^+) seriam atraídos para o polo negativo. No entanto, os participantes não conseguiam explicar quais os produtos formados, devido a presença de dois tipos de íons em cada eletrodo. Dessa forma, para se manter coerente com o nível de conhecimento que deve ser trabalhado com os estudantes, o mediador teve que intervir e relatar sobre

as reações mais energeticamente favoráveis do experimento. Assim, os estudantes puderam concluir que os gases formados seriam “gás hidrogênio” e “gás cloro” descrito de forma equivocada por alguns estudantes como “gás cloreto”.

Por fim, é válido mencionar que os Estudantes 1 e 2, registraram no diário de bordo o termo “troca de elétrons” (Estudantes 1 e 2, 2024) para descrever os fenômenos do experimento. Mais uma vez, a expressão utilizada pelos discentes relata de maneira indireta as reações de oxirredução intrínsecas a reação de eletrólise. No entanto, acredita-se que os estudantes não desenvolveram domínio suficiente dos conceitos para utilizá-los de maneira direta, o que pode evidenciar novamente a aquisição de conhecimentos introdutórios.

De acordo com os autores da TFC (Spiro *et al.*, 1988), devido aos diferentes objetivos e táticas, as aprendizagens introdutórias e avançadas aparentam estar em conflito. Na colocação dos autores, mesmo quando aprendizagem introdutória é eficaz, sua abordagem estabelece fundamentos no conhecimento e na aprendizagem que irão intervir na aquisição avançada de conhecimentos. Assim, acredita-se que em um momento anterior da SD os Estudantes 1 e 2 tenham compreendido os princípios das reações de oxirredução de forma introdutória, o que afetou a compreensão dos estudantes nos casos/situações subsequentes, impossibilitando a aquisição de conhecimentos avançados.

5.4 Análise do teste de transferência

No momento final da SD, foi solicitado que os estudantes respondessem a três questionamentos presentes no teste de transferência (Apêndice B). O teste de transferência tinha como objetivo que os aprendizes pudessem transferir os conhecimentos construídos ou assimilados para situações diferentes das apresentadas na estratégia didática.

Após a coleta e análise dos testes obtidos, foi possível notar que 5 estudantes apresentaram aspectos de flexibilidade cognitiva. No entanto, algumas respostas foram parcialmente adequadas, enquanto outras não estavam de acordo com o que foi solicitado nos questionamentos. A falta de coerência entre as respostas apresentadas, pode evidenciar a aquisição de conhecimentos introdutórios.

Na sequência do texto, algumas respostas foram apresentadas para aprofundar a análise. Com o objetivo de identificar aspectos de flexibilidade cognitiva entre os

casos, a primeira questão do teste solicitava que os discentes apresentassem semelhanças e diferenças entre os três experimentos realizados. Embora as atividades experimentais utilizassem de reagentes específicos, era esperado com esse questionamento que os estudantes evidenciassem a presença de uma reação de oxirredução nos três experimentos. Para esse questionamento, foi observado que os estudantes 2, 4, 5, 8 e 11 desenvolveram compreensão introdutória sobre as atividades experimentais realizadas.

Para verificar o exposto, atribuímos a resposta do Estudante 4 que apresenta aspectos de aquisição de conhecimentos introdutório para o questionamento. Esse estudante relata que a semelhança entre os três experimentos *“foi o uso específico de cobre como o metal para fazer os experimentos, na primeira teve oxidação, a moeda foi usada limpa para criar uma certa quantidade de energia. E em todos eles foram usados um estimulante, como sal e vinagre”* (Estudante 4, 2024).

A resposta do estudante apresenta algumas concepções equivocadas sobre os fenômenos observados. Primeiramente, é importante destacar que a limpeza realizada na moeda de cobre teve como objetivo remover a camada de óxido de cobre em sua superfície, facilitando assim, que a reação ocorresse. Além disso, o estudante menciona o uso do vinagre e do sal (NaCl) como “estimulantes” das reações. No entanto, é importante destacar que esses materiais não foram usados para aumentar a velocidade da reação, mas sim, para que os íons presentes possibilitassem a passagem de corrente elétrica na solução.

Além do Estudante 4, identificamos outros relatos com aspectos de aquisição de conhecimentos introdutórios. Como exemplo, temos a resposta do Estudante 8, que destaca que: *“Eles têm a presença de íons metálicos, as cores das soluções mudando”* (Estudante 8, 2024). Na descrição do discente, evidencia-se a compreensão em relação aos conceitos de íons, com a menção específica aos íons metálicos presentes nas atividades experimentais. No entanto, o discente apresenta uma resposta bastante simplificada para o questionamento, pois era solicitado não apenas as semelhanças, como também as diferenças entre as atividades experimentais realizadas.

Continuando a análise, o Estudante 5 destacou que: *“o cobre metálico pode reagir com a solução ocorrendo a oxidação. Moedas de cobre fazem a corrosão. E a produção de gás hidrogênio. A semelhança entre eles são a oxidação, corrosão e a*

produção de gás” (Estudante 5, 2024). No relato do Estudante 5, nota-se o uso da expressão *“moedas de cobre fazem a corrosão”*.

Possivelmente, o discente tenha relacionado que a oxidação sofrida pelo zinco tenha sido resultado do contato com a moeda de cobre, indicando que o aprendiz pode ter desenvolvido concepções iniciais sobre o conceito de agente oxidante. Além disso, esse discente também menciona outros aspectos presentes nas atividades experimentais realizadas, como a produção de gases, corrosão do alumínio no primeiro experimento e a corrosão do zinco no segundo experimento.

Por fim, mencionamos a resposta do Estudante 11, que dentre as respostas analisadas, forneceu mais aspectos da aquisição de conhecimentos avançados. Na descrição do Estudante 11, é relatado que *“a eletrólise pode ser utilizada para decompor a água e gerar hidrogênio, a solução de sulfato de cobre foca em reação redox específicas, as moedas mostram efeitos de corrosão e interação com soluções”* (Estudante 11, 2024).

Como os outros participantes da pesquisa, o Estudante 11 não forneceu de forma adequada o que era solicitado na questão. Entretanto, nota-se que o discente apresentou compreensão sobre a reação de oxirredução do primeiro experimento, como também, que as moedas de cobre interagem com a solução eletrolítica do experimento 2 e que a eletrólise é utilizada para decompor água no experimento 3.

Ao fim da análise do primeiro questionamento do teste de transferência, nota-se o uso dos termos de oxidação, corrosão, redox, íons, decompor e interação com soluções. Embora os participantes utilizem destes conceitos, apenas o teste de transferência não é suficiente para relatar se os estudantes compreenderam seu significado de forma avançada. Ao contrário disso, as respostas dadas pelos Estudantes não apresentaram organização de ideias adequadas, o que dificultou a análise.

Dando sequência, o segundo questionamento do teste de transferência solicitava que os discentes, a partir dos fenômenos observados nos experimentos, exemplificassem alguma situação do seu dia a dia que ocorra tais fenômenos. Neste questionamento, foi constatado que alguns estudantes conseguiram transferir os casos, conceitos e princípios trabalhados na SD para outra situação que não havia sido trabalhada.

Para examinar o que foi mencionado, destaca-se a resposta do Estudante 2, que relaciona os conhecimentos trabalhados nas atividades da SD com o processo

de *“Galvanização, onde metais são revestidos para prevenir corrosão, como o zinco sobre o ferro”* (Estudante 5, 2024). Nesse momento, é interessante mencionar que o processo de galvanização não foi trabalhado durante a SD, e mesmo assim, o estudante apresentava conhecimento sobre esse procedimento.

É provável que o estudante tenha tido contato com esse conhecimento na própria instituição, já que, o assunto de Eletroquímica é trabalhado com discentes do segundo ano do ensino médio. Dessa forma, a resposta dada pelo Estudante 5 para o segundo item do teste de transferência, indica a transferência de conhecimento para uma situação diferente da apresentada inicialmente.

Embora alguns participantes, assim como o Estudante 5, tenha conseguido transferir o conhecimento para novas situações, nesse questionamento também foram identificadas respostas que relacionavam os próprios temas trabalhados na SD como parte do cotidiano do indivíduo. Como exemplo, o Estudante 2 menciona como parte do seu cotidiano *“a oxidação dos componentes como placas de aparelhos eletrônicos”* (Estudante 2, 2024).

Além do Estudante 2, outro discente utiliza de casos e exemplos utilizados na SD para relatar um fenômeno que está presente no seu cotidiano. Como é destacado na fala do Estudante 4, que menciona que *“em uma aula o professor deu um ótimo exemplo de oxidação que foi a mudança de cor da estátua da liberdade, que com o tempo por causa do cobre, a alta umidade e o sal do mar, fez com que ela ficasse com a cor atual”* (Estudante 4, 2024). Em sua descrição, o Estudante 4 menciona um exemplo dado pelo mediador na abordagem do caso 1, em específico sobre os processos de corrosão e degradação de dispositivos eletrônicos.

Neste exemplo, o mediador explorou as diferentes causas de oxidação de metais na natureza. Utilizando para isso, a oxidação da estátua da liberdade em contato com o ar e a umidade proveniente do mar. Infere-se a partir disso que o discente relaciona o processo de oxidação de metais em condições naturais, como estando presente em seu cotidiano.

Para finalizar a discussão do questionamento 2, ressaltamos que as temáticas da SD foram pensadas com o objetivo de envolver fenômenos presentes no cotidiano dos discentes ou com grande importância social. No entanto, a proposta desse questionamento era que os estudantes relacionassem os temas/conceitos com outras esferas de suas vidas, o que não foi observado nas respostas dos estudantes supracitados.

Para finalizar o teste de transferência, foi proposto uma situação problema que envolvia a corrosão de eletrodomésticos na região litorânea do estado de Pernambuco. O questionamento solicitava que os estudantes desertassem sobre uma possível propaganda enganosa de uma geladeira inoxidável que sofreu o processo de corrosão. Nesse questionamento, era esperado que os estudantes relacionassem o contexto ambiental em que a situação foi descrita e, para além disso, que os estudantes utilizassem dos conceitos possivelmente compreendidos para explicar o fenômeno relatado.

Dessa forma, foi observado que os estudantes perceberam as nuances da problemática, e relataram o contexto de umidade proveniente da região descrita. Como exemplo, a Estudante 8 relata que *“a questão não é ser uma propaganda enganosa, e sim que a família mora em uma região litorânea, onde ocorre casos de umidade e acaba corroendo o equipamento”* (Estudante 8). Em uma perspectiva adicional, o Estudante 5 destaca que a situação *“pode ocorrer devido a umidade e cloretos, mesmo em aço inoxidável”* (Estudante 5, 2024).

Com a análise do exposto, percebemos que os aprendizes destacam a umidade proveniente do mar como o principalmente causador na corrosão no eletrodoméstico. Além disso, o Estudante 5 utiliza de um conhecimento compreendido anteriormente para destacar como uma das causas desta corrosão. Ao relacionar o fenômeno descrito com a presença de “cloretos”, infere-se que o discente apresenta compreensão em relação a reação de oxidação produzida a partir destes íons de carga negativa.

Para concluir a análise do teste de transferência, destacamos que a forma de coleta de dados para esse momento se mostrou útil, pois foi possibilitado aos discentes mencionar suas principais observações e compreensões em relação as atividades realizadas. No entanto, devido ao grande número de respostas inadequadas para os questionamentos solicitados, observou-se fragilidade na estruturação dos questionamentos. Portanto, se faz necessária a reestruturação de alguns questionamentos, com objetivo de possibilitar clareza ao que está sendo solicitado aos discentes.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho de conclusão de curso consistiu na realização de uma pesquisa pouco explorada na literatura, a qual integrou por meio da Teoria da Flexibilidade Cognitiva, proposta por Spiro e colaboradores no final da década de 1980, a metodologia de experimentação e o recurso didático de simulação computacional para abordagem do assunto de Eletroquímica.

Com a coleta e análise dos dados obtidos, percebemos que os estudantes selecionados para a análise apresentaram aspectos de Flexibilidade Cognitiva. Além disso, os resultados obtidos demonstraram que o uso de diferentes formas de representação de um conhecimento pode contribuir para o aprendizado dos discentes, como citado pelos autores da TFC. Entretanto, observamos que a SD não foi adequada para promover, na maioria dos estudantes, a aquisição de conhecimentos avançados em domínios complexos e pouco estruturados, objetivo central da teoria.

Acreditamos que a ausência da aquisição de conhecimentos avançados em alguns estudantes evidencie algumas fragilidades da SD, que não foram percebidas em sua estruturação e aplicação. A primeira possibilidade pode ser suprida com uma maior quantidade de situações que proporcionem aos discentes a transferência de conhecimentos de um caso para o outro. Embora as temáticas trabalhadas na SD estejam intrinsecamente relacionadas, foram oferecidas poucas situações para que o conhecimento, para além do conceitual, fosse utilizado em outro contexto.

Ademais, destacamos que a proposta estabelecida para o caso 3 pode não ter favorecido a aquisição de conhecimentos avançados. Já que, as anotações realizadas pelos estudantes foram superficiais e evidenciaram que a abordagem utilizada pode não promover a construção e transferência de conhecimentos de grande parte dos estudantes analisados. Dessa forma, para uma abordagem alternativa desse momento, recomenda-se o uso de uma problemática predefinida, com questionamentos que levem os estudantes a investigarem o problema proposto, que no caso, se refere aos gases formados na atividade experimental de eletrólise.

A partir do exposto, mesmo com algumas fragilidades identificadas na SD, destacamos que o objetivo geral do trabalho, que consistia em validar a sequência didática proposta com base na Teoria da Flexibilidade Cognitiva, foi alcançado. No entanto, com as limitações reveladas a partir da análise, inferimos que a abordagem carece de um maior planejamento.

No que se refere aos objetivos específicos deste trabalho, destacamos que foi possível averiguar a articulação entre os recursos tecnológicos e a experimentação como potencial para favorecer o aprendizado de química. Já que, as atividades experimentais propostas, possibilitaram a compreensão de alguns princípios da Eletroquímica.

Além disso, o uso da simulação computacional após a realização da atividade experimental da célula voltaica possibilitou uma maior exploração dos fenômenos envolvidos pelos discentes. No entanto, destacamos que a abordagem realizada foi prejudicada devido a impossibilidade de os estudantes manusearem a simulação, devido à ausência de uma sala de informática adequada para a atividade.

No que se refere ao uso de múltiplas representações de um conhecimento para compreensão da Eletroquímica. Atribuímos como adequada para compreensão do assunto, pois como observado nos desenhos apresentados na seção anterior, alguns estudantes conseguiram articular diferentes modos de representação para explicar um fenômeno considerado como complexo.

Assim, concluímos que os princípios da Teoria da Flexibilidade Cognitiva para a aplicação de conhecimentos em novas situações são adequados. Através dos pressupostos da teoria, que envolvem aquisição de conhecimentos avançados, uso de múltiplas representações, uso de casos e mini-casos, dentre outros. Foi possível perceber que os estudantes conseguiam articular conceitos construídos/assimilados em casos anteriores para situações conseguintes.

Portanto, esse trabalho pode servir como base para futuras pesquisas que busquem integrar diferentes modos de representação para o ensino de química, utilizando como base a Teoria da Flexibilidade Cognitiva. Além disso, esse trabalho pode ser utilizado como guia por outros pesquisadores, pois oferece possibilidades para uma abordagem multifacetada e multidimensional da Eletroquímica.

REFERÊNCIAS

- AMANTE, Lúcia. Tecnologias digitais, escola e aprendizagem. **Ensino em Re-Vista** [Em linha]. Vol. 18, n. 2, p. 235-245, 2011. Disponível em: <https://repositorioaberto.uab.pt/handle/10400.2/2997>. Acesso em: 28 fev. 2024.
- ARAÚJO, Denise Lino de. O que é (e como faz) sequência didática?. **Entrepalavras**, [S.l.], v. 3, n. 1, p. 322-334, 2013. Disponível em: <http://www.entrepalavras.ufc.br/revista/index.php/Revista/article/view/148>. Acesso em: 28 fev. 2024.
- BEZERRA, Marayza da Silva. **Uso de estratégias didáticas que relacionam simulação e experimentação para compreensão de fenômenos no ensino de química**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Licenciatura em Química) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Caruaru, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/49939>. Acesso em: 01 out. 2024.
- BOCCHI, Nerilso; FERRACIN, Luiz Carlos; BIAGGIO, Sonia Regina. Pilhas e baterias: funcionamento e impacto ambiental. **Química Nova na Escola**. n. 11, p. 3-9, 2000.
- BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília: MEC, 2018. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/>. Acesso em: 15 fev. 2024.
- BRASILEIRO, Lilian Borges; MATIAS, Joice Chaves. Simulações computacionais no ensino de química: estudando as microondas. **Experiências em Ensino de Ciências**, V.14, n. 2, 2020. Disponível em: <https://fisica.ufmt.br/eenciojs/index.php/eenci/article/view/153>. Acesso em: 28 fev. 2024.
- CARVALHO, Ana Amélia Amorim de. A TEORIA DA FLEXIBILIDADE COGNITIVA. In: CARVALHO, Ana Amélia Amorim de. **Os documentos hipermédia estruturados segundo a teoria da flexibilidade cognitiva**: importância dos comentários temáticos e das travessias temáticas na transferência do conhecimento para novas situações. Orientador: Paulo Maria Bastos Dias. 1998. Tese (Doutorado em Educação) - Universidade do Minho, Minho, 1998. Disponível em: <https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/192/4/cap%C3%ADtulo%203-TFC.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2024.
- CARVALHO, Ana Amélia Amorim de. A representação do conhecimento segundo a Teoria da Flexibilidade Cognitiva. **Revista Portuguesa de Educação**. Universidade de Minho, Portugal, v. 13, n. 1, p. 169-184, 2000.
- CARVALHO, Ana Amélia Amorim de. A Teoria da flexibilidade cognitiva e o modelo múltiplas perspectivas. In: LEÃO, Marcelo Brito Carneiro. (Org.). **Tecnologias na educação**: uma abordagem crítica para uma atualização prática. Recife: UFRPE, 2011.

CARVALHO, Ana Maria Pessoa de. Um ensino fundamentado na estrutura da construção do conhecimento científico, **Schème – Revista Eletrônica de Psicologia e Epistemologias Genéticas**, vol. 9, número especial, 2017.

CHAGAS, Aécio Pereira. Os 200 anos da pilha elétrica. **Química Nova**, v. 23, n. 3, p. 427–429, maio 2000. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/GjNKncCZJL8QNwDZHS6B7NH/#> . Acesso em: 20 fev. 2024.

CORREIA, Karla Kilma. **Uma proposta de abordagem CTS para o ensino de propriedades dos gases utilizando experimentação e simulação como recursos didáticos**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Licenciatura em Química) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Caruaru, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/43305>. Acesso em: 01 out. 2024.

CORREIA, Karla Kilma; SILVA, José Renan da; VASCONCELOS, Flávia Cristina Gomes Catunda de. O uso de TICs com auxílio da experimentação frente às representações mentais. In: ACTAS V JORNADAS DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EDUCATIVA EN EL CAMPO DE LAS CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES, 2019, La Plata. **Anais...** La Plata: Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación, 2019. Disponível em: https://memoria.fahce.unlp.edu.ar/trab_eventos/ev.11902/ev.11902.pdf. Acesso em 01 out. 2024.

COSTA, Jadsom Martins; FERREIRA, Denison Bispo; CUNHA, Amanda Lima; SANTOS, Adenir Feitosa dos. Educação ambiental no correto descarte de pilhas e baterias. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 12, n. 1, p. e10212138216, 2023. DOI: 10.33448/rsd-v12i1.38216. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/38216>. Acesso em: 14 fev. 2024.

COUTO, Mohammed Luiz Santos; JOSÉ, Wagner Duarte; CAMPOS, Simara Santos. Ensino interdisciplinar do tema energia eólica: contribuições da FlexQuest® para a Alfabetização Científica e Tecnológica. **Revista de Estudos e Pesquisas sobre Ensino Tecnológico**. v.7, e177721, 2021. Disponível em: <https://sistemascmc.ifam.edu.br/educitec/index.php/educitec/article/download/1777/721/8772>. Acesso em: 01 mar. 2024.

CRUZ, Antônio A. C.; RIBEIRO, Viviane Gomes Pereira; LONGHINOTTI, Elisan; MAZZETTO, Selma E. A Ciência Forense no Ensino de Química por Meio da Experimentação Investigativa e Lúdica. **Química Nova na Escola**. Vol. 38, n. 2, p. 167-172, 2016. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc38_2/11-RSA-53-14.pdf. Acesso em: 01 out. 2024.

FERREIRA, Luiz Henrique; FRANCISCO JR, Wilmo Ernesto; HARTWIG, Dácio Rodney. Experimentação Problematicadora: Fundamentos Teóricos e Práticos Para a Aplicação em Salas de Aula de Ciências. **Revista Química Nova na Escola**, n.30, 34-41, 2008.

FLICK, Uwe. **Desenho da pesquisa qualitativa**. Artmed, Porto Alegre. 2009.

GALIAZZI, Maria do Carmo; GONÇALVES, Fábio Peres. A natureza pedagógica da experimentação: uma pesquisa na licenciatura em química. **Quim. Nova**, Florianópolis, Vol. 27, n. 2, p. 326-331, 2004. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/vLwff6qNpbNP9Y8DHbpwzzC/#>. Acesso em: 28 fev. 2024.

GIORDAN, Marcelo. Experimentação e Ensino de Ciências. São Paulo: **Química nova na escola**, n.10, p.43-49, 1999. Disponível em: <http://qnesc.s bq.org.br/online/qnesc10/pesquisa.pdf>. Acesso em: 28 fev. 2024.

GONÇALVES, Raquel Pereira Neves; GOI, Mara Elisângela Jappe. A experimentação investigativa no ensino de ciências na educação básica. **Revista Debates em Ensino de Química**, [S. l.], v. 4, n. 2 (esp), p. 207–221, 2019. Disponível em: <https://journals.ufrpe.br/index.php/REDEQUIM/article/view/1840>. Acesso em: 20 fev. 2024.

GUIMARÃES, Cleidson Carneiro. Experimentação no Ensino de Química: Caminhos e Descaminhos Rumo à Aprendizagem Significativa. **Química Nova na Escola**. São Paulo, Vol. 31, n. 3, p. 198-202. AGOSTO 2009. Disponível em: http://qnesc.s bq.org.br/online/qnesc31_3/08-RSA-4107.pdf. Acesso em: 28 fev. 2023.

JOHNSTONE, Alex. H. The development of chemistry teaching: A changing response to changing demand. **Journal of Chemical Education**, v. 70, n. 9, p. 701-705. 1993.

LEÃO, Marcelo Brito Carneiro; SOUZA, Francislê Neri de; MOREIRA, Antonio; BARTOLOMÉ, Antonio. **Flexquest: una Webquest con Aportes de La Teoría de La Flexibilidad Cognitiva (TFC)**. Universidad Nacional de Salta: Argentina, 2006.

LEITE, Werlayne Stuart Soares; RIBEIRO, Carlos Augusto do Nascimento. A inclusão das TICs na educação brasileira: problemas e desafios. **magis, Revista Internacional de Investigación en Educación**. 2012. vol. 5, n. 10, p.173-187. Disponível em: <https://repositorio.minedu.gob.pe/handle/20.500.12799/2600>. Acesso em: 28 fev. 2024.

LOCATELLI, Aline; ZOCH, Alana Neto; TRENTIN, Marco Antonio Sandini. TICs no Ensino de Química: Um Recorte do “Estado da Arte”. **Revista Tecnologias na Educação** – Ano 7 – n. 12 – julho 2015. Disponível em: <https://tecedu.pro.br/wp-content/uploads/2015/07/Art19-vol12-julho2015.pdf>. Acesso em: 28 fev. 2024.

MACHADO, Adriano Silveira. Química e Sociedade: Uso de Softwares Educacionais, Objetos de Aprendizagem e Simulações no Ensino de Química. **Química Nova na Escola**, 38(2), 104-111, 2016. Disponível em: http://qnesc.s bq.org.br/online/qnesc38_2/03-QS-76-14.pdf. Acesso em: 25 jan. 2024.

MEDEIROS, Jaqueline Suênia Silva de; SILVA JÚNIOR, Carlos Neco. Revisão das principais propostas do processo de ensino e aprendizagem da eletroquímica no período de 2007 a 2017 no Brasil. **Revista Debates em Ensino de Química**, [S. l.], v. 7, n. 1, p. 281–309, 2021. Disponível em:

<https://www.journals.ufrpe.br/index.php/REDEQUIM/article/view/3354> . Acesso em: 2 mar. 2024.

MELO, Elda Silva do Nascimento; MELO, João Ricardo Freire de. Softwares de simulação no ensino de química: uma representação social na prática docente. **ETD - Educação Temática Digital**, Campinas, SP, v. 6, n. 2, p. 51–63, 2008. DOI: 10.20396/etd.v6i2.773. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/etd/article/view/773> . Acesso em: 28 fev. 2024.

MIRANDA, Guilhermina Lobato. Limites e possibilidades das TIC na educação. Lisboa: **Sísifo/Revista de ciências na educação**, n.3, p.41-50, 2007. Disponível em: <http://sisifo.ie.ulisboa.pt/index.php/sisifo/article/view/60>. Acesso em: 28 fev. 2024.

OKI, Maria da Conceição Marinho. A eletricidade e a química. **Química Nova na Escola**, vol. 12, 2000, p.34-37.

OLIVEIRA, Maria Marly de. **Como fazer pesquisa qualitativa**. Petrópolis - RJ: Editora Vozes, 2007.

OLIVEIRA, José Antônio Bezerra de; AQUINO, Kátia Aparecida da Silva. Flexibilidade Cognitiva com aporte tecnológico para a promoção de uma aprendizagem significativa e crítica na educação básica. In: CONGRESSO SOBRE TECNOLOGIAS NA EDUCAÇÃO (CTRL+E), 6., 2021, Evento Online. **Anais [...]**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2021. p. 265-274.

OLIVEIRA, Noé de; SOARES, Márlon Herbert Flora Barbosa. As atividades de experimentação investigativa em ciência na sala de aula de escolas de ensino médio e suas interações com o lúdico. **XV Encontro Nacional de Ensino de Química (XV ENEQ)**, Brasília, 21 a 24 de julho de 2010. Disponível em: <https://www.s bq.org.br/eneq/xv/resumos/R1316-1.pdf>. Acesso em: 28 fev. 2024.

PEREIRA, Ademir de Souza; VITURINO, Jaqueline Pereira; ASSIS, Alice. O uso de indicadores naturais para abordar a experimentação investigativa problematizadora em aulas de Química. **Educação Química em Ponto de Vista**, [S. l.], v. 1, n. 2, 2017. DOI: 10.30705/eqpv.v1i2.891. Disponível em: <https://revistas.unila.edu.br/eqpv/article/view/891>. Acesso em: 1 out. 2024.

PEREIRA, Nádia Vilela; ARAÚJO, Mauro Sérgio Teixeira de. Utilização de recursos tecnológicos na Educação: caminhos e perspectivas. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 9, n. 8, p. e447985421, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i8.5421. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/5421>. Acesso em: 28 fev. 2024.

POZO, Juan Ignacio; CRESPO, Miguel Angel Gomes. **A aprendizagem e o ensino de ciências**: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

RIBEIRO, Angela A.; GRECA, Ileana M. Simulações computacionais e ferramentas de modelização em educação química: uma revisão de literatura publicada. **Química Nova**, v. 26, n. 4, p. 542–549, jul. 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/Xp6YYB8pLVJwQRn9hBXDYsK/?lang=pt#>. Acesso em: 28 fev. 2024.

SANTOS, Elisângela Oliveira; SILVA, Ivanderson Pereira da. Revisão acerca do tema Simulações Computacionais no ensino de Química (2008 – 2017). **Debates em Educação**, [S. l.], v. 12, n. 27, p. 841–855, 2020. DOI: 10.28998/2175-6600.2020v12n27p841-855. Disponível em: <https://www.seer.ufal.br/index.php/debateseducacao/article/view/8667>. Acesso em: 28 fev. 2024.

SILVA, José Renan da. **Sequência didática com uso do Facebook associada a teoria da flexibilidade cognitiva (TFC)**: explicando fatos sobre o consumo de agrotóxicos no Brasil para estudantes do Ensino Médio. 2021. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e Matemática) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Caruaru, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/41084>. Acesso em 01 out. 2024.

SPIRO, Rand J.; COULSON, Richard L.; FELTOVICH, Paul J.; ANDERSON, Daniel K. Cognitive Flexibility Theory: Advanced Knowledge Acquisition in Ill-Structured Domains. **Anais. CONFERENCE OF THE COGNITIVE SCIENCE SOCIETY**, 10, 1988, Hillsdale, NJ: Erlbaum, Hillsdale, 1988.

TOLENTINO, Mario; ROCHA-FILHO, Romeu C. O bicentenário da invenção da pilha elétrica. **Química Nova na Escola**, v. 11, 2000, p. 35-39.

VASCONCELOS, Flávia Cristina Gomes Catunda de. Levantamento e análise das Simulações do PhET para o ensino e aprendizagem de Química. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, n.10, 2015, Águas de Lindóia-SP. **Anais...** Águas de Lindóia-SP: Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências (ABRAPEC), 2015. Disponível em: <https://www.abrapec.com/enpec/x-enpec/anais2015/resumos/R0336-1.PDF>. Acesso em: 28 fev. 2024.

VASCONCELOS, Flávia Cristina Gomes Catunda de. Simulações no Ensino de Química: breve panorama nas publicações do ENEQ. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENSINO DE QUÍMICA (ENEQ), n. 20, 2020, Recife-Pernambuco. **Anais...** Recife: UFRPE/UFPE, 2020. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/eneqpe2020/247270-simulacoes-no-ensino-de-quimica--breve-panorama-nas-publicacoes-do-eneq/>. Acesso em: 28 fev. 2024.

VASCONCELOS, Flávia Cristina Gomes Catunda de; LEÃO, Marcelo Brito Carneiro. Utilização de recursos audiovisuais em uma estratégia FlexQuest sobre radioatividade. **Investigações em Ensino de Ciências**, V17(1), p. 37-58, 2012. Disponível em: <https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/206/140>. Acesso em: 01 out. 2024.

XAVIER, Márcio Câmara; TEIXEIRA, Célia Regina; SILVA, Bianca Priscila Saveti da. Aplicação das tecnologias da informação e comunicação (TICS) na educação e os desafios do educador. **Dialogia**, [S. l.], v. 9, n. 1, p. 105–116, 2011. DOI: 10.5585/dialogia.v9i1.2348. Disponível em: <https://periodicos.uninove.br/dialogia/article/view/2348>. Acesso em: 28 fev. 2024.

APÊNDICE A - QUESTIONAMENTOS INICIAIS

- 1) Explique com suas palavras, o que seria “lixo eletrônico”?
- 2) Em sua residência, quando um equipamento eletrônico estraga e não se mostra mais útil, o que você faz com ele?
- 3) Descreva com suas palavras quais são as implicações ao meio ambiente quando se descarta o lixo eletrônico de maneira inadequada?
- 4) Mediante a sua resposta anterior, qual seria o modo adequado para se realizar o descarte de lixo eletrônico? Justifique sua resposta.

APÊNDICE B - TESTE DE TRANSFERÊNCIA

1) Explique com suas palavras, quais as relações existentes entre os experimentos da: a) solução de sulfato de cobre; b) moedas de cobre e, c) produção de gás hidrogênio? Quais semelhanças e diferenças entre eles?!

2) Se possível, a partir dos fenômenos observados nos experimentos, exemplifique alguma situação do dia a dia que ocorra tal fenômeno. Justifique sua resposta.

3) *“Uma família que reside na região litorânea do estado de Pernambuco, realizou a compra de uma geladeira inoxidável, com a expectativa que o equipamento durasse mais tempo. No entanto, após alguns meses foi possível notar sinais de corrosão no eletrodoméstico.”* Mediante a situação hipotética apresentada, o que explica tal fenômeno? você identifica uma certa “propaganda enganosa”? Justifique sua resposta.

APÊNDICE C – NOTÍCIA DO CASO 1

CORREIO BRAZILIENSE

Mundo gera 62 milhões de toneladas de lixo eletrônico em 2022, alerta relatório da ONU¹

[...] Em 2022, o mundo gerou 62 milhões de toneladas de lixo eletrônico: enfileirado, todo esse material equivaleria à distância, em quilômetros, de Brasília a Lisboa — aproximadamente 7,5 mil quilômetros. Ao mesmo tempo, menos de um quarto da massa descartada foi reciclada, o que, além de representar um grave risco ambiental, significa a perda de dezenas de milhões de dólares em recursos naturais que poderiam ter sido reutilizados.

No terceiro relatório mundial sobre lixo eletrônico — o último havia sido lançado em 2017 —, o Instituto de Treinamento e Pesquisa da Organização das Nações Unidas (Unitar/ONU) alerta que a geração desse tipo de descarte cresce cinco vezes mais rápido que a reciclagem. Segundo o Monitor Global de Lixo Eletrônico, por ano, o aumento dos resíduos é de 2,6 milhões de toneladas, com a previsão de chegar a 83 milhões de toneladas em 2030: 33% a mais que em 2022.

“A grande maioria dos resíduos não se decompõe e não é gerida, como deveria ser de acordo com as melhores tecnologias

disponíveis no mundo”, disse, em uma coletiva de imprensa online, Kees Baldé, principal autor do relatório e cientista da Universidade das Nações Unidas. “Uma das conclusões mais surpreendentes deste monitor é que a taxa de crescimento da montanha de lixo eletrônico ultrapassa em cinco vezes a da indústria de reciclagem. [...]”

Recolhimento

O relatório também prevê uma queda na taxa de recolhimento e reciclagem de 22,3% em 2022 para 20% em 2030, devido à “diferença cada vez maior nos esforços de reciclagem em relação ao crescimento impressionante da geração de lixo eletrônico em todo o mundo”.

Segundo o documento, os desafios que contribuem para o alargamento do fosso incluem o progresso tecnológico, o aumento do consumo, as opções de reparação limitadas, os ciclos de vida mais curtos dos produtos, a crescente eletrificação da sociedade e a infraestrutura inadequada de gestão [...].

¹ Disponível em: <https://www.correiobraziliense.com.br/ciencia-e-saude/2024/03/6822092-mundo-gera-62-milhoes-de-toneladas-de-lixo-eletronico-em-2022-alerta-relatorio-da-onu.html>. Acesso em 10 de maio de 2024.

APÊNDICE D - NOTÍCIA DO CASO 2

NEXO

Veículos elétricos: solução ou transferência de problema?²

Entre solução para a emissão de poluentes e alinhamento com políticas de mobilidade urbana, o mundo discute a adoção de carros movidos a energia elétrica.



O debate sobre mobilidade urbana inclui propostas e soluções para a melhoria do fluxo das pessoas nas grandes cidades: desde o aprimoramento do sistema público de transporte até o incentivo ao uso de bicicletas.

Dentre as opções, uma das alternativas que surge é a utilização de carros elétricos no cotidiano. Seriam eles uma opção viável no contexto brasileiro?

Durante os anos 1990, quando países começaram a debater sobre mudanças climáticas, os carros elétricos surgiram como uma opção para diminuir emissões

de CO₂ na atmosfera — causadas, em grande parte, por carros movidos a combustíveis fósseis, representantes de um quinto da emissão de dióxido de carbono em todo o mundo.

[...] Outro aspecto relacionado ao impacto negativo ao meio ambiente é a produção das baterias de íons de lítio, responsáveis pelo funcionamento do veículo. Chamado de “petróleo branco”, por ser utilizado na produção de smartphones e notebooks, o lítio é extraído das salmouras depositadas sob as salinas, principalmente da Austrália e do Chile, países que mais exportam esse minério no mundo.

Os custos ambientais e sociais são evidentes no país andino, precisamente no deserto do Atacama, onde a mineração consumiu 65% da água da população local, e no Tibet, outro país produtor, onde a contaminação de peixes causou protestos da população[...].

² Disponível em: <https://www.nexojournal.com.br/expresso/2020/01/07/veiculos-eletricos-solucao-ou-transferencia-de-problema>. Acesso em 10 de maio de 2024.

APÊNDICE E - NOTÍCIA DO MINI-CASO 2.1

Sustentável para quem?

O Lítio Brasileiro: A Promessa da Transição Energética e a Insustentabilidade Socioambiental³

A mineração de lítio está dentro de uma complexa discussão sobre transição energética no combate às mudanças climáticas. O minério, muitas vezes chamado de “ouro branco” da transição energética, é um recurso fundamental na produção de baterias usadas em uma ampla gama de dispositivos, desde telefones celulares até veículos elétricos.



[...] O Brasil está emergindo como um ator de destaque no cenário global da mineração de lítio, nos últimos anos, o país tem testemunhado um rápido crescimento na produção e na exploração de lítio, ao mesmo tempo que causa impactos socioambientais na população.

Minas Gerais: Um Gigante do Lítio

O lítio está concentrado principalmente na região do Vale do Jequitinhonha, no estado de Minas Gerais. Entre 2021 e 2023, o Vale do Jequitinhonha experimentou um notável crescimento na produção de lítio, saltando do 11º lugar para o terceiro em termos de faturamento no país, ficando atrás apenas do ferro e do ouro, a produção de lítio no estado cresceu exponencialmente, alcançando um faturamento de R\$ 1,44 bilhão entre janeiro e julho de 2023.

A extração de lítio requer grandes quantidades de água, e o Vale do Jequitinhonha é conhecido por enfrentar problemas de escassez de recursos hídricos. A gestão responsável da água se torna fundamental para garantir que a exploração de lítio não exacerbe a situação da água na região.

Cada tonelada de lítio requer cerca de dois milhões de litros de água, o que sobrecarrega ecossistemas locais já fragilizados e desafia a disponibilidade de água para as comunidades da região.

³ Disponível em: <https://www.mamnacional.org.br/2023/11/24/sustentavel-para-quem-o-litio-brasileiro-a-promessa-da-transicao-energetica-e-a-insustentabilidade-socioambiental/>. Acesso em 10 de maio de 2024.

APÊNDICE F - NOTÍCIA DO CASO 3



Potencial do Brasil para produção de hidrogênio verde impulsiona economia e sustentabilidade⁴

Transformando excedente de energia em oportunidade, o Brasil desponta como líder na produção de hidrogênio verde e impulsiona a transição.



O Brasil está se destacando no cenário mundial de energias renováveis com seu potencial para produzir quase 2 bilhões de toneladas de hidrogênio verde, segundo o Ministério de Minas e Energia. Esse recurso, gerado a partir da eletrólise da água utilizando energia elétrica limpa, tornou-se uma alternativa promissora e sustentável em meio ao cenário de transição energética no mundo.

A matriz energética mundial ainda é fortemente baseada em combustíveis fósseis, o que torna a busca por fontes renováveis de energia uma prioridade urgente. Nesse contexto, o Brasil se

destaca, não apenas pela extensa rede de hidrelétricas em operação, mas também pelo crescimento significativo das energias solar e eólica nos últimos anos.

Com o aumento da produção de energias renováveis, aliado à infraestrutura existente de hidrelétricas, o Brasil está caminhando para um cenário de excedente de energia nos próximos anos [...].

O hidrogênio verde, produzido em território nacional, não apenas contribui para a redução da pegada de carbono, mas também representa uma oportunidade de negócio lucrativa. Com o excesso de energia no mercado, a tendência é que os preços da energia elétrica diminuam, beneficiando os consumidores, estimulando o crescimento econômico e a disputa de mercado pela venda da matéria prima de forma mais lucrativa [...].

⁴ Disponível em: <https://www.terra.com.br/planeta/potencial-do-brasil-para-producao-de-hidrogenio-verde-impulsiona-economia-e-sustentabilidade.60098afb282cf1c8af609b44d739a7a3rtw8v6fa.html>. Acesso em 10 de maio de 2024.